

DEZVOLTAREA UNUI MODEL DE CONCEPȚIE INOVANTĂ, COLABORATIVĂ A PRODUSELOR

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

ing. Felicia Veronica Banciu

Conducător științific: prof. univ. dr. ing. George Drăghici

Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. Paul Dan Brîndașu
prof. univ. dr. ing. Nourăș Barbu Lupulescu
conf. univ. dr. ing. Ion Grozav

Ziua susținerii tezei: 27 iunie 2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 8. Inginerie Industrială |
| 2. Chimie | 9. Inginerie Mecanică |
| 3. Energetică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 4. Ingineria Chimică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 5. Inginerie Civilă | 12. Ingineria sistemelor |
| 6. Inginerie Electrică | 13. Inginerie energetică |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 14. Calculatoare și tehnologia informației |

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, 2011

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

Cercetările prezentate în teza de doctorat au fost elaborate pe parcursul activității mele, începute în anul 2002, în cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Departamentul de Ingineria Materialelor și Fabricației, Catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Centrul de Cercetare Inginerie Integrată.

O teză de doctorat nu este doar rezultatul unei munci individuale. Ea nu ar fi putut să fie finalizată fără suportul și ajutorul multor persoane.

Alese mulțumiri și profundă recunoștință se cuvin adresate conducătorului de doctorat, prof. univ. dr. ing. George Drăghici, pentru consilierea permanentă, pentru îndrumarea atentă pe toată durata realizării lucrării, pentru materialul documentar pus la dispoziție și pentru ajutorul competent și susținerea constantă pe întregul parcurs al elaborării acestei teze și, nu în ultimul rând, pentru încrederea acordată și pentru transmiterea pasiunii pentru munca de cercetare.

Adresez mulțumiri deosebite domnului conf. univ. dr. ing. Ion Grozav, de la Catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini din Timișoara, pentru competența cu care a răspuns solicitărilor și pentru încurajările repetate în momentele delicate ale elaborării tezei, cât și pentru bunăvoința de a răspunde favorabil invitației de a fi referent al tezei de doctorat.

Mulțumesc, de asemenea, referenților, membri ai comisiei de doctorat, prof. univ. dr. ing. Paul Dan Brîndașu, de la Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu și prof. univ. dr. ing. Nourăș Barbu Lupulescu, de la Universitatea „Transilvania” din Brașov, pentru promptitudinea cu care au răspuns solicitării de a efectua recenzia lucrării, precum și domnului prof. univ. dr. ing. Liviu Bereteu, decanul Facultății de Mecanică din Timișoara, pentru amabilitatea de a prezida comisia de susținere publică a tezei.

Respect și mulțumiri se cuvin tuturor celor care, prin comentariile, dezbaterile și analizele științifice pe care le-au făcut, mi-au oferit indicații valoroase care au influențat pozitiv atât conținutul științific cât și forma de redactare a prezentei lucrări.

Aduc mulțumiri familiei mele, prietenilor și tuturor celor care mi-au oferit sprijinul lor moral sau ajutorul profesional.

Timișoara, iunie 2011

Felicia Veronica BANCUI

Dedic această lucrare fiicei mele Anamaria Ștefania

Banciu, Felicia Veronica

DEZVOLTAREA UNUI MODEL DE CONCEPȚIE INOVANTĂ, COLABORATIVĂ A PRODUSELOR

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 34 Editura Politehnica, 2011, 176 pagini, 99 figuri, 10 tabele.

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-606-554-294-5

Cuvinte cheie:

concepție produs, concepție inovantă, concepție colaborativă, modele de concepție, concepție axiomatică, concepție sistematică, DFSS, model holistic de concepție, metode de concepție, analiză funcțională, AMDEC/FMEA, TRIZ, meta-algoritmul inventării

Rezumat:

Teza de doctorat răspunde unor probleme de maximă actualitate privind concepția inovantă, colaborativă a produselor.

Obiectivul lucrării este de a evalua stadiul cunoașterii în domeniu, prin realizarea unui transfer de cunoștințe de actualitate, care sunt analizate și sistematizate, pentru a propune un model de concepție inovantă, colaborativă a produselor și o metodologie care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție.

Realizarea obiectivului impune studierea modelelor, metodelor și mijloacelor de concepție a produselor în vederea elaborării unui model de concepție inovantă, colaborativă, și găsirii unei metode de ajutor în luarea deciziei în cadrul procesului de concepție.

În lucrare se analizează așadar diferitele modele de concepție existente, elementele lor comune și particulare, precum și metodele și mijloacele folosite, în scopul propunerii unui nou model de abordare a concepției, ca un proces general, prezent în toate domeniile. Abordarea concepției produselor prin prisma ingineriei integrate și a managementului ciclului de viață al produsului, constituie linia din această lucrare.

Astfel, noua metodologie holistică propusă prezintă un avantaj major, putând conduce activitatea din faza de concepție preliminară, de la utilizarea rutinieră a informațiilor de proiectare, către o activitate creativă, care utilizează toate cunoștințele, nu numai cele strict ale domeniului produsului dorit, ci și pe cele ale ariilor adiacente. Rezultatul final are astfel șanse foarte mari să fie încadrat în rândul produselor inovante.

Cercetările teoretice efectuate sunt validate prin utilizarea modelului holistic în faza de studiu conceptual al unui produs.

CUPRINS

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME	8
LISTA DE TABELE	10
LISTA DE FIGURI	11
1. INTRODUCERE GENERALĂ	14
2. INGINERIA INTEGRATĂ	17
2.1. INTRODUCERE	17
2.2. DEMERSUL DE CONCEPȚIE SIMULTANĂ / CONCURENȚĂ / INTEGRATĂ.....	17
2.3. DEMERSUL DE CONCEPȚIE PENTRU ȘASE SIGMA	22
2.4. CONCLUZII	24
3. MODELE DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI	25
3.1. INTRODUCERE	25
3.2. TIPURI DE MODELE	25
3.3. MODELE BAZATE PE NOȚIUNEA DE FAZĂ.....	26
3.3.1. Modelul lui Pahl și Beitz	27
3.3.2. Modelul lui French.....	31
3.3.3. Modelul lui Roozenburg și Eekels.....	32
3.3.4. Modelul lui March.....	33
3.3.5. Modelul lui Ulrich și Eppinger.....	33
3.3.6. Modelul lui Ullman	34
3.3.7. Modelul lui Pugh	34
3.4. MODELE BAZATE PE NOȚIUNEA DE ACTIVITATE	36
3.4.1. Modelul EVAD	36
3.4.2. Modelul lui Purcell.....	36
3.4.3. Modelul lui Girod	37
3.4.4. Modelul M3M.....	37
3.5. MODELE BAZATE PE NOȚIUNEA DE DOMENIU	38
3.5.1. Modelul FBS.....	38
3.5.2. Modele raționale.....	41
3.5.3. Modele din Europa de Nord	43
3.5.4. Modelul valoric	45
3.5.5. Modelul axiomatic.....	46
3.6. MODELE HIBRIDE	71
3.6.1. Modelul DFSS.....	71
3.6.2. Modelul lui O’Sullivan	72
3.6.3. Modelul co-evolutiv.....	75
3.6.4. Modelul evolutiv	77
3.7. CONCLUZII	79

4. MODELUL HOLISTIC DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI	80
4.1. INTRODUCERE	80
4.2. RELAȚIA FUNCȚIE-SOLUȚIE ÎN CONCEPȚIA SISTEMATICĂ ȘI ÎN CONCEPȚIA AXIOMATICĂ.....	80
4.3. APORTUL DFSS.....	91
4.4. ABORDAREA HOLISTICĂ A CONCEPȚIEI	93
4.5. MODELUL CICLULUI DE VIAȚĂ AL PRODUSULUI.....	97
4.5.1. Activitatea A1 – Analiza necesității	99
4.5.2. Activitatea A2 – Concepția produsului.....	100
4.5.3. Activitatea A3 – Fabricația produsului	100
4.5.4. Activitatea A4 – Comercializarea	100
4.5.5. Activitatea A5 – Utilizarea produsului.....	100
4.5.6. Activitatea A6 – Retragerea produsului	101
4.6. ABORDAREA HOLISTICĂ A FAZEI DE STUDIU CONCEPTUAL	101
4.6.1. Detalierea activității A2 – Concepția produsului	101
4.6.2. Activitatea A211 – Descompunerea funcțională	104
4.6.3. Activitatea A212 – Căutarea de idei și soluții.....	104
4.6.4. Activitatea A213 – Enunțarea și selectarea soluției optime	104
4.6.5. Mijloace folosite în studiul conceptual	105
4.7. EVALUAREA CAPABILITĂȚII PROCESULUI DE CONCEPȚIE.....	114
4.8. CONCLUZII	118
5. PLATFORMA DE CONCEPȚIE INOVANTĂ, COLABORATIVĂ A PRODUSULUI.....	120
5.1. INTRODUCERE	120
5.2. IDEACORE SOFTWARE.....	120
5.2.1. WEB Mine.....	120
5.2.2. QFD Designer.....	120
5.3. TDC SOFTWARE	121
5.3.1. TDC Need.....	121
5.3.2. TDC Structure	122
5.3.3. TDC FMEA	123
5.4. AXIOMATIC DESIGN SOLUTIONS.....	123
5.5. CONCLUZII	129
6. UTILIZAREA MODELULUI HOLISTIC ÎN STUDIUL CONCEPTUAL AL UNUI PRODUS	130
6.1. INTRODUCERE	130
6.2. ANALIZA FUNCȚIONALĂ A FIERĂSTRĂULUI ALTERNATIV. ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
6.2.1. Analiza funcțională externă	132
6.2.2. Analiza funcțională internă	133
6.2.3. Analiza funcțională TRIZ	137
6.2.4. Analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității	137
6.3. GENERAREA CONCEPTELOR/SOLUȚIILOR	138
6.3.1. Reductor cilindric cu o treaptă	138
6.3.2. Reductor cilindric cu o treaptă și camă.....	138
6.3.3. Reductor cilindric cu o treaptă și amplificarea cursei prin pârghii... 138	
6.3.4. Reductor melcat, camă și amplificarea cursei prin pârghie oscilantă.....	139
6.4. ANALIZAREA CONCEPTELOR/SOLUȚIILOR	140
6.5. CĂUTAREA DE SOLUȚII INOVANTE.....	153
6.5.1. Diagnoza	153

6.5.2. Reducerea	155
6.5.3. Transformarea și verificarea	156
6.6. CONCLUZII	162
7. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE	164
7.1. CONCLUZII GENERALE	164
7.2. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	166
7.3. PERSPECTIVE DE CERCETARE.....	167
BIBLIOGRAFIE	168

Notății, abrevieri, acronime

AD	Axiomatic Design
AI	Artificial Intelligence
AHP	Analiză ierarhică
ARIZ	Algorithm of Inventive Problem Solving
CAD	Computer Aided Design
CALS	Computer Aided Acquisition and Logistic Support
CE	Concurrent Engineering
COD	Customer Oriented Design
CTQ	Critical to Quality
DFA	Design for Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DOE	Design of Experiments
DFR	Design for Recycling
DFSS	Design for Six Sigma
DFX	Design for X
DPs	Design Parameters
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DR	Design Rationale
DRL	Design Rationale Language
EBSBF	Environmentally-Bound Structure-Behavior-Function
FBS	Function Behavior Structure
FMEA	Failure Modes and Effect Analysis
FRs	Functional Requirements
HF	Human-Factors and Human-Computer Interaction Research
IBIS	Issue Based Information Systems
IDEF0	Integration DEFinition Language
IPPD	Integrated Product and Processes Development
ICOM	I-input, O-output, C-control, M-mechanism
MD	Mechanical Design
PHI	Procedural Hierarchy of Issues
PLM	Product Lifecycle Management
PVs	Process Variables
QFD	Quality Function Deployment

RD	Robust Design
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SE	Simultaneous Engineering
TRIZ	Teorija Reshenija Izobretateliskich Zadach
VOC	Voice of Customer

Lista de tabele

- Tabelul 4.1. Fazele de studiu conceptual și de concepție constructivă, mijloacele folosite, în modelul sistematic și în modelul axiomatic
- Tabelul 6.1. Tabelul general al cerințelor funcționale și al parametrilor de concepție
- Tabelul 6.2. Cerințele funcționale și parametrii de concepție pentru un mecanism de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă, cu camă
- Tabelul 6.3. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale pentru legea de mișcare sinusoidală
- Tabelul 6.4. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale pentru legea de mișcare cosinusoidală
- Tabelul 6.5. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale pentru legea de mișcare parabolică
- Tabelul 6.6. Cerințele funcționale/parametrii de concepție pentru mecanismul fără camă
- Tabelul 6.7. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului în funcție de unghiul de rotire și datele inițiale pentru legea de mișcare, pentru mecanismul fără camă
- Tabelul 6.8. Grupul de proceduri generate de fiecare pereche de factori pozitivi/negativi
- Tabelul 6.9. Descriere a navigatorilor (principiilor inventive) selectate

Lista de figuri

- Fig. 2.1. Modul de organizare liniară (Drăghici, 1999)
- Fig. 2.2. Câștigul de timp determinat de demersul simultan (Drăghici, 1999)
- Fig. 2.3. Costuri angajate și cheltuieli reale cumulate (Drăghici, 1999)
- Fig. 2.4. Modul de organizare tip inginerie simultană (Drăghici, 1999)
- Fig. 3.1. Modelul sistematic (Pahl ș.a., 2007)
- Fig. 3.2. Modelul lui French (1985)
- Fig. 3.3. Modelul lui Roozenburg și Eekels (1995)
- Fig. 3.4. Structura iterativă a procesului de concepție
- Fig. 3.5. Cele șase faze ale procesului de concepție (Ulrich și Eppinger, 2000)
- Fig. 3.6. Modelul procesului de concepție (Ullman, 2002)
- Fig. 3.7. Nucleul procesului de concepție (Pugh, 1990)
- Fig. 3.8. Nucleul central înconjurat de specificații (Pugh, 1990)
- Fig. 3.9. Modelul de luare a deciziilor EVAD (Ahmed și Hansen, 2002)
- Fig. 3.10. Categoriile de activități (Girod ș.a., 2000)
- Fig. 3.11. Tipologia actelor de concepție (Micaelli, 2002)
- Fig. 3.12. Modelul FBS (Gero, 2006)
- Fig. 3.13. Cadrul FBS (Gero, 2006)
- Fig. 3.14. Arhitectura generală a unui sistem DR (Hu ș.a., 2000)
- Fig. 3.15. Un exemplu IBIS (Regli ș.a., 2000)
- Fig. 3.16. Modelul DRL (Hu ș.a., 2000)
- Fig. 3.17. Domeniile concepției (Andreasen, 1992)
- Fig. 3.18. Cele două aspecte ale unui produs (Hansen și Andreasen, 2000)
- Fig. 3.19. Cele două fețe ale unui produs (Perrin, 2001)
- Fig. 3.20. Domeniile concepției (Yannou și Petiot, 2002)
- Fig. 3.21. Modelul axiomatic, după (Suh, 1990)
- Fig. 3.22. Zig-zag între FRs în Functional Domain și DPs în Physical Domain
- Fig. 3.23. Design Range și System Range (Suh, 2005)
- Fig. 3.24. Descompunerea în concepția axiomatică, după (Tate, 1999)
- Fig. 3.25. Modelul procesului de concepție, după (Tate, 1999)
- Fig. 3.26. Conceptul general al complexității în sistemele ingineresti (Suh, 2005)
- Fig. 3.27. Algoritmul DFSS (Yang și El-Haik, 2003)
- Fig. 3.28. Modelul lui O'Sullivan (*O'Sullivan)
- Fig. 3.29. Evoluția proceselor modelului de concepție (Blessing, 1996)
- Fig. 3.30. Modelul lui Cross (Cross, 1989)
- Fig. 3.31. Emergența produsului, zig-zaguri și evaluări (Blanchard, 1998)
- Fig. 3.32. Spațiul problemei și soluției (Brissaud, 2003)
- Fig. 3.33. Modelul de concepție co-evolutiv (Lonchamp, 2004)
- Fig. 3.34. Demersul evolutiv de conceptual design (Jin ș.a., 2005)
- Fig. 4.1. Proces de concepție general, care se derulează identic pentru fiecare nivel ierarhic (Tate, 1999)
- Fig. 4.2. Modelul procesului de concepție (Tate, 1999)
- Fig. 4.3. Algoritmul DFSS (Yang și El-Haik, 2003)
- Fig. 4.4. Modelul holistic de abordare a concepției (Drăghici și Banciu, 2007)

- Fig. 4.5. Corespondența între fazele modelului sistematic și cele ale modelului axiomatic
- Fig. 4.6. Ciclul de viață al produsului
- Fig. 4.7. Modelul SADT al unei activități
- Fig. 4.8. Principiul de deschidere a diagramei activităților
- Fig. 4.9. Activitățile ciclului de viață al produsului
- Fig. 4.10. Descompunerea activității A2-Concepție
- Fig. 4.11. Descompunerea activității A21- concepție preliminară
- Fig. 4.12. Diagrama FAST (De La Bretesche, 2000)
- Fig. 4.13. Procesul FMEA (Stunnel, 2003)
- Fig. 4.14. Procesul de conceptualizare a soluției prin aplicarea TRIZ (Altshuller, 1999)
- Fig. 4.15. Schema generalizată a Meta algoritmului inventării (Orloff, 2006)
- Fig. 4.16. Sintaxa modelării funcționale (Terniko 1996)
- Fig. 5.1. Etapele analizei funcționale în TDC Need
- Fig. 5.2. Evidențierea funcțiilor cu Pieuvre, în TDC Need
- Fig. 5.3. Analiza funcțională internă în TDC Structure
- Fig. 5.4. Tabloul AMDEC în TDC FMEA
- Fig. 5.5. Tipuri de vederi
- Fig. 5.6. Vederea descompunerii FR-DP în Acclaro DFSS
- Fig. 5.7. Vederea matricei de concepție în Acclaro DFSS
- Fig. 5.8. Vederea FMEA în Acclaro DFSS
- Fig. 5.9. Tree Diagram în Acclaro DFSS
- Fig. 5.10. TRIZ Analysis în Acclaro DFSS
- Fig. 6.1. ICOM box
- Fig. 6.2. Obiectul de studiu – ferăstrău alternativ
- Fig. 6.3. Diagrama PIEUVRE
- Fig. 6.4. Diagrama FAST
- Fig. 6.5. Cerințele funcționale (FRs)/parametrii de concepție (DPs)
- Fig. 6.6. Diagrama arborescentă
- Fig. 6.7. Diagrama arborescentă-detaliu
- Fig. 6.8. Soluția actuală
- Fig. 6.9. Reductor cilindric cu o treaptă și camă
- Fig. 6.10. Reductor cilindric cu o treaptă și amplificarea cursei prin pârghii
- Fig. 6.11. Angrenaj melc-roată melcată și camă
- Fig. 6.12. Cerințe funcționale/parametrii de concepție-vederea FR/DP din Acclaro
- Fig. 6.13. Dependența cerințe funcționale (FR)/ parametri de concepție (DP)
- Fig. 6.14. Dependența FR2.4/DP2.4-vederea matricei de concepție
- Fig. 6.15. Dependența FR2.4/DP2.4-vederea arborescentă
- Fig. 6.16. Legătura între unghiul de presiune și dimensiunile geometrice ale camelor
- Fig. 6.17. Dependența unghiului de presiune de legea de mișcare
- Fig. 6.18. Dependența spațiu, viteză, accelerație funcție de unghiul de rotire pentru legea de mișcare sinusoidală
- Fig. 6.19. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire-pentru legea de mișcare sinusoidală
- Fig. 6.20. Dependența spațiu, viteză, accelerație funcție de unghiul de rotire pentru legea de mișcare cosinusoidală
- Fig. 6.21. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire-pentru legea de mișcare cosinusoidală
- Fig. 6.22. Dependența spațiu, viteză, accelerație funcție de unghiul de rotire pentru legea de mișcare parabolică

- Fig. 6.23. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire-pentru legea de mișcare parabolică
- Fig. 6.24. Dependența spațiu, viteză, accelerație funcție de unghiul de rotire pentru legea de mișcare a mecanismului fără camă
- Fig. 6.25. Reprezentarea abstractizată
- Fig. 6.26. Zona operativă modelul câmp-substanță
- Fig. 6.27. Modelul inițial al contradicțiilor tehnice
- Fig. 6.28. Modelul contradicțiilor tehnice
- Fig. 6.29. Lama
- Fig. 6.30. Transformarea câmpurilor în mișcarea oscilatorie
- Fig. 6.31. Scăderea lanțului transformărilor
- Fig. 6.32. Mașina oscilatorie cu flux magnetic concentrat
- Fig. 6.33. Mașina oscilatorie cu magneți permanenți-suprafață
- Fig. 6.34. Tăierea cu jet de lichid
- Fig. 6.35. Scula cu mișcare continuă

1. INTRODUCERE GENERALĂ

Concepția, în ansamblu, poate fi considerată ca un proces dinamic, care se află într-o permanentă schimbare, proces care poate fi îmbunătățit, pentru a conduce la o soluție mai bună. Procesul de concepție evoluează în concordanță cu nevoile pieței, analizează situațiile existente, realizează adaptarea la acestea sau permite crearea unor situații cu totul noi, menite să conducă la satisfacerea cerințelor clienților.

În zilele noastre, în contextul globalizării piețelor și al creșterii concurenței, reducerea termenelor de livrare a produselor, reducerea costurilor de producție și creșterea calității produselor sunt obiective urmărite de orice întreprindere. Un aspect important în vederea realizării acestor obiective este adoptarea unui demers de concepție integrată și colaborativă a produselor, proces care se poate desfășura într-o platformă care folosește cele mai avansate soluții de management al ciclului de viață al produsului (*Product Lifecycle Management, PLM*).

Obiectivul tezei de doctorat este de a evalua stadiul cunoașterii în domeniul concepției produselor, prin realizarea unui transfer de cunoștințe de actualitate, care sunt analizate și sistematizate, pentru a propune un nou model de concepție și o nouă metodologie, care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție.

Realizarea obiectivului impune studierea modelelor, metodelor și mijloacelor de concepție a produselor în vederea elaborării unui model de concepție inovantă, bazat pe principiile ingineriei integrate, și găsirii unei metode de ajutor în luarea deciziei în cadrul procesului de concepție.

În lucrare se analizează așadar diferitele modele de concepție existente, elementele lor comune și particulare, precum și metodele și mijloacele folosite, în scopul propunerii unui nou model de abordare a concepției, ca un proces general, prezent în toate domeniile. Abordarea concepției produselor prin prisma ingineriei integrate și a managementului ciclului de viață al produsului, a modelelor, metodelor și mijloacelor existente, constituie linia din această lucrare.

Pentru a atinge obiectivul propus, cercetările sunt abordate succesiv și sunt structurate în cadrul lucrării astfel:

În **capitolul al doilea** se prezintă principiile ingineriei integrate a produselor, care reprezintă o abordare globală, generală a procesului de dezvoltare a produsului. O organizare de tip inginerie simultană / concurentă / integrată presupune alegerea și implementarea echipelor de proiect care regroupează competențe pluridisciplinare. Se trece astfel de la o întreprindere structurată pe funcții și sarcini la una care se organizează în jurul produsului, dezvoltat sub forma unui proiect generat de o necesitate exprimată de un client.

Integrarea cunoștințelor ciclului de viață al produsului în faza de concepție a condus la adoptarea unor demersuri de concepție pentru fabricație, asamblare, mentenanță, reciclare etc. (*Design for X*). Între acestea, concepția pentru șase sigma (*Design for Six Sigma, DFSS*) este o metodologie care oferă dezvoltării proceselor, mijloacele necesare îmbunătățirii capabilității lor. *DFSS* integrează diferite concepte, modele și metode de concepție a produsului.

În **capitolul al treilea** se analizează modelele de concepție cunoscute din literatura de specialitate, grupate în: modele bazate pe conceptul de fază, la care se urmărește o descompunere secvențială a procesului de concepție printr-o succesiune ierarhică de faze; modele bazate pe noțiunea de activitate, făcându-se referire în cadrul acestora la activitățile generate de actele de concepție bazate pe studiul unor experiențe de concepție, modurile de gândire a conceptorilor; modele bazate pe noțiunea de domeniu, care sunt utile pentru a dezvolta mijloace de concepție asistată de calculator, o exprimare în termeni de funcție-comportament-structură, modelul axiomatic, care pornește de la ideea de bază că procesul de concepție se desfășoară prin trecerea succesivă dintr-un domeniu în altul, încercându-se găsirea unor reguli care să ghideze procesul de concepție; modele hibride, în care reprezentarea problemei și definirea soluțiilor evoluează simultan; un model de concepție bazat pe demersul *Design for Six Sigma DFSS*.

Prezentarea și analizarea modelelor va fi realizată în vederea stabilirii unei baze de plecare pentru dezvoltarea unui model holistic de abordare a concepției, care să înglobeze avantajele prezente în modelele prezentate.

În **capitolul patru** se prezintă, în prima parte, relația funcție-soluție în cele două tipuri de concepții reținute din capitolul trei – modelul de concepție sistematică și modelul de concepție axiomatică, apoi modelul holistic de abordare a concepției, rezultat din integrarea metodelor și mijloacelor de concepție folosite în cele două modele de bază, și care are ca suport modelul sistematic, bazat pe noțiunea de fază, și modelul axiomatic, bazat pe noțiunea de domeniu. În continuare este prezentat modelul ciclului de viață al produsului, pentru a cărui reprezentare a fost folosită metoda SADT, iar pentru reprezentarea fazelor sale a fost utilizat programul iGrafx 2011, care conține modulul IDEF0. Din modelul ciclului de viață al produsului s-a detaliat activitatea de concepție și au fost prezentate metodele și mijloacele folosite în cadrul studiului conceptual. În final se prezintă o modalitate de utilizare a axiomei de concepție, ca factor de decizie sau control în cadrul demersului sistematic, pentru evaluarea capacității procesului de concepție prin prisma axiomei de informare. Aceasta permite alegerea celei mai bune variante de concepție.

În **capitolul cinci** este prezentată platforma de concepție inovantă, colaborativă a produsului, care conține mijloacele software de asistare a fazelor de planificare și clarificare a sarcinilor, studiu conceptual și concepție constructivă, platforma fiind constituită din trei pachete de programe, furnizate de IDEACore, TDC Software și Axiomatic Design Solutions Inc.

Cercetările teoretice efectuate sunt validate prin utilizarea modelului holistic în faza de studiu conceptual al unui produs, care face obiectul celui de **al șaselea capitol**. Aplicația a fost realizată în cadrul rețelei europene VRL-KCiP, finanțată prin Programul Cadru 6, echipei UPT revenindu-i sarcina de soluționare a concepției preliminare a produsului. Obiectul aplicației este un fierăstrău alternativ, la care s-a cerut analizarea variantei actuale de obținere a mișcării rectilinii-alternative a lamei de tăiere și căutarea de soluții inovante pentru realizarea acestei mișcări.

Pentru utilizarea modelului holistic de concepție este necesară exprimarea funcțiilor identificate printr-o analiză FAST, în termenii concepției axiomatice – cerințe funcționale, parametri de concepție, matrice de concepție. Astfel, devine posibilă analizarea zonelor care ridică probleme, putând fi aplicate, dacă este cazul și unde este nevoie, axiomele de concepție, ca factor de decizie sau control pentru soluțiile posibile de mecanisme.

Studiul conceptual este structurat în două părți. În prima parte, pentru transformarea mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă sunt analizate

câteva tipuri de mecanisme cunoscute, apoi se urmărește transpunerea funcțiilor în termeni de concepție axiomatică și verificarea axiomei de independență cu privire la cerințele funcționale enunțate. În a doua parte se evidențiază noi direcții de soluții în vederea realizării funcției principale, folosind meta-algoritmului inventării.

În **capitolul 7** sunt prezentate concluziile generale, contribuțiile personale și perspective de cercetare viitoare.

Bibliografia folosită pentru elaborarea lucrării cuprinde 143 referințe, între care 21 lucrări științifice proprii, publicate în volumele unor conferințe internaționale și în reviste, 12 lucrări fiind indexate ISI Web of Knowledge și în alte baze de date internaționale.

2. INGINERIA INTEGRATĂ

2.1. Introducere

Abordarea globală a procesului de dezvoltare de noi produse este denumită inginerie integrată. Termenul a cunoscut o anumită evoluție: de la achiziția și suportul logistic asistat de calculator (*Computer Aided Acquisition and Logistic Support, CALS*), la inginerie concurentă (*Concurrent Engineering, CE*) sau inginerie simultană (*Simultaneous Engineering, SE*) și dezvoltarea integrată a produsului și proceselor (*Integrated Product and Processes Development, IPPD*).

Ingineria integrată poate fi definită ca o metodologie ce permite concepția integrată și simultană a produselor și a proceselor asociate ciclului său de viață (Drăghici, 1999). Aceasta asigură luarea în considerare, încă de la origine, a tuturor fazelor ciclului de viață al produsului, integrând problemele de calitate, termene, costuri, exigențe ale utilizatorului etc. Ingineria integrată este deci o metodologie care tinde să aducă spre amonte cunoștințele profesiilor care intervin în aval de concepție, și care ia în considerare restricțiile pe care acestea le generează. Ea implică participarea efectivă, încă de la primele faze de concepție, a specialiștilor cu profesii diferite. Pe scurt, concepția colaborativă sau co-concepția produselor și a proceselor asociate se desfășoară atât în spațiu, prin organizarea de întâlniri între experții diferitelor profesii, cât și în timp, prin organizarea mai degrabă paralelă decât succesivă a activităților.

În acest mod se pune în prezent problema dezvoltării de noi produse, iar abordarea integrată asigură scurtarea termenelor de concepție și lansare a produselor, creșterea calității acestora, concomitent cu reducerea costurilor de producție.

2.2. Demersul de concepție simultană / concurentă / integrată

Obiectivul acestui demers îl constituie reducerea termenelor de concepție ale produsului, ale procesului său de fabricație și ale mijloacelor de realizare, acționând asupra duratei activității acestora cât și asupra punerii lor în paralel.

Pe parcursul realizării unui produs, cea mai mare parte a întreprinderilor aplică încă un demers liniar. Acest demers a fost impus de modul de organizare al întreprinderii și de fluxul de informații între diferitele servicii. Organizarea unei întreprinderi pe servicii atașate activităților ciclului de viață al produsului, dotarea lor cu mijloace informatice și legarea în rețea rămâne totuși o structură secvențială și liniară, care prelungește durata ciclului de producție, de la perceperea necesității și preluarea comenzii până la livrarea produsului, figura 2.1 (Drăghici, 1999).

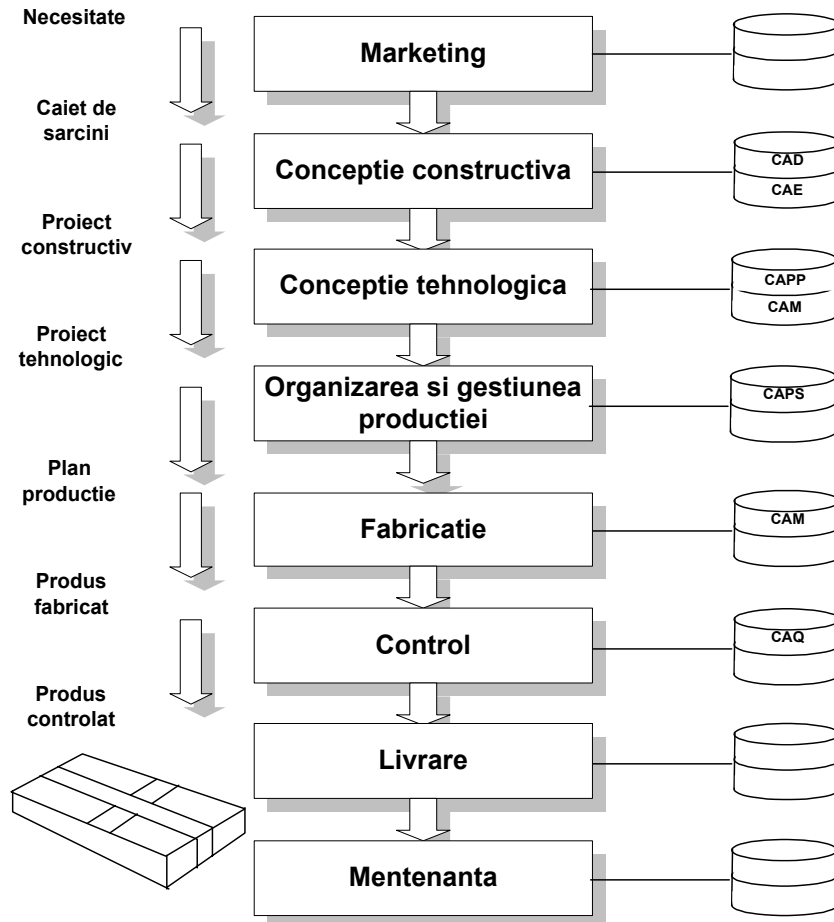


Fig. 2.1. Modul de organizare liniară (Drăghici, 1999)

Viziunea tradițională, în care în derularea activităților din cadrul ciclului de viață urmează să intervină succesiv un număr mare de persoane, cu pregătiri diferite, este calificată ca secvențială, ținând seama de anclanșarea cronologică a activităților. Această viziune tradițională definește o ordine necesară în parcurgerea ciclului de viață al unui produs, a proceselor sale, precum și stabilirea clară a responsabilităților. O problemă este generată de faptul că cei implicați au o specializare îngustă și sunt regrupați după criteriul sarcinilor de îndeplinit, fiecare grup se închide în propria sa idee despre produs, în cultura și limbajul său de comunicare.

În activitatea cotidiană a întreprinderilor se observă însă adesea numeroase disfuncționalități:

- cu toate că avusese specificat, înainte de începerea studiului, în mod complet și sistematic toate datele în caietul de sarcini, produsul rezultat din concepție este adesea reluat la toate nivelurile, considerându-se că

funcționarea sa este imperfectă sau că nu satisface în totalitate necesitățile utilizatorilor;

- sub presiunea termenelor impuse, studiul este limitat în continuare la dezvoltarea primei idei sau soluții imaginare, neglijându-se astfel alte soluții care s-ar fi putut dovedi a fi și mai satisfăcătoare;
- personalul de concepție este pus să efectueze numeroase alegeri și să ia numeroase decizii asupra unor chestiuni care nu țin neapărat de competența sa directă, aceasta limitând intens libertatea de manevră a serviciilor care vin în continuare;
- serviciul tehnologic, însărcinat cu concepția procesului și a mijloacelor de producție, este pus adesea în situația de a cere modificări serviciului de concepție constructivă, dar care sunt foarte rar acceptate, consecințele lor fiind judecate prea importante, căci ele intervin prea târziu;
- natura secvențială a organizării determină apariția buclajelor de corecție, care se dovedesc destul de rar a fi eficiente, influențând termenele și costurile.

Contextul economic instabil și nesigur, piețele care se pot închide și deschide în intervale destul de scurte impun ca întreprinderile să asigure produsele în timpul dorit, la prețul dorit și nivelul de calitate cerut.

Pentru o întreprindere dornică să păstreze sau să câștige segmente de piață, o soluție posibilă o constituie „spargerea” demersului liniar și secvențial, de la concepție până la producție, încercându-se paralelizarea unor activități ale ciclului de viață al produsului, ceea ce ar aduce un câștig de timp și ar reduce termenele de lansare și de punere în distribuție a produsului, figura 2.2 (Drăghici, 1999).

Pentru a putea conduce un demers de inginerie simultană este necesar să fie cunoscute activitățile de concepție ale produsului și ale procesului de fabricație desfășurate în cadrul întreprinderii, să fie definite în mod clar funcționarea și anclanșarea fiecăreia dintre ele, în scopul de a pune mai ușor în evidență eventuale probleme (Drăghici, 1999).

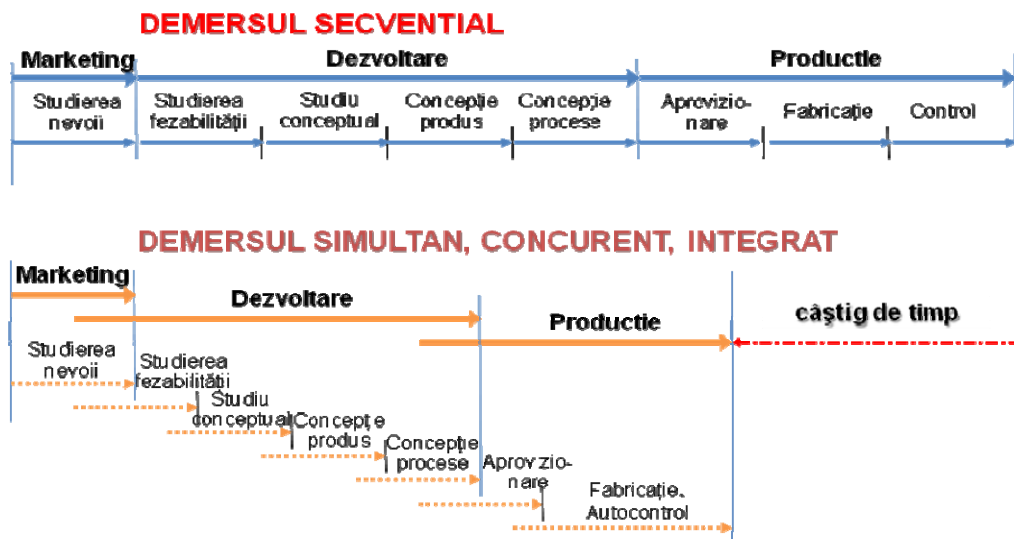


Fig. 2.2. Câștigul de timp determinat de demersul simultan (Drăghici, 1999)

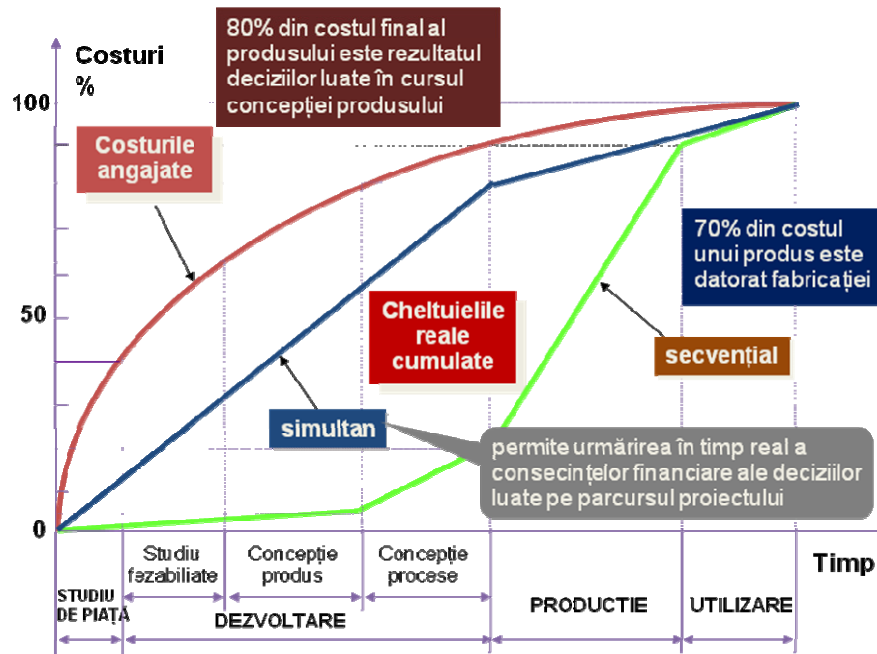


Fig. 2.3. Costuri angajate și cheltuieli reale cumulate (Drăghici, 1999)

În ciclul de viață al unui produs, etapele de analizare a necesității și de dezvoltare sunt cele a căror responsabilitate este foarte importantă, cu consecințe asupra costurilor, calității și termenelor de realizare. 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, figura 2.3 (Drăghici, 1999).

Deosebirea față de organizarea secvențială este constituirea de echipe de proiect multidisciplinare, care regrupează diferiți specialiști care intervin de-a lungul ciclului de viață al proiectului, urmărindu-se ajungerea la o soluție quasi-optimală în minimum de timp, culegând opiniile diverse și variate ale specialiștilor încă din faza de concepție, determinând participarea întregii întreprinderi și înțelegând rolul diferitelor servicii (Drăghici, 1999).

O organizare de tip inginerie simultană presupune alegerea și implementarea echipelor de proiect care să regrupeze competențe pluridisciplinare și care sunt conduse de către directori de proiect, care au o responsabilitate transversală în cadrul întreprinderii. Se trece de la o întreprindere structurată pe funcții și sarcini la una care se organizează în jurul produsului, dezvoltat sub forma unui proiect generat de o necesitate exprimată de un client. Acest proiect este încredințat unui șef de proiect care coordonează trei echipe (fig. 2.4).

Un demers de inginerie simultană presupune crearea unei structuri de date comună, interactivă, bazat pe punerea în rețea a mijloacelor specializate care să garanteze coerența fluxului de informații. Baza de date comună trebuie să fie dinamică, să evolueze o dată cu actul de concepție. O concepție integrată presupune realizarea integrării cunoștințelor și constituirea modelelor de produs care explicitează funcțiile îndeplinite, fazele ciclului de viață al produsului virtual, fabricația, mentenanța și reciclarea sa.

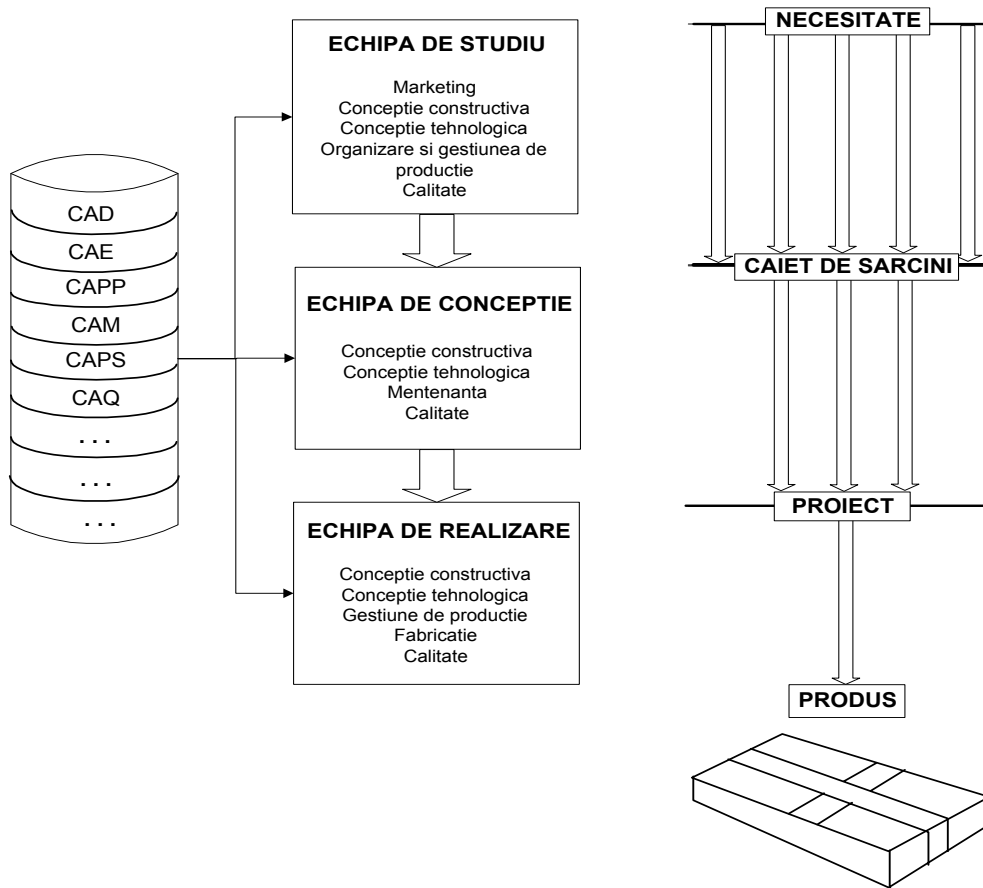


Fig. 2.4. Modul de organizare tip inginerie simultană (Drăghici, 1999)

Conceptul de inginerie simultană implică planificarea produsului, care include toate departamentele dintr-o organizație și reprezentanții clienților. Scopul este de a disemina informațiile pentru a realiza concepția, dezvoltarea și producția produsului modernizată, adusă la zi pentru a corespunde nevoilor și așteptărilor clientului final. Se folosește cu succes pentru creșterea nivelului de satisfacție al clienților relativ la produse (Ribvens, 2000).

În (*) se spune că ingineria simultană/concurrentă este o strategie care înlocuiește dezvoltarea tradițională, secvențială a produsului cu una în care sarcinile se pun în paralel și unde există un interes crescut pentru fiecare aspect al procesului de dezvoltare al produsului. Această strategie se concentrează pe optimizarea și distribuția resurselor unei firme pentru a asigura un proces de dezvoltare eficient și eficient al produsului.

Firmele care adoptă un astfel de demers trebuie să fie capabile să suporte schimbări, deoarece un astfel de demers presupune integrarea oamenilor și a proceselor. În același timp nu se poate vorbi despre inginerie integrată dacă nu se are în vedere necesitatea colaborării și coordonării între indivizi, grupuri și departamente separate din cadrul firmei. Schimbările antrenate sunt de natură

structurală, forța de muncă trebuie să fie reformată, deci tot acest proces de transformare spre ingineria integrată cere timp pentru punerea sa în practică. Este necesară deci o implementare și urmărire pe termen lung, timp în care este nevoie în permanență de evaluare și urmărire a modului de implementare a procesului de inginerie integrată. Ingineria simultană / concurrentă / integrată este un proces care se desfășoară după un plan, schimbările care au loc se derulează de la vârf spre bază și pentru a avea o direcție de desfășurare clară este nevoie de un nucleu de conducere bine structurat și o planificare corespunzătoare.

În (Tichkiewitch ș.a., 1995) este propusă o integrare a actorilor concepției, care trebuie să coopereze în cadrul unei echipe, ceea ce implică o derulare coordonată a fazelor, coordonare care poate fi internă (actorii înșiși) sau externă. În urma acestei coordonări trebuie să se nască și cooperarea celor implicați, aceste acțiuni fiind emergente, nefixate și nepredefinite (Jeantet, 1998). Cooperarea între actori este determinată prin crearea de proiecte noi, în care coordonarea este asigurată de șeful de proiect sau de grupurile de funcții în care actorii implicați generează în paralel sarcina lor de concepție, coordonarea sarcinilor și controlul acestei coordonări (Moisdon și Weil, 1992).

Desfășurarea concepției în cazul modelului bazat pe inginerie se sprijină și poate fi descris prin modelele numite secvențiale, în timp ce în ingineria simultană, concepția se bazează pe modelul simultan (Lonchamp, 2004).

Principiul muncii în echipe pluridisciplinare permite luarea în considerare la fiecare nivel de dezvoltarea a considerațiilor relative la ciclul de viață al produsului, de ex. constrângerile de fabricație trebuie luate în seamă încă din primele faze ale concepției (Anghel, 2007).

În (Anghel, 2007) este prezentat un mod de înțelegere a noțiunii de paralelism. Astfel, există o paralelizare a activității de dezvoltare a produsului și anume paralelizarea dintre concepția simultană a produsului și a procesului său de producție, respectiv posibilitatea dezvoltării simultane a mai multor soluții pentru a realiza cele mai bune alegeri cât mai repede posibil și eliminarea unor iterații costisitoare. Trecerea de la demersul secvențial către cel simultan necesită o schimbare a demersului procesului de concepție.

2.3. Demersul de concepție pentru șase sigma

Integrarea cunoștințelor ciclului de viață în faza de concepție a condus la adoptarea unor demersuri de concepție pentru fabricație, asamblare, mentenanță, reciclare etc. (*Design for X*). Între acestea, concepția pentru șase sigma (*Design for Six Sigma, DFSS*) este o metodologie care oferă dezvoltării proceselor, mijloacele necesare îmbunătățirii capabilității lor. Unitatea de bază în *DFSS* este procesul care trebuie îmbunătățit. Un proces poate fi un produs sau serviciu, proces pe care compania îl oferă clienților exteriori, sau poate fi un proces intern întreprinderii, ca un proces de producție. În *DFSS*, scopul îmbunătățirii procesului este creșterea performanței și scăderea variației acesteia. Această creștere a performanței și scădere a variației va conduce la scăderea defectelor, creșterea profitului și calității produselor.

DFSS integrează diferite concepte, modele și metode de concepție a produsului.

Concepția orientată spre client (*Customer Oriented Design*) constă într-un proces de transformare a nevoilor clienților în soluții care le sunt utile. Procesul este

derulat în câteva faze, pornind de la o fază conceptuală. În aceasta fază, concepția, evaluarea și selectarea unor soluții bune este o sarcină dificilă, cu consecințe enorme. Companiile de concepție și fabricație operează uzual în două moduri: „prevenirea incendiului” prin conceperea unor entități conceptuale fezabile și sănătoase, și „lupta cu incendiul”, adică rezolvarea problemelor astfel încât produsul conceput să poată să se ridice la potențialele promise. Din nefericire, al doilea mod consumă cel mai mare potențial de resurse umane și materiale ale unei organizații.

Cele mai recente tendințe în știința concepției sunt schițate de două căi de dezvoltare pentru îmbunătățirea procesului de concepție. Prima se referă la îmbunătățirea performanței în mediul de utilizare, iar a doua este legată de metode conceptuale.

Concepția robustă (*Robust Design*), dezvoltată de Taguchi, aparține primei căi (Taguchi, 1986, 1993, 1994). În această metodă, o concepție bună este aceea care oferă o soluție robustă pentru obiectivele funcționale enunțate, și care poate fi realizată printr-un proces constituit din trei faze: definirea conceptului (sistemului), definirea parametrilor și definirea toleranțelor.

Pentru a doua cale, în Germania s-au publicat numeroase lucrări despre concepția sistematică (*Systematic Design*). Cele mai multe dintre aceste lucrări sunt în *German Guidelines VDI* (Hubka, 1980), (Pahl și Beitz, 1988). Ultimele dezvoltări în cea de-a doua direcție se referă la concepția axiomatică (*Axiomatic Design*), dezvoltată de Nam P. Suh (Suh, 1990). O preocupare majoră pentru principiile de concepție sunt vulnerabilitățile introduse când anumite principii sunt violate. Aceste vulnerabilități pot fi rezolvate, sau cel puțin reduse, de o dezvoltare eficientă a principiilor de concepție, numite axiome. De exemplu, cuplarea funcțională (lipsa de controlabilitate) va fi creată în soluția de concepție când axioma de independență nu va fi satisfăcută.

DFSS este definită (Yang și El-Haik, 2003) ca o teorie științifică conținând arii de cunoștințe fundamentale în forma percepțiilor și înțelegerii diferitelor câmpuri și relațiile dintre aceste arii fundamentale. Autorii propun o teorie DFSS în care ariile de cunoștințe fundamentale includ un mix de propuneri și ipoteze, împărțirea pe categorii a obiectelor sau fenomenelor DFSS, metode de concepție ca *Axiomatic Design* și TRIZ și un spectru de modele matematice și statistice empirice. Obiectivul major al DFSS este de „a face bine de la început” pentru a evita în continuare experiențe neplăcute.

În general, două vulnerabilități majore pot afecta calitatea concepției:

- vulnerabilități conceptuale, care sunt stabilite din cauză că sunt violate axiome de concepție și principii;
- vulnerabilități operaționale, datorate lipsei de robustețe în mediul de utilizare. Eliminarea sau reducerea vulnerabilităților operaționale este obiectivul inițiativei de calitate incluzând șase sigma.

Vulnerabilitățile operaționale au ca obiectiv reducerea variabilității și modificări ale mediei, ale cerințelor critice calității (CTQ) și au fost subiectul mai multor câmpuri de cunoștințe, ca: *Robust Design* (Taguchi, 1986), (Taguchi și Wu, 1986), (Taguchi ș.a., 1989), *DMAIC Six Sigma* (Harry, 1994, 1998) și definirea toleranțelor. Cercetarea toleranțelor este element central în vulnerabilitățile operaționale, din moment ce se ocupă cu alegerea toleranțelor.

Un produs, proces, serviciu necesită costuri de dezvoltare ridicate, un timp mai lung de punere pe piață, un nivel de calitate mai scăzut. În plus, acțiunile corective pentru îmbunătățirea vulnerabilităților conceptuale prin intermediul mijloacelor de îmbunătățire a vulnerabilităților operaționale sunt rar efective și uneori nu sunt deloc folositoare. În plus, aceste acțiuni corective sunt costisitoare și

greu de implementat pe măsură ce progresează dezvoltarea entității de concepție. De aceea, implementarea DFSS în faza de studiu conceptual (*conceptual design*) este un punct principal și poate fi atinsă când metode de concepție sistematice sunt integrate cu concepte de calitate și metode. Teoria DFSS a fost dezvoltată folosind arii de cunoștințe fundamentale, ca (Yang și El-Haik, 2003): ingineria calității (Taguchi, 1986), TRIZ (Altshuller, 1988), concepția axiomatică (Suh, 1990), teoria probabilității și modelarea statistică. Obiectivul DFSS este de a reduce vulnerabilitățile de concepție, conceptuale și operaționale, prin derivarea și integrarea metodelor și mijloacelor pentru eliminarea și reducerea lor. În general, multe dintre metodele de concepție au o natură empirică. Se urmărește, în locul îmbunătățirii performanțelor în fazele finale ale dezvoltării produsului, o îmbunătățire a acestuia în fazele inițiale, unde dezvoltarea produsului are loc la niveluri de abstractizare mai ridicate. Această schimbare este, de asemenea, motivată de faptul că deciziile luate în primele stadii au cel mai mare impact asupra costului total și calității sistemului.

Multe companii care dezvoltă filozofia șase sigma concep, proiectează propria lor vedere despre șase sigma. În (Yang și El-Haik, 2003) autorii spun că un proces DFSS este acționat de diferite pachete ale metodologiei DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) și, în plus, „vocea clientului” (*Voice of Customer*). Dezvoltarea DFSS propusă de ei este concentrată în jurul fazelor metodei DMAIC în procesul de dezvoltare.

2.4. Concluzii

Tendențele actuale în industrie, corelate cu cererile tot mai diversificate ale clienților, au condus la necesitatea unei varietăți foarte mari de produse, a reducerii ciclurilor de fabricație și la creșterea complexității produselor. Bineînțeles că, în același timp, trebuie ținut seama de termenele de livrare, asigurarea unei calități sporite, posibilități de reciclare, astfel explicându-se trecerea de la modelul liniar de concepție la unul interactiv, de la modelul secvențial la cel simultan și integrat, în care se încearcă suprapunerea parțială a unor activități ale ciclului de viață al produsului.

Totodată, prin aplicarea unui demers DFSS este posibilă realizarea unui proces de concepție bun de la început, care poate fi îmbunătățit prin creșterea performanțelor sale și scăderea variațiilor, astfel, defectele vor fi mai puține și calitatea produselor va crește.

3. MODELE DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI

3.1. Introducere

În acest capitol se vor analiza modelele de concepție cunoscute din literatura de specialitate, grupate în modele bazate pe noțiunea de fază, modele bazate pe noțiunea de activitate, modele bazate pe noțiunea de domeniu și modele hibride. Scopul acestui capitol este de a analiza modelele existente în vederea reținerii unor aspecte importante sau a unor modele de interes pentru a propune un nou model de concepție și o metodologie care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție.

3.2. Tipuri de modele

Procesul de concepție este un ansamblu de activități în cadrul cărora se dezvoltă și se aleg mijloacele necesare pentru a atinge un ansamblu de obiective, în funcție de cerințele impuse. Procesul de concepție poate să reprezinte găsirea unei soluții noi, selectarea unei soluții deja existente sau o combinație a celor două.

În (Reyman, 2001), modelele de concepție sunt clasate în: modele prescriptive și modele descriptive.

Modelele descriptive încearcă să răspundă la întrebările: "ce este concepția?" și "cum se realizează concepția?". Procesul de concepție, cât și produsul care este conceput, sunt subiect de cercetare. Teoriile de concepție descriu procesele cognitive ale conectorilor, abilități și atitudini importante pentru concepție, activități de concepție, structura și organizarea procesului de concepție și/sau contextul concepției. O parte a acestor cercetări se concentrează pe diferite tipuri de produse, pe tipuri de probleme de concepție, specificații, soluții și cunoștințe.

Studiile prescriptive se concentrează pe întrebarea "cum să concep și cum să sprijin conectorii?" Modelele prescriptive se concentrează pe dezvoltarea și aplicarea strategiilor, metodelor, tehnicilor și activităților procesului de concepție. Un subiect important este dezvoltarea diferitelor tipuri de aplicații pe calculator, care să sprijine activitatea. Cercetătorii sunt interesați de comunicarea dintre diferiții actori dintr-un proces de concepție, și se gândesc cum ar putea fi organizată colaborarea dintre aceștia.

Studiile filozofice, după Kroes, citat de (Reyman, 2001), se axează pe:

- probleme fundamentale (vederile diferite în tehnologie și diferența dintre natural și artificial);
- probleme epistemologice (natura și extinderea cunoștințelor de concepție, diferența dintre cunoștințele științifice și cunoștințele tehnice, relația dintre știință și tehnologie și rolul științelor naturii în procesul de concepție);

- problemele metodologice (tipuri de metode, tipuri de probleme și constrângeri, implicații normative ale metodelor utilizate);
- probleme de etică profesională (responsabilitățile conectorilor).

Practica tehnologică, în sine, este studiată de asemenea. Pentru a realiza studiul practicii tehnologice sunt luate ca puncte de plecare studiile empirice ale primelor două tipuri, pentru a avea o analiză critică sau reflexie asupra acestei practici, cu scopul de a realiza o clarificare conceptuală. Filozofia conectorului se concentrează, de asemenea, pe următoarele întrebări: ce este concepția, în general, care sunt caracteristicile unei teorii valide a concepției și cum ar putea fi testat un concept teoretic vizând coerența cu alte concepte?

Finger și Dixon (1989) au utilizat șase categorii largi de cercetare a procesului de concepție:

- modele prescriptive ale proceselor;
- modele descriptive ale proceselor;
- modele computaționale ale proceselor;
- limbaje, reprezentări și medii pentru concepție;
- sprijinul deciziilor de concepție prin analiză;
- concepție pentru fabricație (*Design for Manufacturing*, DFM), concepție pentru asamblare (*Design for Assembly*, DFA), concepție pentru reciclare (*Design for Recycling*, DFR) etc.

Modelele prescriptive reunesc procesele pe care conectorii trebuie să le urmeze în demersul lor de concepție. Cel mai cunoscut dintre modelele prescriptive este cel al lui Pahl și Beitz (Pahl ș.a., 2007).

Aceste tipuri de modele pot fi descompuse în două categorii:

- prescrierea de proceduri ce trebuie urmate și activități ce trebuie realizate;
- prescrierea stărilor și atributelor produsului.

Cu toate acestea, în (Finger ș.a., 1989) se afirmă că nu există rezultate de cercetare care să indice că dacă este urmat modelul prescriptiv se pot obține sistematic soluții de concepție mai bune.

Contrar modelelor prescriptive, modelarea descriptivă a procesului de concepție este bazată pe descrierea și reprezentarea procedurii mentale urmată de către conector. Cercetările în domeniu sunt axate pe studiul proceselor, strategiilor și metodelor de rezolvare a problemelor utilizate de către conectori (Finger ș.a., 1989). Obiectivul modelării descriptive a procesului de concepție este de a înțelege mecanismele concepției, de a îmbunătăți eficacitatea acestui proces și de a permite dezvoltarea de instrumente capabile să ajute pe participanții la concepție în demersurile acestora.

Modelele computaționale automatizează și informatizează procesul de concepție.

3.3. Modele bazate pe noțiunea de fază

Concepția inginerescă (*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: studiul conceptual (*early design*), concepția detaliată (*detailed design*) și analiza concepției (*design analysis*).

În (Shah și Martti, 1995) se consideră că *early design* include concepția

funcțională și studiul conceptual (*conceptual design*). În (Ullman, 1997), (Buede, 2000), (Pahl ș.a., 2007) *conceptual design* se plasează în concepția preliminară, înainte ca geometria produsului să devină importantă. De-a lungul fazei *conceptual design*, conceptorul este mai preocupat de funcția și structura generală decât de detalierea geometriei.

3.3.1. Modelul lui Pahl și Beitz

Unul dintre modelele prescriptive cele mai recunoscute și reprezentative este modelul de concepție sistematică al lui Pahl și Beitz (Pahl ș.a., 2007).

Demersul sistematic (Pahl ș.a., 2007) „nu încercă să aibă ultimul cuvânt asupra subiectului, încercând să fie util în practica și educația în concepție, să ofere o serie de metode folosite în concepție, să evidențieze importanța cunoștințelor fundamentale, principiile și linii directoare și să fie util ca și ghid pentru conceptori și manageri în dezvoltarea cu succes a produselor; acest demers nu este bazat pe o metodă anume, ci aplică metode mai mult sau mai puțin cunoscute, acolo unde acestea sunt potrivite și utile pentru sarcinile specifice și pașii de lucru”.

Modelul este bazat pe o descompunere secvențială a procesului de concepție (o succesiune ierarhică de faze) utilizând conceptul de fază (fig. 3.1). Autorii spun că „nu este întotdeauna posibil 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* (studiu 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 faze principale este întotdeauna de folos”.

Modelul este bazat pe concepția ca succesiune ierarhică de faze, logica predominantă fiind convergența. La originea fiecărui nou obiect tehnic există o problemă specifică la care trebuie concentrată atenția. Prima fază este *clarify the task* (clarificarea și planificarea sarcinilor). Piața, compania și economia sunt luate în calcul pentru a crea și selecta ideile de produse potrivite. Cerințele și constrângerile sunt apoi grupate într-o listă de cerințe. Prima fază constă în stabilirea caietului de sarcini, detaliind specificațiile tehnice și economice ce trebuie atinse. Rezultatul acestei faze este descrierea inițială a produsului exprimată sub forma unei liste de funcții și de caracteristici ce trebuie să fie îndeplinite de către produs, un ansamblu de constrângeri și eventual de obiective legate de cost și timp de lansare pe piață. În continuare, faza *conceptual design* (studiu conceptual) este văzută ca un proces iterativ, evolutiv și *top-down*, care în final conduce la o soluție de principiu sau la un concept pentru un produs. Are ca obiectiv de a determina un set de alternative, variante largi, generale (care sunt acceptate sau respinse pe baza unor criterii), se găsesc și se echilibrează eventualele puncte slabe la o problema de concepție, soluția de principiu, care satisface cerințele fundamentale ale produsului dorit. Pentru a realiza aceasta, problemele esențiale sunt abstractizate, sunt stabilite structurile de funcții, sunt gândite principiile de funcționare potrivite, este sintetizată o structură de lucru și, în final, conceptele soluției sunt evaluate prin criterii tehnice și economice. Este foarte importantă abstractizarea în cadrul acestei faze, astfel încât să rezulte soluția. Este foarte importantă definirea funcțiilor produsului, a soluțiilor alese, deoarece pe baza acestora se va contura forma, adică definirea

dimensiunilor sale fizice și a celor structurale. În faza de *embodiment design* (concepție constructivă) este dezvoltată o soluție fizică inițială (*specification of layout*), bazată pe soluția principală determinată în faza anterioară, și este elaborat un principiu de lucru în forma de (dispuneri/amplasări preliminare) *preliminary layouts*, care sunt respinse și/sau combinate pentru a produce soluția finală – amplasarea/dispunerea finală (*final layout*). Această soluție fizică inițială implică determinarea aranjării componentelor, formelor inițiale și alte caracteristici ale piesei (*part*).

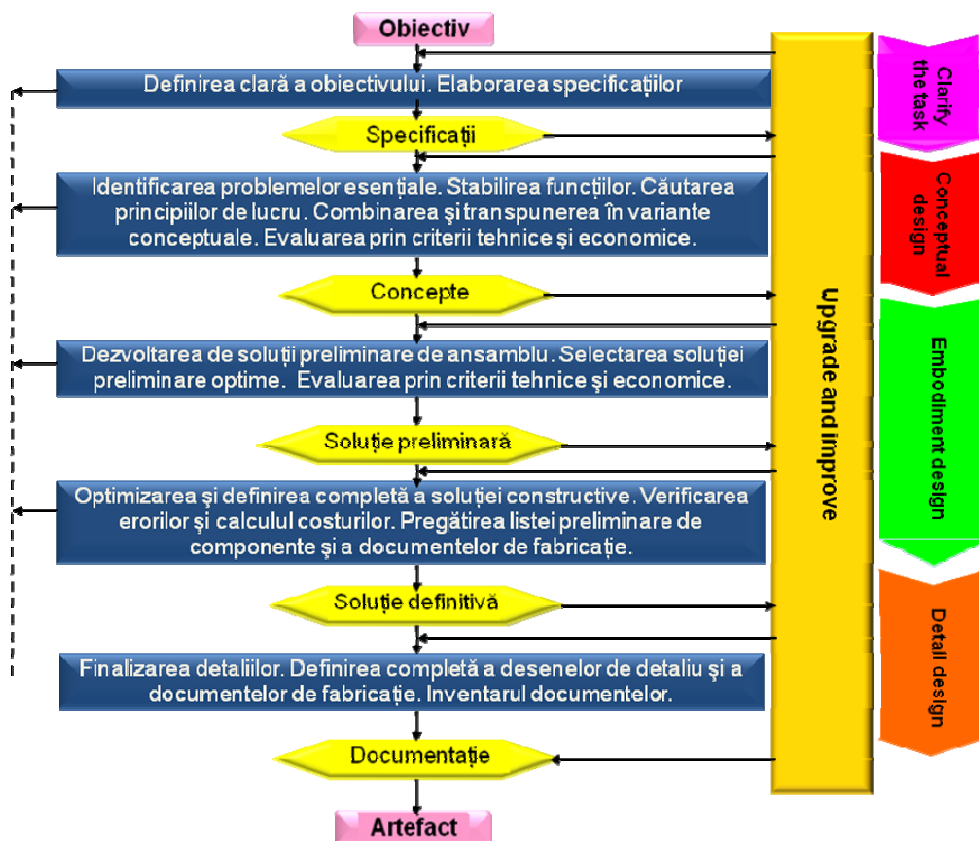


Fig. 3.1. Modelul sistematic (Pahl ș.a., 2007)

Conceptorul elaborează o descriere tehnică completă, cât și structura finală a produsului, în termeni de forme și dimensiuni. Adesea, pentru alegerea celei mai adaptate soluții, sunt evaluate în funcție de anumite criterii economice și tehnice, mai multe soluții posibile. Tot în aceasta fază, sarcinile de analiză și de sinteză se succed și se completează înaintea ajungerii la o soluție optimă.

În timpul fazei de concepție constructivă, în cele din urmă, conceptorii trebuie să determine aranjarea generală și compatibilitatea spațială, concepția preliminară a formei, materialele și forma componentelor, procesele de producție și să ofere soluții pentru orice funcții auxiliare. În timpul acestora, considerațiile tehnice și economice sunt de o importanță majoră. Soluția conceptuală este dezvoltată cu ajutorul desenelor la scară revizuite critic și care fac subiectul unei

evaluări tehnice și economice.

Spre deosebire de studiul conceptual, concepția constructivă implică un număr mare de pași corectivi în care analiza și sinteza alternează constant și se completează reciproc. Aceasta explică de ce metode familiare, care subliniază căutarea de soluții și evaluarea, trebuie să fie completate cu metode care facilitează identificarea erorilor și optimizarea.

În ultima fază, *detailed design* (concepție detaliată) sunt elaborate toate documentele cu privire la producție, desenele CAD, lista pieselor, documentele pentru fabricație. În fiecare fază sunt repetați iterativ trei pași, și anume: identificarea cerințelor, elaborarea soluției, evaluarea soluției. Faza *detailed design* 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. Conceptorul definește complet și în detaliu fiecare component, specificând dimensiunile sale, caracteristicile fizice (materiale), schemele și planurile detaliat, 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.

Demersul sistematic are la bază formularea funcției generale a produsului ce urmează a fi conceput. Aceasta funcție, de nivelul cel mai ridicat, este apoi descompusă recursiv în funcții de nivel mai scăzut, care reprezintă structura funcției. Funcția este văzută ca și transformare de energie, material și informații. Fiecare dintre subfuncțiile produsului sunt urmate de generarea unor soluții, realizarea lor și sintetizarea soluțiilor conduce la componentele fizice, materiale, forme care definesc produsul. „Stabilirea unei structuri a funcției facilitează descoperirea de soluții, deoarece simplifică procesul de căutare generală a acestora și, de asemenea, deoarece pot fi elaborate separat soluții pentru subfuncții” (Pahl ș.a., 2007). Astfel, ideea de funcție este centrală în procesul de concepție, cei implicați trebuind să găsească mijloace prin care să răspundă la aceste funcții. Cunoașterea funcționalității, a funcțiilor, este de folos atunci când sunt necesare modificări ulterioare, comparații, investigarea motivelor unei probleme apărute în funcționare. În munca de concepție inginerii caută în permanență diverse moduri de realizare a funcțiilor, prin materializarea componentelor produsului. Subfuncțiile îndeplinite de componente dau, prin integrare, funcția generală a produsului.

Sistemele tehnice sunt caracterizate prin legăturile existente între fluxurile de materiale, energie și semnale dintre elementele de intrare și ieșire și funcția este văzută ca o legătură între intrările și ieșirile unui sistem, proces. Întâi este enunțată funcția generală, de ansamblu, care leagă intrările de ieșirile sistemului, în termeni neutri de soluție. În funcție de relațiile dintre elementele de intrare și ieșire, în materie de procese fizice necesare, număr de componente relativ mari, funcția globală rezultată poate fi, la rândul său, descompusă în funcții mai mult sau mai puțin complexe. O funcție de ansamblu, complexă poate fi divizată în subfuncții de complexitate mai mică, subfuncții ce facilitează căutarea de soluții la subfuncții. Rezultatele subfuncțiilor, combinate, ne dau o structură a funcțiilor care reprezintă funcția de ansamblu. Funcția devine astfel o formulare abstractă a sarcinii, independentă de orice soluție particulară.

În (Pahl ș.a., 2007) se face distincție între funcțiile principale și auxiliare. Funcțiile principale sunt acele subfuncții care servesc funcția principală în mod direct și funcțiile auxiliare sunt cele care contribuie la funcția principală indirect. Funcțiile auxiliare sunt identificate în faza de concepție constructivă și sunt determinate de

natura soluțiilor alese pentru a îndeplini funcțiile principale.

Realizarea unei structuri a funcției ajută la definirea clară a subsistemelor existente sau a celor care urmează să fie elaborate, astfel încât acestea să poată fi tratate separat. În condițiile în care subfuncțiile sunt realizate prin intermediul unor ansambluri existente, nu se mai efectuează în continuare subdivizarea subfuncției.

În concepția sistematică, problemele, sarcinile și funcțiile sunt împărțite în subprobleme, subactivități și subfuncții și sunt rezolvate individual. Odată ce soluțiile sunt disponibile pentru subprobleme, subactivități sau subfuncții, ele trebuie să fie combinate pentru a se ajunge la o soluție de ansamblu. Combinarea se realizează intuitiv, dar există și metode speciale pentru a se ajunge la astfel de sinteze mai direct. Principala problemă cu astfel de asocieri este asigurarea compatibilității fizice și geometrice dintre principiile de soluție care sunt combinate, evitarea interferențelor geometrice în sistemele mecanice.

În concepția sistematică se spune că domeniul soluției ar trebui să fie cât mai larg posibil și, având în vedere multitudinea de soluții care prin integrare și selectare realizează subfuncții ale produsului, cât și posibilitățile de descompunere ale funcției generale, numărul de concepte generate este mare. Din multitudinea de soluții trebuie alese doar acelea care sunt mai promițătoare, adică acelea care conduc la obținerea funcțiilor cu respectarea constrângerilor aferente impuse fiecăreia.

În concepția sistematică, referitor la etapa de selectare și evaluare, cuprinsă în mai multe din fazele dezvoltării produsului, se folosește o procedură de selecție care implică 2 etape, una de eliminare și una de preferință, urmate de o evaluare.

În principiu, după fiecare pas - chiar și după stabilirea structurilor funcției - singura soluție propusă trebuie să se urmărească, soluțiile nepotrivite fiind eliminate pe baza celor patru criterii aplicate în ordine (Pahl ș.a., 2007):

- să fie compatibile cu sarcina generală și una cu cealaltă (criteriul A);
- să îndeplinească cerințele de pe lista cerințelor (criteriul B);
- să fie realizabilă în ceea ce privește performanța (criteriul C);
- să fie încadrată în cheltuielile admise (criteriul D).

O preferință este justificată în cazul în care printre numărul foarte mare de soluții posibile există unele care:

- includ măsuri de siguranță, directe, sau introduc condiții favorabile ergonomice (Criteriul E);
- sunt preferate de către companie pentru că există, pot fi ușor dezvoltate cu cunoștințe obișnuite de know-how, materiale, proceduri și în condiții favorabile de brevete (Criteriul F).

Soluțiile promițătoare care rezultă din procedura de selecție trebuie, de obicei, să fie confirmate, fixate, stabilite înainte să se facă o evaluare finală, unde se folosesc criterii care sunt mai detaliate și, eventual, cuantificate. Această evaluare implică o evaluare tehnică, de siguranță, a cerințelor de mediu și economice.

Evaluarea se referă la analiza soluțiilor din punct de vedere al îndeplinirii unui anumit obiectiv. În timpul fazei conceptuale, nivelul constructiv și cantitatea de informații este redusă, este nevoie de metode care să permită o evaluare atât din punct de vedere calitativ cât și cantitativ a soluției alese spre evaluare. În (Pahl ș.a., 2007), pentru evaluare sunt prezentate două metode, și anume: analiza costuri-beneficii, bazată pe demersul sistemelor (*Systems Approach*) (Zangemeister, 1970) și tehnica de evaluare combinată, tehnic și economic, specificată în Guideline (VDI).

În (Wang, 1990) este modelată structura imprecisă a luării deciziilor în etapa de *conceptual design*, pe baza unui demers de ierarhizare în ordinea importanței și relații fuzzy. În primele faze ale procesului de concepție informațiile

sunt subiective sau incomplete pentru a face raționamente și, în aceste condiții, seturile de alternative sunt clasificate în sub-seturi diferite, de la cel mai bun la cel mai rău, fiind folosit costul estimat pentru realizarea fiecărui concept de concepție, iar pentru evaluarea alternativelor este folosită tehnica fuzzy. Specificațiile concepției nu sunt în totalitate cunoscute și evoluează în fazele de concepție detaliată, astfel unele alternative incomparabile pot rămâne până la colectarea datelor necesare.

3.3.2. Modelul lui French

În French (1985) este propusă ca definiție pentru studiul conceptual (*conceptual design*): „faza în care știința inginerescă, cunoștințe practice, metode de producție și aspecte comerciale trebuie corelate, și în care se iau cele mai importante decizii.”

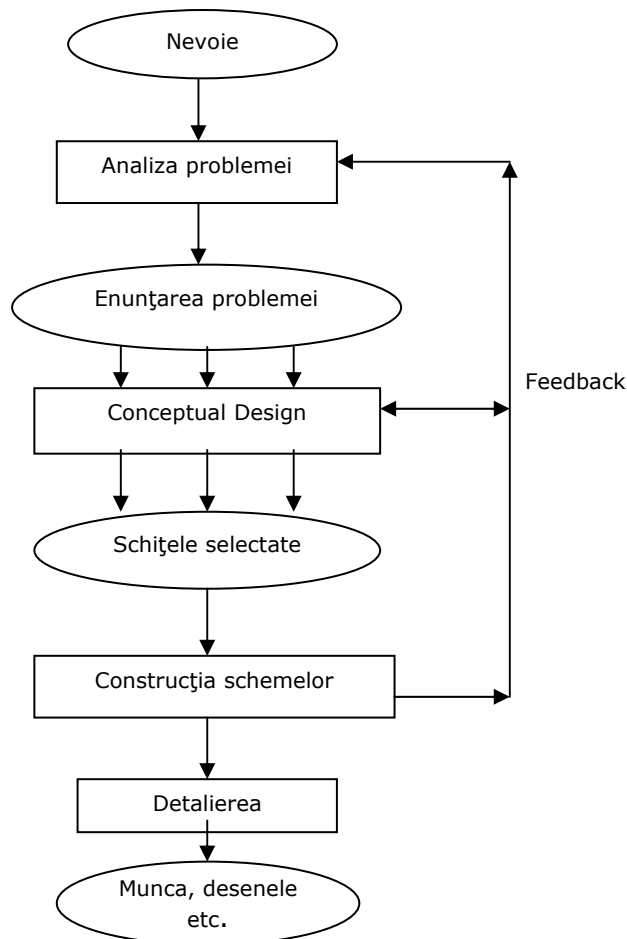


Fig. 3.2. Modelul lui French (1985)

3.3.3. Modelul lui Roozenburg și Eekels

Roozenburg și Eekels (1995) propun modelarea concepției ca iterație a unui ciclu elementar de concepție, reprezentat în figura 3.3.

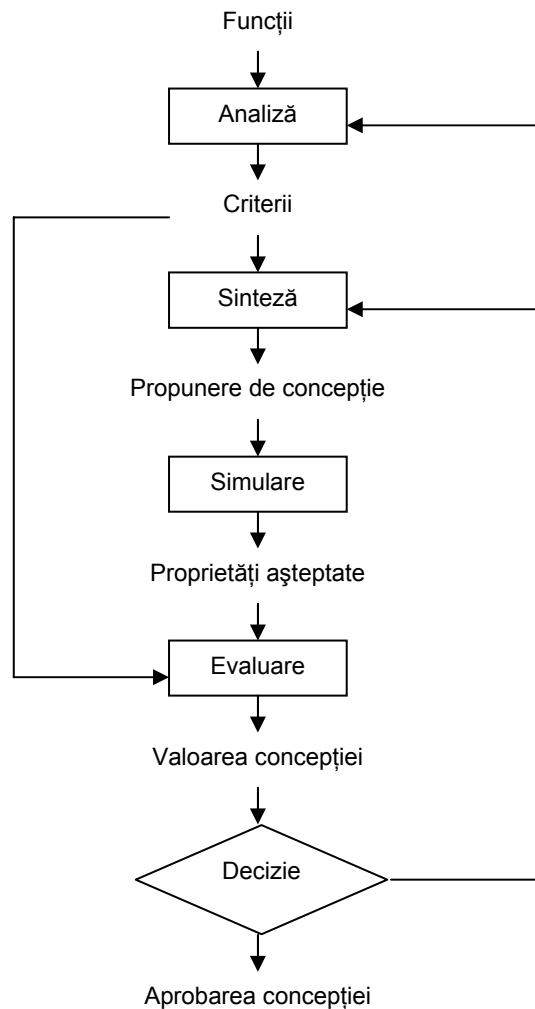


Fig. 3.3. Modelul lui Roozenburg și Eekels (1995)

În raport cu modelarea procesului în etape succesive, față de modelul propus de Pahl și Beitz, în structura iterativă imaginată de Roozenburg și Eekels, soluțiile de concepție și specificațiile evoluează concomitent. La un moment dat al procesului de concepție, un ansamblu de specificații determină o soluție de concepție, care la rândul său va contribui la definirea unui nou ansamblu de specificații (fig. 3.4).

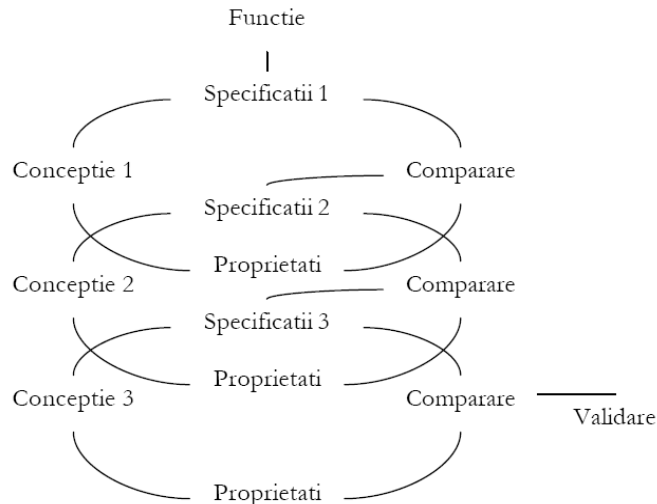


Fig. 3.4. Structura iterativă a procesului de concepție

3.3.4. Modelul lui March

Acesta este construit pornind de la trei moduri de inferență (PDI): producție (P), deducție (D), inducție (I). În prima fază, pe baza datelor și specificațiilor se produce o primă soluție de concepție. În cea de-a doua fază, pornind de la această propunere de soluție și de la cunoștințele disponibile, sunt deduse principalele performanțe pe care soluția le poate atinge. În faza a treia se evaluează, prin inducție, performanțele caracteristicilor soluției. Ciclul se reia prin revizuirea caracteristicilor, ca urmare a unei aprofundări a soluției sau a unei noi propuneri de soluție.

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 (*Computer Aided Design*).

3.3.5. Modelul lui Ulrich și Eppinger

Ulrich și Eppinger (2000) descriu procesul de concepție ca o succesiune de șase faze, în cadrul fiecărei faze membrii echipei de concepție desfășurând diverse activități. Modelul este ilustrat în figura 3.5.



Fig. 3.5. Cele șase faze ale procesului de concepție (Ulrich și Eppinger, 2000)

3.3.6. Modelul lui Ullman

Modelul procesului de concepție prezentat în figura 3.6 (Ullman, 2002) consideră derularea succesivă a cinci faze, fiecare din ele implicând realizarea unor sarcini generice, iar succesul derulării unei faze este aprobată de o revizuire a concepției, care notează finalizarea ei.

Revizuirile corespund, fiecare, unui nivel de definire a produsului sau de exprimare a problemei. Astfel, unui plan de proiect, apoi specificațiilor îi urmează generarea unui concept, o definire a produsului (desene, documente), procedeul de fabricație și, în final, documentația relativă la fazele de viață ale produsului.

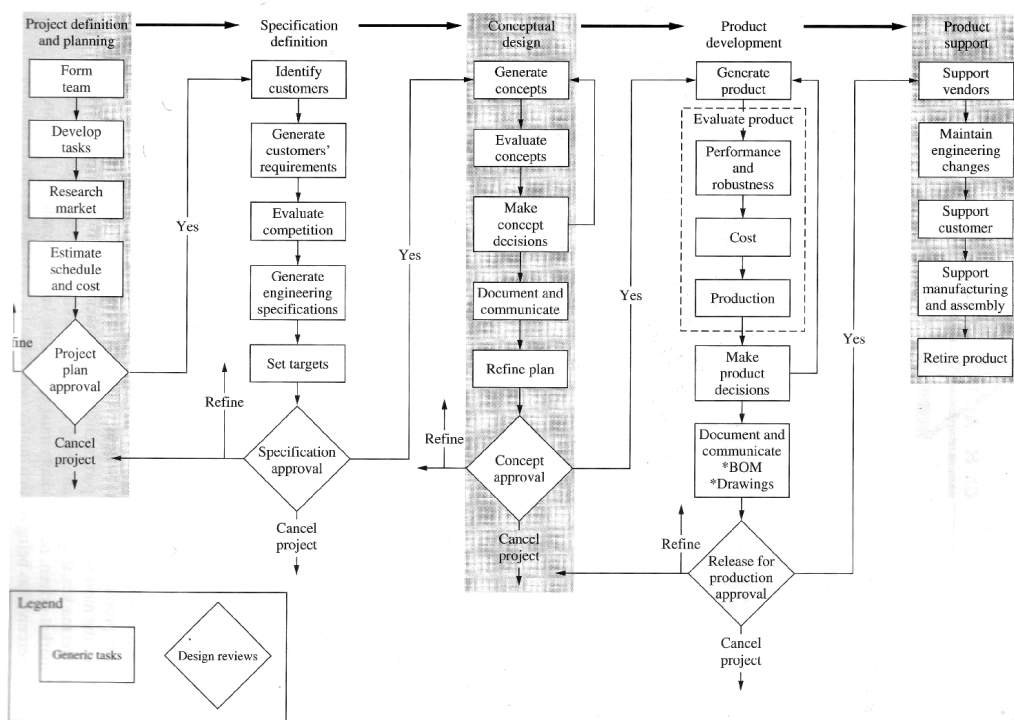


Fig. 3.6. Modelul procesului de concepție (Ullman, 2002)

3.3.7. Modelul lui Pugh

În (Pugh, 1990) 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 (fig. 3.7) este înconjurat de specificațiile de concepție ale produsului, care controlează derularea activităților.

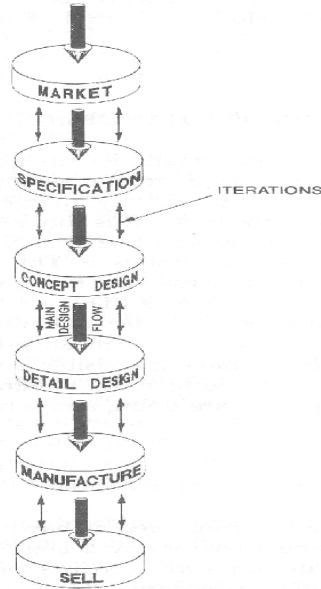


Fig. 3.7. Nucleul procesului de concepție (Pugh, 1990)

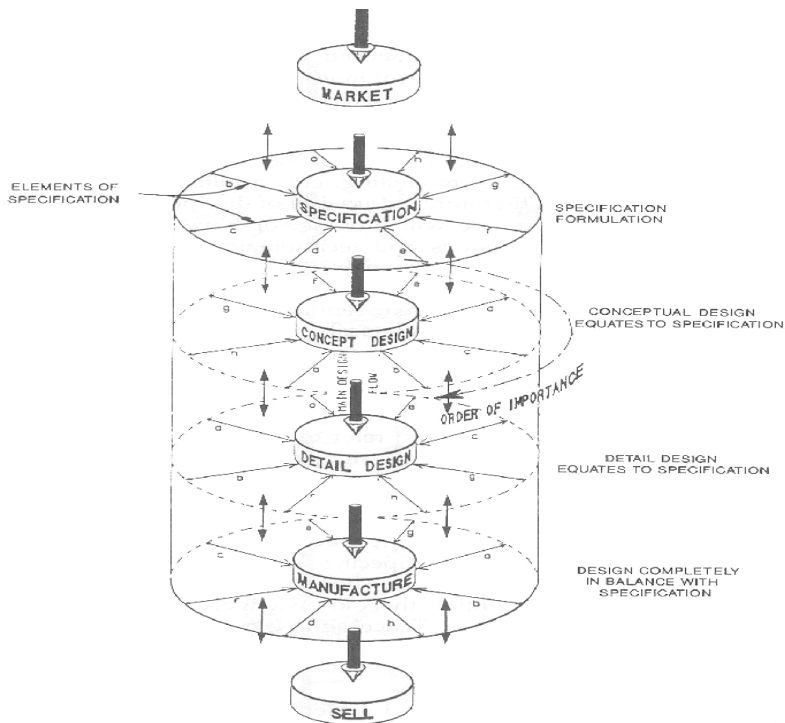


Fig. 3.8. Nucleul central înconjurat de specificații (Pugh,1990)

În figura 3.8 se observă evoluția simultană a nucleului central și a specificațiilor care îl înconjoară, ca două domenii distincte.

3.4. Modele bazate pe noțiunea de activitate

3.4.1. Modelul EVAD

Plecând de la studiile din literatura de specialitate privind validitatea metodelor prescriptive de concepție existente, acestea fiind în mare parte bazate pe experiența proprie a autorilor, și nu pe observarea activităților desfășurate de conceptori, în (Ahmed și Hansen, 2002) se spune 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" și, astfel, autorii puntează necesitatea observării modului în care conectorii realizează luarea deciziilor în procesul de concepție.

Un model de luare a deciziilor (fig. 3.9), în care noțiunea de activitate este centrală, este modelul numit "nod de decizie" propus de (Hansen și Andreasen, 2000). Acesta este un model de corelare a activităților de luare a deciziilor (*decision making activities*), constând în 6 sub-activități: specificarea, evaluarea alternativă a soluțiilor, validarea unei soluții, "navigarea" în spațiul soluției / activității, unificarea deciziei curente într-un tot unitar și decizia. S-a realizat un studiu prin care s-au identificat care sunt strategiile urmate de conectori și dacă în cadrul acestora sunt urmărite cele șase activități.

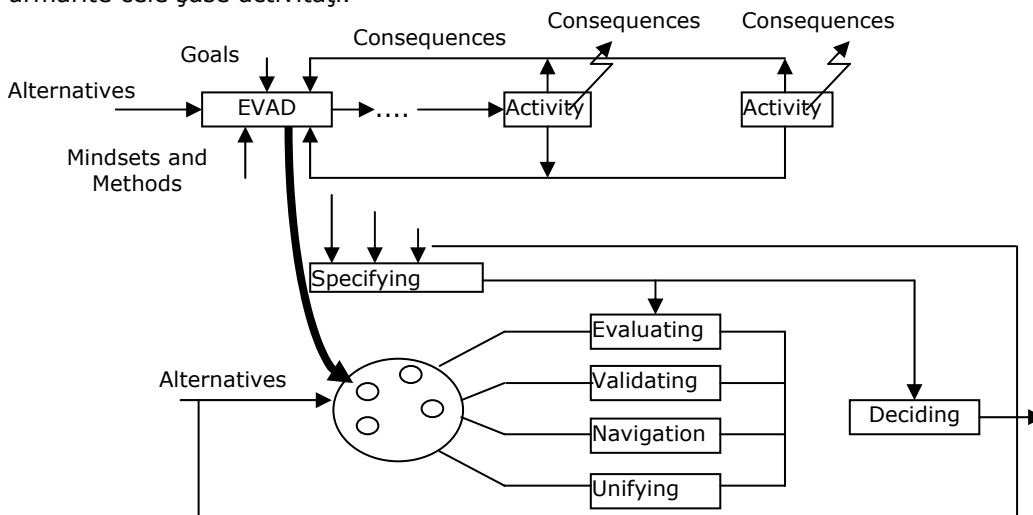


Fig. 3.9. Modelul de luare a deciziilor EVAD (Ahmed și Hansen, 2002)

3.4.2. Modelul lui Purcell

În lucrarea (Purcell ș.a., 1994), autorii propun o clasificare a micro-strategiilor urmărite de un conector de-a lungul unei experiențe de concepție.

Aceste entități au fost calificate drept activități (Lonchamp, 2004). Fiecare dintre micro-strategii se poate aplica unui nivel de abstractizare dat (sistem, subsistem sau detaliu). Există 20 de tipuri de micro-strategii, clasate în patru categorii (Purcell ș.a., 1994):

- Analizarea problemei;
- Propunerea soluției;
- Analizarea soluției;
- Strategii explicite.

3.4.3. Modelul lui Girod

Girod ș.a (2000) au studiat dialogurilor desfășurate între membrii echipelor de concepție (compuse din 3 până la 5 persoane) și transcrierea acestora. Bazându-se pe literatura de specialitate, autorii au condus mai multe iterații ale unui demers de propunere/validare a unui model. Această muncă a condus la identificarea a 12 categorii de activități. Autorii definesc subcategoriile pentru 6 dintre ele, puse între paranteze în figura 3.10. Analiza transcrierilor studiate conduce spre concluzii legate de relația între timpul petrecut sub conducerea diferitelor activități și alți factori care nu sunt detaliați aici.

Discuter de l'approche du processus (Générale ou spécifique)
Identifier les critères
Définir les critères
Pondérer les critères (Formellement ou informellement)
Clarifier des principes de fonctionnement
Clarifier l'environnement du produit (Identifier ou supposer)
Délibérer de sous-problèmes ¹³ (Discuter de, ou accepter des hypothèses à propos de leurs solutions)
Obtenir des informations extérieures
Avancer une preuve, une justification (Sur un performance restreinte, ou globale d'un concept, ou sur la pondération des critères)
Déterminer ou évaluer des performances (Restreintes ou globales, formellement ou informellement)
Traduire l'intuition en classement ¹⁴
Contrôler le processus

Fig. 3.10. Categoriile de activități (Girod ș.a., 2000)

3.4.4. Modelul M3M

Echipele laboratorului M3M (Micaelli, 2002) propune o tipologie a actelor de concepție bazată pe studiul unor experiențe de concepție implicând mai mulți participanți. Analiza se efectuează pe studiul dialogurilor verbale, înregistrate și filmate. Autorii definesc un act de concepție ca o interacțiune a unui conceptor în sau spre un grup de concepție. Tipologia propusă consideră deci că fiecare act de concepție este constituit dintr-o acțiune care conduce către un subiect, eventual precizat de un sub-subiect. Utilizând această metodologie este permisă identificarea mecanismelor și structurilor de acțiune. Această tipologie este ilustrată în figura 3.11.

Code	Action	Type	Sujet	Sous sujets
P1	Production (P) (proposition, affirmation, négation)	Information	Projet (Pj) (global, ressource, temps, etc.)	Ressources
P2		Solution		Décisions
P3 [+/-]		Évaluation		Environnement
P4		Organisation		
P5 [+/-]		(Dés-) Accord		
P6		Décision		
D1	Demande (D)	Information	Produit (Pd)	Structurel ²
D2		Solution ¹		Fonctionnel
D3		Évaluation		Fabrication
D4		Organisation		
D5		Accord		
D6		Décision		

¹ et / ou proposition de problème

² global, sous-ensembles, composants, etc.

Fig. 3.11. Tipologia actelor de concepție (Micaelli, 2002)

3.5. Modele bazate pe noțiunea de domeniu

3.5.1. Modelul FBS

Scopul concepției este de a transforma cerințele, numite în termeni generali funcții, care conțin așteptările, scopurile propuse pentru artefactul care urmează a fi realizat în procesul de concepție. Rezultatul este o descriere care poate fi făcută sub diferite forme și care trebuie să fie suficient de completă pentru a putea mijloci fabricarea, realizarea fizică a artefactului (Gero, 2006).

Multe dintre sistemele de inteligență artificială bazate pe sisteme agent au dezvoltat numeroase demersuri în domeniul cercetării procesului de concepție. Unele dintre ele sunt bazate pe modele și teorii tradiționale, care presupun existența unor date bine cunoscute, bine definite și care nu se modifică. Nu toate au avut însă succes în sprijinirea activității de concepție, deoarece nu țin seama de faptul că nu toate cerințele sunt cunoscute la începutul formulării unei sarcini, faza de studiu conceptual constând în a afla de ce este nevoie și ce modificări apar în timpul procesului. Pentru a dezvolta mijloace de concepție asistată de calculator este nevoie de o modelare a procesului de concepție, în care cunoștințele nu sunt codate a priori și care permit schimbări în mediul în care operează agentul.

Bazele modelului FBS (fig. 3.12) sunt formate din trei clase de variabile: funcție, comportament, structură.

Funcția (*Function F*) descrie, într-o manieră abstractă, finalitatea unui obiect (proces, produs sau resurse) - pentru ce este.

Comportamentul (*Behavior B*) descrie atributele care sunt derivate sau așteptate a fi derivate din structura unui obiect. Poate cuprinde ansamblul legilor și regulilor, o succesiune secvențială a stărilor ce reprezintă evoluția unei structuri în urma unei provocări sau în cursul unui proces dat, ce face obiectul.

Structura (*Structure S*) permite specificarea elementelor ce compun obiectul

modelat și relațiile lor, ce este obiectul.

Un conceptor construiește conexiunile dintre funcțiile, comportamentul și structura unui obiect. În mod specific, conceptorul atribuie funcția comportamentului și derivă comportamentul din structură. Nu este stabilită o legătură directă între comportament și structură. Cadru FBS reprezintă concepția printr-un set de procese care leagă funcția, comportamentul și structura. Cele 8 procese descrise sunt fundamentale pentru toate procesele de concepție.

Scopul activității de concepție este de a transforma funcția F (unde F este un ansamblu de funcții) într-o descriere a concepției D , astfel încât artefactul care este descris să fie capabil de producerea acestor funcții.

$F \rightarrow D$ unde simbolul \rightarrow semnifică o transformare, dar nu există o transformare care să producă acest rezultat.

O descriere a concepției reprezintă elementele artefactului și relațiile dintre ele, aceasta fiind numită structura S . Sistemele de schițare cu ajutorul calculatorului reprezintă mijloace prin care structura este transformată într-o descriere a concepției $S \rightarrow D$.

Un alt model de concepție este $F \rightarrow S$. Aici există ocazional o transformare în forma unei aplicații directe între funcție și structură, adesea numită catalog *lookup*. Aceasta apare la nivel de element a artefactului și nu este considerat concepție. În general, nu există transformare directă între funcție și structură.

Funcția a fost definită de Bobrow citat în (Gero 2006) ca "relația dintre scopul unui utilizator uman și comportarea unui sistem". În concepție, comportamentul poate fi văzut în două moduri, și anume:

- comportamentul structurii (B_s este un ansamblu), care este derivabil direct din structură $S \rightarrow B_s$ și
- transformarea funcției către comportamente așteptate B_e (B_e este un ansamblu); comportamentul așteptat oferă sintaxa prin care semantica reprezentată de funcție poate fi realizată $F \rightarrow B_e$.

Acest proces este procesul de specificare sau formulare în concepție.

Comportarea structurii anticipate poate fi comparată cu comportarea așteptată pentru a determina dacă structura sintetizată este capabilă să producă funcțiile. $B_e \leftrightarrow B_s$ unde \leftrightarrow este o comparație. În concepție, acest proces de comparare este numit evaluare.

Un alt model de concepție este $F \rightarrow B_e$, $B_e \rightarrow S(B_s)$. Aici, funcția este transformată în comportamentul așteptat. Acest comportament așteptat este utilizat în selectarea și combinarea structurii, bazat pe cunoașterea comportamentelor care au produs acea structură. Acest proces este de sinteză.

Când structurile sunt sintetizate, ele produc propriile comportamente, care pot fi un super-ansamblu de comportamente așteptate utile. Aceasta poate schimba comportamentele așteptate și, prin ele, funcțiile pentru care au fost concepute, conducând la o reformulare. Reformularea poate apărea, de asemenea, când evaluarea comparării dintre comportamentul structurii și comportamentul așteptat nu este satisfăcătoare și nu poate deveni satisfăcătoare folosind structura. Aceasta conduce la o schimbare în comportamentul așteptat.

Formularea transformă cerințele concepției (*design requirements*) exprimate în funcții F , în comportamente (B_e) care permit aceste funcții.

Sinteza transformă comportamentul așteptat (B_e) într-o structură de soluție (S) care oferă acest comportament.

Analiza derivă comportamentul actual (B_s) din structura sintetizată.

Evaluarea compară comportamentul derivat din structura B_s cu comportamentul așteptat, pentru a pregăti decizia dacă va fi acceptată soluția.

Documentarea produce descrierea concepției pentru construirea sau fabricarea produsului.

Reformularea:

- de tip 1, implică modificări în cadrul concepției, în termeni de variabile structură sau domenii ale valorilor acestora, dacă comportamentul actual este evaluat a fi nesatisfăcător;
- de tip 2, apelează modificări în cadrul concepției, în termeni de variabile comportament sau domenii ale acestor variabile, dacă comportamentul actual este evaluat a fi nesatisfăcător;
- de tip 3, apelează modificări în cadrul concepției, în termeni de variabile funcții sau domenii ale acestor variabile, dacă comportamentul actual este evaluat a fi nesatisfăcător.

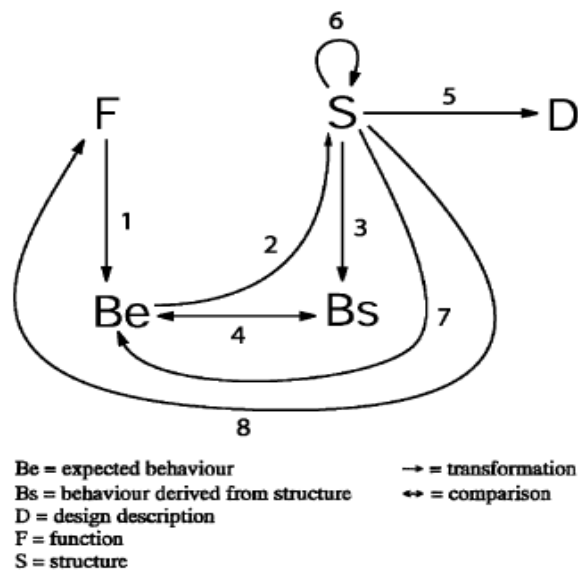


Fig. 3.12. Modelul FBS (Gero, 2006)

Este propusă o extindere a modelului prezentat mai sus, prin luarea în considerare a trei medii în care concepătorii evoluează și își folosesc memoria constructivă (fig. 3.13):

- mediul extern, în care reprezentările sunt în afara concepătorului;
- mediul așteptat, în care se vor produce acțiunile imaginate;
- mediul interpretat, care este construit în interiorul concepătorului prin experiențe senzoriale, concepte și este partea interpretată a lumii exterioare.

Cele 8 procese fundamentale se regăsesc în această modelare dinamică a mediilor și ca urmare a acestei modelări numărul lor a crescut la 20. Procesul de concepție este un proces dinamic, prin interacțiunea dintre cele trei medii.

În (Hu ș.a., 2000) se spune că modelul SBF (*Structure-Behaviour-Function*), este un demers pentru conceperea dispozitivelor care reprezintă explicit funcțiile obiectului (problema), structura obiectului (soluția) și comportamentele cauzale interne ale obiectului. Funcțiile definesc "ce face un obiect", comportamentul "cum face el ce-urile", iar structura "ce este obiectul". Modelul SBF oferă o soluție puternică pentru problemele de adaptare și pentru realizarea *case based* și a concepției variaționale, în care cazurile vechi de concepție sunt adaptate pentru a direcționa către noi schimbări. KRITIK este un sistem care utilizează această schemă de reprezentare funcțională numită *Environmentally-Bound Structure-Behaviour-Function (EBSBF)* pentru a reprezenta și organiza cunoștințele funcționării unui obiect, incluzând rolul interacțiunilor din mediu.

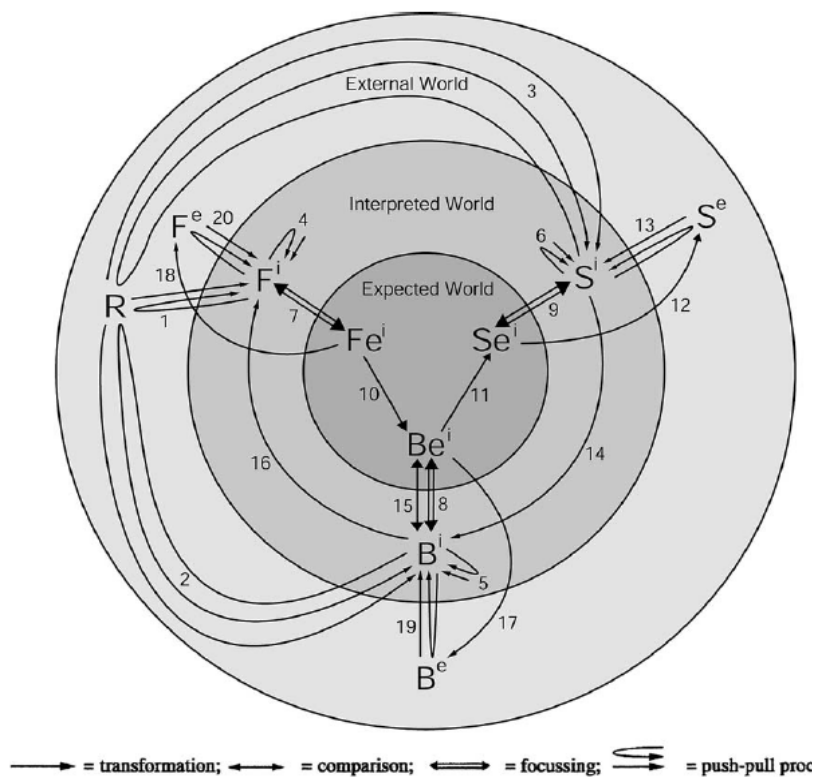


Fig. 3.13. Cadrul FBS (Gero, 2006)

3.5.2. Modele raționale

Concepția rațională (*Design Rationale DR*) își are originea în dezvoltarea de către Kunz și Rittel a *Issue Based Information Systems (IBIS)*, în 1970. De atunci, au fost propuse mai multe variante ale *IBIS* (**).

Horner și Atwood afirmă că "principalul scop al *DR* este de a sprijini conceptorii, 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). DR este explicația de ce un artefact sau o parte din el este concepută în felul în care este. DR include toate cunoștințele de bază, ca: deliberarea, raționamentul, *trade off* și procesul de luare a deciziei în procesul de concepție a unui artefact - informație care poate fi valorificată, chiar critică celor care au legătură cu artefactul. Aceste vederi sunt compatibile în tot spectrul disciplinelor de concepție ingineresti.

O vedere generală a integrării unui sistem DR cu alte sisteme este prezentată în figura 3.14 (Hu ș.a., 2000).

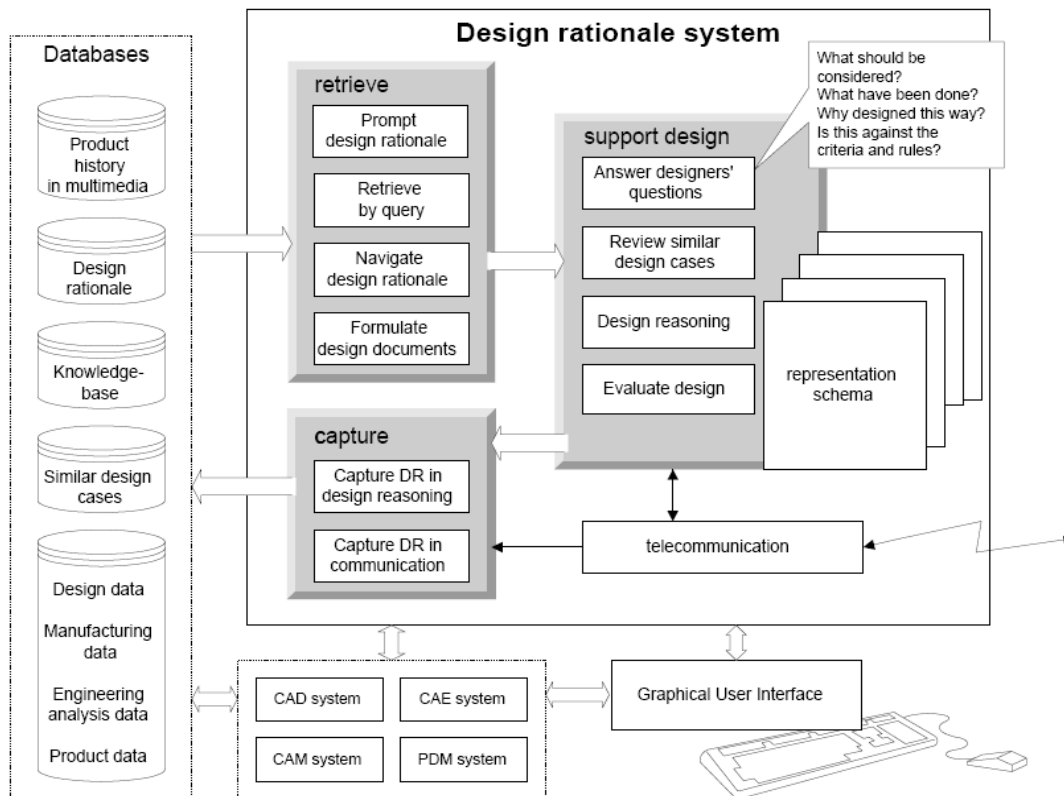


Fig. 3.14. Arhitectura generală a unui sistem DR (Hu ș.a., 2000)

Sesizarea elementelor implicate în procesul de concepție, cât și a legăturilor care le unesc, constituie un model al logicii urmărite în timpul derulării procesului. Acest model poate fi salvat într-o bază de date și constituie astfel materia primă pentru un mijloc destinat să captureze și să restituie ideal logica de concepție (Regli ș.a., 2000).

Issue-Based Information System (IBIS) este un sistem de informare care caută să înregistreze în direct istoricul procesului de concepție, bazându-se pe argumentarea urmărită (Regli ș.a., 2000). Pentru a realiza acest lucru, modelul

propune descrierea elementelor implicate în argumentare, prin trei tipuri de obiecte: *issues*, soluții (poziții) și argumente care susțin sau se opun acestor poziții (fig. 3.15).

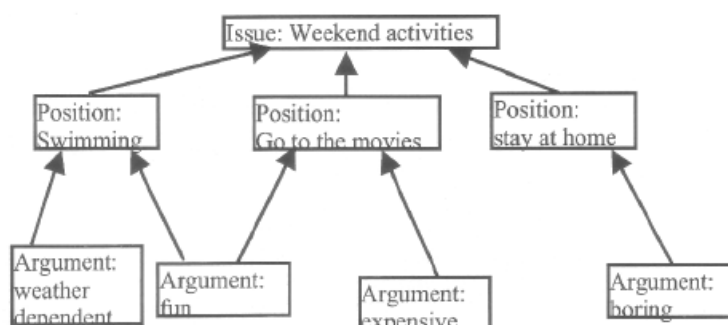


Fig. 3.15. Un exemplu IBIS (Regli ș.a., 2000)

Procedural Hierarchy of Issues (PHI) este o evoluție a *IBIS*. Pozițiile sunt numite în *PHI* ca răspunsuri, iar *issues* ca poziții care pot fi descrise ierarhic prin descompunere în sub-*issues* și sub-răspunsuri.

Design Rationale Language (DRL) este destinat modelării a posteriori a ansamblului de obiecte implicate în raționamentul unuia sau mai multor actori implicați în procesul de concepție.

Pentru a realiza aceasta sunt propuse șase categorii de obiecte, pentru a descrie problemele, scopurile urmărite, alternativele propuse, întrebările, cerințele (afirmațiile, revendicările) și procedurile. Exceptând alternativele și întrebările, obiectele pot fi ierarhizate. Anumite relații între mai multe obiecte sunt identificate și codificate într-o aceeași categorie sau nu. O vedere globală a acestor activități este redată în figura 3.16.

3.5.3. Modele din Europa de Nord

Numeroase publicații provenite din Europa de Nord tratează un model al concepției bazat pe studiile făcute de Hubka și Eder (1992). Acțiunea de a concepe este văzută pentru conceptori ca o acțiune asupra unor atribute pe care le manipulează (dimensiuni, specificații) și alte atribute care le influențează deciziile și activitățile ca, de exemplu, performanțele.

În literatură există o clasificare a acestor atribute. Astfel, în (Hubka și Eder, 1988), (Mortensen și Andreasen, 1999) sunt notate ca și atribute manipulate de conceptori: caracteristicile, proprietățile și calitățile.

Caracteristicile desemnează parametri fizici intrinseci ai produsului, sunt caracteristici intrinseci ale produsului, pe care conceptorii le determină direct. Hubka consideră cinci clase de caracteristici: structură, formă dimensiune, starea suprafeței și materialul.

Proprietățile sunt atributele care descriu comportamentele produsului conceput. Acestea pot fi intrinseci sau de natură rațională. Primele se referă la interacțiunea caracteristicilor cu mediul în care trebuie să existe (viteza maximă a unui autovehicul depinde de carburant, drum) pe când cele din a doua categorie sunt datorate interacțiunii dintre caracteristici și fazele ciclului de viață (costul

produsului depinde de interacțiunea dintre caracteristici și procedeele de fabricație alese pentru el). După (Weber ș.a., 2002), concepția poate fi văzută ca fiind "controlată de proprietăți", în sensul că obiectivul concepetorilor este de a determina caracteristicile produsului care permit redarea proprietăților dorite.

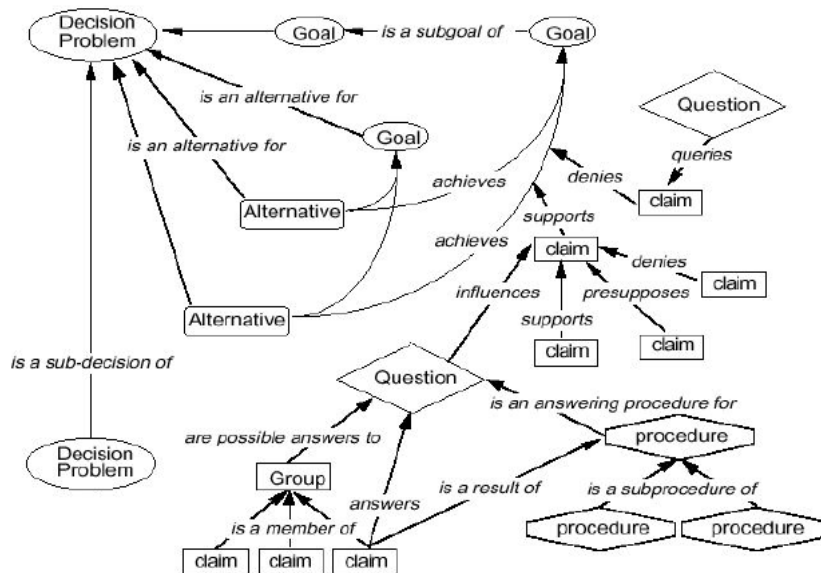


Fig. 3.16. Modelul DRL (Hu ș.a., 2000)

Calitățile desemnează aprecierea proprietăților unui produs de către cei implicați în ciclul său de viață. În acest sens, calitățile reprezintă măsura satisfacerii nevoii.

În (Andreasen, 1992) se consideră că sinteza unei mașini constă în stabilirea succesivă a patru sisteme corespondente la patru domenii de lucru ale concepetorului (fig. 3.17).

Aceste sisteme reprezintă diferite aspecte ale mașinii:

- sistemul procedee, descrie transformarea de materie, energie și informație, realizat de mașină;
- sistemul funcții, descrie structura funcțiilor adoptate de mașină pentru realizarea acestor transformări; sistemul organe, descrie structura organelor alese pentru realizarea acestor funcții; sistemul componente (sau sistemul de asamblare, construcție) descrie componentele sau grupul de componente care constituie organele. De altfel, este menționat că fiecare dintre aceste domenii considerate sunt cel puțin bidimensionale și că evoluează după două axe, una de nivel de abstractizare și cealaltă de nivel de detaliere.

Hansen și Andreasen (2000) propun o mai bună înțelegere a naturii unui concept, distingând două laturi ale acestuia: latura cu privire la produs, care relevă interacțiunea sa cu mediul înconjurător în contextul său de utilizare și ideea că produsul este în interacțiune cu contextul său de concepție (fig. 3.18).

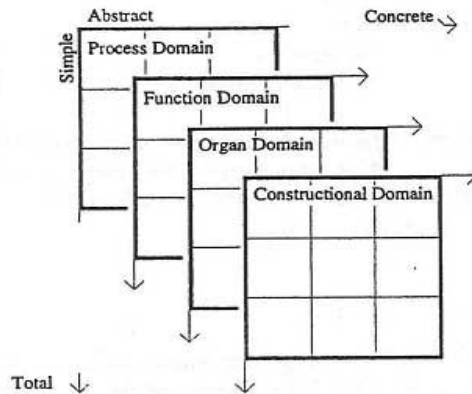


Fig. 3.17. Domeniile concepției (Andreasen, 1992)

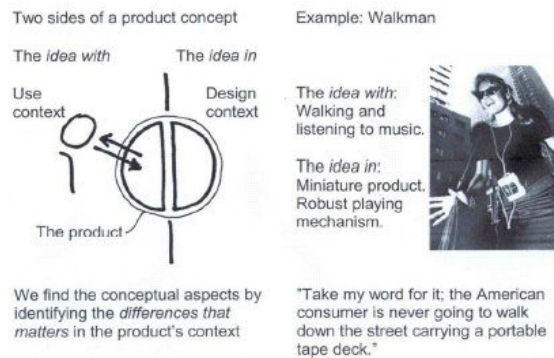


Fig. 3.18. Cele două aspecte ale unui produs (Hansen și Andreasen, 2000)

3.5.4. Modelul valoric

Lucrările referitoare la analiza valorii și analiza funcțională 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 termeni de principii fizice (gândirea funcției înaintea gândirii soluției). Numeroase publicații relative la analiza valorii tratează coexistența acestor două domenii: funcțional și fizic. Astfel, în (Perrin, 2001) se descrie produsul ca având două fețe distincte, și anume: latura funcției/valorii, care descrie aprecierea produsului în termeni de servicii redade și latura artefacte/costuri, care desemnează obiectul fizic realizat pentru a reda acel serviciu (fig. 3.19). Se remarcă paralele cu lucrările lui Hansen și Andreasen.

Yannou și Petiot (2002), făcând o analiză a acestor domenii a adăugat două domenii suplimentare (fig. 3.20).

Urmând acest model, în interiorul lumii reale, spațiul fizic explicit în care se definește produsul este distinct de spațiul nevoilor, subiectiv. În același timp, spațiul funcțional explicit se distinge de spațiul perceptiv, subiectiv, în care nevoile

participanților ciclului de viață sunt exprimate.

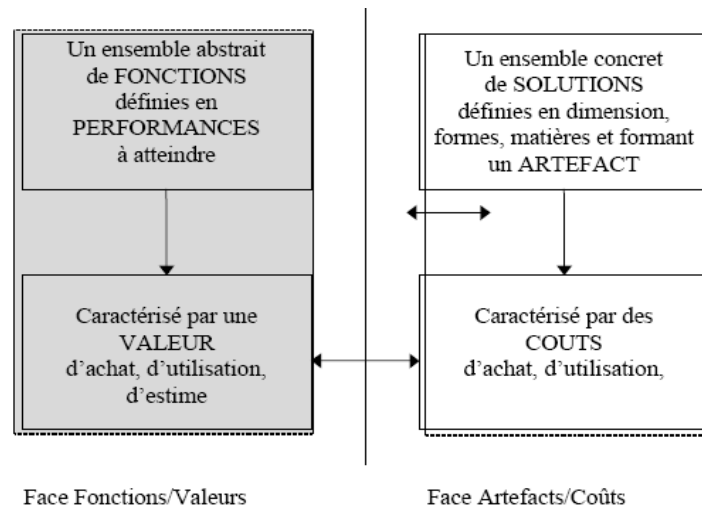


Fig. 3.19. Cele două fețe ale unui produs (Perrin, 2001)

Acest model, asociat metodei de concepție analiza valorii, propune utilizarea lumii funcționale pentru specificare, pentru exprimarea funcțională a nevoii (analiza funcțională externă), pentru descrierea soluțiilor (analiza funcțională internă) și pentru evaluare, comparând criteriile de apreciere, performanțele soluțiilor cu performanțele așteptate exprimate într-un caiet de sarcini funcțional.

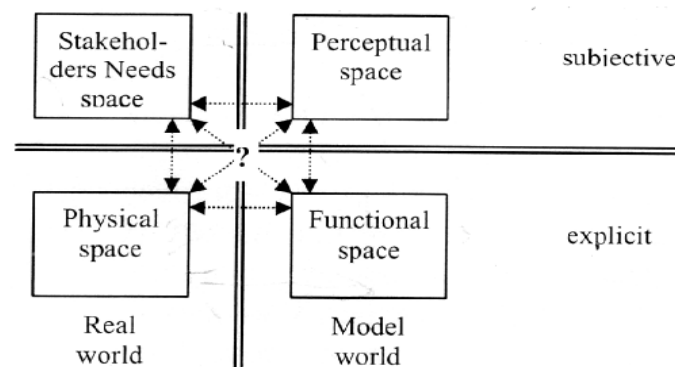


Fig. 3.20. Domeniile concepției (Yannou și Petiot, 2002)

3.5.5. Modelul axiomatic

În (Poveda, 2001), legat de modelul axiomatic, autorul spune că este un proces de transfer între diferite domenii. În acest demers, o concepție reușită este caracterizată de o transformare reușită a specificațiilor funcționale așteptate pentru

produs, în principii fizice sau tehnice, aceste principii trebuind, la rândul lor, să poată fi transpuse pentru a putea fi validate în manieră acceptabilă în domeniul fabricației. Acest demers se bazează pe un ansamblu de reguli formalizate, care permit "o concepție bună".

Dezvoltarea tipică a proiectelor pentru noi produse urmează mai multe cicluri de concepție, construcție, testare, reconcepție, construcție, testare. Urmând un astfel de demers, deciziile luate în faza de concepție sunt bazate pe experiența și datele empirice pe care le au inginerii conceptori, iar deciziile trebuie să se realizeze într-un timp destul de scurt. Problema care apare este că în continuare se va pierde o cantitate mare de timp pentru a descoperi greșelile și deciziile mai puțin bune, care au fost luate în timpul fazei inițiale de concepție. Existând decizii mai puțin adecvate și greșeli, acestea trebuie rezolvate și, astfel, rezultă o creștere exponențială a timpului și costului alocat în aceste condiții, decât dacă s-ar fi ales cele mai bune și adecvate soluții de la început. Timpul alocat unor astfel de proiecte este mare, la fel și suma de bani alocată, încât prin folosirea unui astfel de demers "concepție, construcție, testare, reconcepție, construcție, testare" (*design-build-test-redesign-build-test*) se poate să nu se respecte termenele de punere pe piață sau costul maxim impus unui produs.

În (Suh, 1990) 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 este o metodologie de lucru formală (formal = formulat în termeni preciși, de analiză) a cărei intenție este de a sprijini utilizatorii în conceperea de manieră rațională, conștientă și sistematică. Nu este un mijloc prin care să se găsească soluții pentru problemele de concepție, ci este folosită pentru a realiza structura funcțională a modelului produsului. În (Suh, 2001) se spune că AD tratează principii și metodologii, mai degrabă decât algoritmi sau mijloace (*tools*). Bazat pe cele două axiome, derivă teoreme și corolarii și astfel se dezvoltă metodologii bazate pe analiza funcțională și minimizarea informației, care conduce la o concepție robustă (*Robust Design*). Această teorie oferă instrumente și criterii conceptoriilor, care trebuie să aleagă între soluții propuse la același nivel de descompunere în ierarhie, fiind bazată pe două axiome care formează o bază pentru luarea deciziilor corecte, prin (Suh 2001):

- selectarea celei mai bune concepții;
- o concepție robustă, care, având specificate cerințele funcționale FRs și limitele lor, să permită pentru parametrii de concepție DPs și variabilele de proces PVs, toleranțe cât mai largi.

În AD conceptorii trebuie să decidă ce doresc să obțină funcțional înainte de a hotărî cum anume să materializeze cerințele funcționale, astfel FRs sunt definite înainte de DPs. FRs sunt definite în termeni neutri de soluție.

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.

Cercetările privind concepția axiomatică au început în anul 1977, fiind inițiate de profesorul Nam P. Suh, la MIT (Massachusetts Institute of Technology), în anii următori demersul fiind aplicat în domeniul fabricației. Ceea ce caracterizează concepția axiomatică este generalitatea ei, posibilitatea de a fi aplicată în toate domeniile de concepție, regulile și axiomele caracteristice fiind aceleași și trebuind respectate întocmai pentru a obține o concepție cât mai bună.

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

3.5.5.1 Noțiunea de domeniu

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 de fapt elementul de bază în concepția axiomatică. Astfel, au fost create patru domenii: domeniul client, domeniul funcțional, domeniul fizic și domeniul proces (fig. 3.21).

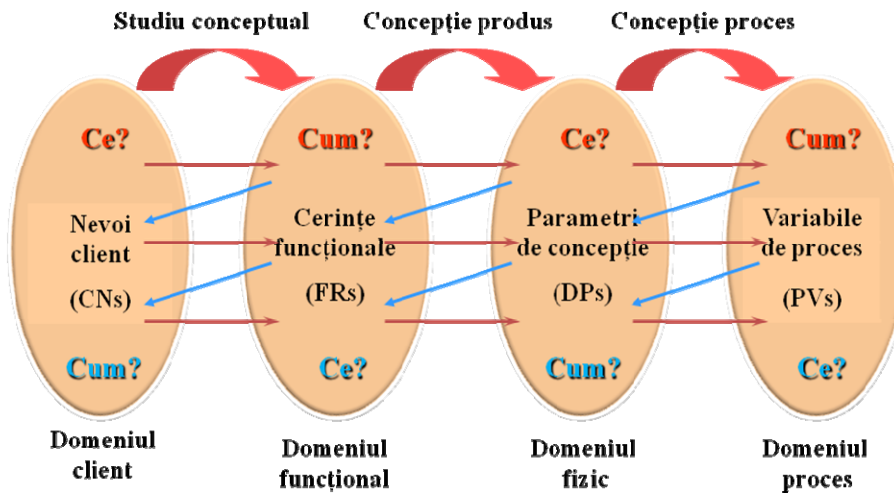


Fig. 3.21. Modelul axiomatic, după (Suh, 1990)

Domeniul din stânga, relativ la cel din dreapta, reprezintă „ce” dorim să obținem, în timp ce domeniile din dreapta reprezintă soluțiile de concepție la „cum” ne propunem să satisfacem cerințele din domeniul din stânga. Toate procesele de concepție pot fi reprezentate folosind cele patru domenii, permițând astfel generalizarea procesului de concepție. Obiectivele pot fi diferite, dar mersul este același (Suh, 1990).

Definițiile pentru cerințe funcționale, constrângeri, parametri de concepție și variabile de proces sunt (Suh, 1990):

- cerințele funcționale (*Functional Requirements* FRs) sunt setul minim de cerințe independente pe care concepția trebuie să le satisfacă și care caracterizează complet cerințele funcționale ale produsului (sistem,

organizație etc.) în domeniul funcțional. Prin definiție, FRs sunt independente unele de altele în momentul stabilirii lor;

- constrângerile reprezintă limitele acceptabile ale concepției și diferă de FRs prin aceea că nu trebuie să fie independente. Descrierea scopurilor concepției ține seama de constrângeri. Constrângerile de intrare sunt cuprinse în specificațiile concepției, iar constrângerile sistemului sunt impuse de sistemul în care soluția de concepție va funcționa;
- parametrii de concepție (*Design Parameters* DPs) sunt variabilele în domeniul fizic, care caracterizează concepția și care satisfac cerințele funcționale specificate în domeniul funcțional;
- variabilele de proces (*Process Variables* PVs) sunt variabilele în domeniul proces care caracterizează procesul și care generează parametrii de concepție DPs.

3.5.5.2 Ierarhii și zig-zagging

Procesul de concepție pornește de la un nivel de abstractizare ridicat și, treptat, de la acest nivel, are loc o descompunere pe niveluri și subniveluri. Descompunerea aceasta este realizată în domeniile funcțional, fizic și proces, obținându-se o ierarhie a FRs, DPs și PVs. În domeniul client informația constituie o excepție și nu poate fi structurată riguros (Tate, 1999).

Deciziile luate la niveluri mai ridicate afectează problema la nivelurile inferioare. La un nivel al descompunerii există un set de cerințe funcționale. Pentru ca aceste cerințe să poată fi descompuse, în continuare trebuie aleși parametrii de concepție corespunzători.

Dacă o cerință funcțională este satisfăcută de un parametru de concepție, atunci se trece la descompunerea acelei cerințe funcționale, la rândul ei, și procesul poate fi repetat. Se procedează la fel și cu elementele domeniilor fizic și proces. De aceea, pentru a crea aceste ierarhii, trebuie făcut un zig-zag (fig. 3.22) (zig spre domeniul DPs, zag de la domeniul DPs înapoi la domeniul FRs pentru definirea cerințelor funcționale de nivel inferior) între domenii în vederea descompunerii, care nu se realizează integral într-un singur domeniu, ci în paralel.

3.5.5.3 Maparea și axioma de independență

Alternativele soluției sunt create prin maparea cerințelor specificate într-un domeniu la un set de parametri caracteristici în domeniul adiacent. Maparea între domeniul client și domeniul funcțional este definită ca faza studiului conceptual (*conceptual design*), între domeniile funcțional și fizic este faza de concepție a produsului, iar între domeniul fizic și domeniul proces corespunde faza de concepție a procesului de fabricație (Kai și Hongwei, 2000).

Pentru materializarea celor prezentate mai sus, procesul de reprezentare (*mapping*) s-a exprimat matematic în termeni de vectori caracteristici, care definesc scopurile concepției și soluțiile de concepție. În timpul acestui proces de trecere, reprezentare (*mapping*), trebuie să fie satisfăcută axioma de independență. La un nivel dat al ierarhiei de concepție setul de cerințe funcționale care definesc scopurile specifice de concepție este un vector FR în domeniul funcțional. În mod similar, setul de parametri de concepție în domeniul fizic („cum-urile” pentru o FR) este un vector DP în domeniul fizic.

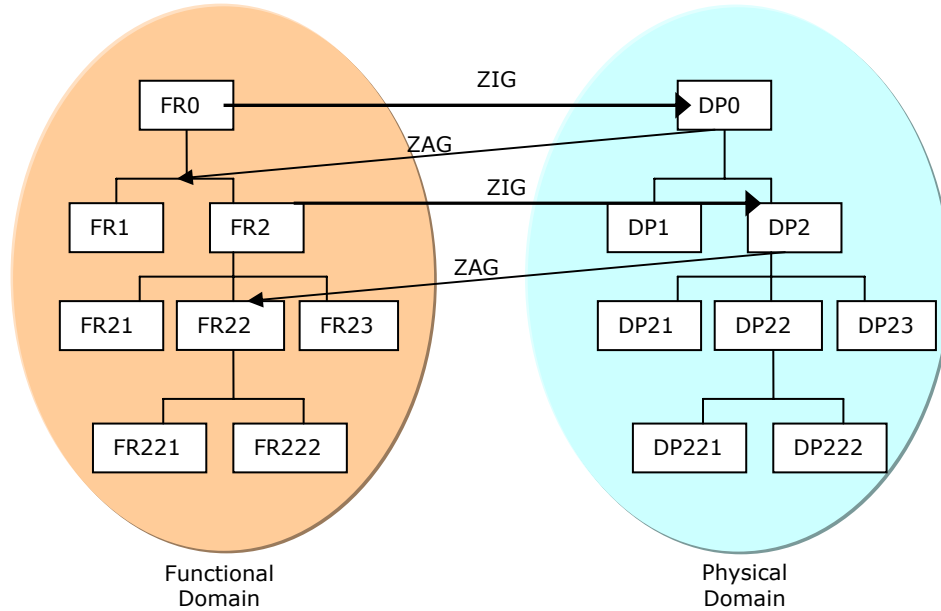


Fig. 3.22. Zig-zag între FRs în *Functional Domain* și DPs în *Physical Domain*

Într-o concepție acceptabilă, DPs și FRs sunt legate în așa fel încât un DP specific poate fi modificat pentru a obține o FR corespondentă fără ca să afecteze pe celelalte FRs. În acest fel, în procesul de concepție, plecând de la DP la FR, corespondența (reprezentarea, *mapping*) trebuie să fie în așa fel încât orice modificare a unui DP va afecta numai FR corespunzătoare.

Axioma de independență: părți din concepție trebuie să poată fi separate astfel încât schimbările aduse uneia să nu aibă nici o influență sau o influență cât mai mică asupra celeilalte. Relațiile dintre FRs și DPs la un nivel dat din ierarhie sunt redade prin matricea de concepție (matricea (A) în ecuația 3.1) (Nordlund, 1996).

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ \vdots \\ FR_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_n \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Termenii ecuației 1 sunt exprimați de relația (3.2). Într-o concepție necuplată (*uncoupled*) FRs pot fi satisfăcute independent prin intermediul DPs corespunzători.

Într-o concepție decuplată (*decoupled*) FRs pot fi satisfăcute independent dacă DPs vor fi ajustați, reformulați în zona corespunzătoare.

Într-o concepție cuplată (*coupled*) nu există nici o garanție că FRs pot fi satisfăcute. Aceeași analiză se aplică la relațiile dintre DPs și PVs.

$$dFR_1 = \frac{\partial FR_1}{\partial DP_1} dDP_1 + \frac{\partial FR_1}{\partial DP_2} dDP_2 + \dots + \frac{\partial FR_1}{\partial DP_n} dDP_n$$

$$dFR_n = \frac{\partial FR_n}{\partial DP_1} dDP_1 + \frac{\partial FR_n}{\partial DP_2} dDP_2 + \dots + \frac{\partial FR_n}{\partial DP_n} dDP_n$$

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$$

În relația (2) fiecare element A_{ij} leagă o FR_i de un DP_j specific.

Matricea de concepție poate fi diagonală, triangulară - populată deasupra sau dedesubtul diagonalei - sau populată și deasupra și dedesubtul diagonalei. Aceste situații sunt ilustrate de ecuațiile 3.3...3.6. În aceste ecuații "X" reprezintă o relație existentă între un DP și o FR, iar O indică faptul că nu există o relație sau că există una, dar nesemnificativă (Nordlund, 1996).

O concepție cu o matrice diagonală (ecuația 3.3) este o concepție necuplată (*uncoupled*). Ecuațiile 3.4 și 3.5 redau situația unei concepții decuplate (*decoupled*), iar ecuația 6 descrie o concepție cuplată (*coupled*).

Ecuația 3.3, concepție necuplată (*uncoupled*), matrice diagonală:

$$\begin{pmatrix} FR1 \\ FR2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & O \\ O & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP1 \\ DP2 \end{pmatrix}$$

Ecuația 3.4, concepție decuplată (*decoupled*), matrice triangulară dedesubtul diagonalei:

$$\begin{pmatrix} FR1 \\ FR2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & O \\ X & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP1 \\ DP2 \end{pmatrix}$$

Ecuația 3.5, concepție decuplată (*decoupled*), matrice triangulară deasupra diagonalei:

$$\begin{pmatrix} FR1 \\ FR2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & X \\ O & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP1 \\ DP2 \end{pmatrix}$$

Ecuația 3.6, concepție cuplată (*coupled*):

$$\begin{pmatrix} FR1 \\ FR2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & X \\ X & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP1 \\ DP2 \end{pmatrix}$$

3.5.5.4 Axioma de informare

Axioma de informare prevede minimizarea conținutului informației concepției. Dintre concepțiile care satisfac axioma de independență, concepția care are cea mai mare probabilitate de succes este cea mai bună.

De aceea, concepțiile care minimizează numărul de cerințe funcționale și constrângeri, care prezintă părți integrate care îi mențin independența funcțională, care folosesc părți interschimbabile și standardizate sau redau simetria cât mai mult posibil, reprezintă soluții cu un conținut al informației redus, exprimând o probabilitate de succes mai mare. Concepțiile care nu satisfac prima axiomă sunt

cupled și, în aceste cazuri, este imposibilă o modificare a unui DP fără afectarea a cel puțin două FRs. Concepțiile care satisfac prima axiomă sunt numite *uncoupled* sau *decoupled*. Diferența este că într-o concepție *uncoupled* DPs sunt total independenți, pe când în cele *decoupled* cel puțin un DP afectează două sau mai multe FRs.

O concepție specificată în termeni de DP-uri are o anumită probabilitate de a satisface FRs specificate în interiorul toleranțelor impuse. O concepție cu o probabilitate ridicată de realizare a FRs specificate în interiorul toleranțelor are, de asemenea, o probabilitate ridicată de a satisface cerințele clienților și, de aceea, este preferabilă.

Axioma de informare (minimizarea conținutului informației) se referă la această conexiune fundamentală. Conținutul informației este definit aici ca fiind $\log_2(1/p)$, unde p este probabilitatea de realizare a cerințelor. Într-o concepție *uncoupled*, un conținut al informației foarte mic este echivalent cu cea mai mare probabilitate de a realiza toate cerințele funcționale în toleranțele specificate (Suh, 1995).

La baza acestei axiome se regăsește teoria informației enunțată de Claude Shannon. Teoria informației pornește intuitiv de la faptul că pentru a obține informație trebuie să aibă loc un anumit proces sau eveniment. Cantitatea de informație obținută după ce a avut loc evenimentul este cu atât mai mare cu cât probabilitatea ca acel eveniment să fi avut loc este mai mică.

Dacă se notează cu $I(p)$ cantitatea de informație, I trebuie să fie o funcție descrescătoare de probabilitatea de apariție a evenimentului.

O a doua restricție impusă de Shannon este aceea că măsura informației trebuie să aibă un caracter aditiv, aceasta însemnând că dacă au loc două evenimente fără nici o legătură între ele, atunci informația totală obținută trebuie să fie egală cu suma informației asociate fiecărui eveniment în parte. Deoarece probabilitatea a două evenimente separate este dată de produsul probabilităților asociate fiecărui eveniment separat $p_{12}=p_1 \cdot p_2$, cea mai simplă funcție care respectă cele enunțate este funcția logaritmică (Munteanu, 2003). În continuare, relațiile matematice și explicațiile sunt din (Suh, 1990).

Conținutul informației I este definit în termeni de probabilitate de a satisface FRs date. Dacă probabilitatea de succes în satisfacerea FRs este p , informația I asociată cu aceasta probabilitate este dată de relația:

$$I = -\log_2 p \quad (3.9)$$

Măsura informației este în biți și funcția logaritmică este aleasă astfel încât conținutul informației să fie aditiv, când există mai multe cerințe funcționale care trebuie satisfăcute în același timp.

În cazul general al unei concepții *uncoupled*, I poate fi exprimat ca:

$$I = \sum_{i=1}^n (\log_2 1/P_i) \quad (3.10)$$

unde P_i este probabilitatea ca un DP $_i$ să satisfacă o FR $_j$.

Din moment ce avem „ n ” FRs, conținutul total al informației este suma tuturor acestor probabilități. Axioma de informare spune că cea mai bună concepție care are cel mai mic conținut al informației este cea mai bună, din moment ce cere cea mai mică cantitate de informație pentru a atinge obiectivele concepției. Când toate probabilitățile sunt egale cu 1, conținutul informației este 0 și invers, dacă una sau mai multe probabilități sunt egale cu 0, atunci conținutul informației este infinit. Cu cât probabilitatea este mai scăzută, cu atât mai mult trebuie suplimentat cu

informație pentru a satisface cerințele funcționale.

În urma aplicării și a axiomei de informare, dintre soluțiile de concepție propuse și care satisfac axioma de independență este aleasă aceea care va avea conținutul informației cel mai mic, adică aceea care va avea cea mai mare probabilitate de a asigura realizarea cerințelor funcționale în limitele impuse. Condiția necesară și suficientă pentru satisfacerea axiomei de informare este ca toleranțele oferite de sistemul ales pentru realizarea FRs să se afle complet în limitele specificate ale concepției, adică în limitele specificate pentru FRs. În acest caz probabilitatea de succes este egală cu 1 și informația cerută este egală cu zero.

Această condiție poate fi satisfăcută dacă *eroarea sistematică (bias)* este redusă, egală cu 0 și intervalul de variație a (*System Range*) este mai mic decât intervalul de variație aferent cerințelor funcționale (*Design Range*). (cerințele funcționale pot fi oferite cu valori în limitele intervalului cerut sau pot fi oferite cu valori suprapuse parțial sau deloc peste intervalul cerut. Valorile oferite de sistemul avut la dispoziție pentru generarea cerințelor funcționale este redat prin noțiunea *System Range*).

În realitate, probabilitatea de succes depinde de intersectarea toleranțelor specificate de conceptor pentru a satisface FRs și abilitatea (toleranța sistemului) de a da rezultatele în toleranțele specificate.

Probabilitatea de succes poate fi calculată prin specificarea *Design Range* (Dr) pentru FR și prin determinarea *System Range* (Sr) pe care concepția propusă o poate oferi pentru a satisface FR. Pe axa verticală (ordonată) este reprezentată funcția densității de probabilitate, iar axa orizontală (abscisa) este fie pentru FR, fie DP, funcție de domeniile reprezentate. Când reprezentarea este între domeniul funcțional și cel fizic, cazul concepției produsului, abscisa este pentru FR, iar dacă reprezentarea este între domeniul fizic și domeniul proces, cazul concepției procesului, pe abscisa se reprezintă DP (Suh, 1990). Figura 3.23 ilustrează grafic *Design Range* și *System Range*.

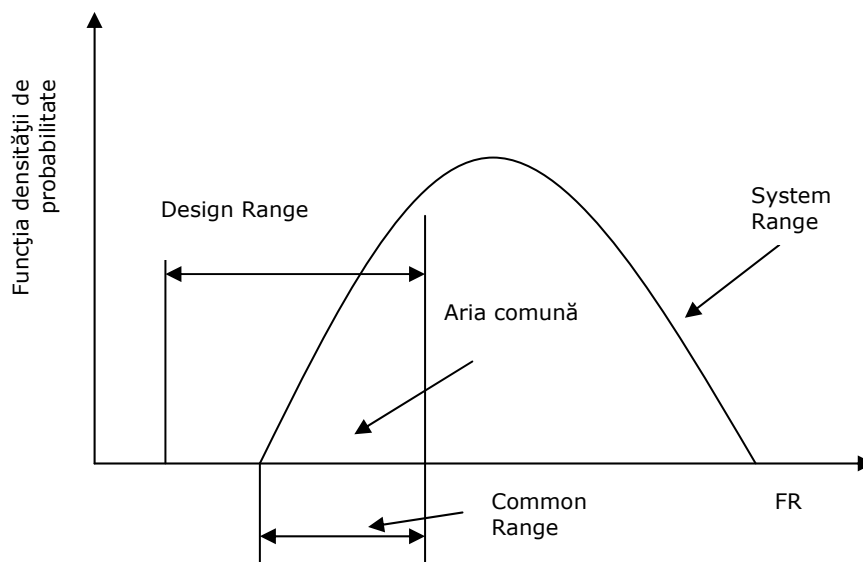


Fig. 3.23. *Design Range* și *System Range* (Suh, 2005)

Common Range - intervalul comun - (Cr) reprezintă suprapunerea între

Design Range și *System Range* și este regiunea în care sunt satisfăcute cerințele funcționale. În consecință, aria determinată de Cr împărțită la aria de sub Sr este egală cu probabilitatea de succes a concepției în atingerea scopului declarat. Conținutul informației poate fi exprimat ca:

$$I = \log_2 \left(\frac{A_{sr}}{A_{cr}} \right) \quad (3.11)$$

unde A_{sr} definește aria de sub *System Range* și A_{cr} este aria de sub *Common Range*. Mai mult, din moment ce $A_{sr} = 1.0$ în cele mai multe cazuri și există n FRs de satisfăcut, conținutul informației mai poate fi exprimat ca:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_{cri}} \dots \quad (3.12)$$

Când se ia în considerare o concepție *uncoupled*, cea mai mică sumă a conținutului informației este egală cu cea mai mare probabilitate de a realiza toate cerințele funcționale în limitele toleranțelor.

În (Suh, 2001) este evidențiat faptul că informația necesară în concepție este alta decât conținutul informației care trebuie minimizat în concordanță cu axioma de informare. O problema esențială în procesul de concepție este de a determina minimul de informație necesară și suficientă pentru a lua decizii de concepție având un set DP's pentru un set FR's.

Soluții de concepție decuplate parțial

În continuare ne interesează cazul concepției decuplate parțial la care matricile de design au fost aduse la forma triunghiulară inferior prin normalizarea succesivă a rândurilor și coloanelor.

Calculul conținutului informației în cazul unei astfel de concepții se va face diferit față de calculul conținutului informației pentru o concepție decuplată total. În cazul concepțiilor decuplate total, cerințele funcționale sunt total independente unele față de celelalte, statistic independente și, în acest caz, probabilitatea de realizare a cerințelor funcționale poate fi calculată ca produsul probabilităților pentru fiecare cerință funcțională în parte.

În cazul în care avem o concepție decuplată parțial, în care cerințele funcționale sunt dependente, calculul probabilității totale nu se mai face prin produsul probabilităților cerințelor funcționale. Este vorba despre calculul probabilităților cerințelor funcționale condiționate (Suh, 2001).

Conținutul informației I_i pentru o FR*i* este dat de probabilitatea P_i ca FR*i* să fie satisfăcută:

$$I_i = \log_2(1/P_i) = -\log_2 P_i \quad (3.13)$$

Este aleasă funcția logaritmică astfel încât conținutul informației să aibă caracter aditiv când există mai multe cerințe funcționale care trebuie realizate simultan.

În cazul în care există m cerințe funcționale, conținutul informației pentru întreg sistemul va fi:

$I_{sis} = -\log_2 P\{m\}$, unde $P\{m\}$ este probabilitatea (totală) ca toate cele m cerințe funcționale să fie îndeplinite. Atunci când toate cerințele funcționale sunt independente, cazul unei concepții decuplate total, probabilitatea totală este produsul probabilităților:

$$P\{m\} = \prod_{i=1}^m P_i, \text{ pentru } i=1\dots m. \quad (3.14)$$

Astfel, pentru întreg sistemul avem (Suh, 2001):

$$I_{sis} = \sum_{i=1}^m I_i = -\sum_{i=1}^m \log_2 P_i. \quad (3.15)$$

Dacă FRs nu sunt statistic independente, așa cum este cazul într-o concepție decuplată, atunci avem:

$$P\{m\} = \prod_{i=1}^m P_i\{j\} \text{ pentru } j=\{1, \dots, i-1\}. \quad (3.16)$$

Unde $P_i\{j\}$ este probabilitatea condiționată de satisfacere a FR_i, dacă toate celelalte FR_j pentru $j=1\dots i-1$ sunt satisfăcute.

Astfel, conținutul informației pentru întreg sistemul va fi:

$$I_{sis} = -\sum_{i=1}^m \log_2 P_i\{j\}, j=\{1, \dots, i-1\}. \quad (3.17)$$

Concepția care are cel mai mic conținut al informației va fi preferată, deoarece prezintă cea mai mare probabilitate de succes.

Calculul conținutului informației în cazul unei concepții decuplate parțial, la care FRs nu sunt statistic independente și DPs sunt statistic independenți presupune cunoașterea probabilităților de realizare a fiecărei cerințe funcționale în parte și mai mult, cunoașterea probabilităților cerințelor funcționale condiționate unele de altele.

Pentru o concepție decuplată parțial, caracterizată prin ecuația 3.18, probabilitatea totală este dată de relația 3.19:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 \\ A21 & A22 & 0 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}. \quad (3.18)$$

$$P\{FR1, FR2, FR3\} = P(FR1)P(FR2|FR1)P(FR3|FR2) \quad (3.19)$$

Pentru calculul probabilității totale este nevoie de cunoașterea probabilității FR2 condiționată de FR1, adică probabilitatea realizării FR2 în ipoteza că FR1 este realizată și respectiv de probabilitatea condițională a FR3, adică probabilitatea realizării FR3 în ipoteza că FR2 este realizată.

Un exemplu din (Suh, 2001) ilustrează problema calculului probabilității condiționale în cazul în care nu există suficiente cunoștințe care să permită calculul acestor probabilități condiționale. În astfel de cazuri sunt necesare alte măsurări statistice sau presupuneri pentru a putea calcula conținutul informației.

În (Frey ș.a., 2000) este discutată problema calculului conținutului informației pentru concepții *decoupled*, având DPs statistic independenți și sunt prezentați algoritmi construiți în Mathcad prin intermediul cărora se realizează calcularea conținutului informației.

3.5.5.5 Propagarea toleranțelor în concepții decuplate parțial

Într-o concepție decuplată total se poate scrie câte o singură ecuație pentru

fiecare cerință funcțională și fiecare ecuație poate fi rezolvată independent. Modelarea concepției nu este complicată, fiind vorba despre legarea unei cerințe de un parametru. Elementele matricei de concepție pot fi exprimate cantitativ sau analitic. Concepția poate fi robustă folosind diferite tehnici.

Concepțiile decuplate pot fi modelate similar, deși aceasta implică considerarea adițională a elementelor non-diagonale și succesiunea, secvența operării. Astfel, pentru două concepții, una decuplată, cazul A și alta cuplată parțial, având o matrice triunghiulară inferior, cazul B, se vor determina analitic valorile toleranțelor ΔDP_i în funcție de toleranțele impuse pentru ΔFR_i (Suh, 2001).

Pentru concepția decuplată total:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 \\ 0 & A22 & 0 \\ 0 & 0 & A33 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}. \quad (3.20)$$

Ecuatiile de concepție sunt:

$$\begin{aligned} FR1 &= A11DP1 \\ FR2 &= A22DP2. \\ FR3 &= A33DP3 \end{aligned} \quad (3.21)$$

Specificarea toleranțelor este simplă în cazul unei concepții decuplate total.

Dacă *Design Range* specificată pentru FR_i este ΔFR_i , atunci toleranța pentru DP_i va fi:

$$\Delta DP_i = \frac{\Delta FR_i}{A_{ii}} \text{ respectiv } i=1\dots 3. \quad (3.22)$$

În acest caz, probabilitatea de succes pentru această variantă de concepție va fi egală cu produsul probabilității de succes pentru fiecare FR în parte, FRs fiind statistic independente.

Probabilitatea totală:

$$P = \prod_{i=1}^3 P_i. \quad (3.23)$$

Conținutul total al informației pentru sistem:

$$I_{sis} = \sum_{i=1}^3 I_i = -\sum_{i=1}^3 \log_2 P_i. \quad (3.24)$$

Cazul concepției decuplate parțial:

Axioma de independență poate fi satisfăcută dacă DPs sunt schimbați în ordinea arătată mai jos, adică matricea de concepție este adusă la forma triunghiulară inferior.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 \\ A21 & A22 & 0 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}. \quad (3.25)$$

În acest caz, ecuațiile de concepție vor fi:

$$\begin{aligned}
FR1 &= A11DP1 \\
FR2 &= A21DP1 + A22DP2 \\
FR3 &= A31DP1 + A32DP2 + A33DP3
\end{aligned}
\tag{3.26}$$

Pentru a avea însă o concepție robustă este necesar ca elementele non-diagonale să fie mult mai mici decât cele diagonale adică $A_{ii} \gg A_{ij}$, $i=1..3$, $j=1..3$ în cazul acestei concepții cu trei parametri fiind vorba despre termenii $A12$, $A31$, $A32$, astfel variațiile $FR1...FR3$ fiind mai mici.

Corespunzător, dacă *Design Range* specificate pentru FRs sunt $\Delta FR1$, $\Delta FR2$, $\Delta FR3$ toleranțele maxime permise pentru DPs sunt notate cu $\Delta DP1$, $\Delta DP2$ și respectiv $\Delta DP3$, iar ecuațiile de concepție devin:

$$\begin{aligned}
\Delta FR1 &= A11\Delta DP1 \\
\Delta FR2 &= A21\Delta DP1 + A22\Delta DP2 \\
\Delta FR3 &= A31\Delta DP1 + A32\Delta DP2 + A33\Delta DP3
\end{aligned}
\tag{3.27}$$

Astfel, $\Delta DP1$, $\Delta DP2$ și respectiv $\Delta DP3$ pot fi exprimate ca:

$$\Delta DP1 = \frac{\Delta FR1}{A11}
\tag{3.28}$$

$$\Delta DP2 = \frac{\Delta FR2 - |A21\Delta DP1|}{A22}
\tag{3.29}$$

$$\Delta DP3 = \frac{\Delta FR3 - |A31\Delta DP1| - |A32\Delta DP2|}{A33}
\tag{3.30}$$

Pentru $\Delta DP2$ fluctuațiile sale datorate termenului $A21$, $\Delta DP1$ pot face pe acesta mai mare sau mai mic, în funcție de semnul său. Cu toate acestea, variația maximă permisă a lui $\Delta DP2$ corespunde celui mai defavorabil caz, adică atunci când $\Delta DP2$ este redus de către termenul $A21$, $\Delta DP1$. La fel este și argumentarea pentru $\Delta DP3$. De aceea este folosit modulul, adică valoarea absolută, pentru a reprezenta cel mai rău caz posibil. Toleranțele maxime pentru DPs a unei concepții cuplate parțial sunt mai mici decât toleranțele corespunzătoare ale unei concepții decuplate. Deci, o concepție cuplată parțial este mai puțin robustă decât una decuplată.

Pe măsură ce numărul de FRs și DPs crește, toleranțele admise pentru ultimii DPs ai matricei triangulare devin din ce în ce mai mici.

Deoarece scopul unei concepții robuste este de a obține o variație ΔDP_i cât mai mare posibil, termenii A_{ii} trebuie micșorați.

Design Range este definit de ΔFR_i . Variația reală a FR, care este determinată de variația DPs și PVs, cât și de mărimea elementelor matricei, definesc *System Range*. Dacă *System Range* determinată de variația aleatoare a FR este mai mică decât *Design Range* specificat ΔFR și dacă valoarea țintă urmărită în *Design Range* și vârful funcției densității de probabilitate a sistemului coincid, atunci conținutul informației este egal cu zero și *System Range* este în interiorul *Design Range*.

Având toleranțele maxime pentru un set de FRs, concepțiile cuplate parțial nu pot fi la fel de robuste ca și cele decuplate, în aceea că toleranțele admise pentru DPs a unei concepții decuplate parțial sunt mai mici decât cele ale unei concepții

decuplate total.

Dacă dispersia estimată pentru DPi este dată de s^2_{DPi} și DPi sunt statistic independenți, atunci pentru o concepție decuplată parțial dispersia FRs este dată de:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 \\ A21 & A22 & 0 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}. \quad (3.31)$$

Pentru acest tip de concepție avem:

$$S^2FR1 = A11^2 S^2DP1 \quad (3.32)$$

$$S^2FR2 = A21^2 S^2DP1 + A22^2 S^2DP2 \quad (3.33)$$

$$S^2FR3 = A31^2 S^2DP1 + A32^2 S^2DP2 + A33^2 S^2DP3 \quad (3.34)$$

Ecuatiile de mai sus indică faptul că dispersia unei de concepții decuplate parțial este mai mare decât cea a unei concepții decuplate, altfel ar fi egale. Această variație adițională a unui sistem decuplat parțial conduce la dificultatea egalității cu zero a conținutului informației.

Concepția care necesită un conținut al informației ridicat este mai complexă. Poate exista o concepție cuplată cu conținutul informației mai mic decât al uneia decuplate. Înseamnă că trebuie să găsim o concepție decuplată mai bună, cu un conținut al informației mai mic.

Informația necesară este văzută și analizată în funcție de satisfacerea sau nu a axiomei de independență. Astfel, există următoarele cazuri:

- pentru o concepție cuplată sunt cerute toate informațiile cu privire la toate elementele matricei de concepție;
- pentru o concepție decuplată, se cer informații legate doar de elementele diagonale ale matricei de concepție;
- pentru o concepție decuplată parțial, dacă elementele non-diagonale au valori mai mici decât cele diagonale, atunci concepția poate fi continuată.

În cazul matricei de concepție, interacțiunile cuplate sunt fie eliminate prin metode de concepție mai bune, fie prin metode matematice.

Pe lângă axioma de informare și cea de independență, concepția trebuie de asemenea să satisfacă constrângerile generale - care se aplică sistemului ca întreg și sunt specifice scopului general, de ansamblu al concepției și trebuie ca toate concepțiile propuse să le satisfacă - cât și constrângeri specifice, generate de gradul de detaliere cât și de limite geometrice, de material.

3.5.5.6 Teoreme și corolarii

Bazat pe aceste axiome de concepție s-au obținut teoreme și corolarii (Suh, 1990).

Teoreme generale de concepție

Teorema 1: Cuplarea datorată unui număr insuficient de DP

Când numărul de DPi este mai mic decât numărul de FRs există două posibilități: fie nu pot fi satisfăcute FRs, fie rezultă o concepție cuplată.

Teorema 2: Decuplarea concepției cuplate

Când o concepție este cuplată, datorită unui număr de FRs mai mare decât numărul de DPs, atunci poate fi decuplată prin adăugarea de noi DPs, astfel încât numărul de FRs și de DPs să devină egal, dacă un subset al matricei de concepție conținând $n \times n$ elemente constituie o matrice triunghiulară.

Teorema 3: Concepția redundantă

Când există mai mulți DPs decât FRs concepția este fie redundantă, fie cuplată.

Teorema 4: Concepția ideală

Într-o concepție ideală numărul de FRs este egal cu numărul de DPs.

Teorema 5: Nevoia unei concepții noi

Când este schimbat un set de FRs prin adăugarea de noi FRs sau substituirea uneia dintre FRs cu una nouă sau prin selectarea unui set nou de FRs complet diferit, soluția de concepție dată de DPs stabiliți pentru setul inițial de FRs nu va mai satisface noile FRs. În consecință trebuie regândită o nouă soluție de concepție.

Teorema 6: Independența părților unei concepții uncoupled:

Conținutul informației unei concepții *uncoupled* este independent de ordinea în care DPs sunt schimbați pentru a satisface setul de FRs date.

Teorema 7: Dependența părților concepției coupled și decoupled

Conținutul informației concepțiilor *coupled* și *decoupled* depinde de ordinea în care DPs sunt schimbați pentru a satisface setul de FRs date.

Teorema 8: Independența și toleranța

O concepție este *uncoupled* când toleranțele specificate de conector sunt mai mari decât $\sum_{\substack{j \neq i \\ i=1}}^n \left(\frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \right) \Delta DP_j$, caz în care, din considerente ale concepției,

elementele non diagonale ale matricei de concepție pot fi neglijate.

Teorema 9: Concepția pentru fabricație

Pentru ca un produs să poată fi fabricat, matricea de concepție pentru produs (A) (care leagă vectorul FR al produsului de vectorul DP al produsului) și matricea de concepție pentru procesul de fabricație (care leagă vectorul DP de vectorul PV al procesului de fabricație) trebuie să producă fie matrici diagonale fie matrici triunghiulare. Prin urmare, când oricare din cele două matrici reprezintă o concepție cuplată, produsul nu poate fi fabricat. Când sunt triunghiulare, amândouă trebuie să fie triunghiulare deasupra diagonalei sau dedesubtul diagonalei.

Teorema 10: Modularitatea măsurilor independente

Se presupune o matrice de concepție care poate fi împărțită în submatrici pătrate care au elemente diferite de 0 doar pe diagonala principală. Atunci, *reangularity* (R) și *semangularity* (S) pentru matricea de concepție sunt egale cu produsul măsurilor corespondente pentru fiecare din matricile non zero.

Teorema 11: R și S pentru un concepție decoupled

Când *reangularity* și *semangularity* sunt aceleași, concepția este o concepție *coupled*.

Teorema 12: Invarianța

R și S pentru o matrice de concepție sunt invariante în alternativa ordonării variabilelor DPs și FRs, atâta timp cât ordonările mențin asocierea fiecărui FR cu DP corespunzător.

Teorema 13: Calculul informației

Calculul informației pentru un set de evenimente este, de asemenea, informație, cu condiția ca probabilitățile condiționale sunt utilizate când

evenimentele nu sunt statistic independente.

Teorema 14: Conținutul informației pentru sistemul ca întreg

Dacă fiecare DP este probabilistic independent de alți DPs, atunci conținutul informației întregului sistem este suma informațiilor tuturor evenimentelor individuale asociate cu setul de FRs care trebuie satisfăcut.

Teorema 15: Conținutul informației în concepțiile *coupled* și *uncoupled*

Când formularea, expunerea FRs este modificată în domeniul funcțional, informația cerută pentru această schimbare este mai mare pentru un proces *coupled* decât pentru unul *uncoupled*.

Teorema 16: Interfața concepție-fabricație

Când sistemul de fabricație compromite independența FRs ale produsului, fie trebuie modificată concepția produsului, fie trebuie conceput un nou proces de fabricație și/sau folosit pentru a menține independența FRs ale produselor.

Teorema 17: Egalitatea conținutului informației

Conținuturile informației relevante pentru concepție sunt importante în egală măsură, fără a ține seama de originea lor, și nu trebuie să li se aplice nici un factor de importanță.

Teorema 18: Concepția în absența informației complete

Concepția poate continua, chiar în absența informației complete, doar în cazul unei concepții *uncoupled*, dacă informația care lipsește este legată de elementele care nu sunt pe diagonală.

Corolarii

Corolarul este o concluzie care se deduce direct dintr-o teoremă demonstrată sau o idee care derivă din alta (<http://dexonline.ro/>).

Corolarul 1: Decuplarea concepției cuplate

Decuplarea sau separarea părților sau aspectelor unei soluții dacă FRs sunt cuplate sau devin interdependente în concepția propusă.

Corolarul 2: Minimizarea cerințelor funcționale

Minimizarea cerințelor funcționale și a constrângerilor

Corolarul 3: Integrarea părților fizice

Integrarea caracteristicilor de concepție într-o singură parte fizică, dacă FRs pot fi satisfăcute independent în soluția propusă.

Corolarul 4: Utilizarea standardizării

Utilizarea standardizării sau a părților interschimbabile, dacă utilizarea acestor părți este în concordanță cu FRs și constrângerile.

Corolarul 5: Utilizarea simetriei

Utilizarea formelor simetrice și/sau a componentelor simetrice, dacă sunt în concordanță cu FRs și constrângerile.

Corolarul 6: Toleranțe, limite mai largi

În declararea FRs să se stabilească cele mai largi limite cu putință.

Corolarul 7: Concepție *uncoupled* cu mai puțină informație

Să se caute o concepție *uncoupled* care cere mai puțină informație decât concepția cuplată, în satisfacerea unui set de FRs.

Corolarul 8: Reangularitatea efectivă a unui scalar

Reangularitatea efectivă R pentru un scalar, matrice cuplată sau element este egală cu unitatea.

3.5.5.7 Descompunerea

Descompunerea în funcții reprezintă modul în care sunt organizate

cunoștințele, informațiile relative la obiectul de conceput, pornind de la un nivel abstract de reprezentare către niveluri din ce în ce mai concrete. Descompunerea este astfel o activitate prezentă pe tot parcursul procesului de concepție al unui produs existent sau nou. Trecerea de la un nivel de descompunere ierarhic la următorul cât și trecerea de la un domeniu funcțional la altul cere informații care se află sub diferite forme, de exemplu cele de trecere de la un domeniu la altul sunt reprezentate de ecuațiile de concepție, iar detaliile de concepție apar ca urmare a descompunerii.

În concepția axiomatică activitatea de descompunere presupune existența unei cerințe funcționale care ulterior este analizată și defalcată generând o pereche FR-DP. Această pereche va genera, la rândul său, prin descompunere (zig-zagging), un nou set de cerințe funcționale de nivel mai scăzut.

În cazul în care există ansambluri care pot îndeplini subfuncții mai mult sau mai puțin complexe, funcțiile (subfuncțiile) respective nu se mai descompun în continuare, soluțiile pentru ele existând deja. Dacă aceste soluții materializate prin subansambluri/ansambluri existente sunt satisfăcătoare, atunci subdivizarea structurii funcției poate fi întreruptă la un nivel ierarhic corespunzător funcției/subfuncției care a fost înlocuită. În concepția axiomatică se poate ca un DP să fie o componentă, o piesă deja existentă și în aceste condiții nu se mai continuă descompunerea pe nivele inferioare.

Parametrii de concepție DPs, se detaliază ca și seturi de subfuncții, iar funcționalitatea principală a sistemului (obiectului de conceput) rezultă din însumarea efectelor parametrilor de concepție DPs. Axiomele de concepție oferă principii pe baza cărora se face o apreciere, o clasificare în vederea alegerii unui set de DPs care să satisfacă un set de FRs.

Pornind de la ideea că descompunerea este elementul central al unui proces de concepție, în (Tate, 1999) este detaliată această descompunere și modul în care se realizează ea, în termenii folosiți în concepția axiomatică (fig. 3.24). Sunt identificate activitățile care conduc la realizarea descompunerii. Succesiunea descompunerii reprezintă acțiunile care se succed într-o anumită ordine și care formează un tot unitar, astfel avem (Tate, 1999): generarea sub-FRs, propagarea și rafinarea constrângerilor Cs, verificarea coerenței sub-FRs, sub-DPs, sub-DMs și Cs, dimensionarea și configurarea sub-DPs, configurația, schematizarea DPs, integrarea de sub-DPs, identificarea dorințelor clienților relevante CNs, asigurarea consistenței între nivele. Succesiunea descompunerii se referă la finalizarea descompunerii concepției cât mai repede posibil (minimizarea utilizării resurselor timp, cost, mână de lucru) prin finalizarea selectării DPs și trecerea la setarea valorilor atribuite, distingerea între DPs care vor fi descompuși în continuare și care nu vor fi descompuși în continuare, astfel identificându-se următoarea pereche FR-DP de descompus. Activitățile enumerate în figură sunt descrise în continuare.

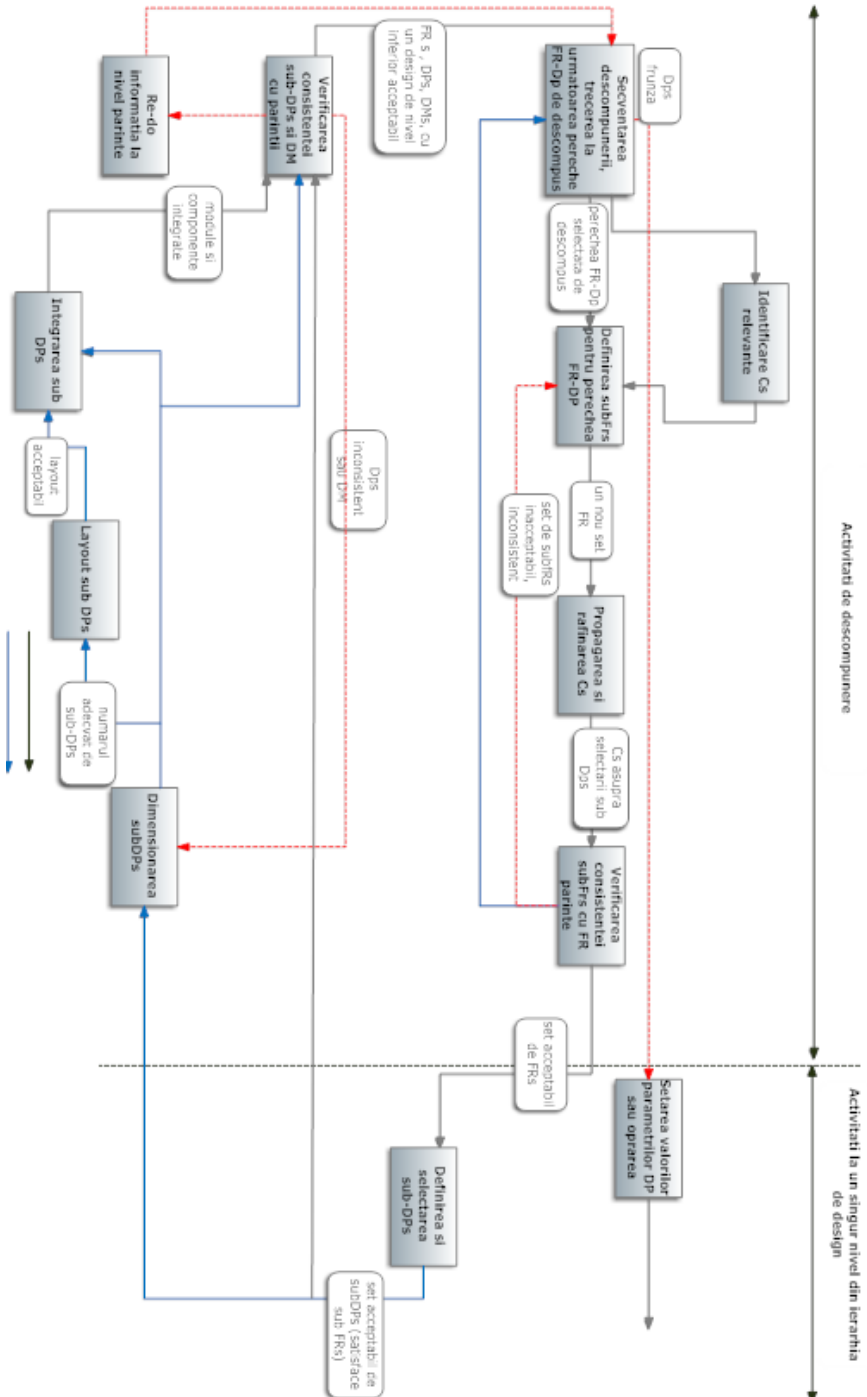


Fig. 3.24. Descompunerea în concepția axiomatică, după (Tate, 1999)

Astfel:

- generarea sub-FRs presupune dezvoltarea unui set minim, necesar și suficient pentru a descrie un DP părinte, în termeni neutrii de soluție;
- propagarea și rafinarea constrângerilor Cs presupune înțelegerea impactului constrângerilor asupra cerințelor funcționale, dezvoltarea unui set complet de constrângeri pentru fiecare cerință funcțională, propagarea cerințelor funcționale de la nivelul părinte la sub-FRs;
- verificarea coerenței de sub-FRs, sub-DPs, sub-DMs și Cs determină dacă descrierea relațiilor FR-DP au fost corect identificate și documentate în ierarhia de concepție (inclusiv decizii cu privire la integrarea fizică, dimensionare, și dispunere/amplasare (layout)), dacă sub-FRs sunt în concordanță cu DP părinte;
- dimensionarea sub-DPs dacă satisfac constrângerile geometrice, stabilirea numărului minim de DPs pentru a satisface constrângerile ratei *de transfer*.

Pentru sub-DPs ai dispunerii/amplasării (*layout*) trebuie realizate:

- dezvoltarea aranjamentelor spațiale;
- satisfacerea constrângerilor geometrice;
- constrângeri de rata de transfer;
- integrarea de sub-DPs, atribuirea sub-DPs la resurse fizice (sau software) sau la componente, minimizarea costurilor, minimizarea conținutului informațiilor, identificarea CNs relevante.

Descompunerea este realizată în vederea trecerii de la un nivel din ierarhia de concepție la un altul, de la un nivel mai scăzut, la un nivel mai ridicat de detaliere, activitatea de descompunere având ca și scop determinarea următoarei perechi FR-DP care urmează a fi descompusă. Activitățile care au loc la același nivel în ierarhia de concepție sunt: setarea valorilor parametrilor DPs sau operarea (dacă este vorba de un DP care nu se descompune în sub DPS), definirea și selectarea unui sub-DPs. În continuare, activitatea de descompunere presupune dimensionarea, dispunerea/amplasarea (*layout*), integrarea sub DPs astfel încât să conducă la selectarea următoarei perechi FR-DP care să fie descompusă.

În (Tate, 1999) este prezentat un model al procesului de concepție generat în urma unei abstractizări și o generalizare a câtorva procese de concepție care au fost studiate în Europa și Statele Unite ale Americii (Nordlund 1996), (Tate, 1999) - figura 3.25 - „Împreună, aceste modele trebuie să permită explicarea succesiunii descompunerii activităților oricărui proces de concepție”. Modelul folosește terminologia din concepția axiomatică și este un model general, activitățile regăsindu-se într-un proces de concepție specific unui proiect. Activitățile urmate și succesiunea lor vor depinde de particularitățile procesului. Activitățile desfășurate la un nivel de descompunere în procesul de concepție sunt (Tate, 1999): analiza obiectului de concepție, decuplarea, generarea conceptelor și selectarea, optimizarea și reglarea (*tuning*) și acestea trebuie conectate cu controlul și descompunerea proiectului.

Descriere activităților din model (Tate, 1999):

Controlul proiectului și descompunerea - este activitatea în care scopul și controlul asupra proiectului de concepție sunt stabilite. Activitatea este necesară pentru planificarea unei munci la un nivel mai detaliat al concepției sau pentru planificarea activităților ca răspuns la o inabilitate în rezolvarea problemelor anterioare. Rezultate din această activitate sunt obiectivele proiectului, constrângeri, precum și instrucțiuni privind efectuarea activităților prin care se desfășoară proiectul.

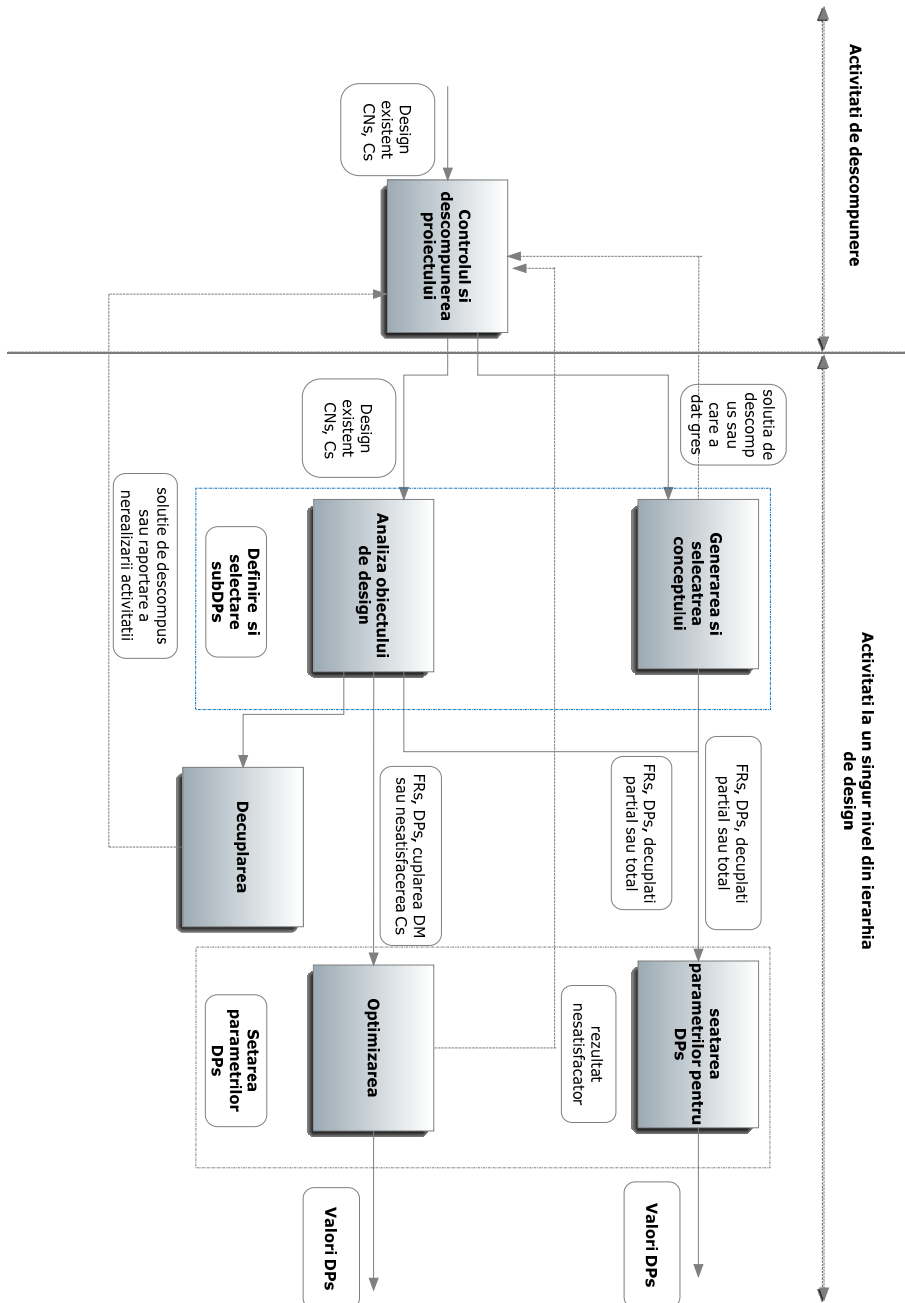


Fig. 3.25. Modelul procesului de concepție, după (Tate, 1999)

Analiza obiectului de concepție, analiza unei soluții existente, presupune un obiect de concepție existent, despre care există întrebări cu privire la funcționalitatea sa sau de fezabilitate. Analiza poate să urmeze o abordare specifică, de exemplu, de concepție axiomatică, analiză funcțională, sau TRIZ. Aceasta este adesea o activitate centrală în studiile de fezabilitate și este realizată pentru a identifica domeniile de îmbunătățire a concepțiilor și modelelor existente. În analiza obiectului de concepție există două intrări: o înțelegere a nevoilor clienților, precum și o concepție existentă de analizat. Rezultatul acestui proces este o descriere a proiectului în ceea ce privește funcțiile sale, constrângerile, punerea în aplicare fizică, precum și independența funcțională (sau dependența).

Generarea conceptelor și selectarea (conceptualizarea) urmează descompunerii și controlului proiectului. Obiectivele activității de conceptualizare sunt:

- de a dezvolta concepte care îndeplinesc specificațiile derivate în Proiectul de control și descompunere;
- de a decide care dintre aceste concepte sunt puse în aplicare.

Prin urmare, această activitate este susținută prin generarea de concepte (de sinteză), unelte și de instrumente de selecție (analiză) de concepte.

Instrumentele de generare de concepte includ brainstorming, baze de date, tabele morfologice etc., în timp ce printre instrumentele de analiză se numără axiomele de concepție (Suh, 1990), grupul de luare a deciziei, conceptul de selecție a lui Pugh (Pugh, 1991), (Pugh, 1996) și alte reguli.

Intrările la această activitate sunt un set de cerințe funcționale (FRs) și constrângeri. Realizările sunt un set de FRs, constrângeri, parametri de concepție (DPs) și matrici de concepție (DMs), care arată dependențele funcționale în cadrul obiectului de proiectare.

Decuplarea (rezolvarea conflictelor) este o activitate posibil de urmat după o analiză a obiectului de concepție, în cazul în care rezultatul analizei arată că obiectul de concepție existent nu îndeplinește axioma de independență (Suh, 1990). O alternativă în acest caz este activitatea de optimizare. Ieșirea dorită a activității de decuplare este o concepție *uncoupled* sau *decoupled* și este gândită prin aplicarea de strategii de rezolvare a problemelor pentru *conceptual design*, de exemplu: principiile lui Altshuller, analiza Su-Field (Altshuller, 1988), teoremele din concepția axiomatică (Suh, 1990) etc.

Intrarea la această activitate este o descriere: fie de o concepție sau concept care este cuplat sau a unui obiect de concepție care nu satisface constrângerile sale. În primul caz, obiectul de concepție nu îndeplinește funcțiile sale în mod satisfăcător, în al doilea caz, obiectul de concepție își exercită funcțiile care îi sunt destinate, dar soluția fizică este inacceptabilă dintr-un alt motiv (de exemplu: este prea mare sau prea grea, nu îndeplinește anumite cerințe legale, etc.). Ieșirea dorită din această activitate este o descriere a unui obiect de concepție, sau un concept, care este decuplat din punct de vedere funcțional și care îndeplinește toate constrângerile sale. Cu acest rezultat, proiectantul descompune concepția în continuare în mai multe sub-proiecte (în proiectul de control și de descompunere) sau progresează la punerea în aplicare. În cazurile în care se produce o concepție nesatisfăcătoare (cuplată), un raport al acestei activități care nu s-a desfășurat corespunzător va constitui intrarea pentru controlul și descompunerea proiectului.

Optimizarea are ca obiectiv activități care conduc la obținerea celei mai bune performanțe, pe cât posibil a unei concepții sau model care nu satisface axioma de independență (Suh, 1990).

Activitatea de optimizare devine necesară atunci când un într-un proiect existent au fost găsite probleme inerente, dar nu poate fi făcută nici o modificare a conceptului, ci pot fi făcute doar mici modificări la unele valori ale DP. În această situație, activitatea de optimizare presupune stabilirea parametrilor de concepție care, cât mai atent posibil, să asigure funcționalitatea dorită.

Intrarea acestei activități este o concepție inacceptabilă (care nu este independentă sau care nu respectă constrângerile sale), descrise în termeni de cerințe funcționale, constrângeri, parametri de concepție și matrici de concepție. Rezultă din această activitate cerințe funcționale, constrângeri, matrici de concepție și parametri de concepție care sunt stabiliți la valorile lor optime, având în vedere că acestea sunt o parte a unei concepții sau model care nu satisface axioma de independență.

Reglarea (tuning) este activitatea finală dorită pentru orice proiect de concepție. Diferența esențială dintre reglare și optimizare este aceea că, atunci când se efectuează reglarea, analizele în timpul procesului de concepție au arătat că toate cerințele funcționale pot fi atinse, deoarece concepția satisface axioma independenței. Intrările pentru activitatea de reglare sunt cerințe funcționale, constrângeri, parametri de concepție, și matricile de concepție cuplate sau decuplate. Rezultatele, ieșirile pentru reglare sunt cerințele funcționale, constrângerile, matricile de concepție și parametri de concepție care sunt reglați pentru a oferi funcționalitatea optimă pentru acest obiect.

Deși au fost făcute numeroase eforturi în industrie în vederea îmbunătățirii unei concepții mai puțin performante, prin tehnici de optimizare, o concepție care încălcă axioma de independență nu poate fi îmbunătățită decât dacă satisface, în primul rând, această axioma. Optimizarea unei concepții mai puțin bune poate conduce la o concepție mai puțin bună optimizată sau la îmbunătățiri minore. Optimizarea implică adesea un „târg” între FRs. Concepțiile care satisfac axiomele de concepție nu trebuie să fie optimizate în sensul tradițional al cuvântului.

În procesul de analiză ierarhică (AHP) se dau priorități pentru FRs, pe când în concepția axiomatică nu este necesară clasificarea ordinii (sau darea de priorități ierarhice pentru FRs). Când limitele concepției sunt stabilite precis pentru toate FRs, scopul concepției este complet specificat și orice concepție care satisface FRs în limitele specificate satisface complet obiectivele concepției. De aceea, nu este nevoie de priorități. Când o concepție nu poate fi dezvoltată astfel încât să satisfacă toate FRs în limitele specificate sau concepția este cuplată, poate fi necesară specificarea priorităților pentru FRs, dar acest demers nu este compatibil cu axioma de independență și axioma de informare.

Pe măsură ce conceptorii încearcă să dezvolte concepția detaliat, fără ca să modifice intenția generală, se poate să realizeze că ceea ce doresc nu poate fi realizat cu mijloace existente și, în acest caz, se poate ca recunoașterea acestei limite să conducă la invenții și inovații. Când o concepție *coupled* este înlocuită de una *uncoupled* sau *decoupled* pot fi făcute îmbunătățiri majore.

În (Suh, 2001) sunt indicați 15 pași importanți într-un proces de concepție a cărui derulare depinde de sarcinile de concepție și specificul domeniului în care se aplică:

- înțelegerea clienților, ascultarea problemelor și a nevoilor în vederea colectării datelor relevante și a istoricului;
- formularea FRs și Cs bazată pe evaluarea nevoilor clientului. Adesea este cel mai bine să se primească datele de intrare de la toți cei implicați, incluzând marketing, inginerie, fiabilitate, service. Trebuie enunțate valorile țintă pentru FRs și Cs;

- odată ce FRs sunt formulate, managementul, marketingul și grupurile de service trebuie să fie de acord că FRs alese sunt selectate corespunzător și sunt cele potrivite; este important ca FRs și Cs să fie alese corespunzător, deoarece produsul final depinde de ele;
- conceptorii trebuie să transpună FRs în domeniul fizic, prin intermediul unor idei de concepție, astfel încât să poată identifica DPs. În concepția cu o singură FR trebuie luați în considerare cât mai mulți DPs plauzibili înainte de a renunța la vreunul din ei. Uneori, pentru a genera idei bune pentru DPs, este necesară considerarea cazurilor extreme, contradictorii, exemple din alte domenii și exemple similare;
- odată ce DP este ales, următorul pas este scrierea ecuației de concepție care leagă DPs posibili de FRs. Cuplarea nu apare în cazul unei singure cerințe funcționale și, din acest motiv, nu este o problemă. Conceptorii trebuie să fie siguri ca nu sunt încălcate legile naturii;
- concepția propusă trebuie să fie comparată cu constrângerile, pentru a verifica dacă acestea sunt sau nu încălcate;
- dacă este posibil, trebuie făcute schițe și desene pentru a captura DPs aleși într-o formă grafică la fiecare nivel de ierarhie de concepție, în completare la ecuațiile de concepție;
- pentru o documentare completă, explicarea, motivarea alegerii sau nu a unui DP sau a altuia;
- dacă DP ales nu este soluția finală, va trebui descompus mai departe, prin întoarcerea la domeniul funcțional, apoi se ia în considerare următorul nivel de FRs care sunt în concordanță cu DPs aleși și cu FR părinte. Când există mai mult de o cerință funcțională la acest nivel, ceea ce este foarte probabil, trebuie să ne asigurăm că aceste nivele inferioare ale FRs rămân independente funcțional prin alegerea DPs corespunzători, care nu încălcă axioma de independență;
- după ce concepția este completă, este nevoie de întoarcerea la nevoile originale ale clientului și să se efectueze o evaluare a concepției din punctul de vedere al clientului;
- dacă produsele trebuie să fie vândute competitiv cu produse existente pe piață este recomandată o evaluare comparativă, care trebuie făcută în timpul stadiilor mai avansate ale procesului de concepție, dacă scopul este de a dezvolta un produs inovativ, și mai repede, dacă este vorba despre un produs mai puțin inovativ;
- în procesul de concepție sau mai târziu să se ia în considerare problemele de fabricație adecvate, în termeni de PVs;
- în orice moment al procesului de concepție se poate renunța la o idee și se poate reface întreg procesul, incluzând modificarea FRs, DPs și PVs;
- conceptorii trebuie să meargă la stadiul de implementare, incluzând detalierea metodei de fabricație, orarul, costul, resursele umane alocate;
- undeva în procesul de concepție, trebuie să fie estimați *Design Range* și *System Range*, astfel încât să se poată determina care DP este cel mai potrivit. Uneori este aproape imposibilă estimarea *System Range* fără construirea unui prototip, efortul consumat cu estimarea *System Range* putând îmbunătăți procesul de concepție. Dacă *Design Range* nu poate fi stabilit, să se lucreze cu valoarea țintă și dispersia acceptabilă a FR, care este echivalentă cu *Design Range*.

3.5.5.8 Complexitatea

Complexitatea poate fi privită în multe feluri sau mai bine spus din mai multe puncte de vedere și, de aceea, nu s-a ajuns încă la un consens în ceea ce privește definiția ei. Complexitatea este adesea asociată cu noțiunea de dificultate, grad de dezordine, timpul sau mijloacele puse la dispoziție pentru rezolvarea unei probleme putând fi privite, de asemenea, ca elemente de complexitate.

Unul din scopurile principale, în domenii ca ingineria, economia, administrația, este reducerea complexității. În toate domeniile se dorește înțelegerea complexității și cauzele apariției acesteia (Suh, 2005). Termenul de „complexitate”, definit în știința calculatoarelor și matematică, poate să nu fie aplicabil în concepție și domenii ingineresti. Problemele legate de complexitate sunt: „de ce este ceva complex?”, „de ce un lucru inițial considerat complex, dacă este înțeles, nu mai e considerat complex?”, „atunci, ce este complexitatea?”, „este bine să se reducă complexitatea sistemelor ingineresti?”, „este complexitatea diferită în funcție de domeniul în discuție?”, „cum se reduce complexitatea?”, „este complexitatea sistemelor naturale diferită de cea a sistemelor ingineresti?” etc. (Suh, 2005).

Dacă complexitatea este o cantitate absolută moștenită de la un sistem, atunci un subsistem nu poate fi mai complex decât sistemul din care face parte. Astfel, pare natural să privim o celulă ca fiind mai complexă decât corpul în sine, dar aceasta se datorează felului în care mintea umană pune problema. Înțelegerea complexității depinde de modul în care se pune problema și, respectiv, dacă o problemă nu este bine formulată și înțeleasă, poate genera conceptul de complexitate.

Conceptul de complexitate poate fi înțeles diferit în funcție de limbajul ales pentru descriere, scara sau nivelul de detaliere și definirea problemei în sine joacă un rol important în înțelegerea complexității, iar conceptul de complexitate absolută poate fi un mod inadecvat de privire a problemei.

În concepția sistemelor ingineresti, termenul complex este adesea considerat sinonim cu „complicat”, adică conține mai multe elemente diferite, este format din mai multe părți. Legat de precizia în folosirea terminologiilor există diferențe între complex și complicat, în aceea că sistemele complexe au componente al căror comportament este dependent de interacțiunile cu alte componente în cadrul unui sistem. Pe de altă parte, interacțiunile în sistemele complicate sunt simplu aditive și comportamentul lor este, în general, independent de aceste interacțiuni.

În ciuda lipsei unei definiții unitare este acceptat că sistemele ingineresti moderne devin din ce în ce mai complexe. Atributul esențial al unui așa-zis sistem complex este dificultatea de a fi înțeles/realizat. Printre cauzele potențiale care pot conduce la considerarea unui sistem ca fiind complex se numără: o structură mare, realizarea mai multor funcții diferite ca rezultat al unui comportament colectiv, interacțiuni înlănțuite între constituenți, dispuse pe mai multe niveluri, în care nu sunt evidente relațiile cauză - efect (Lee, 2003).

Una din caracteristicile esențiale ale unui sistem complex este comportamentul colectiv, care nu poate fi înțeles/prezis pe deplin pornind de la proprietățile individuale ale componentelor. Înțelegerea unui sistem complex înseamnă să fim capabili să îi înțelegem cauzalitatea și, astfel, să fim capabili să îi prezicem comportamentul (ieșirea), date fiind condițiile inițiale (intrările).

Complexitatea este definită (Suh, 2005) astfel:

- ca o măsură a incertitudinii, nesiguranței în satisfacerea cerințelor funcționale;
- ca o măsură a nesiguranței în abilitățile noastre de a prevedea un anumit fenomen natural cu acuratețea dorită.

Se consideră că înțelegerea corectă a unui sistem complex rezidă în explicarea comportamentului general, pornind de la comportamentul componentelor. Înțelegerea unui sistem complex pune probleme din cauza interdependenței părților, o modificare angrenând la rândul său și alte modificări. Complexitatea este o proprietate a unui sistem a cărei cauzalitate între funcția sau comportamentul ca întreg și proprietățile componentelor, date de condițiile externe sau intrări, este dificil de înțeles. În figura 3.26 este redat un concept general al complexității. Complexitatea în *Axiomatic Design* este definită ca măsură a incertitudinii în atingerea cerințelor funcționale dorite. Ea include aspectele de dificultate, incertitudine (nedeterminare) relativitate, lipsa de cunoaștere, informare, înțelegere și aspectul de informare, care sunt noțiuni generale ale complexității. Particularitatea complexității în *Axiomatic Design* poate fi ușor înțeleasă dacă aceste aspecte sunt înțelese și recunoscute. Există patru sub categorii diferite de complexitate (Lee, 2003):

- complexitate reală independentă de timp;
- complexitate imaginară independentă de timp;
- complexitate periodică dependentă de timp;
- complexitate combinatorială dependentă de timp.

Complexitatea independentă de timp se împarte în complexitate reală și imaginară. Complexitatea reală descrie natura întâmplătoare (haotică, aleatorie) a unui sistem și este egală cu conținutul informației, din moment ce măsura conținutului informației măsoară incertitudinea, în același context de probabilitate. Complexitatea imaginară descrie incertitudinea (nedeterminarea) datorată lipsei de cunoaștere, înțelegere, informare, în special în cazul lipsei de cunoaștere a structurii matricilor de concepție (Lee, 2003). Complexitatea imaginară este definită ca o nedeterminare, care nu este o nedeterminare reală, dar care apare din cauza lipsei de cunoștințe și înțelegere a concepției în sine de către conceptori. Această complexitate imaginară se schimbă dacă există cunoștințe apriori (Suh, 2005).

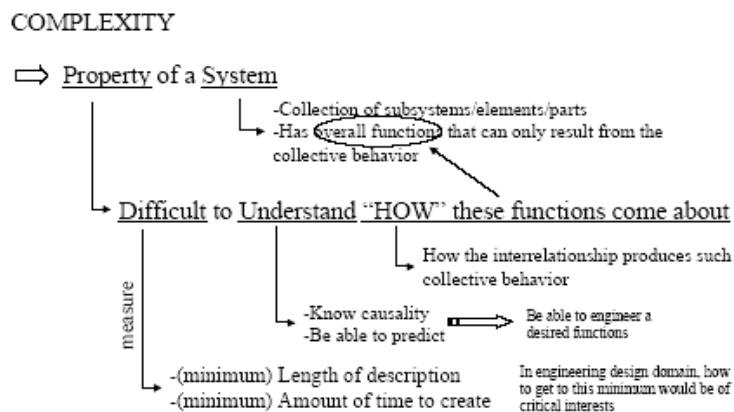


Fig. 3.26. Conceptul general al complexității în sistemele ingineresti (Suh, 2005)

Complexitatea dependentă de timp este, de asemenea, de două feluri:

complexitate periodică și combinatorială.

Complexitatea combinatorială este definită ca și complexitatea care crește funcție de timp, datorită expansiunii continue a numărului combinațiilor posibile, în timp acestea putând conduce eventual la o stare haotică sau la o cădere a sistemului (Suh, 2005).

Nedeterminarea (incertitudinea) în cazul complexității combinatoriale crește continuu, pe când în cazul complexității periodice încetează să mai crească de la un anumit punct și se revine la nivelul de nedeterminare inițial. Un sistem are o complexitate combinatorială când media sistemului său (*System Range*) continuă să se deplaseze față de media concepției (*Design Range*) și setul de cerințe funcționale este imposibil de prevăzut. Complexitatea reală este datorată variațiilor aleatoare, ca variațiile parametrilor de concepție și a factorilor perturbatori, asociate într-o soluție.

Complexitatea periodică este definită ca și complexitatea care există doar o perioadă finită, rezultând un număr finit și limitat de combinații probabile (Suh, 2005).

Pentru amândouă tipurile de complexitate, combinatorială și periodică, media sistemului (*System Range*) este variabilă în timp, iar cerințele funcționale sunt dependente de timp. Este necesară dezvoltarea unui demers sistematic care să conducă la reducerea complexității, pentru aceasta fiind necesară identificarea elementelor care generează complexitatea.

Reducerea complexității reale este echivalentă cu reducerea variației cerințelor funcționale. Aceasta include:

- eliminarea surselor de variație;
- compensarea variației.

Bazat pe considerații economice și tehnice, aceste demersuri trebuie să fie combinate astfel încât să se obțină un rezultat optim.

Complexitatea imaginară trebuie să fie eliminată prin identificarea structurii matricilor de concepție și prin urmărirea uneia dintre secvențele corecte dictate de acestea.

Prin definiția complexității dependente de timp, nedeterminarea unui sistem cu complexitate combinatorială crește nedefinit, fără limite clare, pe când în cazul unui sistem cu complexitate periodică, încetează să mai crească de la un anumit punct și revine la nivelul inițial de nedeterminare. Complexitatea combinatorială trebuie evitată, pentru a preveni nedeterminarea și pentru menținerea complexității sub o anumită limită. Transformarea complexității combinatoriale într-una periodică este numită reinițializare.

Când un sistem experimentează o complexitate combinatorială datorată unei variații în timp a mediei sistemului (*System Range*), pe măsură ce timpul trece, cerințele funcționale devin tot mai greu de atins. Astfel, recuperarea (revenirea) la starea inițială a mediei sistemului (*System Range*) este importantă. Aducerea înapoi a mediei sistemului (*System Range*) periodic este echivalentă cu transformarea complexității combinatoriale în complexitate periodică. Actul de obținere a acestei transformări este un tip de reinițializare, în sensul că sistemul este reinițializat la starea inițială în termeni de nedeterminare (incertitudine).

Teoria complexității și *Axiomatic Design* oferă un ghid pentru o concepție robustă (*Robust Design*) și pentru produse cu o viață lungă. Ea ajută inginerii să nu lucreze pe probleme neexistente sau imaginare și arată, de asemenea, cum un sistem cu o complexitate combinatorială dependentă de timp poate fi convertit într-un sistem cu o complexitate periodică dependentă de timp. Aceasta va preveni căderea sistemului, datorită creării unor sisteme haotice, care au nevoie de

reinițializare, datorită căderilor sistemului. Concepția axiomatică este o teorie și o metodologie care a fost dezvoltată pentru a ajuta dezvoltarea industrială și pentru a crește productivitatea.

3.6. Modele hibride

3.6.1. Modelul DFSS

Acest model conține un algoritm de concepție bazat pe demersul *Design For Six Sigma DFSS* (Yang și El-Haik, 2003).

Axiomele și principiile de concepție sunt centrale părții de concepție DFSS: „*Axiomatic Design* oferă principiile pentru a dezvolta o concepție bună în mod sistematic și pot depăși nevoia pentru demersuri dedicate” (Yang și El-Haik, 2003). Teoria, metodologia și aplicarea DFSS este formată prin integrarea metodelor de concepție, principiilor de concepție și axiome, calitate, metode analitice și este foarte utilă atât în situațiile de concepție iterative cât și în situațiile de concepție incrementale.

Proiectul de concepție este punctul central al demersului DFSS și trebuie realizat adecvat, folosind un proces, un algoritm, care generează planul de ansamblu, principiile, mijloacele, metodele DFSS din cadrul procesului de dezvoltare a produsului.

Algoritmul trebuie să fie văzut ca un model generic, un algoritm de concepție cu o flexibilitate largă, pentru a putea fi aplicat în situații diferite, pentru a se potrivi cu nevoile de dezvoltare specifice fiecărei companii. Este folosită de către autori denumirea de algoritm, deoarece se pune mai bine în evidență caracterul de compatibilitate și repetabilitate a demersului DFSS. Algoritmul DFSS este o perspectivă de nivel ridicat a unui proces orientat pe echipă, pentru a concepe și a construi soluții care depășesc consecvent așteptările, la un nivel de calitate șase sigma sau mai ridicat. Viziunea poate fi realizată prin integrarea celor mai bune practici de concepție, reducerea vulnerabilităților utilizând axiomele de concepție și permiterea unei balanțe între creativitate și disciplină, cu responsabilitate și flexibilitate.

Algoritmul DFSS este redat în figura 3.27. Scopul său este de a dezvolta entități de concepție corespunzător nevoilor exprimate, pentru întreg ciclul de viață al produsului, la un nivel de calitate șase sigma (Yang și El-Haik, 2003).

Ciclul de viață al unei entități de concepție are o anumită formă de generare a ideilor, urmând un proces creativ mai mult sau mai puțin disciplinat. În ciclul de viață, procesul de concepție este urmat de activitățile de fabricație, producție, service și retragere (Yang și El-Haik, 2003).

Ciclul de viață al unei entități de concepție este format și modelat în mod obișnuit din faze și „bariere”. Faza reprezintă un set de activități de concepție și este mărginită de o intrare și o ieșire. Algoritmul are patru faze, numite generic: I-identificare, C-caracterizare, O-optimizare și V-validare (ICOV). „Barierele” reprezintă o zonă importantă din ciclul de viață al produsului și au un înțeles formal, definit de procesul de dezvoltare, fiind recunoscute de toți cei implicați în ciclul de viață al produsului.

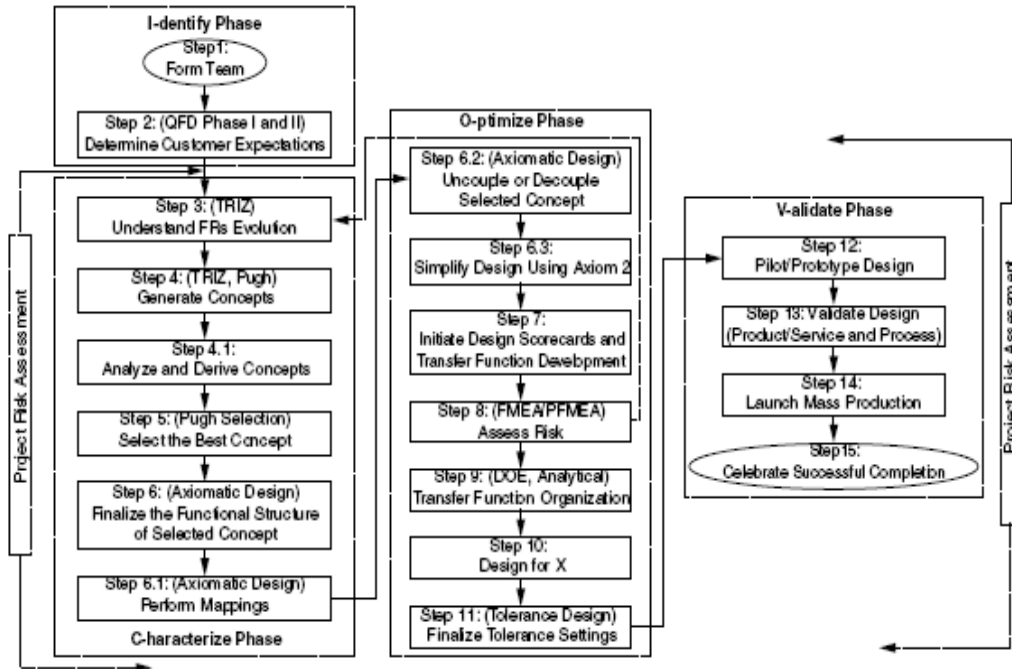


Fig. 3.27. Algoritm DFSS (Yang și El-Haik, 2003)

3.6.2. Modelul lui O'Sullivan

Un model pentru studiul conceptual, bazat pe un demers foarte cunoscut (Pahl ș.a., 2007), și care are o implementare originală, este cel al lui O'Sullivan (*O'Sullivan). Acest model este bazat pe ipoteza că în timpul procesului de concepție se trece de la o formulare informală a cerințelor, pe care produsul trebuie să le satisfacă și se generează configurații alternative ale entităților (*parts*) care satisfac aceste cerințe, înțelegerea funcției și modului cum poate fi ea oferită fiind elementul central.

Studiul conceptual poate fi privit ca o serie de activități și realizări. Acestea sunt conectate la dezvoltarea specificațiilor de concepție și ale procesului iterativ de generare a schemelor. Procesul de generare implică descompunerea funcției, care oferă baza pentru o configurare a entităților care formează o schemă. Aceasta schemă este apoi evaluată și comparată cu alte scheme care au fost dezvoltate. Bazat pe această comparație, conceptorul va alege să îmbunătățească, să accepte sau să respingă anumite scheme. Acest proces de generare a schemelor va fi repetat de mai multe ori, pentru a asigura un număr suficient de mare de scheme. Rolul cunoștințelor și al învățării sunt, de asemenea, ilustrate în figura 3.28, folosind linii întrerupte. În timpul procesului de generare a schemelor sunt utilizate cunoștințele de concepție.

Studiul conceptual este inițiat de recunoașterea unei nevoi sau a unei cerințe a clientului. Această nevoie este analizată și translatată într-o declarație care definește funcția pe care produsul ar trebui să o ofere (cerințele funcționale) și cerințele fizice pe care produsul trebuie să le satisfacă. Această declarație este

cunoscută sub denumirea de specificație de concepție. Există două tipuri de cerințe de concepție, care pot fi identificate: cerințe funcționale și cerințe fizice. În timpul studiului conceptual, conceptorul trebuie să sintetizeze configurația entităților care vor satisface fiecare din cerințele funcționale și fizice din specificațiile de concepție. Pentru a face față, conceptorul are nevoie de cunoștințe considerabile despre cum poate fi oferită o funcție prin mijloace fizice. Adesea, aceste cunoștințe există într-o varietate de forme; conceptorul poate să cunoască doar componente și tehnologii particulare care generează o anumită funcționalitate.

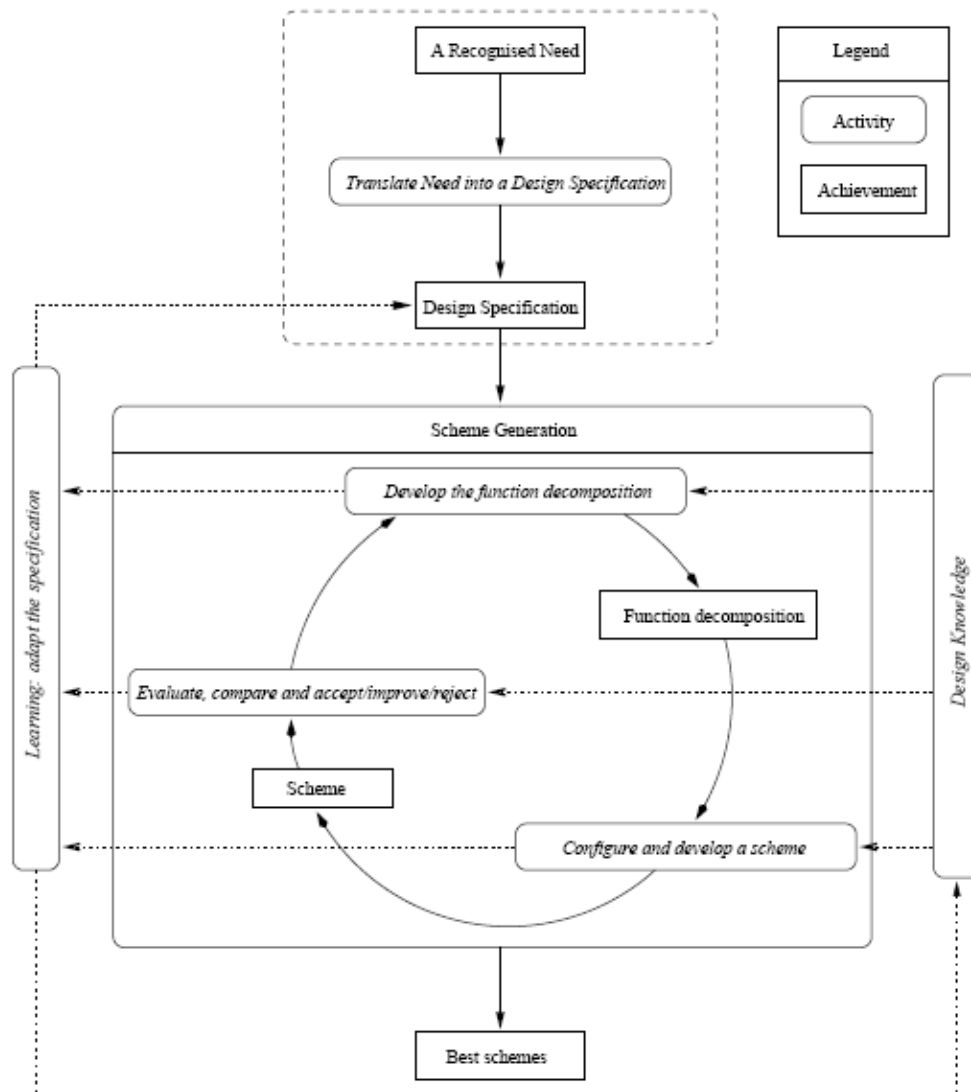


Fig. 3.28. Modelul lui O'Sullivan (*O'Sullivan)

Noțiunea de „*functions mean tree*” a fost propusă de cercetători din

domeniul concepției ca un demers pentru a pune într-o listă cum pot fi realizate funcțiile prin mijloace (Andreasen, 1992).

În (*O'Sullivan) este prezentată o generalizare a *function means tree*, numită *function means map*, care este folosită pentru a modela cunoștințele de concepție funcțională (O'Sullivan, 1999). O *functions mean map* poate fi utilizată pentru a găsi o cale prin care funcții opuse pot exista împreună prin intermediul mijloacelor care le oferă. În *function means map* există două tipuri de mijloace care pot fi identificate: un mijloc poate fi un principiu de concepție sau o entitate de concepție.

Un principiu de concepție este un mijloc (*means*) definit în termeni de funcții care trebuie să fie reprezentate exact în concepție, pentru a oferi o funcționalitate de nivel ridicat. Funcțiile care sunt cerute de un principiu funcțional particular înlocuiesc ca și grup funcția care este reprezentată, inclusă de acel principiu. Aceste funcții vor avea, în general, un număr de relații de context definite între ele. Aceste relații de context descriu cum trebuie să fie configurate părțile din schema care oferă aceste funcții, astfel încât principiul de concepție să fie utilizat într-un mod valid. O entitate de concepție este, pe de altă parte, un mijloc fizic, tangibil pentru realizarea funcției. O entitate de concepție este definită de un set de parametri și relațiile care există între acești parametri.

Pe măsură ce conceptorul dezvoltă o schemă, fiecare funcție din schemă este inclusă ca parte a mijlocului. Fiecare mijloc care este la dispoziția conceptorului are asociat un set de comportamente. Fiecare comportament este definit ca un set de funcții pe care mijlocul folosit poate să le ofere simultan.

Cunoașterea comportamentelor posibile ale unei entități este utilă atunci când conceptorul reprezintă funcțiile. Cunoașterea comportamentului permite conceptorului să identifice când poate fi utilizată o entitate particulară de concepție pentru a oferi câteva funcții simultan.

Când un conceptor începe să dezvolte o schemă pentru un produs, procesul este inițiat de nevoia de a oferi o funcționalitate. Conceptorul începe să dezvolte schema pentru a oferi această funcționalitate prin posibilitățile variatelor mijloace pe care le are la dispoziție în baza de cunoștințe de concepție. În general, primul mijloc pe care conceptorul îl va alege va fi un principiu de concepție. Acest principiu va substitui funcționalitatea cerută (părinte) cu un set de funcții copil. De cum conceptorul dezvoltă schema și produce arborele de descompunere a funcțiilor va îngloba în final toate funcțiile *leaf-node* în schema cu entități de concepție.

Din figura 3.28 se poate observa că generarea unei scheme este un proces iterativ care cuprinde un număr de activități. Aceste activități sunt legate de dezvoltarea unei funcții, a unor configurații a entităților de concepție bazate pe această descompunere a funcțiilor, o evaluare și o comparare a noilor scheme dezvoltate cu acele scheme care au fost deja dezvoltate. Utilizând descompunerea funcțiilor conceptorul poate începe să dezvolte o configurație a entităților de concepție. Fiecare funcție *leaf-node* într-o descompunere particulară a unei funcții trebuie să fie realizată printr-o entitate de concepție. Relațiile de context moștenite de la *branch-nodes* în descompunerea funcției datorate utilizării unor principii de concepție particulare sunt utilizate pentru definirea modului în care entitățile de concepție utilizate în schemă trebuie configurate sau interfațate. Utilizând și principiul optimalității (Pareto), un conceptor poate să compare schemele care au fost dezvoltate pentru a selecta pe cele care vor fi dezvoltate în continuare și pentru a identifica pe acelea care trebuie să fie îmbunătățite, fie să se renunțe la ele.

3.6.3. Modelul co-evolutiv

Acest model are la bază evoluția modelelor secvențiale și simultane, dar și a modelelor bazate pe noțiunea de fază și a celor bazate pe noțiunile de activități și domenii. Cu toate că metodele bazate pe modele secvențiale predescrui pentru procesul de concepție o suită de faze înlănțuite, această schemă nu este strict utilizată decât foarte rar, deoarece există multe iterații induse, iar actorii întâmpină dificultăți în luarea în considerare a constrângerilor inerente rezultate din alte faze. În cazul modelelor simultane, aceste neajunsuri pot fi înlăturate prin realizarea paralelizării activităților, pe de o parte, și realizarea integrării dintre activități.

Blessing (1996) propune (fig. 3.29) o interpretare a acestui fenomen prin trecerea de la o modelare bazată pe un flux serial de etape (a), la un flux ciclic pe etape (b) și în final la un flux repetitiv de etape și activități (c). Etapa următoare în această interpretare este convergența fluxului etapelor și activităților, apoi convergența spațiului soluțiilor dezvoltate.

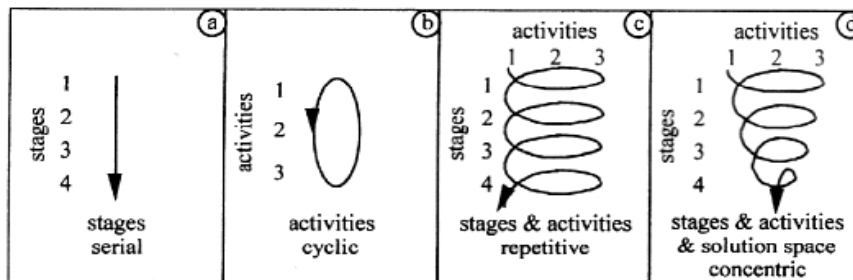


Fig. 3.29. Evoluția proceselor modelului de concepție (Blessing, 1996)

În (Cross, 1989) se propune un model al procesului de concepție care, cu toate că în mod particular este bazat pe noțiunea de fază, face să apară noțiunea de co-evoluție. Reprezentarea adoptată (fig. 3.30) este centrată în jurul unei succesiuni a activităților care compun procesul de concepție.

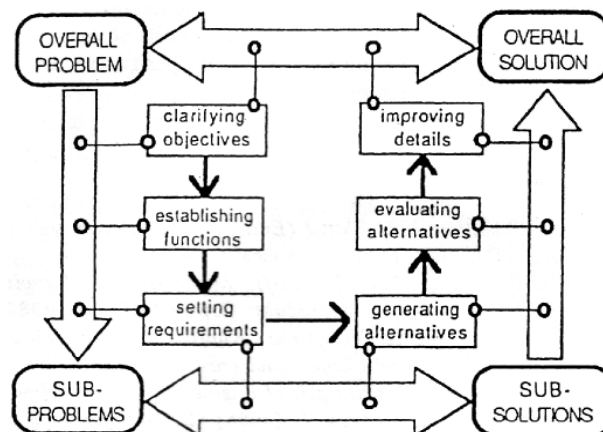


Fig. 3.30. Modelul lui Cross (Cross, 1989)

Există o simetrie între problemele soluții și subproblemele soluții, care este redată grafic prin duble săgeți orizontale. În demersurile secvențiale relația este unidirecțională și deci, asimetrică între probleme și soluții. Săgețile verticale exterioare indică faptul că raționamentul urmat de concepatori este compus, pe de o parte, dintr-o descompunere a problemei în subprobleme și, pe de altă parte, din recompunerea subsoluțiilor în soluții. Activitățile propuse sunt atașate unui domeniu exclusiv, dar procesul urmat de concepatori se bazează pe co-existența acestor două domenii.

Ca urmare a unei experiențe de concepție condusă pentru a identifica mecanismele emergenței produsului într-un context de concepție distribuită, Blanco ș.a. (1998) au constatat: "Criteriile nu sunt preexistente concepției, sunt construite și negociate în același timp cu caracteristicile produsului. Ele participă în același timp la recompunerea problemei de concepție". Astfel, se propune explicarea emergenței produsului în procesul de concepție prin ipoteze și evaluări care vor conduce la elaborarea împreună a proiectului și a soluției (fig. 3.31).

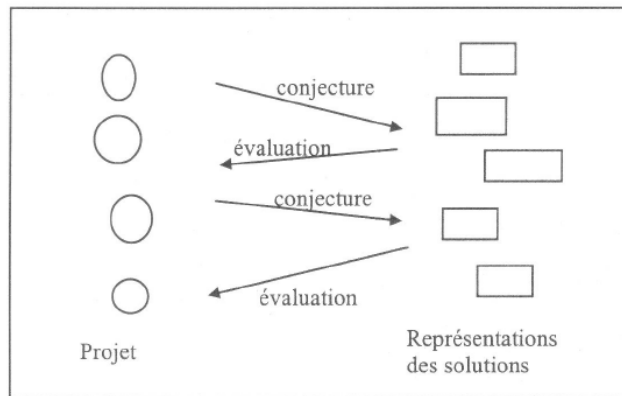


Fig. 3.31. Emergența produsului, zig-zaguri și evaluări (Blanchard, 1998)

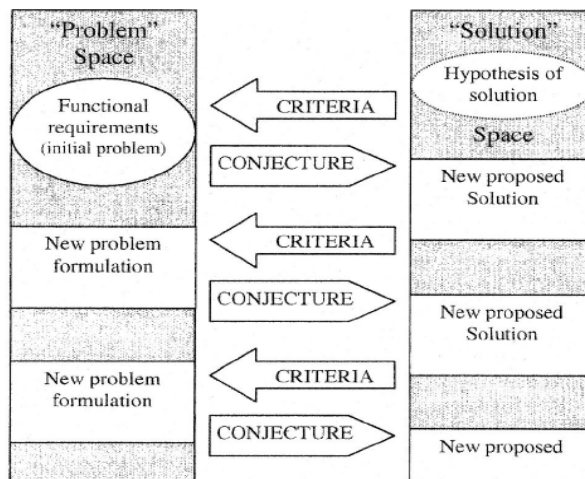


Fig. 3.32. Spațiul problemei și soluției (Brissaud, 2003)

În (Brissaud ș.a., 2003) autorii propun un model de proces de concepție destinat reprezentării zig-zagurilor urmate de raționamentul conectorilor de-a lungul unei experiențe de concepție (fig. 3.32).

Cele două spații distincte, spațiul problemei și spațiul soluției, sunt apelate alternativ de către conectori, trecerea făcându-se prin ipotezele care presupun un aport la soluție și exprimarea criteriilor (pozitiv/negativ) la această ipoteză și redefinirea problemei.

Dorst și Cross (2001) descriu creativitatea în procesul de concepție de-a lungul co-evoluției de la problemă la soluție.

Modelul co-evolutiv propus în (Lonchamp, 2004) este văzut ca și o co-evoluție a reprezentării problemei și, totodată, a definirii soluției. S-a folosit un demers al concepției bazat pe domenii, procesul de concepție fiind văzut ca evoluție a celor două domenii, al soluției și al problemei, legătura între cele două domenii fiind realizată prin intermediul activităților sau proceselor elementare desfășurate de către cei care permit trecerea dintr-un domeniu în altul (fig. 3.33):

- R, reformularea problemei, de la o reprezentare la alta;
- C, ipoteza de la reprezentarea problemei la o nouă definiție a soluției sau a soluțiilor, ceea ce corespunde propunerii uneia sau mai multor soluții pentru a răspunde la o problemă formulată;
- D, definirea, de la o soluție la următoarele;
- E, evaluarea de la una dintre soluțiile definite la problema formulată.

C corespunde actului creației, imaginației, generării de idei, aspectului inventiv al creației, condus în manieră individuală, iar D corespunde actului de exprimare (scheme, discurs, schițe etc.) care permite comunicarea, arhivarea sau stocarea soluției.

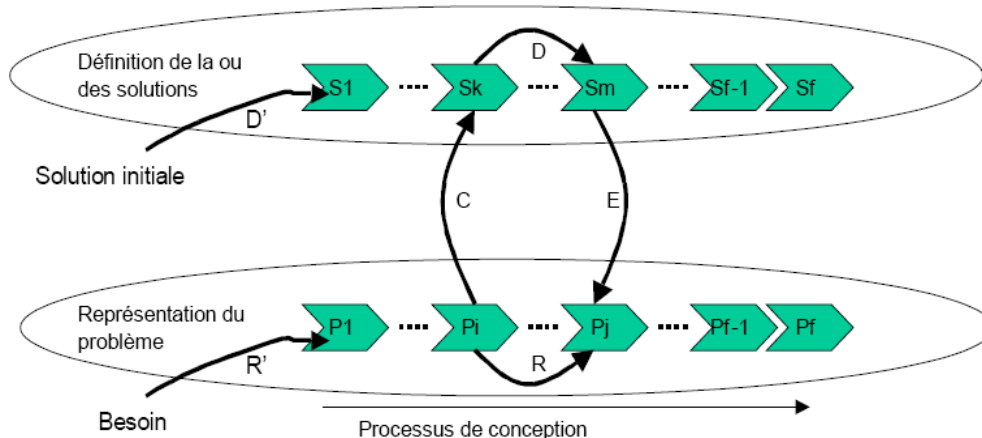


Fig. 3.33. Modelul de concepție co-evolutiv (Lonchamp, 2004)

3.6.4. Modelul evolutiv

Studiul conceptual (*Conceptual Design*) este o activitate majoră primară a concepției ingineresti, care implică generarea și evaluarea conceptelor (Pahl și Beitz, 1996). O problemă dificilă cu care se confruntă conectorii este găsirea unor mijloace care să îi ajute în această etapă, în acest sens făcându-se eforturi pentru

oferirea unui suport de management al informației.

Pentru a obține un suport efectiv al acestei faze trebuie să dăm atenție la două probleme (Jin ș.a., 2005). Prima este procesul de generare al conceptelor, care este în mare parte necunoscut și, deși cercetătorii au dezvoltat diferite metode de concepție (Pahl și Beitz, 1996), (Suh, 2001), ele specifică doar pașii pe care trebuie să îi urmeze conceptorii. Aceștia trebuie să se bazeze pe propria lor experiență și pricepere pentru a genera conceptele și pentru a alege pe cel mai bun. Modelele cognitive ale studiului conceptual au fost explorate (Cross și Dorst, 1997), dar va lua timp în continuare pentru ca aceste modele să fie utile pentru realizarea unor mijloace computaționale de suport a concepției.

O altă problemă importantă este lipsa informației cantitative în faza de studiu conceptual (Pahl și Beitz, 1996, 2007). Conceptele și informația implicate sunt legate de cerințele funcționării și soluțiile de principiu care sunt, de obicei, calitative. Această situație face dificilă stabilirea criteriilor de evaluare pentru studiul conceptual. Progresele recente în *evolutionary computing* (Goldberg, 1989), (Koza, 1992) au atras atenția cercetătorilor din cauza potențialului ridicat de ajutor în generarea ideilor. Cercetările în concepția evolutivă (*evolutionary design*) sunt însă limitate și se ocupă de problemele de *design parametric* (Roy ș.a., 2003) sau sunt simple probleme de concepție arhitecturală (*architectural design*) (Maher, 2001). Demersurile bazate pe gramatică (Schmidt ș.a., 1997) au fost aplicate pentru a oferi un suport computațional pentru studiul conceptual, dar ele nu oferă explicit criterii pentru evaluarea conceptelor. Din cauza acestor probleme, până în acest moment nu au fost găsite căi efective de suport pentru studiul conceptual. Descompunerea funcțiilor de nivelul cel mai ridicat în funcții de niveluri inferioare este o practică larg răspândită de a crea soluții de concepție, pentru care (Suh, 2001) propune procesul de zig-zagging. Conceptorul trebuie singur să găsească parametrii de concepție potriviți și să realizeze descompunerea în continuare a cerințelor funcționale.

În (Jin ș.a., 2005) este propusă dezvoltarea unui demers ierarhic co-evolutiv care sprijină studiul conceptual prin oferirea unei explorări automate a spațiului de concepție și a generării soluțiilor. În acest demers, gramatica funcției ghidează descompunerea funcției și co-evoluția funcțiilor și mijloacelor conduce la cele mai bune soluții la fiecare nivel de descompunere. Un algoritm co-evolutiv bazat pe acest model este dezvoltat pentru generarea conceptelor. Problema propusă a fi rezolvată este cum se poate imagina un suport computațional pentru conceptori, care să descompună funcțiile, să identifice cele mai potrivite mijloace pentru realizarea funcțiilor și să genereze cele mai dezirabile soluții de concepție.

Pentru acesta s-au folosit tehnici evolutive computaționale. Un demers evolutiv poate să adreseze cele două tipuri de probleme prezentate mai sus: procesul de generare al conceptelor, care este în mare parte necunoscut și lipsa informației cantitative în faza de studiu conceptual. Într-un demers ierarhic co-evolutiv, care sprijină studiul conceptual prin oferirea unei explorări automate a spațiului de concepție și a generării soluțiilor, gramatica funcției ghidează descompunerea funcției și co-evoluția funcțiilor și mijloacelor, conducând la cele mai bune soluții la fiecare nivel de descompunere. Un algoritm co-evolutiv bazat pe acest model este dezvoltat pentru generarea conceptelor. În primul rând, evoluția poate fi aplicată ca un proces real, dar nu imediat, pentru generarea ideilor și, în al doilea rând, conceptul de aptitudine poate fi utilizat pentru a maximiza utilitatea informației disponibile, pentru evaluarea conceptelor. Figura 3.34 ilustrează cadrul evolutiv propus pentru studiul conceptual.

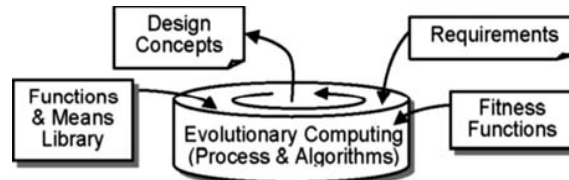


Fig. 3.34. Demersul evolutiv de *conceptual design* (Jin ș.a., 2005)

În centru este *evolutionary computing based on a co-evolutionary design process and evolutionary algorithms*. Biblioteca de funcții și mijloace servește ca spațiu de concepție, în care funcțiile și mijloacele specifice evoluează pentru a forma soluții finale. Aceste funcții aptitudine sunt compuse din principii generale și informațiile obținute în timpul concepției. Ele servesc ca și criterii de evaluare pentru a ghida evoluția. După ce sunt date o listă de cerințe și funcțiile de prim nivel, acestea vor fi descompuse, iar funcții și mijloace mai concrete vor evolua pentru a forma eventual soluții complete (detaliată, finale).

3.7. Concluzii

În acest capitol s-au prezentat o parte a modelelor de concepție cunoscute din literatura de specialitate, grupate în modele bazate pe noțiunea de fază, modele bazate pe noțiunea de activitate, modele bazate pe noțiunea de domeniu, modele hibride (cele care sunt bazate pe un demers co-evolutiv).

Scopul acestei prezentări a fost de a analiza modelele în vederea stabilirii unei baze de plecare pentru dezvoltarea unui model holistic de abordare a concepției care ar putea folosi avantajele prezente în diferite modele de concepție.

Astfel, au fost reținute dintre modelele enumerate modelul sistematic al lui Pahl și Beitz, bazat pe noțiunea de fază și modelul axiomatic al lui Nam Suh, bazat pe noțiunea de domeniu și axiome de ghidare a procesului de concepție.

În capitolul următor se vor analiza aspectele comune și diferite între cele două tipuri de modele, cât și metodele și mijloacele comune celor două modele în desfășurarea etapelor lor, în vederea propunerii unui model holistic de abordare a concepției.

4. MODELUL HOLISTIC DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI

4.1. Introducere

În acest capitol se va prezenta, în prima sa parte, relația funcție-soluție în cele două modele de concepție reținute din capitolul trei – modelul sistematic și modelul axiomatic. Se propune apoi un model holistic de abordare a concepției, care să reunească avantajele celor două modele.

În continuare este prezentat modelul ciclului de viață al produsului, pentru a cărui reprezentare a fost folosită metoda SADT. Pentru reprezentarea fazelor sale se folosește programul iGrafx 2011, care conține modulul IDEF0. Din modelul ciclului de viață al produsului se va detalia activitatea de concepție și se vor prezenta metodele și mijloacele care se pot folosi în cadrul acesteia, pentru aplicarea modelului holistic.

4.2. Relația funcție-soluție în concepția sistematică și în concepția axiomatică

În concepția sistematică, enunțarea funcției generale presupune existența formulării problemei și apoi, bazat pe fluxurile de energie, materiale și semnale, urmează exprimarea unei relații neutre de soluție, între intrări și ieșiri. În continuare, această cerință funcțională - funcția generală - trebuie enunțată în termeni neutri de soluție și este descompusă pe diferite nivele ierarhice. Faza *conceptual design* presupune găsirea unor soluții care să răspundă subfuncțiilor funcției generale. Combinarea compatibilă a soluțiilor posibile redă funcționalitatea principală.

O structură funcțională este descrisă ca „o combinație compatibilă și cu înțeles a subfuncțiilor într-o funcție globală” (Pahl ș.a., 2007). Funcțiile care cuprind structura funcțională sunt clasificate ca funcții principale și funcții auxiliare. Subfuncțiile asociate fluxului principal sunt dezvoltate în pași succesivi, în care cunoștințele celor care le dezvoltă și procesele logice (în sensul de a „vedea” subfuncțiile care conduc la realizarea funcționalității generale, principale) joacă un rol important.

Descompunerea unei funcții are ca scop determinarea subfuncțiilor care facilitează căutarea în continuare de soluții și combinarea acestor subfuncții într-o structură simplă a funcției și fără ambiguități.

În (Pahl ș.a., 2007) se precizează câteva „reguli” pentru stabilirea unei structuri a funcției:

- din identificarea relațiilor funcționale existente în lista de cerințe poate rezulta o structură grosieră a funcțiilor, cu câteva subfuncții și apoi

divizarea, descompunerea acestei structuri, pas cu pas, prin rezolvarea subfuncțiilor complexe;

- dacă nu există relații clare între subfuncții, căutarea unei soluții de principiu, în anumite circumstanțe, poate fi bazată numai pe enumerarea subfuncțiilor identificate, fără relații fizice sau logice, dar pe cât posibil trebuie aranjate astfel încât să fie în acord cu extinderea pentru care au fost realizate;
- relațiile logice pot conduce la structuri de funcții prin care elementele logice ale principiilor de lucru pot fi anticipate;
- structurile funcției sunt complete numai dacă fluxurile existente sau așteptate de energie, materiale, semnale, sunt specificate. Este util să se înceapă prin analiza fluxului principal, deoarece, ca și regulă, determină concepția - procesul de concepție - și este mai ușor derivat din cerințe. Structura completă a funcției se realizează prin iterații și cuprinde toate fluxurile și relațiile dintre ele - se ia în considerare fluxul principal, care se completează apoi cu fluxurile secundare și se stabilește structura generală;
- trebuie introduse mai întâi funcțiile general valide, care se regăsesc identic în cele mai multe structuri;
- în cazul aplicațiilor în microelectronică este utilă considerarea fluxurilor de semnal de așa manieră încât să rezulte o structură a funcției care sugerează folosirea elementelor modulare;
- pornind de la o structură grosieră a funcțiilor sau de la o analiză a funcției stabilită din analiza sistemelor cunoscute este posibilă în continuare derivarea unor variante și optimizarea soluției prin divizarea sau combinarea subfuncțiilor individuale, schimbarea aranjării subfuncțiilor individuale, schimbarea tipului de legături - serie-paralel - sau prin schimbarea limitelor sistemului. Deoarece varierea structurii funcțiilor introduce soluții distincte, stabilirea structurii funcțiilor constituie un prim pas în căutarea soluțiilor;
- structurile funcției trebuie să fie menținute cât mai simple, pentru a încuraja soluții simple și economice; este văzută ca și scop atât combinarea funcțiilor pentru a obține elemente integrate care realizează funcția, cât și funcțiile discrete, dorite în anumite cazuri, care trebuie realizate individual de un singur element;
- în căutarea soluțiilor trebuie promovate doar structurile funcției care „promit”, deci este necesară, chiar și în acest stadiu incipient, o procedură de selecție;
- pentru reprezentarea structurii funcțiilor este mai bine să se folosească simboluri simple și informative, suplimentate de specificări verbale corespunzătoare sarcinii la care se referă;
- o analiză a structurii funcției conduce la identificarea acelor subfuncții pentru care trebuie găsite noi principii de lucru și a celor pentru care pot fi utilizate soluții existente.

Astfel, în concepția sistematică, pe măsură ce funcția generală se descompune în subfuncții, mijloacele alese pentru a rezolva subfuncțiile generează, la rândul lor, alte subfuncții, dependent de mijlocul ales pentru realizarea funcției. Această generare are loc pe măsură ce se avansează spre etapa de concepție constructivă. Funcțiile auxiliare sunt identificate în faza de concepție constructivă și sunt determinate de natura soluțiilor alese pentru a îndeplini funcțiile principale. Combinarea compatibilă a soluțiilor posibile redă funcționalitatea principală.

Sistemele tehnice nu au funcții mai mult sau mai puțin importante, toate sunt importante atâta timp cât sunt necesare (Pahl ș.a., 2007).

În concepția sistematică, în principiu, după fiecare pas - chiar și după stabilirea structurilor funcției - singura soluție propusă trebuie să fie supusă unei proceduri de selecție care implică două etape, una de eliminare și una de preferință, urmate de o evaluare. În (Pahl ș.a., 2007) pentru evaluare sunt prezentate două metode: analiza costuri-beneficii, bazată pe demersul sistemelor și tehnica de evaluare combinată tehnic și economic, specificată în Guideline VDI 2225. Demersul sistematic, privit ca un întreg, pornește de la abstract spre concret, de la definirea sarcinii, definirea conceptelor și concepția constructivă preliminară spre concepția constructivă detaliată. Fiecare fază este finalizată printr-un proces de evaluare.

În concepția axiomatică, parametrii de concepție DP se detaliază ca și seturi de subfuncții, iar funcționalitatea principală a sistemului rezultă din însumarea efectelor parametrilor de concepție DP. Alegerea unui DP sau a altuia generează în continuare o cerință funcțională de nivel inferior, specifică alegerii făcute. O descompunere pe nivelul inferior al unei funcții este ghidată de soluția aleasă pentru realizarea funcției.

În ambele modele de concepție (sistematică și axiomatică), subfuncțiile, respectiv FRs corespunzătoare soluțiilor alese - DP generează următorul set de subfuncții sau FRs, doar modul în sine în care se realizează descompunerea și modul de evaluare a soluției alese diferă. Modul în care este efectuată descompunerea și regulile urmate în vederea descompunerii diferă în cele două demersuri, în sensul că în concepția axiomatică este folosit zig-zagging (avansarea descompunerii se face pornind de la domeniul FRs la DP, apoi descompunerea trece la nivelul următor, pornind de la DP la FRs, astfel rezultând FRs de nivel inferior, după care procesul se reia), pe când în concepția sistematică, neexistând acest concept, descompunerea vizează dezvoltarea unei structuri a funcției prin completări succesive.

În concepția sistematică, realizarea unei structuri a funcției ajută la definirea clară a subsistemelor existente sau a celor care urmează să fie elaborate, astfel încât acestea să poată fi tratate separat. În condițiile în care subfuncțiile sunt realizate prin intermediul unor ansambluri existente, nu se mai efectuează în continuare subdivizarea subfuncției. Același lucru este prezent și în concepția axiomatică, dar formulat în termeni specifici acesteia, și anume: în cazul în care există ansambluri care pot îndeplini subfuncții mai mult sau mai puțin complexe, funcțiile (subfuncțiile) respective nu se mai descompun în continuare, soluțiile pentru ele existând deja. Dacă aceste soluții materializate prin subansambluri/ansambluri existente sunt satisfăcătoare, atunci subdivizarea structurii funcției poate fi întreruptă la un nivel ierarhic corespunzător funcției/subfuncției care a fost înlocuită. Se poate ca un DP să fie o componentă, o piesă deja existentă, și în aceste condiții nu se mai continuă descompunerea pe nivele inferioare.

În faza de concepție constructivă, conceptorii trebuie să determine aranjarea generală a concepției și compatibilitatea spațială, forma componentelor și materialelor, a proceselor de producție, să ofere soluții pentru toate funcțiile auxiliare. Acestea sunt similare cu integrarea fizică a DP și aranjarea generală a DP. Această fază este ghidată de reguli de bază, principii de *Design for X*. Faptul că în timpul fazei de concepție constructivă sunt necesare detalieri ale proceselor de producție necesare este echivalent cu trecerea de la parametri fizici la parametri de proces, având loc o detaliere a acestora.

În concepția axiomatică cerințele funcționale sunt definite ca "setul minim de cerințe independente care caracterizează complet obiectivul de concepție pentru o nevoie specifică" (Suh, 2001). Aici, cerințele funcționale corespund funcțiilor din

structura funcțională a modelului sistematic, dar nu se face distincție între funcțiile principale și cele auxiliare. Cerințele funcționale de nivel mai scăzut sunt definite pe măsură ce se aleg parametrii de concepție - soluții, moduri de realizare a cerințelor funcționale. În modelul axiomatic, modul în care se face această trecere de la un nivel ierarhic la următorul este pus în evidență prin trecerea de la un nivel de detaliere la altul, prin zig-zagging. Acest proces este condus printr-o descompunere care se derulează printr-o serie de activități, scopul lor fiind definirea unei noi perechi FR-DP de descompus și astfel are loc trecerea la nivelul următor de detaliere. Activitățile de descompunere sunt (Tate, 1999): succesiunea descompunerii, acțiunile care se succed într-o anumită ordine și care formează un tot unitar, generarea sub-FRs, propagarea și rafinarea constrângerilor Cs, verificarea coerenței sub-FRs, sub-DPs, sub-DMs și CNs, dimensionarea și configurarea sub-DPs, aranjarea DPs, integrarea de sub-DPs, identificarea CNs relevante, asigurarea consistenței, concordanței între nivele. Activitățile care au loc la același nivel în ierarhia de concepție sunt: stabilirea valorilor parametrilor DPs sau operarea (dacă este vorba de un DP care nu se descompune în sub-DPs), definirea și selectarea unui sub-DPs. Acest proces de descompunere, cât și activitățile efectuate pe un singur nivel ierarhic, sunt înglobate într-un proces de concepție general, care se derulează identic pentru fiecare nivel ierarhic, figura 4.1 (Tate, 1999).

În concepția axiomatică, soluțiile propuse trebuie să satisfacă axioma de independență, care afirmă (Suh, 2001): soluțiile acceptabile trebuie să mențină independența cerințelor funcționale în domeniul funcțional, pentru a elimina cuplarea FRs, calcularea gradelor de independență făcându-se folosind mărimile specifice, *reangularity* și *semangularity*.

În urma aplicării și a axiomei de informare, dintre soluțiile propuse, și care satisfac axioma de independență, este aleasă aceea care va avea conținutul informației cel mai mic, adică aceea care va avea cea mai mare probabilitate de a asigura realizarea cerințelor funcționale în limitele impuse. Condiția necesară și suficientă pentru satisfacerea axiomei de informare este ca toleranțele oferite de sistemul ales pentru realizarea FRs să se afle complet în limitele specificate pentru FRs. Dacă există alternative sau mai multe soluții cu diferite grade de cuplare (gradul de cuplare fiind calculat cu ajutorul relațiilor *reangularity* și *semangularity*), concepția cu grad de cuplare mai mic poate să aibă un conținut al informației mai mare decât cel care prezintă un grad de cuplare mai ridicat. În aceste condiții se va alege acea concepție care prezintă un conținut al informației mai mic. În orice concepție conținutul informației depinde și de toleranțele aplicate DPs. Deci, atunci când există alternative de concepție, *decoupled* și *uncoupled* (sau cu grade diferite de cuplare), înainte de a renunța la o alternativă sau alta este indicat să se calculeze conținutul informației asociat cu fiecare dintre concepții.

Pentru a se dezvolta o soluție trebuie în permanență să se analizeze și să se modeleze alternativele propuse. Matricile de concepție pot să fie exprimate la nivel conceptual în termeni de X și O, adică să se evidențieze dependența sau independența cerințelor funcționale de parametrii de concepție, sau pot fi detaliate prin ecuații sau numere care leagă FRs de DPs. Modelarea unei soluții presupune înlocuirea fiecărui X cu o constantă sau o funcție care implică DP. Avem astfel un set de ecuații care leagă FRs de DPs, care pot fi rezolvate separat în cazul unei concepții decuplate total sau într-o anumită ordine dată de matricea de concepție pentru concepțiile decuplate (Suh, 2001)

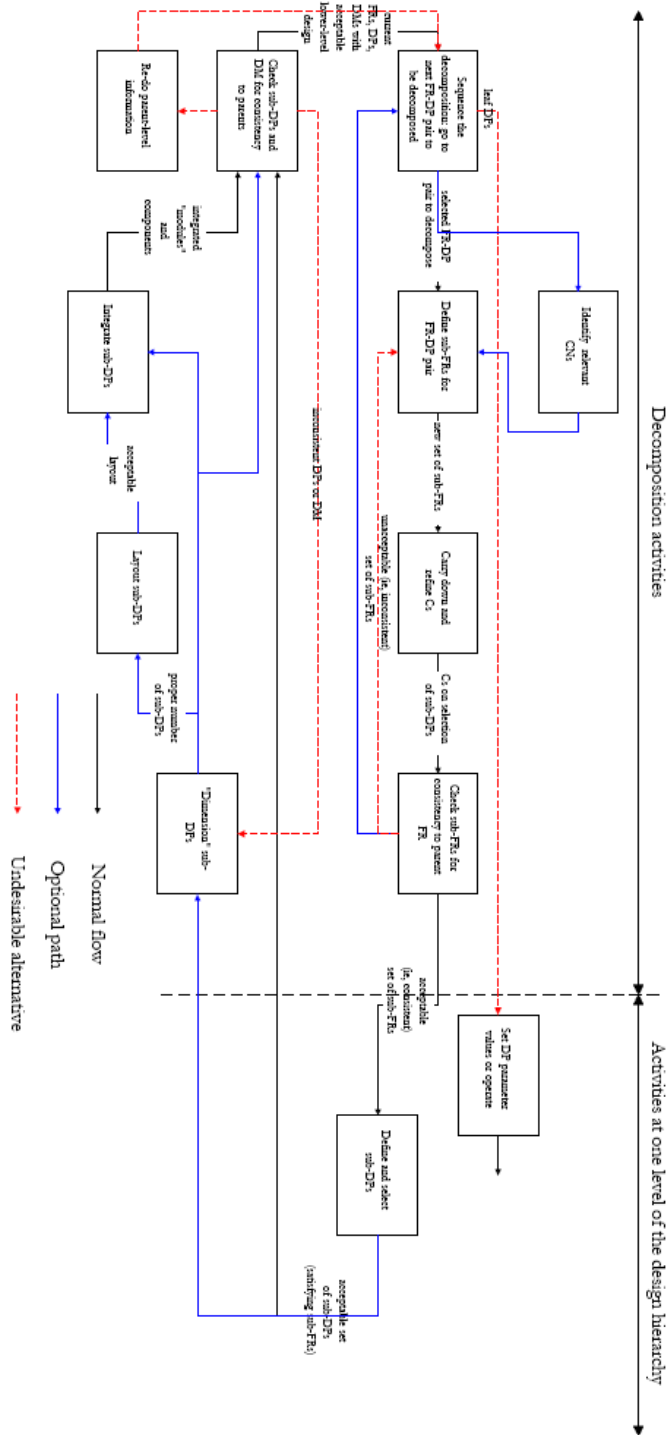


Fig. 4.1. Procesul de concepție general (Tate, 1999)

Între cele două modele, sistematic și axiomatic, există atât diferențe cât și puncte comune. Astfel, în (Tate, 1999) sunt prezentate elementele comune și diferențele dintre cele două modele.

Elementele comune sunt: natura și definirea funcțiilor. Atunci când se definesc funcțiile, trebuie să se gândească exclusiv în termeni de funcții și nu de soluții. O parte din modelul lui Pahl și Beitz se referă la dezvoltarea structurii funcțiilor. Câteva instrucțiuni cu privire la generarea funcțiilor sunt utile pentru generarea cerințelor funcționale FRs de nivele mai scăzute. Astfel, ideea de a porni de la o structură primară sau analizând sisteme cunoscute pentru detectarea variantelor posibile de îndeplinire a funcțiilor este utilă în concepția axiomatică, concepii trebuind să ia în considerare toate alternativele posibile pentru realizarea funcțiilor. În concepția sistematică se urmărește generarea de variante de concepție prin modurile în care se pot realiza funcțiile, idee care este în concordanță cu concepția axiomatică, în care se face o sinteză a soluțiilor (DPs), nu doar o rearanjare a cerințelor funcționale (FRs).

Dintre diferențe sunt amintite:

- în concepția sistematică lipsește conceptul de domenii, iar cel mai aproape de parametri de concepție este identificarea principiului de lucru și a principiului de structură de lucru;
- în concepția sistematică nu există conceptele de ierarhie și zig-zagging, căutarea unei soluții fiind concentrată pe o subfuncție, iar găsirea soluției va genera posibilitatea înlăturării sau nu a altor subfuncții;
- în concepția sistematică există noțiunile de funcții principale, care servesc funcționalitatea principală, și funcții auxiliare, care contribuie indirect la aceasta, concepte care în concepția axiomatică nu există, toate FRs fiind luate în considerare și trebuind la rândul lor să fie satisfăcute de DPs corespunzători;
- în concepția sistematică se scot în evidență fluxurile operaționale și posibilitatea de identificare a unor schimbări minore, pe când în concepția axiomatică se urmărește obținerea unor decizii de concepție inovante, bune.

În tabelul 4.1 s-au prezentat fazele de studiu conceptual și de concepție constructivă, cu mijloacele care le sprijină, în modelul sistematic și în modelul axiomatic.

Tabelul 4.1. Fazele de studiu conceptual și de concepție constructivă, mijloacele folosite, în modelul sistematic și în modelul axiomatic

STUDIUL CONCEPTUAL		
Concepția sistematică	Concepția axiomatică	Mijloace folosite
Avansarea se face de la abstract spre concret, urmând diferite nivele de abstractizare, de la cel mai ridicat nivel – abstract, spre detaliat - concret.		
1. În prima fază se identifică sarcina de concepție, care presupune implicarea mai multor departamente, cerințele clientului, constrângeri de nivel general care în urma rafinării și reformulărilor succesive conduce la identificarea unei sarcini de concepție, din care rezultă apoi cerința de nivel cel mai ridicat.		QFD, VOC, analiză funcțională externă, diagramă de afinitate, check-lists (liste de verificare), listă de cerințe
Funcționalitatea generală a produsului	Cerința funcțională de nivel 0	
2. Cerința funcțională de nivel zero - funcția generală - trebuie să fie		Abstractizare,

enunțată în termeni neutri de soluție și este descompusă pe diferite nivele ierarhice.		analiză funcțională
Funcționalitatea generală a produsului - exprimată în termeni neutri de soluție	Cerința funcțională de nivel 0 - exprimată în termeni neutri de soluție	
3. Stabilirea structurilor funcției Descompunerea vizează dezvoltarea unei structuri a funcției prin completări succesive. Funcția generală este descompusă și, pe măsură ce se descompune în subfuncții, mijloacele alese pentru a rezolva subfuncțiile generează, la rândul lor, alte subfuncții, dependent de mijlocul ales pentru realizarea funcției. Această generare are loc pe măsură ce se avansează spre etapa de concepție constructivă. În etapa de concepție constructivă se descoperă funcțiile auxiliare și se caută soluții pentru ele.	Activitatea de descompunere presupune existența unei cerințe funcționale care, ulterior, este analizată și generează o pereche FR-DP. Această pereche va genera, la rândul ei, prin descompunere (zig-zagging), un nou set de cerințe funcționale de nivel mai scăzut. Cerințele funcționale de nivel mai scăzut sunt definite pe măsură ce se aleg parametrii de concepție, care sunt soluții, moduri de realizare a cerințelor funcționale. Modul în care se face această trecere de la un nivel ierarhic la următorul este pus în evidență prin trecerea de la un nivel de detaliere la altul, prin zig-zagging. Acest proces este condus printr-o descompunere care se derulează printr-o serie de activități, scopul lor fiind definirea unei noi perechi FR-DP de descompus și, astfel, are loc trecerea la nivelul următor de detaliere: generarea sub-FRs, propagarea și rafinarea Cs, verificarea coerenței sub-FRs, sub-DPs, sub-DMS și Cs, dimensionarea și configurarea sub-DPs, aranjarea, organizarea DPs, integrarea de sub-DPs, identificarea CNs relevante, asigurarea consistenței între nivele.	Reprezentarea cutiei negre, structura funcției; analiza soluțiilor cunoscute și a relațiilor matematice-fizice
4. Căutarea principiilor de lucru. Problemele, sarcinile și funcțiile sunt împărțite în subprobleme, subactivități și subfuncții, fiind rezolvate individual.		Studii în literatură, analiza sistemelor naturale, soluțiilor cunoscute, a relațiilor matematico-fizice, teste, măsurători, brainstorming, sinectică, metoda Gallery, studiul sistematic al procesului fizic, scheme de clasificare, cataloage de concepție, TRIZ
5. Combinarea principiilor de lucru. Odată ce soluțiile sunt disponibile pentru subprobleme, subactivități sau subfuncții, ele trebuie să fie combinate pentru a se ajunge la o soluție de ansamblu. Combinarea se realizează intuitiv, dar există și metode speciale pentru a se ajunge mai direct la astfel de sinteze. Principala problemă cu astfel de asocieri este asigurarea compatibilității fizice și geometrice dintre principiile de	Pentru a se dezvolta o soluție trebuie în permanență să se analizeze și să se modeleze soluțiile propuse. Matricile de concepție pot să fie exprimate la nivel conceptual în termeni de X și O, adică să se evidențieze dependența sau independența cerințelor funcționale de parametrii de concepție, sau pot fi detaliate prin ecuații sau numere care leagă FRs de DPs. Modelarea unei soluții presupune înlocuirea fiecărui X cu o constantă sau o funcție care implică DP. Rezultă astfel un set	Soluții cunoscute, măsurători, teste, scheme de clasificare, cataloage de concepție, schițe, îmbunătățiri intuitive, metode de selectare

soluție care sunt combinate, evitarea interferențelor geometrice în sistemele mecanice.	de ecuații care leagă FRs de DP, care pot fi rezolvate separat în cazul unei concepții decuplate total sau într-o anumită ordine dată de matricea de concepție, pentru concepțiile decuplate parțial (Lee & Suh, 2006)	
6. Alegerea combinației potrivite	Axioma de informare și axioma de independență	Metode de selecție
7. Consolidarea în soluții de principiu		Măsurători, teste, schițe, îmbunătățiri bazate pe intuiție
8. Evaluarea soluțiilor de principiu	Axioma de informare și axioma de independență	Metode de evaluare, metode de asigurarea calității, metode de evaluare a costurilor

CONCEPȚIA CONSTRUCTIVĂ		
Concepția sistematică	Concepția axiomatică	MIJLOACE FOLOSITE
1. Identificarea cerințelor pentru concepția constructivă		Lista de cerințe Conceptul soluției
2. Specificarea constrângerilor spațiale		Lista de cerințe Conceptul soluției
3. Identificarea entităților care sprijină funcțiile principale	Cerințele funcționale de nivel mai scăzut sunt definite pe măsură ce se aleg parametrii de concepție care sunt soluții, moduri de realizare a cerințelor funcționale. Modul în care se face această trecere de la un nivel ierarhic la următorul este pus în evidență prin trecerea de la un nivel de detaliere la altul, prin zig-zagging. Acest proces este condus printr-o descompunere care se derulează printr-o serie de activități, scopul lor fiind definirea unei noi perechi FR-DP de descompus și astfel are loc trecerea la nivelul următor de detaliere: generarea de sub-FRs, propagarea și rafinarea Cs, verificarea coerenței sub-FRs, sub-DPs, sub-DMS și Cs, dimensionarea și configurarea sub-DPs, aranjarea, organizarea DP, integrarea de sub-DPs, identificarea CNS relevante, asigurarea consistenței între nivele.	Structura funcției Conceptul soluției Principii: transmiterea forțelor, divizarea sarcinilor, autoajutor, stabilitate și bistabilitate, concepție fără căderi
4. Dezvoltarea amenajării (organizării) preliminare a entităților care sprijină funcția		Liste de verificare, reguli de bază: simplitate, claritate,

principală		siguranță Principii: transmiterea forțelor, divizarea sarcinilor, autoajutor, stabilitate și bistabilitate, concepția fără căderi
5. Selectarea aranjării, organizării preliminare	Axioma de informare și axioma de independență	Metode de selecție
6. Dezvoltarea aranjării, organizării preliminare pentru restul de entități care sprijină funcția principală	O dată cu descompunerea prin zig-zagging are loc și descoperirea entităților care corespund cu cerințele funcționale - funcțiile de nivel mai scăzut.	Liste de verificare, Reguli de bază: simplitate, claritate, siguranță Principii: transmiterea forțelor, divizarea sarcinilor, autoajutor, stabilitate și bistabilitate, concepția fără căderi
7. Căutarea de soluții la funcțiile auxiliare care sprijină funcția. Funcțiile auxiliare sunt identificate în faza de concepție constructivă și sunt determinate de natura soluțiilor alese pentru a îndeplini funcțiile principale. Combinarea compatibilă a soluțiilor posibile redă funcționalitatea principală.	Parametrii de concepție DP se detaliază ca și seturi de subfuncții, iar funcționalitatea principală a sistemului rezultă din însurarea efectelor parametrilor de concepție DPs. Alegerea unui DP sau a altuia generează în continuare o cerință funcțională de nivel inferior, specifică alegerii făcute	Metode soluție, soluții generice, Metode de selectare
8. Dezvoltarea organizării, aranjării dispunerii/amplasării (layout-ului) detaliat pentru entitățile ce sprijină funcția principală		Liste de verificare, reguli de bază: simplitate, claritate, siguranță Orientări generale, linii directoare Durabilitate, deformare, stabilitate, rezonanță, expansiune, alungire, relaxare, coroziune, uzură, ergonomie, estetică, standarde, producție, asamblare, controlul calității, transport, operare, mentenanță, reciclare.

9. Dezvoltarea organizării, aranjării dispunerii/amplasării (layout-ului) detaliat pentru entitățile ce sprijină funcțiile auxiliare		Liste de verificare, reguli de bază: simplitate, claritate, siguranță Orientări generale, linii directoare Durabilitate, deformare, stabilitate, rezonanță, expansiune, alungire, relaxare, coroziune, uzură, ergonomie, estetică, standarde, producție, asamblare, controlul calității, transport, operare, mentenanță, reciclare.
10. Evaluarea organizării, aranjării preliminare		Identificarea costurilor Metode de evaluare
11. Pregătirea organizării, aranjării definitive		Orientări generale, linii directoare Durabilitate, deformare, stabilitate, rezonanță, expansiune, alungire, relaxare, coroziune, uzură, ergonomie, estetică, standarde, producție, asamblare, controlul calității, transport, operare, mentenanță, reciclare. Asigurarea calității Reducerea riscurilor
12. Căutarea de erori și factori de perturbare		Asigurarea calității Reducerea riscurilor
13. Pregătirea listei preliminare de piese și a documentelor de producție		Orientări generale, linii directoare Durabilitate, deformare, stabilitate, rezonanță, expansiune, alungire, relaxare, coroziune, uzură, ergonomie, estetică, standarde, producție,

		asamblare, controlul calității, transport, operare, mentenanță, reciclare.
--	--	--

Ca o sinteză a elementelor prezentate se desprind următoarele concluzii:

- cerințele funcționale aflate pe diferite nivele ierarhice și rezultate în urma procesului de zig-zagging pot fi identificate cu stabilirea funcției generale, respectiv stabilirea structurilor funcției;
- cerințele funcționale pot fi identificate cu funcțiile de îndeplinit, iar parametrii de concepție cu soluțiile alese;
- parametrii de concepție pot fi identificați cu principiile de lucru, soluțiile, care realizează subfuncțiile, adică pe tot parcursul derulării fazelor de studiu conceptual și de concepție constructivă, soluțiile găsite pentru funcții, subfuncții, funcții auxiliare reprezintă parametrii de concepție aflați pe diferite nivele ierarhice;
- combinarea principiilor de lucru în structuri de lucru este similară cu combinarea, integrarea DP, astfel încât să conducă la realizarea funcționalității principale;
- compatibilitatea fizică și geometrică dintre principiile de soluție care sunt combinate, evitarea interferențelor geometrice în sistemele mecanice, sunt echivalente în concepția axiomatică cu organizarea (aranjarea) DP, integrarea de sub-DP, identificarea dorințelor clienților care sunt relevante, asigurarea consistenței între nivele;
- mijloacele de evaluare sunt diferite în concepția sistematică și în cea axiomatică, deși, în esență, urmăresc același lucru, și anume de a obține cât mai simplu o concepție, realizabilă cu mijloacele disponibile și cu costuri cât mai reduse;
- descompunerea din concepția axiomatică, luată în considerare în domeniile funcțional și fizic, poate fi privită ca o avansare de la funcția generală a unui produs spre componentele care îl definesc și care realizează funcții specifice. Astfel, fazele de studiu conceptual și de concepție constructivă din demersul sistematic pot fi reprezentate în concepția axiomatică prin descompunerile succesive pe nivele ierarhice inferioare, descompuneri care urmăresc respectarea axiomei de independență, urmând apoi ca decizia privind variantele alese să fie luată ținând seama de respectarea sau nu a celor două axiome - de independență și de informare. Rezultatul fazei *conceptual design* este soluția de principiu. În modul de organizare a procesului de concepție axiomatic, această soluție de principiu se regăsește după descompunerea pe primele nivele ierarhice;
- la fiecare nivel ierarhic, realizarea matricilor DM și verificarea gradului de cuplare al acestora, asociat cu calculul conținutului informației, pot constitui mijloace valoroase în alegerea unui anumit set de soluții (parametri de concepție) avute în vedere pentru realizarea subfuncțiilor (cerințelor funcționale FR), axiomele de independență și informare din *Axiomatic Design* putând fi folosite ca și factori de decizie în evaluarea conceptului și a soluțiilor găsite, atât la nivel conceptual, unde matricile au ca și elemente X și 0, cât și la nivel de detaliu, unde elementele

matricilor sunt fie constante, fie ecuații care leagă matematic FRs de DPs;

- fiecare fază poate fi considerată un proces de concepție în sine și, astfel, fiecare din fazele demersului sistematic poate fi văzută ca un proces de concepție în care constrângerile se propagă de la un nivel ierarhic la altul, funcția generală enunțată fiind descompusă în subfuncții care trebuie să asigure obținerea ei - aspectul de consistență (calitatea unui sistem axiomatic de a nu fi contradictoriu) între nivelele funcției și scopul declarat al funcției principale - găsirea de soluții pentru subfuncții, dimensionarea, configurarea elementelor soluțiilor și celor generate de conceptul ales (faza de concepție constructivă). Fiecare fază ar putea urma un model de proces de concepție ca și cel prezentat în figura 4.2 (Tate, 1999);
- modelul axiomatic are ca scop obținerea unei concepții cât mai bune, dar nu prin îmbunătățiri succesive, ci prin conceperea bine de la început, adică prin ghidarea concepției cu ajutorul celor două axiome. Dacă acestea sunt îndeplinite, nu mai există motive pentru care concepția să nu fie bună. Spre deosebire de demersul sistematic, aceste reguli generale pot fi aplicate în orice moment, fiind un ajutor în luarea deciziei;
- concepția axiomatică pune accentul pe relațiile matematice care leagă funcțiile și soluțiile, analizând ecuațiile matematice care există între cerințele funcționale și parametrii de concepție și astfel legăturile și dependențele care ar putea exista între cerințele funcționale și parametrii de concepție. Urmărirea obținerii unei concepții decuplate total, cazul ideal, sau decuplate parțial, implică cunoștințe și tehnici de creativitate, acestea fiind complementare axiomelor care trebuie respectate.

4.3. Aportul DFSS

Demersul de concepție pentru șase sigma (*Design for Six Sigma*, DFSS) integrează diferite metode și mijloace de concepție (VOC, QFD, TRIZ, Pugh, DOE, DFX, FMEA) cu axiomele folosite în concepția axiomatică, oferind „principiile pentru a dezvolta o concepție bună în mod sistematic, putând depăși nevoia pentru demersuri dedicate” (Yang și El-Haik, 2003).

Algoritmul DFSS reprezintă un plan de ansamblu, mijloacele și metodele folosite în cadrul procesului de dezvoltare al unui produs urmărind un demers al cărui obiectiv este de “a face bine de la început”. Algoritmul DFSS este redat în figura 4.3. Scopul său este de a dezvolta entități de concepție corespunzător nevoilor exprimate, pentru întreg ciclul de viață al produsului, la un nivel de calitate șase sigma (Yang și El-Haik, 2003).

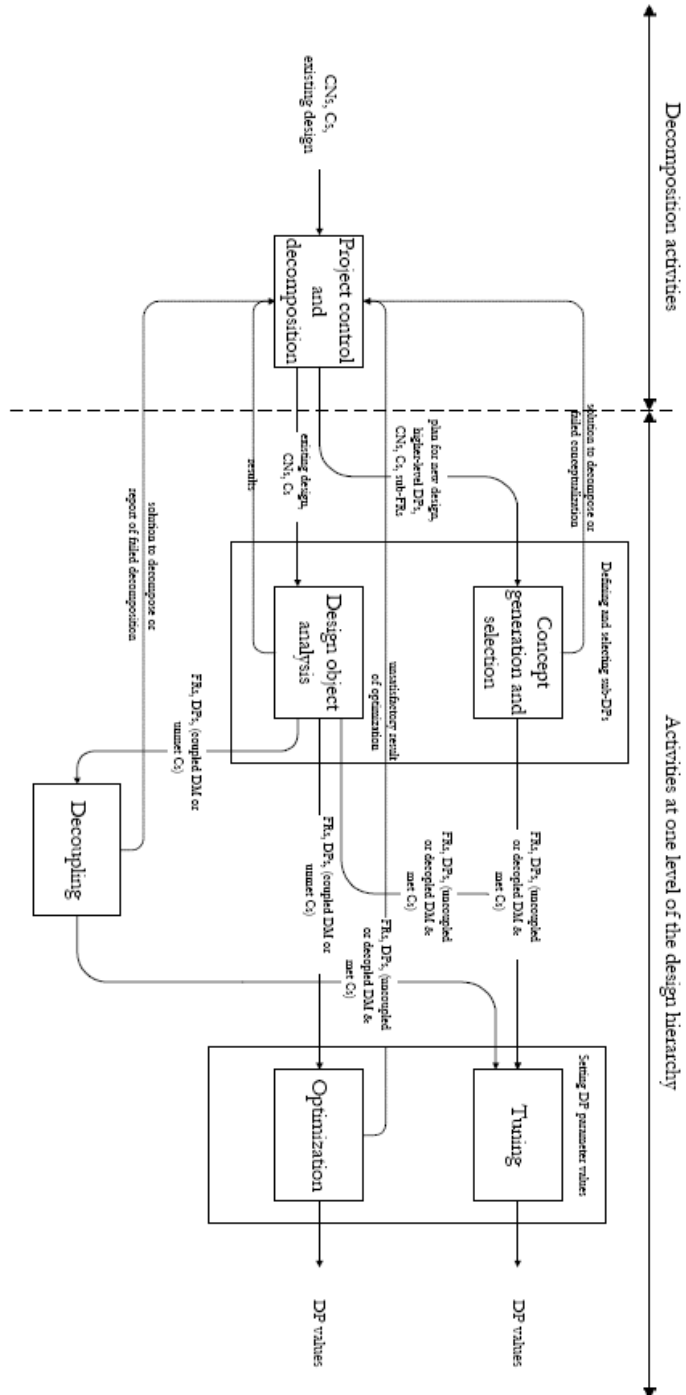


Fig. 4.2. Modelul procesului de concepție (Tate, 1999)

Algoritmul DFSS evidențiază folosirea a două concepte: *scorecards* și funcții de transfer. Algoritmul cuprinde patru faze (identificare, caracterizare, optimizare și validare), care sunt alcătuite din pași specifici, în care se folosesc metodele și mijloacele de concepție și a modelului de concepție axiomatic, acesta constituind esența acestui algoritm. Procesul de concepție folosind un astfel de algoritm presupune folosirea principiilor și regulilor folosite în concepția axiomatică. În detalierea pașilor se regăsesc elemente folosite atât în concepția sistematică cât și în concepția axiomatică.

Modul efectiv însă în care este organizat acest algoritm diferă față de demersul sistematic și cel axiomatic, dar se urmărește obținerea aceluiași rezultat și anume obținerea în urma concepției a soluției optime din punct de vedere al costului, calității și fiabilității.

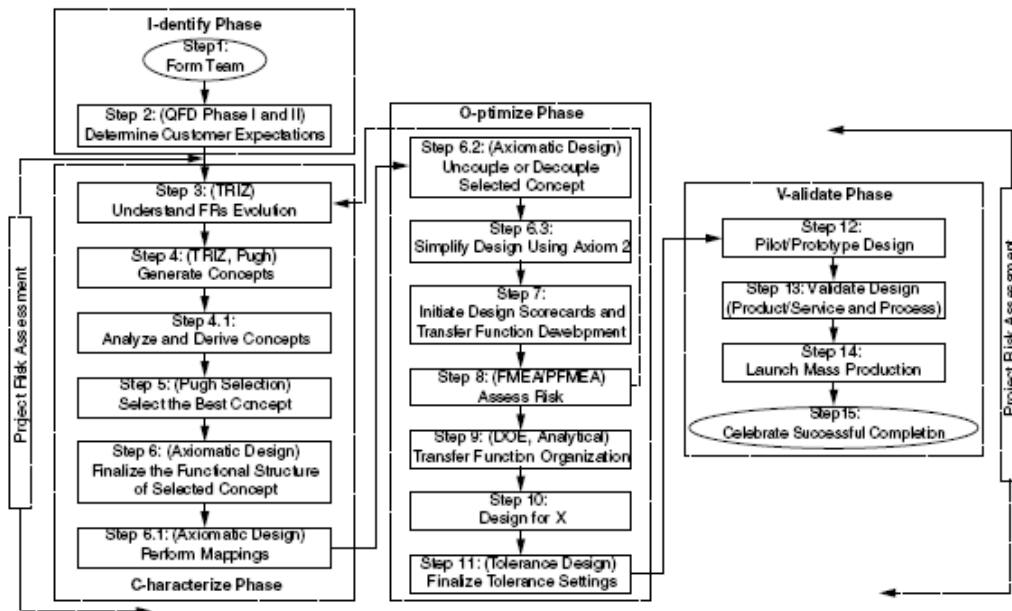


Fig.4.3. Algoritmul DFSS (Yang și El-Haik, 2003)

4.4. Abordarea holistică a concepției

Folosirea metodelor și mijloacelor în sine nu reprezintă o problemă în procesul de dezvoltare al unui produs, ci integrarea și cooperarea acestora. Modelul sistematic de concepție oferă un cadru general bine structurat în faze care trebuie parcurse obligatoriu, definind astfel un mod de lucru organizat, coerent, o procedură care trebuie urmată. Demersul este iterativ și presupune numeroase întoarceri pentru clarificarea problemelor sau a elementelor care lipsesc și fără de care nu se poate avansa.

Atât modelele de concepție axiomatică cât și algoritmul DFSS, recurg la metode de concepție comune (Drăghici, 2003):

- vocea clientului (*Voice of Customer, VOC*), pentru colectarea datelor critice de la clienți;
- desfășurarea funcției calitate (*Quality Function Deployment, QFD*), pentru structurarea și identificarea nevoilor clienților în vederea transformării acestora în cerințe funcționale;
- analiza funcțională (*Functional Analysis, FA*), pentru identificarea funcțiilor;
- teoria de rezolvare a problemelor inventive (*Teorija Rezhnija Izobretateliskich Zadach, TRIZ*), pentru eliminarea contradicțiilor tehnice și a celor fizice, precum și pentru îndepărtarea blocajelor apărute în generarea conceptelor sau decuplarea matricei de concepție;
- analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității (*Failure Modes and Effect Analysis, FMEA*), pentru îmbunătățirea fiabilistică a produselor, aplicarea sa fiind mult facilitată de descompunerile în domeniile fizic și proces, respectiv de concepție constructivă și concepție detaliată.

O parte din metodele și mijloacele amintite se regăsesc și în concepția sistematică.

Având în vedere percepțiile generale și metodele comune folosite în concepția sistematică, concepția axiomatică și demersul DFSS, se propune o abordare holistică a fazelor studiului conceptual (*conceptual design*) și concepție constructivă (*embodiment design*) prin prisma concepției axiomatică.

În concepția sistematică este amintit că „un câmp al soluției poate fi construit prin variația efectelor fizice și caracteristicile formei” (Pahl ș.a, 2007). În această idee de lărgire a câmpului pentru căutarea soluțiilor se consideră importantă și benefică utilizarea TRIZ (teoria rezolvării problemelor inventive) care, de altfel, este folosită în concepția axiomatică în vederea evitării cuplărilor.

Spre deosebire de procesul de concepție bazat pe algoritmul DFSS, care presupune folosirea principiilor și regulilor folosite în concepția axiomatică, propunerea este de a se folosi în cadrul demersului sistematic a axiomei de concepție, acolo unde este nevoie, ca și factor de decizie sau control. Aceasta presupune că, la un moment dat, în ierarhia de concepție, în procesul de descompunere, soluțiile găsite la diferitele funcții principale sau auxiliare să fie transpuse în cerințe funcționale - parametri de concepție, care să fie analizați din punct de vedere al regulilor impuse de concepția axiomatică. Una din aceste reguli ar fi ca cerințele funcționale să fie obținute în câmpul de toleranță impus, altfel spus ca parametrii de concepție (soluțiile) să fie capabili să ofere cerințele funcționale impuse în limitele specificate.

Beneficiul unui astfel de model ar fi acela de integrare într-un demers sistematic a axiomei din modelul axiomatic, ca și elemente de ghidare și decizie a procesului de concepție. Succesiunea celor două faze, conceptuală și constructivă, poate fi privită ca o avansare spre nivele ierarhice inferioare, mai detaliate, avansare similară cu descompunerea pe nivele ierarhice, corespunzătoare concepției axiomatică.

Axiomele din *Axiomatic Design* vor fi folosite ca și reguli pentru obținerea unei soluții constructive bune, putând fi aplicate ori de câte ori este nevoie să se ia decizii cu privire la variantele de concepție. Acestea vor fi aplicate în ordine, întâi se verifică independența funcțională, apoi se calculează conținutul informației. Demersul sistematic este iterativ, cu întoarceri numeroase, absolut necesare pentru a avea un flux al informațiilor bine structurat în fiecare fază de concepție și pentru a permite dezvoltarea în continuare.

Legătura între cele două modele de bază, sistematic și axiomatic, se realizează prin integrarea metodelor și mijloacelor de concepție. Folosirea regulilor concepției axiomatică în modelul sistematic nu ar trebui să constituie o problemă, termenii fiind diferiți, dar în esență referindu-se la același lucru.

Modelul holistic de abordare a concepției, propus în prezenta lucrare, este reprezentat în figura 4.4 (Drăghici și Banciu, 2007). O vedere de ansamblu a modelului sugerează că zonele de planificare și clarificare a sarcinilor, studiu conceptual și concepție constructivă din demersul sistematic, și cele de cerințe funcționale și parametri de concepție din demersul axiomatic sunt similare ca și finalitate, ieșirile fiecărei faze, respectiv trecerile de la un domeniu la altul urmărind progresiv trecerea de la un concept la materializarea sa fizică.

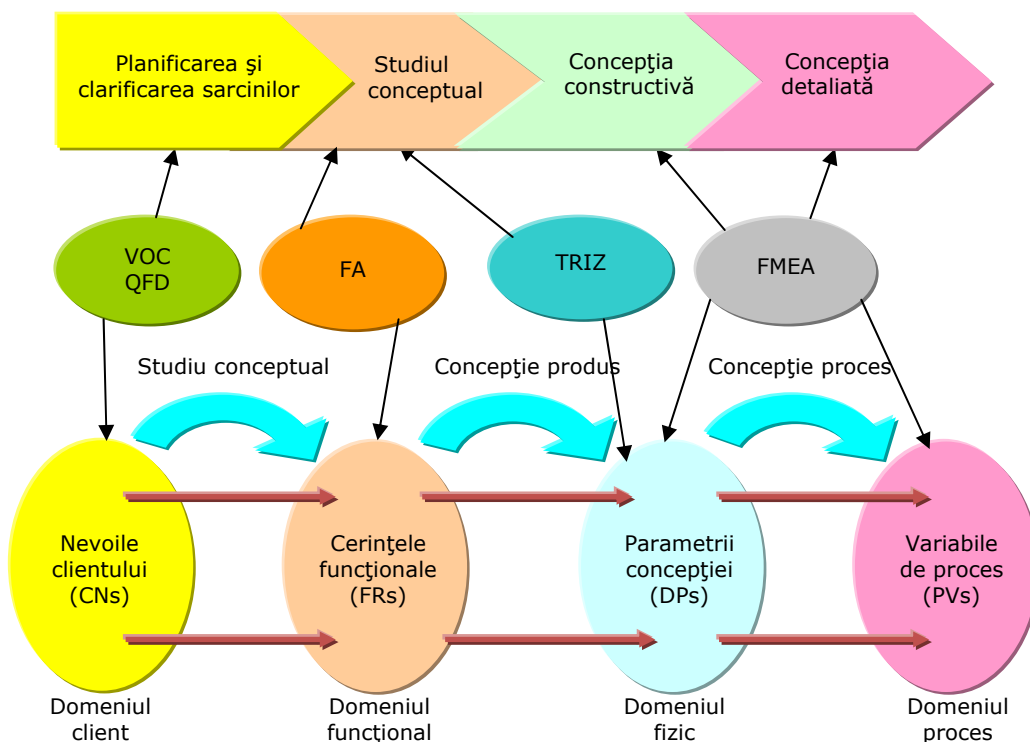


Fig. 4.4. Modelul holistic de abordare a concepției (Drăghici și Banciu, 2007)

Datorită faptului că dezvoltarea unui concept în *Axiomatic Design* are loc pe verticală (ierarhic), prin descompuneri succesive (zig-zagging), faza *conceptual design* din modelul sistematic este redată în modelul axiomatic printr-o descompunere pe primele nivele ierarhice în domeniul funcțional și cel al parametrilor de concepție. Concepția constructivă are ca punct de plecare studiul conceptual. O descompunere pe câteva nivele conduce la o soluție de principiu. Altfel spus, concepția constructivă este redată tot prin descompuneri, prin zig-zagging în domeniile funcțional și cel al parametrilor de concepție, doar că pe nivele ierarhice inferioare, la nivel mai detaliat (fig. 4.5). În mod similar, în concepția sistematică este funcția generală și, pe măsură ce se descompune în subfuncții, mijloacele alese pentru a rezolva subfuncțiile conduc, la rândul lor, către alte

subfuncții, pe măsură ce se avansează spre concret, iar în etapa de concepție constructivă se descoperă, de exemplu, funcții auxiliare și se caută soluții pentru ele.

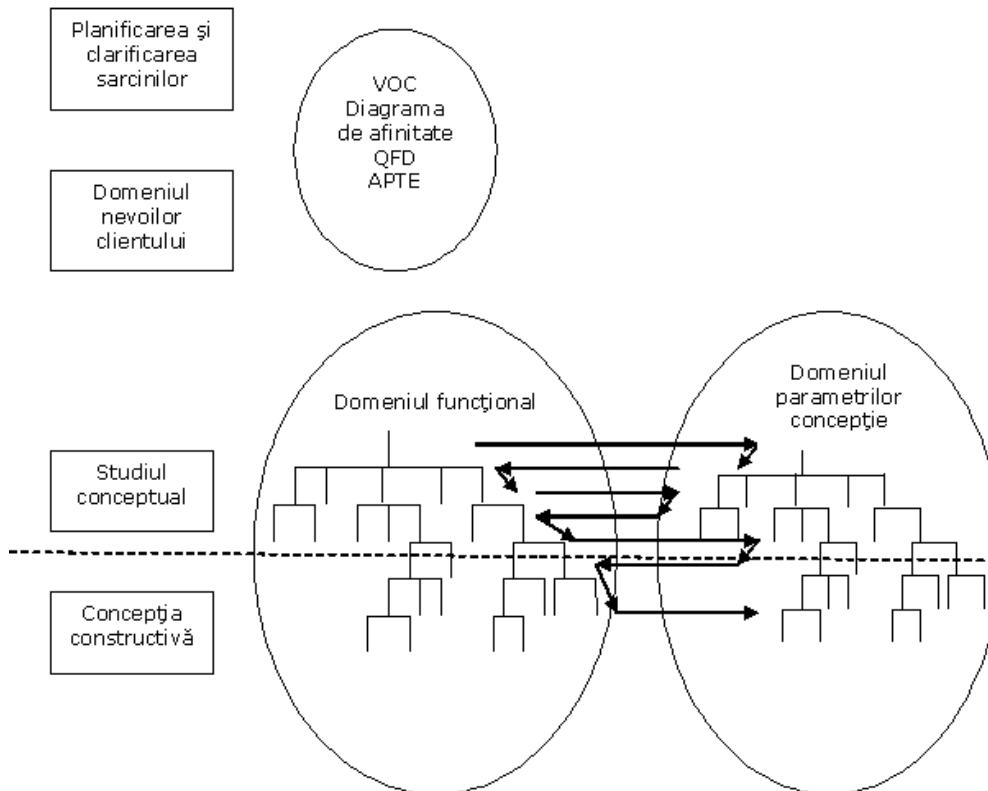


Fig. 4.5. Corespondența între fazele modelului sistematic și cele ale modelului axiomatic

În concepția axiomatică, pentru a trece de la cerințele funcționale către parametrii de concepție, tehnica folosită este zig-zagging, avansarea făcându-se ierarhic. Folosirea unor mijloace ca analiza funcțională externă și analiza funcțională internă este utilă pentru a inventaria constrângerile, funcțiile generale, de serviciu, tehnice. Soluțiile găsite la aceste funcții, împreună cu funcțiile, pot fi reprezentate arborescent (FR-DP din concepția axiomatică) și se poate construi matricea FRs-DPs, pentru a vizualiza independența funcțiilor.

Demersul sistematic, care este bine structurat, iterativ, este folosit ca și demers de bază pentru urmărirea strictă a etapelor din procesul de concepție. Regulile din concepția axiomatică pot să completeze demersul. Demersul sistematic nu este guvernat strict de reguli care trebuie urmate, însă are o suită de linii directe concrete care, în funcție de zona în care are loc procesul, se pot aplica. Regulile concepției axiomatică se referă la cadrul general al concepției și sunt aplicabile în orice domeniu, pe când liniile directe din demersul sistematic sunt aplicabile domeniului ingineresc. Având în vedere valabilitatea generală a regulilor din concepția axiomatică, acestea, aplicate într-un demers sistematic, pot să conducă spre alegerea celor mai adecvate soluții.

4.5. Modelul ciclului de viață al produsului

Formalismul grafic al modelului holistic de concepție inovantă, colaborativă a produsului, extins la întregul său ciclu de viață, poate fi reprezentat folosind metoda SADT (*Structured Analysis and Design Technique*) și programul iGrafx 2011, care conține modulul IDEF0 (*Integration Definition Function*). În cadrul modelului ciclului de viață al produsului fiecare activitate poate fi detaliată.

Rezultatele fiecăreia dintre etapele ciclului de viață al produsului, care reprezintă, de altfel, etape din procesul său de dezvoltare, sunt rezultatul muncii colaborative a unor echipe formate din persoane cu diverse specializări. Echipele de proiect trebuie să conțină specialiști care dețin cunoștințe complementare, pentru a putea trata cât mai cuprinzător aspectele legate de produs. Din punct de vedere operațional, formarea legăturilor în cadrul echipei de concepție va asigura o bună comunicare între membrii echipei, punerea problemelor și a obiectivelor studiului.

În contextul economiei actuale, firmele trebuie să facă față unei concurențe tot mai crescute și, pentru depășirea acesteia, una din soluțiile la care trebuie să recurgă este creșterea valorii produselor prin calitatea lor, prin intermediul unei concepții inovative.

Concepția este activitatea care se interpune între dorințele unui consumator și funcțiile pe care produsul trebuie să le ofere spre satisfacerea acestora. Cerințele sau nevoile consumatorilor trebuie să fie pe deplin înțelese și traduse într-un set de cerințe tehnice care ulterior vor fi definite ca funcții pe care trebuie să le satisfacă produsele și care se materializează prin intermediul produsului. O concepție riguroasă începe cu ceea ce se dorește să se obțină și se finalizează cu o descriere clară a mijloacelor prin care se ajunge la ceea ce s-a dorit.

Începând de la perceperea necesității și până la retragerea sa, produsul trece printr-o succesiune de șase activități (fig. 4.6): analiza necesității, concepție, fabricație, comercializare, utilizare și retragere.

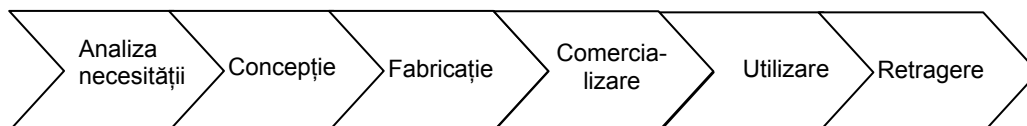


Fig. 4.6. Ciclul de viață al produsului

Pentru reprezentarea ciclului de viață al produsului se pot folosi diferite metode și mijloace de modelare: UML (*Unified Modelling Language*), OPM (*Object Process Methodology*), SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). Scopul urmărit este de a analiza fiecare activitate a ciclului de viață, sub multiple aspecte:

- rolul fiecărei activități;
- lucrările efectuate;
- parametrii transformați;
- suporturile care permit efectuarea și controlarea unei activități;
- schimburile de informații.
- În SADT, fiecare activitate poate fi consemnată sub o formă modulară și grafică, prevăzută cu săgeți care au o semnificație anume (fig. 4.7). Activitatea are ca scop transformarea datelor de intrare în date de ieșire.

Realizarea activității necesită mijloace de asistare, respectiv de control, care permit declanșarea sau controlul desfășurării sale.

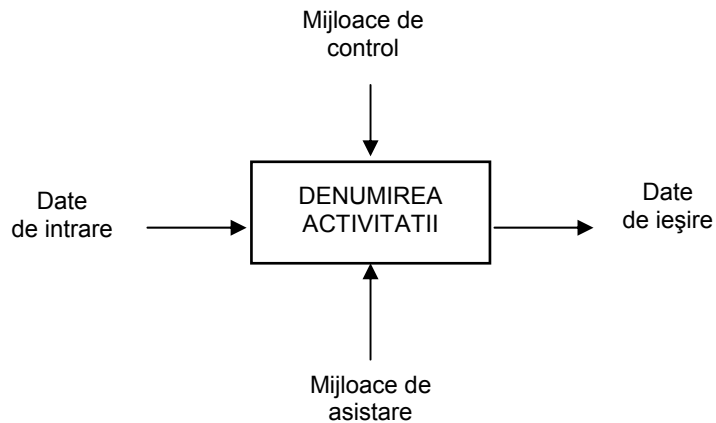


Fig. 4.7. Modelul SADT al unei activități

Pentru a modela cât mai clar și complet ciclul de viață al unui produs este indicată adoptarea unui demers descendent, care permite trecerea progresivă de la general spre particular. Astfel, fiecare modul de activitate face obiectul unei descompuneri, respectiv deschideri în mai multe căsuțe care, la rândul lor, pot fi descompuse în continuare. Diagrama de nivel superior, numită A0, conține activitățile ciclului de viață specificate anterior. La nivelul de detaliu următor, fiecare modul face obiectul unei descompuneri progresive în diagrame care conțin activități elementare (fig. 4.8).

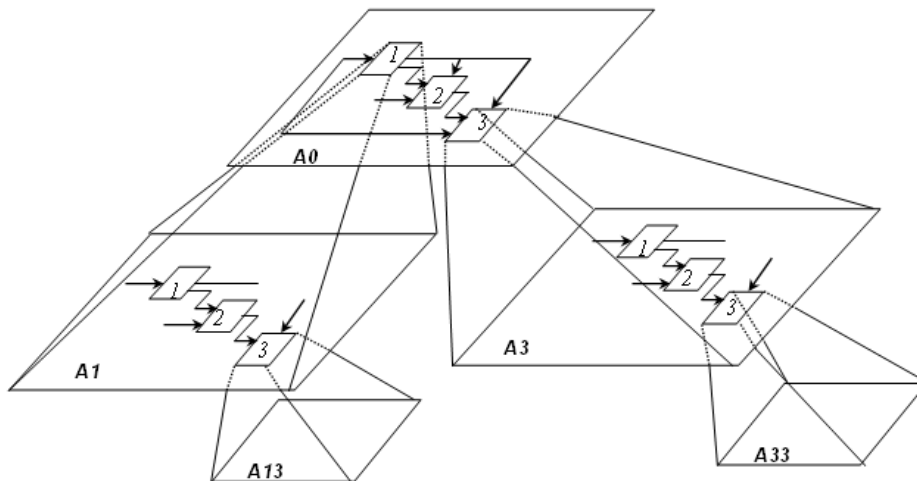


Fig. 4.8. Principiul de descompunere a activităților

Limbajul de reprezentare grafică folosit de metoda SADT este IDEF (*Integration DEFinition Language*). US Air Force a dezvoltat seria IDEF0...IDEF14 prin programul ICAM (*Integrated Computer Aided Manufacturing*). Pentru

reprezentarea modelului ciclului de viață al produsului s-a ales IDEF0, care produce un „model de funcție”. Un model de funcție este o reprezentare structurată a funcțiilor, activităților sau proceselor în cadrul sistemului modelat sau a ariei subiectului. În forma sa originală IDEF0 include atât o definiție a limbajului de modelare grafică (sintaxă și semantică) cât și o descriere a unei metodologii comprehensive pentru dezvoltarea modelelor.

În figura 4.9 sunt prezentate, cu ajutorul iGrafx 2011, activitățile ciclului de viață al produsului, luându-se în considerare intrările, ieșirile, metodele și mijloacele de asistare și constrângerile ce revin fiecărei activități în parte.

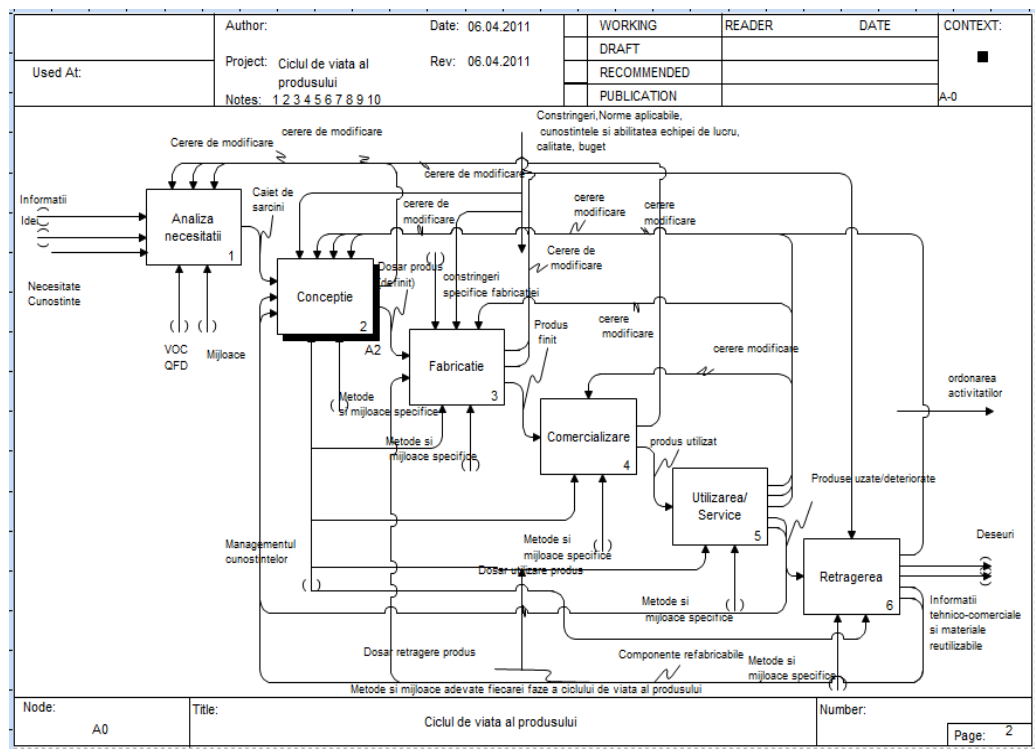


Fig. 4.9. Modelul ciclului de viață al produsului

4.5.1. Activitatea A1 – Analiza necesității

Obiectivul este de a sesiza și a enunța nevoia de a crea sau a recrea un produs. Inițializarea sa este determinată de mai mulți factori, cum ar fi: perceperea unei noi piețe, o idee sau insatisfacțiile tehnico-comerciale resimțite de către utilizatori.

Se analizează datele provenite dintr-o analiză VOC (*Voice of Customer*), mijloacele folosite fiind diagrama de afinitate, diagrama arborescentă și matricea QFD (*Quality Function Deployment*). Principiul metodei se bazează pe analize în cascadă, din ce în ce mai fine, pentru definirea așteptărilor clientului în funcție de "ce"-urile dorite. Se analizează apoi "cum"-urile, pentru a da un răspuns material și funcțional ("cât") la "ce"-uri. Tot aici se poate folosi analiza funcțională externă,

după metoda APTE, în vederea stabilirii limitelor studiului. Trebuie acționat pentru a se exprima cu rigoare obiectivul și limitele studiului, explicându-se exigențele fundamentale care justifică concepția sau reconcepția produsului. Demersul este fundamentat pe dematerializarea produsului, pe considerarea exclusivă a satisfacțiilor pe care le oferă cu scopul de a îndeplini nevoile utilizatorului. Este imperativ necesar ca în această fază să se evite confuzia între mijloacele actuale și nevoile viitoare. Pentru acesta, este fundamental a pune următoarele trei întrebări:

- Ce servicii oferă produsul?
- Asupra cui acționează?
- În ce scop?

Este necesară cercetarea nevoilor identificate, din punct de vedere al riscului dispariției sau evoluției lor. Se urmărește în viitorul apropiat dacă produsul riscă a fi perceput altfel decât a fost conceput sau dacă cererea este efemeră.

Expresia funcțională a nevoii este cuprinsă într-un document contractual numit caiet de sarcini funcțional (CSF). Trebuie întocmită o documentație clară, concisă, ușor de înțeles, legat de ceea ce se dorește, care sunt cerințele tehnice și care sunt constrângerile impuse.

4.5.2. Activitatea A2 – Concepția produsului

Această activitate are ca scop stabilirea unui dosar al produsului. Pentru parcurgerea fazelor acestei activități sunt folosite metode de creație, de calcul, de evaluare, de încercare, precum și mijloace de modelare și simulare. Este activitatea care face obiectul aceste lucrări.

4.5.3. Activitatea A3 – Fabricația produsului

Această activitate urmează după cea de concepție, elementele de intrare fiind un concept bine definit, atât constructiv cât și detaliat, urmând a fi realizat prin fabricare.

Activitatea are ca scop realizarea 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.

4.5.4. Activitatea A4 – Comercializarea

În această fază are loc lansarea pe piață a produsului, implicând activități specifice de marketing.

4.5.5. Activitatea A5 – Utilizarea produsului

La modul general, această activitate poate fi descrisă din două puncte de vedere:

- 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 transport, livrare, instalare, punere în funcțiune, cât și 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.

4.5.6. Activitatea A6 – Retragera produsului

Această ultimă activitate se referă la acțiunile purtate după utilizarea produsului. Soluțiile reținute pentru retragerea produsului sunt:

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

4.6. Abordarea holistică a fazei de studiu conceptual

4.6.1. Detalierea activității A2 – Concepția produsului

În figura 4.10 este reprezentată detalierea activității de concepție a produsului în trei activități de nivel inferior:

- Activitatea A21 - studiul conceptual - utilizează ca mărimi de intrare alternativele tehnice disponibile, necesitățile exprimate și caietul de sarcini, folosind metode de analiză funcțională și de studiu a alternativelor disponibile care ajută la alegerea unei soluții conceptuale îmbunătățite ce urmează a fi concepută constructiv și detaliat pentru a furniza dosarul proiect necesar activității de fabricație a produsului;
- Activitatea A22 - concepția constructivă - mărimea de intrare în această activitate este furnizată de către activitatea de studiu conceptual a produsului, care oferă soluția conceptuală îmbunătățită, ce urmează a fi dezvoltată și furnizată sub formă de dosar proiect;
- Activitatea A33 - concepția detaliată - detaliile legate de forma finală, materiale, desene.

Abordarea holistică a concepției, propusă în subcapitolul 4.4, va fi aplicată pentru subactivitatea de concepție preliminară (studiu conceptual). Astfel, este propus un model de concepție al produsului, care urmează un demers bazat pe modelul sistematic al lui Pahl și Beitz și care în faza de studiu conceptual, pe lângă pașii fazei, conține elemente din concepția axiomatică și din TRIZ.

Spre deosebire de procesul de concepție bazat pe algoritmul DFSS, care presupune folosirea principiilor și regulilor folosite în concepția axiomatică, propunerea este de a se folosi în cadrul demersului sistematic o exprimare în

termenii concepției axiomatice – cerințe funcționale, parametri de concepție, matrice de concepție, pentru o analiză mai facilă a zonelor care ridică probleme, cât și apoi a axiomelor de concepție, acolo unde este nevoie, ca și factor de decizie sau control.

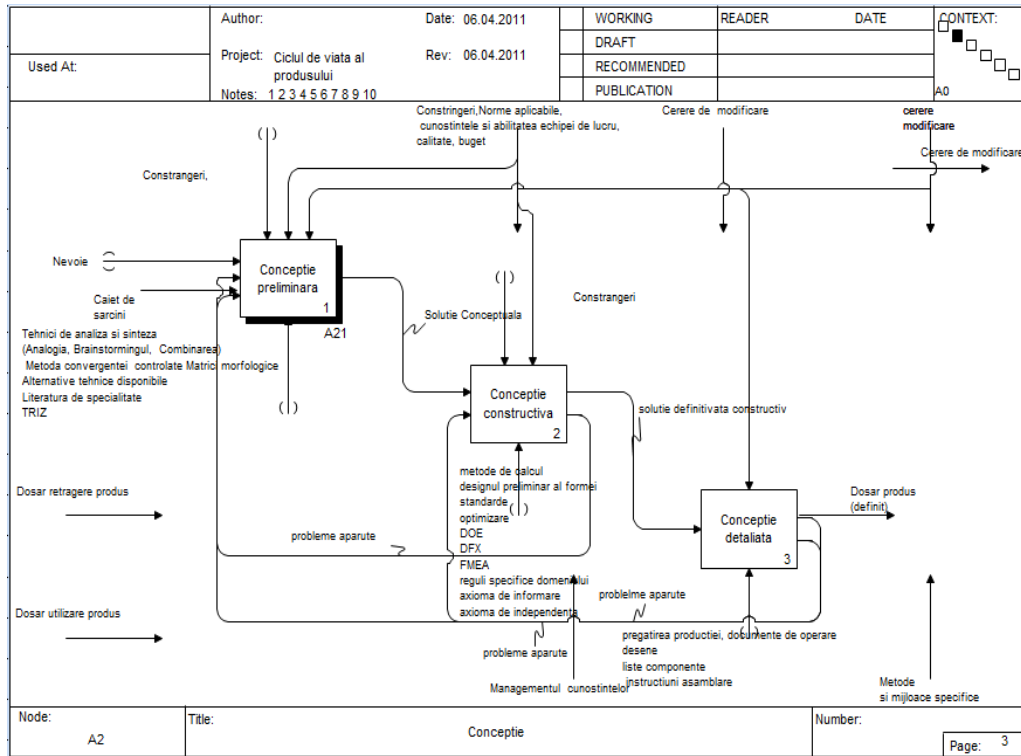


Fig. 4.10. Modelul activității A2 – Concepția produsului

În timpul fazei de concepție se lucrează pe un set de cerințe de bază, pe care produsul trebuie să le satisfacă, și în cadrul concepției preliminare generează o structură organizată care le satisfacă. Cerințele sunt redată prin caietul de sarcini, iar structura organizată este reprezentată de cadrul descompunerii în funcții, apoi cristalizarea într-o variantă conceptuală optimă. Trecerea de la cerință la funcție ține de experiența și cunoștințele celor care sunt implicați în acest proces. Această structură organizată, care trebuie să satisfacă cerințele, este bazată pe formularea funcțiilor și modurile în care aceste funcții pot fi oferite. Structura aceasta implică și o descompunere funcțională, cu evidențierea relațiilor dintre funcții. Aceste structuri de funcții și relații vor fi ulterior comparate în vederea alegerii celei mai bune dintre ele. Se consideră că o exprimare a funcțiilor în termenii și folosind formalismul concepției axiomatice este utilă pentru a avea un tablou general din punct de vedere al funcțiilor/mijloacelor/relațiilor de dependență a funcțiilor, în raport cu parametrii de concepție.

Procesul de studiu conceptual este inițiat prin identificarea unei nevoi sau a unei cerințe a clientului, a pieței etc. Cerințele fizice definesc "scopul" produsului dorit la un nivel de abstractizare cât mai ridicat. Această nevoie este analizată și transpusă într-o formulare care definește funcționalitatea principală (funcția principală), pe care produsul trebuie să o satisfacă, și constrângerile asociate.

Formularea funcționalităților și constrângerilor, bazate pe cerințe, se regăsesc formulate în caietul de sarcini funcțional.

Pentru a putea propune variante conceptuale care să satisfacă cerințele specificate în caietul de sarcini funcțional sunt necesare cunoștințe vaste, solide, care să fie formulate unitar și riguros, despre modul în care poate fi realizată o funcție prin intermediul unui mijloc fizic, palpabil. Un produs definit doar la nivel funcțional este unul virtual, fără substanță. Se poate vorbi despre un produs fizic, palpabil, abia după ce toate funcțiile au fost transpuse în elemente fizice. Este, de asemenea, foarte important ca inginerii de concepție să aibă și capacitatea de a gândi abstract, de la un nivel de abstractizare ridicat către nivele inferioare, din ce în ce mai explicite.

Activitatea A21 - concepția preliminară (studiul conceptual) a produsului este văzută ca o secvență din activitatea A2 – concepția produsului, în care are au loc următoarele subactivități (fig. 4.11):

- A211 - Descompunerea funcțională;
- A212 - Căutarea ideilor și soluțiilor;
- A213 - Selectarea și evaluarea unei variante conceptuale optime.

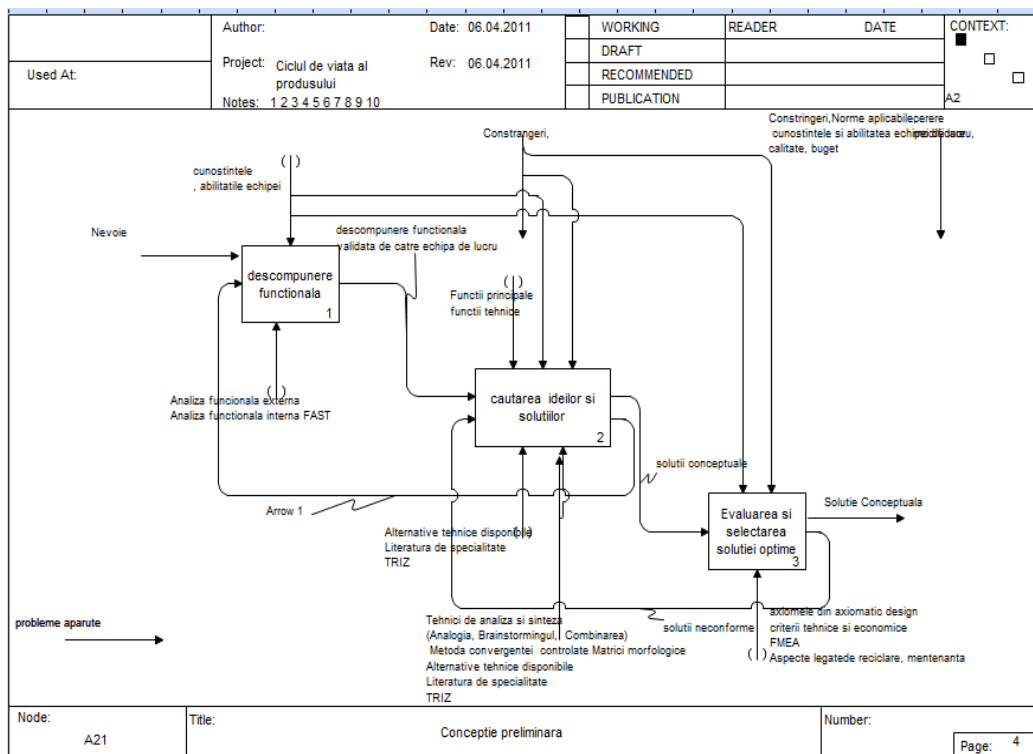


Fig. 4.11. Modelul activității A21- concepția preliminară (studiul conceptual)

Aceste subactivități trebuie reluate pentru fiecare componentă a produsului. Numai după ce s-a selectat varianta optimă cu privire la posibilitățile de soluții conceptuale existente se trece mai departe la concepția constructivă. Cu alte cuvinte, concepția preliminară, ca și mod de desfășurare, se poate aplica pentru subfuncții individuale și, după ce toate subfuncțiile au fost materializate într-un

concept valid, se trece la faza următoare.

4.6.2. Activitatea A211 – Descompunerea funcțională

Descompunerea funcțională are ca element de intrare specificațiile menționate în CSF, soluții anterioare (produse existente care trebuie îmbunătățite), necesitățile exprimate în faza de analiza nevoii, iar ca finalitate generarea de soluții conceptuale care să răspundă cerințelor din CSF.

Activitățile derulate în cadrul activității sunt: enunțarea cerințelor funcționale și stabilirea funcțiilor tehnice. Pentru acestea se poate folosi analiza funcțională FAST. De asemenea, se poate folosi și o modelare funcțională TRIZ, cu referire la funcțiile utile și nefaste.

4.6.3. Activitatea A212 – Căutarea de idei și soluții

Mulțimea soluțiilor care pot răspunde la funcțiile enunțate în A211 se stabilește prin căutarea posibilităților de generare a acestor funcții. Aici are loc identificarea soluțiilor posibile la funcțiile tehnice enunțate anterior. Pentru aceasta este folosit un grup de lucru pluridisciplinar, pentru formularea parametrilor fizici care să răspundă cerințelor funcționale enunțate.

Se identifică ideile de principii tehnice posibile care ar putea genera funcția principală prevăzută în CSF. În situația în care nu se cere un produs total nou, ci o îmbunătățire a unui existent, se pornește de la ceea ce deja este cunoscut despre acel produs. Astfel, reluându-se concepția sa, se cunosc principiile care guvernează funcționalitatea produsului, îmbunătățindu-se prin înlocuirea componentelor cu altele mai fiabile, reduse ca număr, masa etc.

Ca mijloc de suport al acestei activități se pot folosi o suită de metode, una dintre ele fiind *brainstorming*, la care participă persoane din diferite domenii conexe, astfel încât să se acopere o arie largă de cunoștințe. În situația în care sunt enunțate principii, situații contradictorii, cât și pentru a găsi noi direcții posibile de ghidare, în vederea dezvoltării de noi soluții, se poate folosi teoria de rezolvare a problemelor inventive (TRIZ), pentru generarea de noi idei și depășirea inerției psihologice.

4.6.4. Activitatea A213 – Enunțarea și selectarea soluției optime

Este necesară selectarea variantei optime pentru ca inginerii de concepție să își concentreze energia și atenția pe o varianta sigură, posibil de realizat. În această etapă, plecând de la o mulțime de soluții conceptuale analizate, prin combinare, evaluare și comparare, acestea se vor îmbunătăți, accepta sau respinge, dintr-o serie de variante, în final alegându-se varianta conceptuală optimă. Ca un mijloc de control al reușitei stabilirii soluțiilor tehnice posibile este axioma de independență din *Axiomatic Design*, care susține independența cerințelor funcționale vis-à-vis de soluțiile tehnice care contribuie la realizarea lor.

Se analizează posibilitatea ca aceste variante conceptuale să poată fi realizate cu mijloacele avute la dispoziție. O primă triere a lor are deja loc în această subetapă. Selectarea variantei optime de model preliminar se face pe baza unor

criterii economice și tehnice:

- evaluarea tehnică a modelului preliminar; se analizează posibilitățile de realizare a componentelor produsului. Se poate folosi axioma de independență în cazul în care s-a adoptat demersul axiomatic;
- evaluarea fiabilității modelului preliminar. Are loc o evaluare din punct de vedere al fiabilității elementelor componente ale produsului. Dacă este necesar se vor propune îmbunătățiri, care se regăsesc în soluția conceptuală îmbunătățită;
- evaluarea economică a modelului preliminar.

4.6.5. Mijloace folosite în studiul conceptual

Atât în cazul unui produs nou, cât și în cazul unuia care trebuie reconceptuat, se poate proceda la o stabilire a structurilor funcției, urmată de căutarea de principii de lucru și structuri de lucru care apoi sunt combinate în variante de concepte.

Ca mijloace de ajutor în realizarea structurilor funcționale se pot folosi mijloacele de analiză funcțională externă, cu Pieuvre - inventarierea sistematică a mediului înconjurător și FAST (*Function Analysis System Technique*). Acestea folosesc pentru o bună vizualizare a grupării funcțiilor care trebuie să fie realizate sau reconceptuate.

O abordare cunoscută și interesantă este aceea a unui model funcțional relațional, care este în principal utilizat în TRIZ și conține funcțiile utile și cele nedorite ale unui sistem, aceasta putând conduce la identificarea rapidă a potențialelor căderi, fiind astfel cuprinsă și analiza FMEA.

4.6.5.1 Analiza funcțională

În conformitate cu norma AFNOR X50-150: "Analiza funcțională este o acțiune care constă în cercetarea, ordonarea, caracterizarea, ierarhizarea și / sau valorizarea funcțiilor".

Trebuie făcută precizarea că există mai multe metode de analiză funcțională (AF), care sunt mai mult sau mai puțin adaptate la analiza dorită. Printre aceste metode se numără: metoda interactorilor (în domeniul mecanic), arborele funcțional, diagrama FAST (*Function Analysis System Technique*), SADT (*Structured Analysis and System Technique*), GRAFCET, MERISE. Aceste metode au ca scop realizarea, respectiv validarea unui caiet de sarcini funcțional, căutarea de soluții care să corespundă la necesități reale, identificarea unor costuri importante (*****).

Analiza funcțională poate fi văzută ca punte de legătură între nevoile exprimate de clienți și funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească produsele, procesele sau organizațiile. AF este, în esență, o metodă care, alături de mijloace specifice, conduce la obținerea calității produselor. AF se poate realiza pentru fiecare context specific de utilizare a elementului studiat (fază a ciclului său de viață).

AF este un demers care se poate înscrie într-o strategie de calitate totală, deoarece implică toate sectoarele unei întreprinderi, fie ele funcționale sau operaționale și, deoarece își propune satisfacerea nevoilor clienților, permite :

- identificarea precisă, în termeni de funcții, a nevoilor de satisfăcut sau a serviciilor (analiza funcțională a nevoii);

- analizarea în ce manieră o soluție răspunde la aceste nevoi (analiza funcțională tehnică).

AF a nevoii acționează asupra relației client – furnizor, definind nevoile și exigențele de satisfăcut. În această etapă de formalizare a nevoii are loc punerea în evidență a serviciilor pe care trebuie să le realizeze, referindu-se la date obiective care se raportează (referă), la utilizarea produsului, nu și la concepția sa, care va fi dedusă din această analiză. Această metodă permite, pe lângă optimizarea produsului, satisfacerea cât mai bine a funcționalității produselor, ținând seama de restricțiile de utilizare. Ea consideră sistemul din punctul de vedere al finalității sale, ia în considerare toți factorii cu privire la sistem și la mediul său înconjurător și pune în evidență calitatea unui produs prin expresia valorii sale pentru utilizator.

Aplicarea metodei se derulează în mai multe etape :

- exprimarea și definirea nevoii;
- definirea funcțiilor așteptate;
- recenzarea elementelor mediului de utilizare;
- identificarea relațiilor create de produs între mai multe elemente ale mediului exterior sau chiar între anumite elemente ale mediului înconjurător;
- exprimarea finalității acestor relații, printr-o frază conținând elementul sau elementele avute în vedere în relație sau un verb ce caracterizează acțiunea;
- stabilirea blocului de diagrame funcțional.

Analiza funcțională este o activitate care permite conceptorilor să definească nevoile resimțite de clienți. Funcțiile se pot defini ca legături între nevoi și diversele soluții la aceste nevoi, ele fiind expresia unui serviciu, în termeni obiectivi, fără a face aluzie la vreo soluție posibilă. În cadrul analizei funcționale se folosesc funcții de serviciu și funcții tehnice.

Funcțiile de serviciu sunt răspunsurile la nevoile clienților și sunt determinate printr-o analiză funcțională externă. Ele care pot fi de două tipuri: funcții de utilizare sau de valoare și funcții de adaptare, de rezistență sau de reacție la elementele mediului exterior. Formularea acestor funcții este independentă de soluțiile alese.

Funcțiile tehnice sunt interne produsului, ele sunt cele cu ajutorul cărora se realizează practic nevoile clienților, fiind alese de către conceptori. Mai există și funcții de control, funcții de mentenanță ș.a.

Funcțiile se caracterizează prin :

- un apelativ (verb urmat de unul sau mai multe complemente);
- criteriu de apreciere: caracterul reținut pentru a aprecia maniera în care o funcție este îndeplinită sau o restricție este respectată;
- nivelul unui criteriu: mărimea reperată pe scara adoptată pentru un criteriu de apreciere al unei funcții. Această mărime poate fi cea căutată în calitate de obiectiv sau cea atinsă printr-o soluție propusă;
- flexibilitatea unui nivel: ansamblul de indicații exprimate de către solicitant asupra posibilităților de a modula nivelul căutat pentru un criteriu de apreciere;
- clasă de flexibilitate: indicația plasată pe lângă un nivel al unui criteriu de apreciere, care permite a preciza gradul său de negociabilitate sau de imperativitate;
- limită de acceptare: nivelul criteriului de apreciere, sub care sau peste care, după caz, necesitatea se consideră ca fiind nesatisfăcută;

- rată de schimb: raportul declarat acceptabil de către solicitant, între variația costului și variația corespunzătoare a nivelului criteriului de apreciere sau între variațiile de nivel dintre două criterii de apreciere.

Realizarea AF, necesită o muncă de echipă, interdisciplinară, condusă de un șef. Nevoile se exprimă în termeni de funcții, apoi aceste funcții se materializează în produs. Acest demers se poate rezuma la "ce funcții să cumpăr?" și nu "ce material să cumpăr?". Produsul este constituit, așadar, dintr-un ansamblu de funcții și nu dintr-un ansamblu de componente!

O diagramă FAST (*Functional Analysis System Technique*) reprezintă o traducere riguroasă a fiecărei funcții de serviciu în funcție tehnică și apoi o materializare în soluție (constructiv), descompunerea funcțiilor în subfuncții până la componente. Aceasta permite o structurare a descompunerii funcționale. O astfel de diagramă se construiește de la stânga la dreapta, urmând logica „de ce?”, „cum?”.

Principiul metodei FAST este descompunerea funcțiilor tehnice interne ale produsului până la stabilirea relațiilor lor, intervenția lor în realizarea funcțiilor de serviciu. Constă în a pune trei întrebări pentru fiecare funcție internă a produsului:

- cum este făcut acel lucru? (acces la o funcție tehnică de ordin inferior, descompunere);
- de ce este făcut acel lucru? (acces la o funcție tehnică de ordin superior, reconstruire);
- când va fi utilizat acel lucru? (căutarea simultaneității).

Aceasta poate fi făcută începând cu listarea funcțiilor tehnice, apoi analizarea sistemului la modul reconstruirii arborescenței sale sau invers, plecând de la funcțiile de serviciu și examinând modul în care ele sunt realizate, pentru a reconstrui structura internă a produsului. Aceste două metode pot fi utilizate în cazul analizei unui produs existent.

Folosindu-și cultura tehnică și științifică inginerul dezvoltă funcțiile de serviciu ale produsului în funcții tehnice și alege soluțiile pentru construirea în final a produsului. Diagrama FAST constituie deci un ansamblu de date esențiale, permițând să avem o bună cunoaștere a unui produs complex și, astfel, să putem ameliora soluția propusă.

Funcțiile de serviciu constituie o relație între sistem și mediul înconjurător, ele traduc acțiunea așteptată sau realizată de către produs pentru a răspunde unui element al nevoii unui utilizator. Pentru a răspunde unei nevoi trebuie formulate, adesea, mai multe funcții de serviciu. Într-un studiu dat, enumerarea și formularea lor calitativă și cantitativă rezultă din analiza nevoii de satisfăcut și o descriere într-o manieră necesară și suficientă. Există două tipuri de funcții de serviciu:

- funcții principale, corespunzătoare serviciului redat de sistem pentru a răspunde nevoilor;
- funcții constrângeri, traducând reacția, opunerea sau adaptarea la elementele mediului înconjurător.

Funcțiile tehnice sunt interne produsului, ele sunt alese de constructor în cadrul unei soluții, pentru a asigura o funcție de serviciu. Metoda se bazează pe o tehnică interogativă:

- De ce? De ce trebuie asigurată o funcție? Pentru accesul la o funcție tehnică de ordin superior se răspunde citind diagrama de la dreapta la stânga;
- Cum? Cum va fi asigurată această funcție? Se descompune această funcție și se poate citi răspunsul la întrebare parcurgând diagrama de la stânga la dreapta;

- Când? Când va fi asigurată această funcție? Căutarea simultaneităților care sunt reprezentate vertical.

Răspunsul la aceste întrebări nu este nici unic, nici exclusiv. Astfel, există două tipuri de înlănțuiri între diferite coloane, înlănțuiri de tip "și" și înlănțuiri de tip "sau". Se reprezintă legăturile „sau” prin două săgeți (sau mai multe) plecând de la o aceeași origine, pe când o legătură "și" se separă după dreptunghiul reprezentând funcția origine. Funcțiile trebuie descrise printr-un verb la infinitiv. Acest tip de reprezentare (fig. 4.12) este standardizat (în Franța este reglementat prin norma NF EN 1325-1). Citirea de la stânga la dreapta pleacă de la particular la general răspunzând întrebării "Cum"? Deplasarea de la dreapta spre stânga corespunde întrebării „De ce?”. Adesea, întrebarea „Când?” este nelămurită (alte mijloace mai eficiente răspund la această întrebare).

O diagramă FAST în sine nu rezolvă problema, dar punând-o într-o logică funcțională va stimula speculațiile echipei vis-a-vis de cum anume să satisfacă nevoile funcției. Nu există un model FAST corect, există doar un model FAST valid.

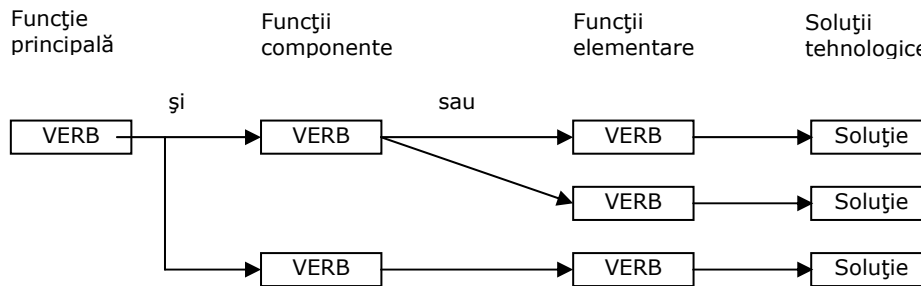


Fig. 4.12. Diagrama FAST (De La Bretesche, 2000)

4.6.5.2 Analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității

Metoda de analiză a modurilor de defectare, a efectelor și a criticității lor, AMDEC (*Failure Mode and Effect Analysis*, FMEA) a fost dezvoltată de NASA la începutul anilor '60. Este o metodă care permite studiul sistematic al cauzelor și efectele defectărilor care afectează componentele unui sistem (produs, mașină sau proces). Metoda urmărește evaluarea previzională a fiabilității sistemului, analizând în mod sistematic diversele defectări pe care acesta le poate avea în cursul utilizării sale. Este deci o metodă calitativă de fiabilitate, care permite prevederea riscurilor de apariție a defectărilor, evaluarea consecințelor lor și stabilirea cauzelor. Metoda are ca obiectiv principal obținerea de către un sistem a unei calități optime. Pentru aceasta trebuie examinate în mod sistematic defectările potențiale, evaluată gravitatea consecințelor lor, asigurată detectarea, și declanșate acțiunile corective în funcție de gradul lor de criticitate.

O analiză FMEA poate fi făcută la un nivel hardware, funcțional sau la ambele nivele hardware și funcțional în același timp, în funcție de complexitatea sistemului. O analiză FMEA presupune colectarea de date și materiale foarte variate, cunoștințe specifice domeniului în care este aplicată. FMEA poate oferi o evaluare obiectivă a concepției, incluzând cerințe funcționale și alternative de soluții.

În conformitate cu standardul militar (MIL-STD-1629A, 1980) FMEA este un pas al FMECA (*Failure Modes and Effects Criticality Analysis*). FMECA este o procedură de analiză a documentelor care analizează toate căderile probabile într-un

sistem, folosind reguli de bază specificate, determină efectul pentru fiecare eșec privind funcționarea sistemului, identifică punctele de cădere singulare și situează fiecare cădere în conformitate cu o clasificare a gravității sale. Această procedură este rezultatul a două etape care, atunci când sunt combinate, oferă FMECA. Acești doi pași sunt: FMEA (Analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității lor) și CA (Analiza criticității).

Metoda FMEA este utilizată universal de diferite industrii, pentru aplicarea sa fiind elaborate standarde specifice. Scopul FMEA, care este o metodă calitativă, este de a studia și evalua în timpul procesului de concepție modurile de cădere critice posibile. FMEA este recomandată a fi începută în etapa de *conceptual design*, când sunt dezvoltate criteriile de concepție și sunt dezvoltate soluțiile conceptuale pentru evaluarea demersurilor, compararea beneficiilor configurațiilor existente și este continuată în timpul ciclului de viață al produsului.

Un proces FMEA este descris în figura 4.13 (Stunell, 2003). Demersul comportă trei faze:

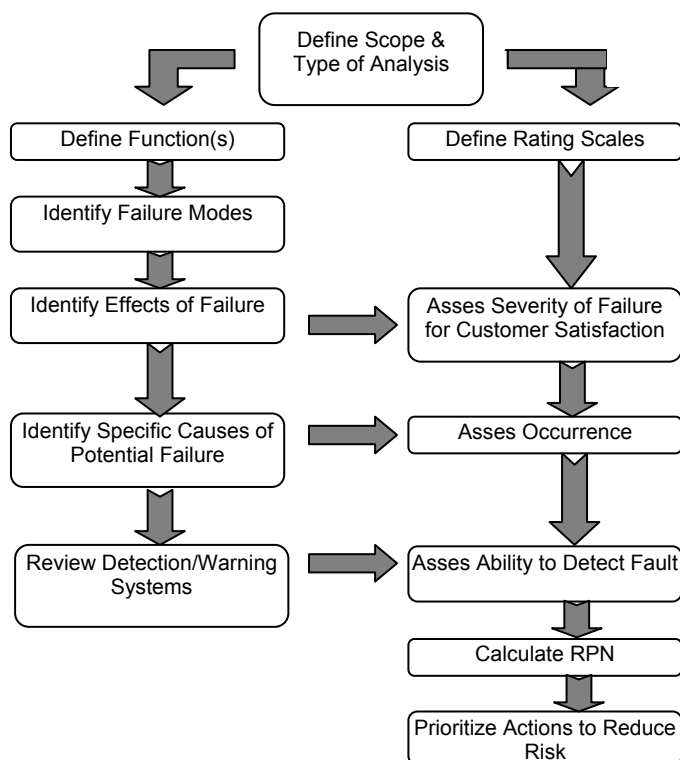


Fig. 4.13. Procesul FMEA (Stunell, 2003)

- pregătirea: constituirea unui grup de lucru, culegerea de informații asupra subiectului tratat, planificarea acțiunii, prevederea materialului necesar;
- acționarea: descompunerea produsului în funcții (analiza funcțională), stabilirea pentru fiecare funcție a cauzelor eventualelor defectări, evaluarea criticității pe care o pot genera cifrată în parametri, calcularea indicelui de prioritate a riscurilor;

- acțiuni corective specifice.

Metoda AMDEC (FMEA) poate fi regăsită la sfârșitul principalelor faze de dezvoltare a unui produs:

- AMDEC produs: privește produsul în faza sa de concepție și permite verificarea dacă acesta îndeplinește toate funcțiile pentru care a fost conceput;
- AMDEC proces: privește produsul în faza sa de realizare și permite verificarea impactului procesului de fabricație asupra conformității produsului;
- AMDEC mijloace: privește mijloacele de producție utilizate în fabricația produsului.

Metoda este divizată în 4 etape și se caracterizează prin prezentarea sub formă de tabele specifice:

I. Definirea sistemului, a funcțiilor și componentelor sale.

Moduri de defectare generice:

- | | |
|---|------------------------------|
| • defectare structurală | • scurgere redusă |
| • blocare fizică | • pornire eronată |
| • vibrații | • neoprire |
| • nerămânere în poziție | • nepornire |
| • nedeschidere | • necomutare |
| • neînchidere | • funcționare prematură |
| • defectare în poziție deschisă | • funcționare după termen |
| • defectare în poziție închisă | • intrare eronată (creștere) |
| • scurgere internă | • intrare eronată (reducere) |
| • scurgere externă | • ieșire eronată (creștere) |
| • depășirea limitei superioare tolerate | • ieșire eronată (reducere) |
| • depășirea limitei inferioare tolerate | • pierderea intrării |
| • funcționare intempestivă | • pierderea ieșirii |
| • funcționare intermitentă | • scurtcircuit (electric) |
| • funcționare neregulată | • circuit deschis (electric) |
| • indicație eronată | • scurgere (electrică) |
| | • alte condiții de defectare |

II. Stabilirea modurilor de defectare a componentelor și cauzele lor.

Modurile de defectare se clasează în 4 categorii:

- funcționare prematură (sau intempestivă),
- nefuncționare la momentul prevăzut,
- neoprire la momentul prevăzut,
- defectare în funcționare.

III. Studiul efectelor modurilor de defectare.

IV. Concluzii, recomandări.

4.6.5.3 Teoria rezolvării problemelor inventive

Teoria rezolvării problemelor inventive (*Teoriya Rezhnija Izobretateliskich Zadach*, TRIZ) a fost dezvoltată pe parcursul a 50 de ani (1946-1996) de către omul de știință rus Genrich Altshuller (1926-1998). În raport cu alte metode folosite în procesul de concepție, TRIZ propune un altfel de demers pentru rezolvarea problemelor (fig. 4.14).

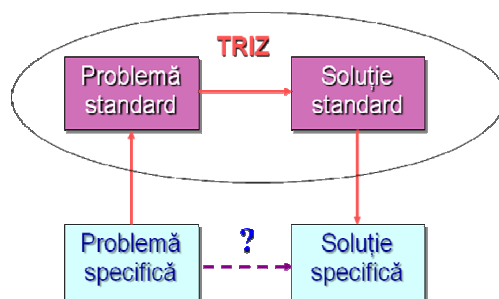


Fig. 4.14. Procesul de conceptualizare a soluției prin aplicarea TRIZ (Altshuller, 1999)

Parcurgând etapele procesului de conceptualizare, echipa de concepție utilizează un set de instrumente specifice. Avantajele unui astfel de demers sunt:

- posibilitatea găsirii unor soluții la problemele existente în alte domenii decât cele din care provin. De exemplu, o soluție din chimie pentru a rezolva o problemă din mecanică: atacul chimic al suprafețelor;
- analizele pun în evidență principii fundamentale simple și efecte fizice, chimice sau geometrice disponibile în literatura de specialitate. De exemplu, principiul lui Arhimede, efectul Seebeck etc. O aplicație a efectului Seebeck a permis utilizarea căldurii degajate de către un aragaz pentru a produce curentul electric necesar într-o casă.

TRIZ oferă o metodologie sistematică de rezolvare a problemelor inventive, orientată spre persoană și bazată pe cunoștințe existente. Astfel:

- TRIZ – metodologie: propune un mod general de cercetare, cunoaștere și transformare a realității obiective;
- TRIZ – metodologie sistematică: procedurile utilizate pentru identificarea și rezolvarea problemelor sunt structurate metodic cu scopul de a oferi soluții cunoscute pentru probleme noi;
- TRIZ – metodologie orientată spre persoană: marea majoritate a problemelor care apar sunt unice și, din acest motiv, rezolvarea lor de către un computer este practic imposibilă;
- TRIZ – bazată pe cunoștințe existente: datele despre problema abstractă sunt extrase în urma studierii unui număr mare de brevete din diferite domenii ale ingineriei; utilizează efectele fundamentale existente în științele naturii și inginerie; folosește informațiile despre domeniul în care apare problema.

Conceptele de bază ale TRIZ sunt:

- Idealitatea - rezultatul final ideal este cel spre care se tinde, fiind exprimat prin raportul dintre suma funcțiilor utile și suma funcțiilor nefaste și a costurilor;
- Contradicțiile - contradicții tehnice, care se rezolvă folosind matricea celor 40 principii de inovare; contradicții fizice, care se rezolvă folosind cele 11 principii de separare.

Alte mijloace TRIZ de rezolvare a problemelor sunt: cele 76 soluții standard de rezolvare pe baza modelelor câmp-substanță (Su-Field), legile de evoluție ale sistemelor tehnologice. Ca mijloc adițional al TRIZ, în perioada 1959-1985 a fost dezvoltat ARIZ (*Algorithm of Inventive Problem Solving*), care însă este mai greu de învățat și aplicat, deoarece conține o schemă largă cu explicații, comentarii etc. În

anul 1987 a fost dezvoltată o schemă mai compactă, numită meta-algoritm al inventării (Orloff, 2006). Acesta este un algoritm generalizat, pe care sunt bazați algoritmi orientați special spre aplicații concrete și clase speciale de modele mai detaliate și precise.

TRIZ este un model calitativ care poate oferi recomandări, norme, instrucțiuni, sugestii și exemple (Orloff, 2006). Aceste tipuri de modele calitative sunt toate instrumentele de gândire - obținerea unor rezultate practice bazate pe experiențe sistematice și generalizate - și corespund îndeaproape conceptelor matematicii constructive.

Gândirea inventivă înseamnă o gândire pentru soluții la probleme în curs de inventare. Oamenii gândesc în imagini și metafore și utilizează un model special de transformare, realizează analogii și șabloane pentru dezvoltarea soluțiilor prin intermediul asocierilor și analogiilor. Modelul de transformare este îmbunătățit în urma realizării ultimei sarcini și modelul, la rândul lui, direcționează gândirea spre scopul urmărit. Modelele de transformare generale și exemplele ilustrate joacă rolul de navigatori ai gândirii sau navigatori ai inventării, numiți generic *A-Navigators*, fiind instrucțiuni, reguli, șabloane care modelează calea spre scop. Succesul aplicării depinde de cel care conduce echipa și membrii implicați.

Un algoritm conține întregul set de reguli care determină dezvoltarea de obiecte care urmează să fie construite. O schemă generalizată a meta-algorithmului de inventare este prezentată în figura 4.15 (Orloff, 2006). Acesta cuprinde patru faze:

- a) diagnostic (declarație a problemei): formularea funcțiilor de bază, primare, utile și a celor auxiliare, modelul structural-funcțional al conflictului, care este reluat și în faza următoare;
- b) reducere (referință la modele cunoscute): faza de conectare între diagnostic și transformare. Se analizează dacă o sarcină concretă este situată în zona operativă. Reducerea problemei include selectarea navigatorilor și modelelor TRIZ standard care sunt cunoscute în forma generală, formularea modelului funcțional ideal și rezultatul final ideal, căutarea resurselor operative folosite. De exemplu, în această fază are loc stabilirea modelului contradicției;
- c) transformare (identificarea de idei bazate pe reguli controlabile de transformare): disciplinele de gândire, inspirație, logică, intuiție, experiență, motivare în căutarea de noi idei, căutarea navigatorilor pentru înlăturarea contradicțiilor fizice;
- d) verificare (verificarea accesibilității potențiale a scopului): o procedură firească în continuare este selectarea unui concept sau al altuia, această selecție făcându-se pe criterii tehnice și economice.

Etapele de diagnostic și de reducere sunt, în esență, proceduri de analiză a problemei, în timp ce etapele de transformare și de verificare sunt sinteza soluției. Meta-algoritmul de inventare este sistemul de navigare primară pentru soluții la orice problemă în curs de inventare. Procedurile din această schemă sunt susținute de baze de date arătate în mod clar sub formă de desene, *A-Navigators* (Orloff, 2006). Aplicarea unui astfel de algoritm cere cunoștințe despre TRIZ specifice domeniului.

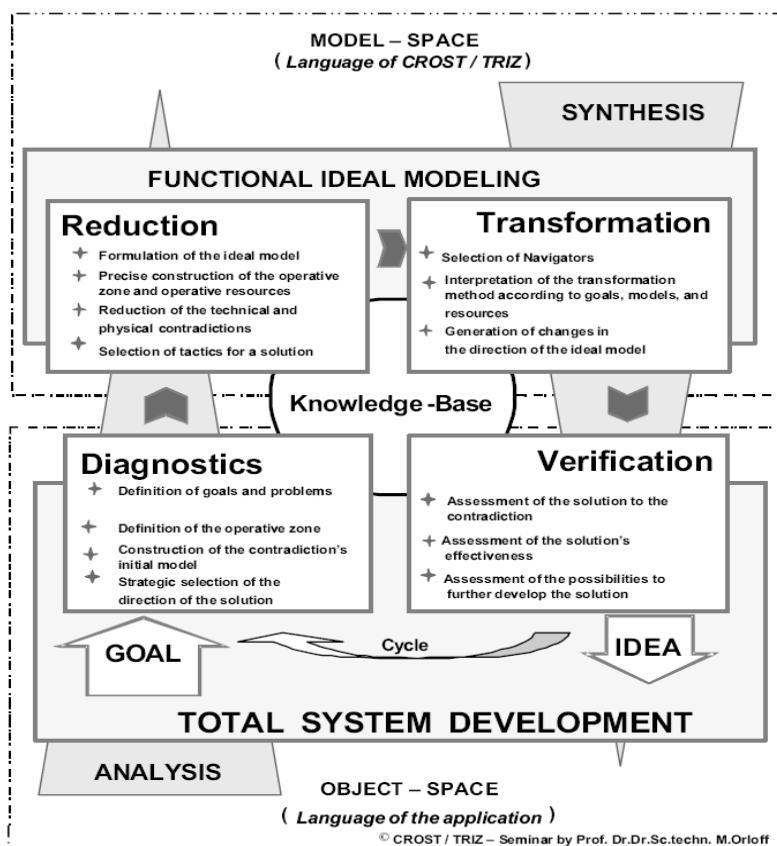


Fig. 4.15. Schema generalizată a meta-algoritmului inventării (Orloff, 2006)

Modelarea funcțională este o disciplină TRIZ și un proces pentru reprezentarea sistemelor cu probleme, prin listarea tuturor componentelor și a tuturor interacțiunilor. O analiză funcțională TRIZ diferă de alte tipuri de analiză funcțională prin aceea că include toate interacțiunile negative, ineficiente și excesive din sistem (Busov ș.a., 1999). Analizarea acestor funcții și interacțiuni între componente ajută la definirea problemelor existente într-un sistem. Este utilizat în mai multe domenii și, de exemplu, este folosit pentru a recunoaște produsele care materializează soluții fizice diferite, pornind de la structuri de funcții identice (Eben ș. a., 2009).

Obiectivul existenței unui produs este acela că îndeplinește o funcție utilă, funcția primară, de bază.

În (Terniko ș.a., 1996, 1998) este prezentat procesul de identificare al funcției de bază și a funcțiilor secundare, precum și de analiză a componentelor. În (Terniko ș.a., 1998) este prezentat un chestionar cu privire la legăturile care există între funcțiile utile și nefaste, oferind o privire de ansamblu asupra problemelor care pot să apară.

Cu privire la funcția utilă:

Funcția utilă UF_n este necesară pentru o altă funcție utilă UF_{n+1} ?

Această funcție utilă UF_n cauzează un efect nefast HF_n ?

Această funcție utilă UFn elimină un efect nefast HFn?
 Această funcție utilă UFn cere o altă funcție utilă pentru a realiza UFn-1?
 Cu privire la funcția nefastă:
 Funcția nefastă HFn cauzează alte funcții nefaste HFn+1?
 Această funcție nefastă HFn-1 este cauzată de altă funcție nefastă HFn?
 Această funcție nefastă HFn este cauzată de funcții utile Ufn?
 Această funcție utilă UFn elimină funcția nefastă HFn?

Elementele de bază ale unui model funcțional sunt funcțiile și legăturile. Legăturile definesc relațiile dintre funcții. Sintaxa modelării funcționale este redată în figura 4.16 și este o reprezentare grafică pentru legăturile dintre funcțiile utile și cele nefaste.

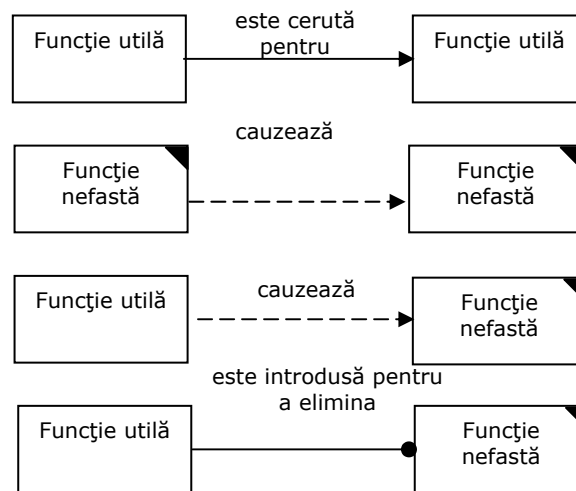


Fig. 4.16. Sintaxa modelării funcționale (Terniko ș.a., 1996)

Când este realizată structura funcțională, primul pas îl reprezintă scoaterea în evidență a funcției primare utile sau a celei nefaste. Această funcție primară reprezintă punctul de plecare, deoarece celelalte relații se analizează în raport cu ea, adică pe cine influențează și de cine este influențată. Orice funcție nou formulată este privită în același mod (Terniko ș.a., 1996). Ideea unui astfel de demers constă în descoperirea contradicției, prin căutarea funcțiilor care au atât o ieșire utilă cât și una nefastă, contradicție care trebuie îndepărtată pentru a-și îmbunătăți funcționalitatea. Astfel, funcțiile utile trebuie să producă ieșiri utile și să nu genereze funcții nefaste. Este vorba despre o schimbare a sistemului, astfel încât rezultatele dorite sunt atinse, în timp ce rezultatele nedorite asociate dispar sau se diminuează, și găsirea unui mod de a contracara funcțiile nefaste - modificarea sistemului, astfel încât un factor nedorit este eliminat sau redus. Această vedere, prin prisma util/nefast, poate fi folosită ca punct de plecare într-o căutare de noi idei și soluții.

4.7. Evaluarea capabilității procesului de concepție

Modelul holistic de abordare al concepției, care are ca suport cele două modele fundamentale - modelul axiomatic și modelul sistematic - este un model general al procesului de concepție. O modalitate de utilizare a axiomelor de

concepție, ca factor de decizie sau control în cadrul demersului sistematic, poate fi evaluarea capabilității procesului de concepție prin prisma axiomei de informare. Aceasta permite alegerea celei mai bune variante de concepție.

Indicii de performanță și de capabilitate prezintă, sub o formă compactă, modul în care se comportă una sau mai multe caracteristici ale unui produs sau ale unui proces, în raport cu specificațiile tehnice. Indicii de performanță și de capabilitate fac legătura între limitele specificate și limitele obținute ale caracteristicilor produsului sau procesului. Astfel, se urmărește determinarea capabilității procesului de concepție. Parametrii de concepție DP necesari realizării cerințelor funcționale FRs sunt definiți într-un câmp de toleranță, cu limite între care pot varia. Folosind un model de calcul a propagării toleranțelor, vor rezulta anumite valori pentru toleranțele admise ale parametrilor de concepție. Prin calcularea indicilor de capabilitate, între ceea ce se dorește ca variație a parametrilor de concepție și ceea ce se obține, se urmărește determinarea capabilității procesului de a asigura parametrii de concepție în limitele cerute, impuse de limitele cerințelor funcționale.

Capabilitatea caracteristicii de ieșire este asociată cu capabilitatea atribuită parametrilor de concepție.

Capabilitatea procesului de concepție redă gradul în care sunt atinse toleranțele necesare pentru obținerea cerințelor funcționale și valorile pe care le poate oferi sistemul pentru limitele în care să varieze parametrii de concepție.

Indicele de capabilitate este definit astfel:

$$C_p = T / DN = T / 6\sigma_x$$

unde T reprezintă câmpul de toleranță pentru un parametru de concepție, astfel încât o cerință funcțională să fie realizată în limitele impuse și DN sau 6σ este dispersia normală cu care pot fi realizați parametrii de concepție DP (valori furnizate de procesul care generează acești DP).

Indicele de capabilitate trebuie să aibă o valoare de minim 1 pentru a se putea spune că procesul este capabil:

- valoarea cea mai recomandată este $C_p > 1,33$;
- pentru o distribuție normală, probabilitatea asociată unui interval de 8σ centrat pe medie este de 99,994%. Dacă procedeul este bine centrat pe mijlocul câmpului de toleranță și procesul este capabil, atunci, în cele mai bune condiții, procesul poate respecta exigențele cu o probabilitate de 99,994%, adică un proces la $C_p = 1,33$ ($T = 8\sigma_x$) și menținut sub control, în cazul când este centrat, va da doar 66 upm neconforme (upm = unități per milion);
- un proces la $C_p = 2$ ($T = 12\sigma_x$) și menținut sub control, fiind centrat corect, va da doar 0,1 upm neconforme;
- se mai utilizează și inversul lui C_p , respectiv $C_m = 1/C_p$, multiplicat cu 100, fiind interpretat ca procentul câmpului de toleranță:

$$C_m \% = \frac{1}{C_p} * 100 = \frac{DN}{T} * 100 = \frac{6\sigma_x}{T} * 100$$

Prin calcularea capabilității procesului de concepție se urmărește doar analizarea încadrării în câmpul de toleranță calculat a DP obținuți, pentru realizarea cerințelor funcționale FRs în limitele cerute. În urma calculului capabilității nu se acționează asupra caracteristicilor în vederea îmbunătățirii valorilor lor, capabilitatea fiind considerată la un moment dat, necunosându-se evoluția în timp a procesului care furnizează DP. Capabilitatea parametrilor de concepție este folosită ca factor

de decizie, de analiză a posibilității de realizare a cerințelor funcționale, într-o variantă sau alta.

Performanța procesului este văzută ca și performanța parametrilor de concepție de a asigura cerințele funcționale în limitele prescrise pentru acestea, adică de a fi realizați într-un câmp de toleranță dedus din limitele impuse pentru FRs.

Urmărirea performanțelor parametrilor de concepție în raport cu cerințele impuse conduce la îmbunătățirea procesului de concepție a produsului. Valorile pentru toleranțele DPi realizate de către proces sunt analizate în raport cu cele rezultate din calcule.

Fiecare cerință funcțională este caracterizată de un câmp de toleranță, existând deci o condiție tehnică impusă. Pe baza acestei condiții tehnice și a ecuațiilor de concepție (4.2) se calculează variația parametrilor de concepție, limitele între care aceștia pot varia, astfel încât toate cerințele funcționale să poată fi realizate în câmpurile de toleranță impuse.

Astfel, presupunând cazul în care procesul oferă DPi independenți statistic și caracterizați printr-o distribuție normală, având media m și abaterea standard σ , se va verifica dacă valorile câmpurilor de toleranță T necesare pentru DPi, rezultate din calcul, pot fi acoperite de valorile furnizate de proces. Pentru a efectua această verificare se propune calcularea indicilor de capabilitate pentru parametrii de concepție.

Fiind date variațiile ΔFR_i , se calculează corespunzător fiecărei FRi variația ΔDP_i , astfel încât să rezulte toate cerințele funcționale în limitele impuse.

DPi furnizat de sistem are un câmp de toleranță care poate fi identic, mai mic sau mai mare decât cel calculat. Interesează în ce măsură ΔDP_i sunt atinse și, de aceea, se vor calcula indicii de capabilitate ai DPi, corespunzător fiecărei perechi FRi-DPi.

Pentru fiecare cerință funcțională se poate calcula indicele de capabilitate al parametrilor de concepție obținuți, față de parametrii de concepție rezultați din calcule. Dacă indicii de capabilitate ai DPi realizați în raport cu DPi prescrisi sunt mai mari de 1.33, atunci valorile prescrise pentru DPi și necesare ca fiecare FR să fie satisfăcută, sunt realizate.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ \vdots \\ FR_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_n \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$dFR_i = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_1} dDP_1 + \frac{\partial FR_i}{\partial DP_2} dDP_2 + \dots + \frac{\partial FR_i}{\partial DP_n} dDP_n \quad (4.2)$$

$$dFR_n = \frac{\partial FR_n}{\partial DP_1} dDP_1 + \frac{\partial FR_n}{\partial DP_2} dDP_2 + \dots + \frac{\partial FR_n}{\partial DP_n} dDP_n$$

unde

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$$

În cazul unei concepții decuplate parțial, cu o matrice de forma

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 \\ A21 & A22 & 0 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}, \quad (4.3)$$

ecuațiile de concepție vor fi:

$$\begin{aligned} FR1 &= A11DP1 \\ FR2 &= A21DP1 + A22DP2 \\ FR3 &= A31DP1 + A32DP2 + A33DP3 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Pentru a avea însă o concepție robustă este necesar ca elementele non-diagonale să fie mult mai mici decât cele diagonale, adică $A_{ii} \gg A_{ij}$, $i=1..3$, $j=1..3$, în cazul acestei concepții cu trei parametri fiind vorba despre termenii $A12$, $A31$, $A32$, variațiile $FR1...FR3$ fiind mai mici.

Corespunzător, dacă *Design Range* specificate pentru FRs sunt $\Delta FR1$, $\Delta FR2$, $\Delta FR3$, toleranțele maxime permise pentru DPs sunt notate cu $\Delta DP1$, $\Delta DP2$ și respectiv $\Delta DP3$, iar ecuațiile de concepție devin:

$$\begin{aligned} \Delta FR1 &= A11\Delta DP1 \\ \Delta FR2 &= A21\Delta DP1 + A22\Delta DP2 \\ \Delta FR3 &= A31\Delta DP1 + A32\Delta DP2 + A33\Delta DP3 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Astfel, $\Delta DP1$, $\Delta DP2$ și respectiv $\Delta DP3$ pot fi exprimate ca:

$$\Delta DP1 = \frac{\Delta FR1}{A11}. \quad (4.6)$$

$$\Delta DP2 = \frac{\Delta FR2 - |A21\Delta DP1|}{A22} \quad (4.7)$$

$$\Delta DP3 = \frac{\Delta FR3 - |A31\Delta DP1| - |A32\Delta DP2|}{A33}. \quad (4.8)$$

Pentru $\Delta DP2$ fluctuațiile sale datorate termenului $A21$, $\Delta DP1$ îl poate face pe acesta mai mare sau mai mic, în funcție de semnul său. Cu toate acestea, variația maximă permisă a lui $\Delta DP2$ corespunde celui mai defavorabil caz, adică atunci când $\Delta DP2$ este redus de către termenul $A21$, $\Delta DP1$. La fel este și argumentarea pentru $\Delta DP3$. De aceea este folosit modulul, adică valoarea absolută, pentru a reprezenta cel mai nefavorabil caz posibil. Toleranțele maxime pentru DPs a unei concepții cuplate parțial sunt mai mici decât toleranțele corespunzătoare ale unei concepții decuplate. Deci, o concepție cuplată parțial este mai puțin robustă decât una decuplată.

Pe măsură ce numărul de FRs și DPs crește, toleranțele admise pentru ultimii DPs ai matricei triangulare devin din ce în ce mai mici.

În ipoteza că se cunosc valorile pentru termenii A_{ij} ai matricei decuplate parțial, (elementele A_{ij} pot fi numere sau funcții), din relațiile (4.6)-(4.8) se

calculează valorile dorite pentru ΔDP . Valorile reale ale ΔDP obținute din proces sunt apoi comparate cu cele dorite și se analizează capacitatea de a obține parametrii de concepție în limitele rezultate din calcul.

Pentru fiecare cerință funcțională se va calcula indicele de capacitate corespunzător: $C_{p1}, C_{p2}, \dots, C_{pn}$. Astfel, pot fi calculate valorile variației dorite a DP, necesare pentru obținerea cerințelor funcționale în limitele impuse.

Dacă pentru fiecare cerință funcțională este îndeplinită condiția ca variația ΔDP s să fie între limitele calculate, înseamnă că parametrii de concepție DP realizați de proces acoperă limitele parametrilor de concepție prescriși și aceștia din urmă pot fi realizați, toate cerințele funcționale fiind îndeplinite în acest caz și concepția fiind realizabilă.

Având mai multe variante de realizare a unor cerințe funcționale, se va face o analiză a indicilor de capacitate a parametrilor de concepție, calculând capacitatea parametrilor de concepție dați de proces în raport cu cei calculați. Fiecare variantă de realizare a cerințelor funcționale va avea diferite valori ale indicilor de capacitate a parametrilor de concepție.

Pentru ca fiecare cerință funcțională să poată fi realizată în câmpul de toleranță specificat, trebuie ca procesul să ofere parametri de concepție în câmpul de toleranță impus prin calcul, respectiv indicele de capacitate pentru parametrul de concepție să fie mai mare decât 1.33. Astfel, o condiție minimă pentru ca o variantă de concepție să poată „funcționa” este ca indicii de capacitate C_{pi} să fie mai mari decât 1.33.

Dacă există mai multe variante de realizare a cerințelor funcționale, o condiție de fezabilitate a concepțiilor este ca indicii de capacitate să fie mai mari decât 1.33, iar varianta aleasă va fi cea la care suma acestor indici va fi cea mai mare. Astfel, este propusă o variantă de calcul a performanței unei soluții, prin prisma capacității parametrilor de concepție realizați de proces, în raport cu cei calculați.

4.8. Concluzii

În acest capitol s-a dezvoltat un model holistic de concepție a produsului, bazat pe cele două modele fundamentale: modelul axiomatic și modelul sistematic. Concepția axiomatică, caracterizată prin generalitatea sa, poate fi aplicată în diferite domenii, regulile folosite fiind aceleași, iar ghidarea de-a lungul procesului de concepție este dată de cele două axiome. În concepția sistematică se încearcă identificarea sau prescrierea procesului de concepție. Concepția axiomatică este bazată pe principii științifice raționale, care au fost derivate din observarea unor procese de concepție și proiecte de dezvoltare reușite.

Abordarea holistică pentru concepția preliminară (studiul conceptual), presupune că faza conține elemente din concepția axiomatică - folosirea în cadrul demersului sistematic a unei exprimări în termenii concepției axiomatice - cerințe funcționale, parametri de concepție, matrice de concepție - pentru o analiză mai facilă a zonelor care ridică probleme, cât și apoi a axiomelor de concepție, acolo unde este nevoie, ca și factor de decizie sau control, în vederea generării de idei de soluții posibile în faza de concepție, folosirea teoriei rezolvării problemelor inventive (TRIZ) prin meta-algoritmii inventării.

Formalismul grafic al modelului holistic de concepție integrată a produsului, extins la întregul său ciclu de viață, a fost reprezentat folosind metoda SADT

(*Structured Analysis and Design Technique*) și programul iGrafx 2011. Din modelul ciclului de viață al produsului a fost detaliată activitatea de concepție, au fost prezentate metodele și mijloacele folosite în cadrul acesteia: analiza funcțională internă și externă, analiza funcțională TRIZ, analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității acestora (AMDEC/FMEA) completate de o exprimare a funcțiilor în termeni și folosind formalismul concepției axiomatice, care poate fi utilă pentru a avea un tablou general din punct de vedere al funcțiilor, mijloacelor și relațiilor de dependență a funcțiilor, în funcție de parametrii de concepție, urmate de folosirea teoriei rezolvării problemelor inventive (TRIZ), în vederea găsirii de noi direcții de orientare, pentru găsirea de soluții.

În finalul capitolului s-a prezentat o modalitate de utilizare a axiomelor de concepție, ca factor de decizie sau control în cadrul demersului sistematic, pentru evaluarea capabilității procesului de concepție prin prisma axiomei de informare. Aceasta permite alegerea celei mai bune variante de concepție.

5. PLATFORMA DE CONCEPȚIE INOVANTĂ, COLABORATIVĂ A PRODUSULUI

5.1. Introducere

Platforma de concepție inovantă, colaborativă a produsului conține mijloacele software de asistare a fazelor de planificare și clarificare a sarcinilor, studiu conceptual și concepție constructivă, platforma fiind constituită din trei pachete de programe, furnizate de IDEACore (<http://www.ideacore.com/>), TDC Software (<http://www.tdc.fr>) și Axiomatic Design Solutions Inc. (<http://www.axiomaticdesign.com>). Platforma integrează metodele de concepție într-un sistem de management al ciclului de viață al produsului (*Product Lifecycle Management*, PLM) și permite colaborarea specialiștilor de profesii diferite pentru atingerea obiectivelor.

5.2. Pachetul IDEACore Software

Catalyst Suite este o licență pentru toate programele software WEB Mine, QFD Designer și TRIZ Contrastolve integrate într-un singur pachet, care este un mijloc de suport pentru concepția centrată pe client, permițând descoperirea și apoi organizarea Vocii Clientului, folosirea acesteia într-o analiză QFD, apoi rezolvarea contradicțiilor tehnice care pot părea prin folosirea TRIZ Contrastolve.

5.2.1. WEB Mine

WEB Mine este folosit pentru supravegherea pieței și o mai bună înțelegere a clienților, cerințele acestora putând fi culese prin intermediul web. Poate fi folosit pentru diferite evaluări, ca: ISO9000, *Leadership*, *Lean Manufacturing*, *Customer Feedback* etc. Acest mijloc permite pregătirea unui chestionar cu răspunsuri urmărite, publicarea sa, urmărirea rezultatelor și, în urma analizării acestora, integrarea rezultatelor în OFD Designer. Conține un set de mijloace ca: urmărirea cantitativă, analiza Kano, AHP, prin intermediul cărora durata de realizare a unei analize QFD este redusă, ierarhizarea nevoilor clienților folosind Vocea Clientului, evaluări competitive, urmărirea proiectului, activități de e-Commerce, sprijină consensul echipei.

5.2.2. QFD Designer

QFD Designer este un mijloc prin care se realizează o concepție orientată spre client, are loc selectarea conceptelor, dezvoltarea unui plan strategic,

optimizarea alocării resurselor, dezvoltarea stelară a produsului. Conține o serie de șabloane care pot fi folosite în funcție de analiza urmărită și conține o serie de elemente care ajută la o vedere compactă a casei calității, facilitând în același timp și construcția acesteia: schițe pentru vizualizarea conceptelor, vederea proiectului, desfășurarea funcției calitate prin progresul fazelor (proces prin care coloanele unei matrici devin rândurile următoarei matrici), analiză comparativă - pentru găsirea oportunităților de îmbunătățire, crearea unei baze de cunoștințe prin înregistrarea acestora, simplificarea colaborării echipei, toate diagramele sunt păstrate în mod unitar etc.

Contribuie la îmbunătățirea rapidă a concepției prin păstrarea unor costuri reduse, rezolvarea contradicțiilor apărute și utilizarea principiilor inventive pentru rezolvarea a peste 1500 contradicții. Se poate integra cu QFD Designer pentru a soluționa o contradicție apărută între cerințele de concepție care sunt în conflict. Astfel, prin apelarea TRIZ Contrastolve se pot explora modurile în care contradicțiile pot fi înlăturate.

5.3. Pachetul TDC Software

Produsele TDC Software (*Suite Méthodologique TDC pour la conception PLM 2.0*) permit integrarea unor metode de concepție (analiza funcțională, AMDEC/FMEA) într-o platformă de concepție inovantă, colaborativă a produselor.

5.3.1. TDC Need

Elementele analizei funcționale, cu referire la scopul studiului și realizarea caietului de sarcini funcțional (CSF) sunt sintetizate în TDC Need. Caietul de sarcini funcțional permite o exprimare mai bună a nevoii, o aprofundare a specificului nevoii clientului, printr-un dialog scris între diversele servicii: cele care concep / realizează produsul, prin definirea nevoii și cele de interfață cu utilizatorii - achiziții, marketing, ameliorarea calității serviciului vândut (*****).

TDC Need poate oferi o desfășurare și mijloace specifice analizei funcționale, în funcție de normele folosite: norma EN 1325-1 (AFNOR) sau metoda APTE (De La Bretesche, 2000). Acest lucru este posibil prin selectarea elementelor care să fie cuprinse în CSF și a mijloacelor care să fie utilizate în momentul deschiderii unui document în vederea redactării CSF.

Etapetele necesare pentru a întocmi un CSF sunt:

- inventarierea contextelor de utilizare;
- inventarierea elementelor mediului exterior al obiectului (*Pieuvre*) pentru fiecare context de utilizare;
- punerea în evidență a relațiilor create de obiect între elementele mediului exterior pentru fiecare context de utilizare și exprimarea scopului fiecărei relații;
- identificarea funcțiilor constrângeri pentru fiecare element al mediului exterior care nu este obiect al unei funcții principale;
- controlul validității funcțiilor;
- punerea în evidență a criteriilor de valoare cu privire la funcție pentru fiecare din funcțiile validate sau exprimate din nou;
- calificarea și cuantificarea fiecărui criteriu de valoare.

Aceste 7 etape ale unui caiet de sarcini funcțional sunt bine ilustrate de TDC Need.

Analiza funcțională conține mai multe faze, după cum se poate observa și în figura 5.1. Astfel, elementele specifice analizei funcționale externe, sunt: punerea în evidență, ordonarea, caracterizarea, valorizarea și ierarhizarea funcțiilor. Analiza funcțională se desfășoară pentru fiecare situație în care se poate regăsi produsul (ex.: repaus, funcționare, asamblare), acestea fiind contextele de utilizare ale produsului.

Pentru punerea în evidență a funcțiilor se poate folosi Brainstorming sau *Pieuvre*. Programul permite reprezentarea grafică *Pieuvre*, putând identifica și vizualiza legăturile create între produsul în discuție și elementele mediului său înconjurător, specifice contextului de utilizare ales (fig. 5.2).

În continuare, funcțiile identificate vor fi supuse unui control al validității. Următoarea subfază este ordonarea funcțiilor, în care se stabilește arborescența acestora, pe nivele și subnivele.

Funcțiile identificate anterior vor fi caracterizate prin atribuirea criteriilor, nivelelor fiecărui criteriu, clasei de flexibilitate, respectiv importanța funcției respective.

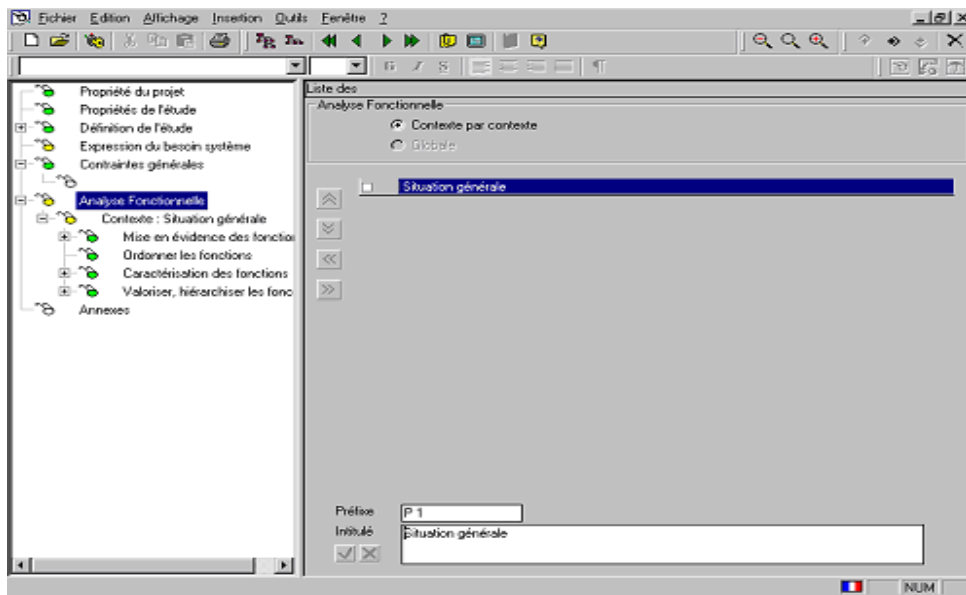
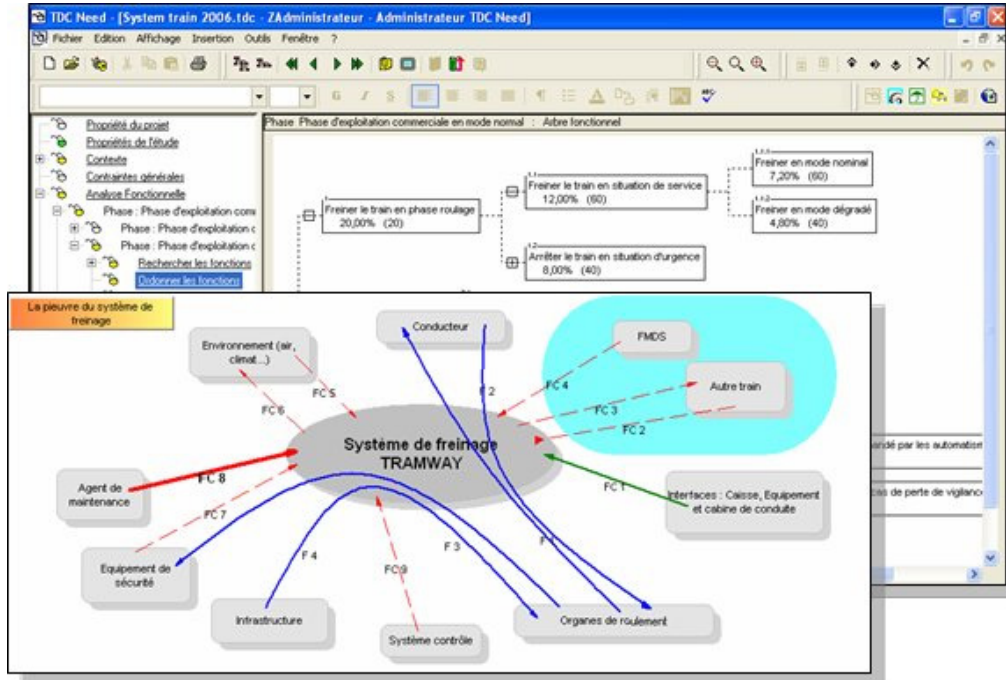


Fig. 5.1. Etapele analizei funcționale în TDC Need

5.3.2. TDC Structure

Pentru realizarea analizei funcționale interne se folosește TDC Structure. Analiza funcțională internă pune în evidență relațiile care există între elementele componente ale unui produs, funcțiile elementelor unui produs, referindu-se la ceea ce este intern produsului, spre deosebire de CSF, care are în vedere doar funcțiile pe care produsul trebuie să le îndeplinească, corespunzător nevoii exprimate de clienți.

Fig. 5.2. Evidențierea funcțiilor cu *Pieuvre*, în TDC Need

5.3.3. TDC FMEA

TDC FMEA include câteva tipuri de analiză a modurilor de defectare, a efectelor și criticității lor (Concepție, Proces, Mijloace), diagrame de proces, planuri de control. Datele pot fi partajate între diferitele mijloace folosite în timpul procesului de concepție al produsului / procesului astfel: intern, TDC FMEA între FMEA concepție, proces, plan de control, diagrama proces și elemente specifice și extern cu analiza funcțională externă a nevoii (TDC Need), blocul diagrame funcțional (TDC Structure), analiza arborilor de defectare (FTA) etc.

5.4. Axiomatic Design Solutions

Axiomatic Design Solutions produce Acclaro DFSS, un software de concepție adecvat cu demersul DFSS și modelul de concepție axiomatică. Multe dintre vederile și domeniile predefinite din Acclaro DFSS sunt destinate să sprijine procesul de concepție și sunt parte din modelul de concepție axiomatică. Elementul central al Acclaro DFSS este o tehnică de concepție prescriptivă numită modelare funcțională, care constă într-un proces de descompunere ierarhică, așa cum este prescris de teoria axiomatică, cu finalitate de realizare a unei concepții mai bune.

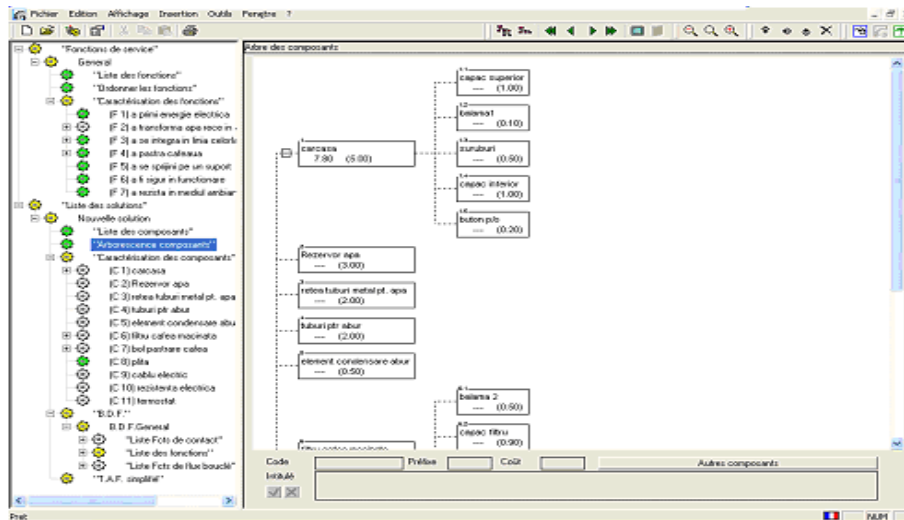


Fig. 5.3. Analiza funcțională internă în TDC Structure

N°	Défaut potentiel	Effet potentiel	S	Classe	Cause potentielle	D Validation	D	IPR	Action préconisée
1	Force de l'arrière par les genoux du passager arrière > 150 DaN	Conducteur se blesse sur tableau de bord	9		Matériaux	5	Résilience des matériaux	1	45
2			9		Tressage métallique du dossier	4	Tests	10	360 Validation E.I.
3	2 Rupture	Conducteur se blesse sur le volant	9		choc	5	Test	6	270 Validation et tests complets
4			9		Structure siège trop légère	2		5	90
5		difficultés pour appuyer sur les pédales	3		Distance siège tableau de bord insuffisante	5	Test EI	3	45
6	3 Pas de confort des membres inférieurs		4		Matériaux	6	Test	3	72
7		Perte adhérence	4		siège trop bas/	10		4	100 Validation et

Fig. 5.4. Tabloul AMDEC în TDC FMEA

La începutul procesului de concepție, cerințele cuprind funcțiile care activează intrările în procesul de concepție. În faza de analiză, mijloacele Acclaro DFSS, ca FMEA, cu modulele risc și cost, ajută la prevenirea cuplării nedorite și sprijină deciziile de concepție în întregime. În continuare, alte funcții ajută conceptorii să completeze verificarea, alocarea, documentarea și raportarea scopului concepției și al deciziilor. Pentru a sprijini aceste funcții variate sunt disponibile diferite tipuri de vederi (fig. 5.5).

În acest program sunt folosite vederi domenii pentru capturarea cerințelor clienților, astfel sunt :

- vederea domeniului nevoilor clientului (CNs);
- vederea domeniului documentelor cerințelor (RDOC);
- vederea domeniului constrângerilor (CON).



Fig. 5.5. Tipuri de vederi

Prin vederea descompunerii funcționale, Acclaro DFSS ajută conceptorii să organizeze activități în timpul fazei de studiu conceptual și oferă elemente specifice pentru descompunerea funcțională, ca element central al procesului. Vederea descompunerii FR-DP în Acclaro DFSS (fig. 5.6) este destinată sprijinului descompunerii funcționale axiomatice. Această vedere permite utilizatorului să introducă cerințele funcționale FRs și parametrii de concepție DPs. Afișarea constrângerilor care pot avea impact asupra alegerii soluțiilor DPs este opțională.

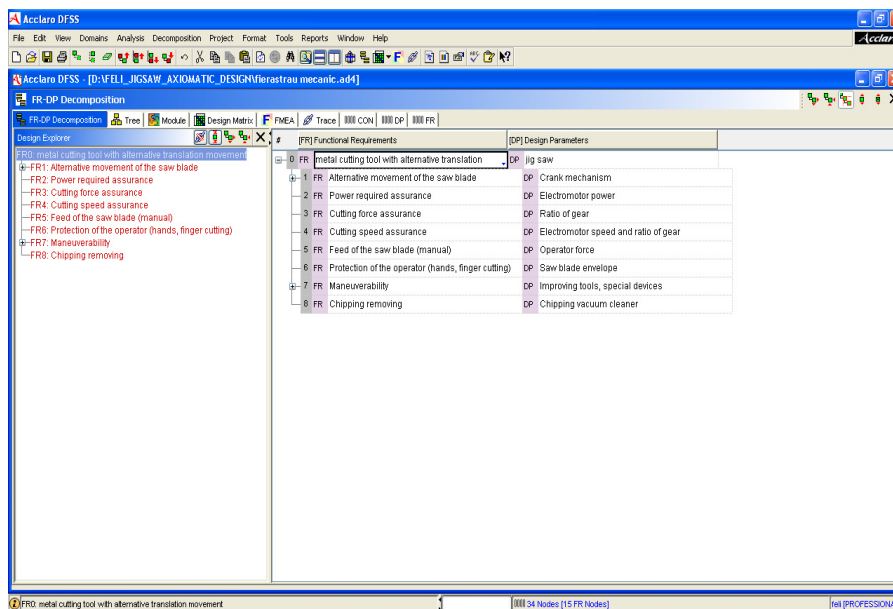


Fig. 5.6. Vederea descompunerii FR-DP în Acclaro DFSS

Pentru a vedea legăturile sau dependențele între noduri în două domenii diferite, în vederea analizei sau a cuplării, pentru a face însemnări sau pentru a arăta cum nodul în primul domeniu a creat nevoia de valoare în cel de-al doilea domeniu, se folosește vederea matricei de concepție (*Design Matrix View*), figura 5.7.

Legăturile sunt definite ca direcții, de la un nod în domeniul primar la un nod în domeniul secundar. În vederea matricei de concepție, primul domeniu apare de-a lungul axei din stânga, iar domeniul secundar apare de-a lungul axei de sus. Existența sau nu a unei relații de legătură între două noduri este redată de un simbol grafic în celula corespunzătoare intersecției între rândul corespunzător primului nod cu coloana corespunzătoare celui de-al doilea. Pentru o pereche de noduri se pot introduce următoarele atribute/simboluri: 0, pentru nici o relație; x,

pentru o relație pozitivă; un număr, pentru o relație cantitativă etc.

Legăturile permise într-un model sunt stabilite utilizând căsuțe de dialog a proprietăților modelului.

Matricea de concepție arată relațiile între FRs și DPs la fiecare nivel de ierarhie a concepției. Rândurile în matricea de concepție corespund cerințelor funcționale pentru nodul curent al arborelui de concepție (*Design Tree*). Coloanele matricei de concepție corespund parametrilor de concepție asociați.

FR	DP0: Jig saw	DP1: Crank mechanism	DP1.1: Angle of the saw	DP2: Electronic power	DP3: Ratio of gear	DP4: Electronic speed and	DP5: Operator force	DP6: Saw blades templs	DP7: Improving tools, special	DP8: Chipping vacuum clean
FR0: metal cutting tool with alter	X	0	0	0	0	0	0	0	0	
FR1: Alternative movement of	X	0	0	0	0	0	0	0	0	
FR1.1: Active course	X	0	0	0	0	0	0	0	0	
FR2: Power required assura	0	0	X	0	0	0	0	0	0	
FR3: Cutting force assurance	0	0	0	X	0	0	0	0	0	
FR4: Cutting speed assuram	0	0	0	0	X	0	0	0	0	
FR5: Feed of the saw blade	0	0	0	0	0	X	0	0	0	
FR6: Protection of the operat	0	0	0	0	0	0	X	0	0	
FR7: Maneuverability	0	0	0	0	0	0	0	X	0	
FR8: Chipping removing	0	0	0	0	0	0	0	0	X	

Fig. 5.7. Vederea matricei de concepție în Acclaro DFSS

Celula aflată la jonțiunea dintre un rând și o coloană este numită celulă de legătură și poate avea atribute determinate de un set de ecuații formulate de Nam P. Suh (2001). Pentru o înțelegere rapidă vizuală a matricei de concepție, un x reprezintă o dependență puternică, pe când un 0 indică o dependență mică sau chiar neexistentă.

Pe măsură ce are loc dezvoltarea concepției, teoria axiomatică încurajează conceptorul să evite concepțiile cuplate. Aceasta evită construirea dependențelor în concepție, care cauzează probleme costisitoare în timpul implementării. Vederea matrice de concepție permite concepteurului să analizeze cuplarea la fiecare nivel de descompunere, înainte de a trece la nivelul următor. Aceasta poate evita creșterea costului și timpului de reconcepție după ce problemele ar fi raportate de consumatori.

Vederea FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*), figura 5.8, poate fi utilizată ca un proces de evaluare pentru analizarea și evaluarea căderilor potențiale în operarea sistemului conceput. Făcând aceasta la începutul ciclului de concepție, deficiențele operaționale pot fi identificate din timp, pentru a nu opera modificări costisitoare și pentru a asigura sistemului un nivel ridicat de fiabilitate.

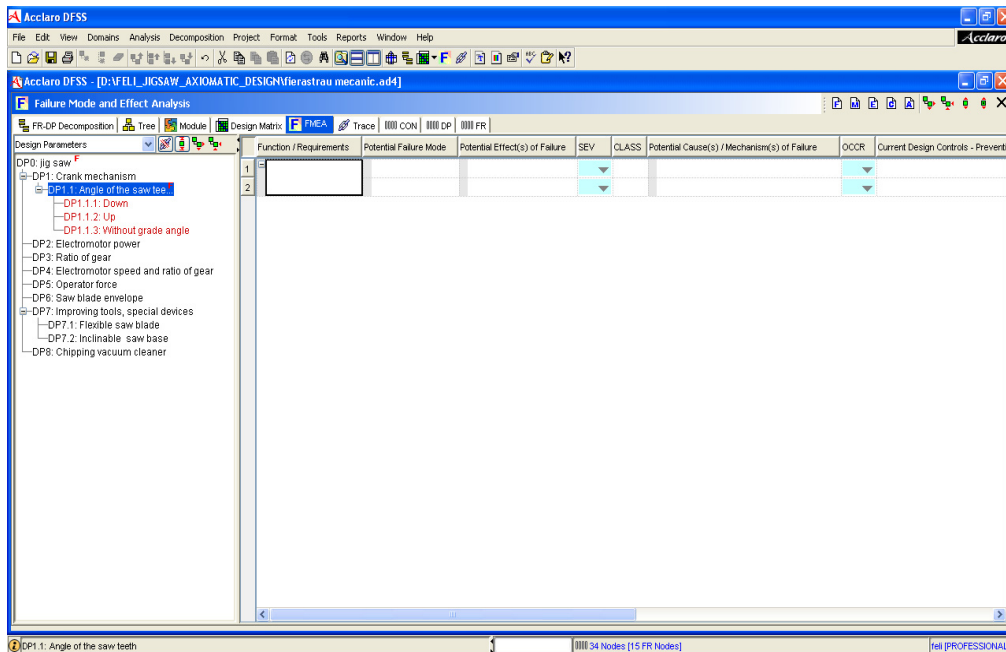


Fig. 5.8. Vederea FMEA în Acclaro DFSS

După ce studiul conceptual este realizat, următorul pas în procesul de concepție este verificarea dacă toate cerințele au fost îndeplinite. În timp ce vederea *Design Matrix* poate fi utilizată pentru aceasta, vederea *Trace View* permite utilizatorilor modelului de concepție o vedere și o înțelegere mai bună a relațiilor sau legăturilor dintre entitățile din diferite domenii sau din cadrul aceluiași domeniu. Astfel, *Trace View* este utilizată pentru a arăta legăturile între FRs și DPs. Mai permite, de asemenea, capturarea și afișarea deciziilor conceptorilor, punctând legătura afectată de procesul lor de gândire. Acestea capturează intenția concepției și cunoștințele expert pentru utilizatorii din aval. Rezultatele unor astfel de analize și activități de verificare pot fi publicate utilizând *Reporting Features*.

O structură FRs-DPs-PVs optimizată este utilă în special când se determină impactul modificărilor de concepție. Vederea matricei de concepție afișează relațiile dintre componentele concepției care permit evaluarea rapidă a componentelor care pot întâlni limitări, ca rezultat al unei schimbări de concepție particulare. Diagrama arborescentă oferă o privire de ansamblu a structurii concepției, care este utilă mai ales pentru procese de concepție complexe. Această vedere ajută, de asemenea, la o bună colaborare a echipei și identificarea posibilelor cauze de apariție a unei probleme și a interrelațiilor dintre aceste cauze. Notele adăugate nodurilor și legăturilor oferă un mod sistematic de a captura și păstra cunoștințele ingineresti cheie și deciziile de concepție.

TRIZ Technical Contradiction Analysis se folosește pentru rezolvarea cuplării în concepție, când o contradicție tehnică este la baza unei probleme. O contradicție tehnică apare atunci când se îmbunătățește ceva, dar altceva se degradează.

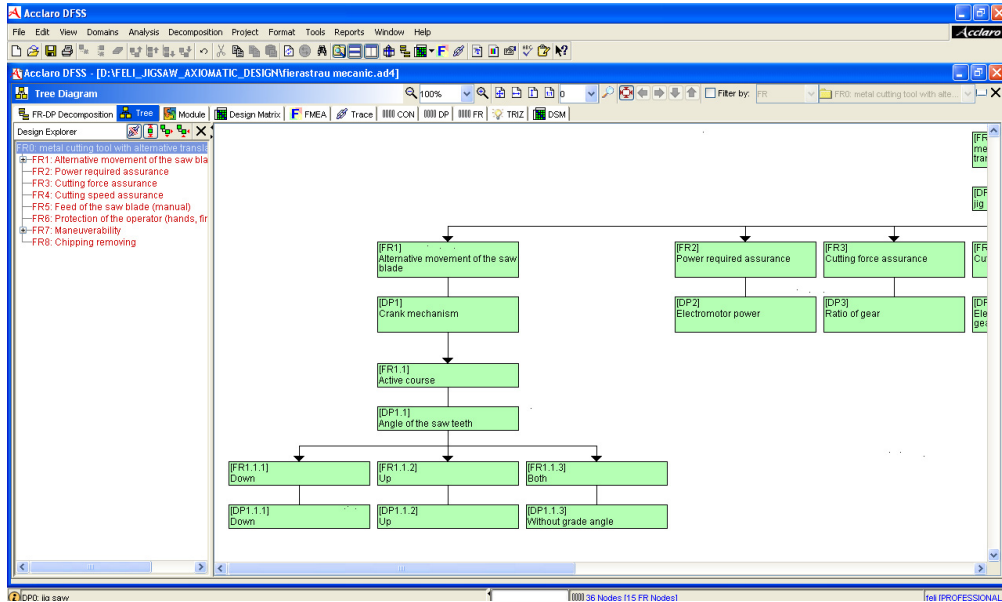


Fig. 5.9. Tree Diagram în Acclaro DFSS

Acest mijloc se accesează din *Design Matrix View* sau *Design Structure Matrix View*, alegându-se *TRIZ Analysis* (fig. 5.10).

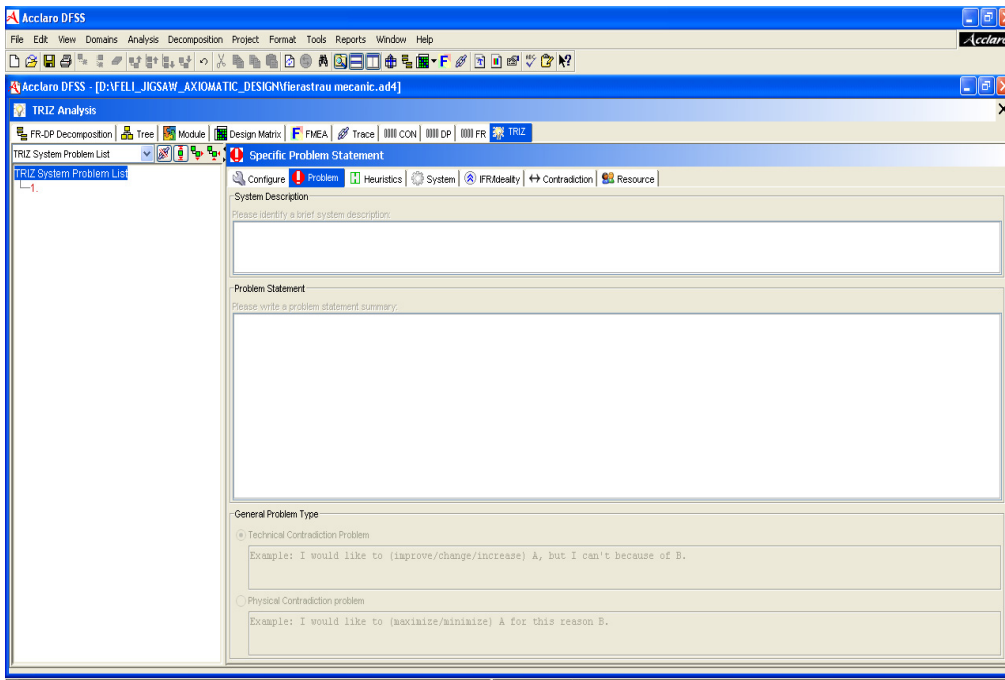


Fig. 5.10. TRIZ Analysis în Acclaro DFSS

Modurile de rezolvare a contradicției tehnice:

- se convertește problema în una care scoate în evidență contradicția;
- luând în considerare îmbunătățire vs. degradare, se folosește matricea celor 40 de contradicții tehnice;
- principii inventive aplicabile - (****), (*****);
- imaginarea, conceperea și înregistrarea soluției depinde de creativitatea și imaginația fiecăruia să aplice ideile prezentate pentru situația de concepție concretă.

5.5. Concluzii

În acest capitol s-a prezentat platforma de concepție inovantă, colaborativă a produselor, care este constituită din trei pachete de programe, furnizate de IDEACore (WEB Mice, QFD Designer și TRIZ Contrastolve), TDC Software (TDC Need, TDC Structure și TDC FMEA) și Axiomatic Design Solutions (Acclaro DFSS).

Pentru realizarea caietului de sarcini funcțional, folosind TDC Need, se pot identifica, de la serviciul de marketing, prin brainstorming sau în reuniune de lucru, funcțiile de serviciu care răspund nevoilor clienților, clasificarea, ordonarea, valorificarea, ierarhizarea acestora, astfel încât, prin realizarea analizei funcționale interne, să fie pus în evidență tabloul general în care sunt identificate funcțiile principale, funcțiile constrângeri, fiecare dintre ele având asociat gradul de importanță (valorificarea).

Elementele caietului de sarcini funcțional sunt intrările în TDC Structure, primii pași fiind: exprimarea funcțiilor de serviciu, ordonarea, respectiv caracterizarea acestora. În a doua etapă se completează lista soluțiilor. În cadrul ei se disting: lista componentelor produsului, arborescența acestora, caracterizarea lor.

Acclaro DFSS este un mijloc al metodologiei de concepție axiomatică care ajută la o dezvoltare mai bună a conceptelor și a procesului de concepție în general, prin descompunerea ierarhică în fiecare dintre cele patru domenii, vederile predefinite, modulele de analiza riscurilor, costului și FMEA, toate fiind înglobate într-un demers DFSS.

6. UTILIZAREA MODELULUI HOLISTIC ÎN STUDIUL CONCEPTUAL AL UNUI PRODUS

6.1. Introducere

Obiectul aplicației este un fierăstrău alternativ, la care s-a cerut analiza variantei actuale de obținere a mișcării rectilinii-alternative a lamei de tăiere și căutarea de soluții inovante pentru realizarea acestei mișcări.

Pentru utilizarea modelului holistic de concepție este necesară exprimarea funcțiilor identificate printr-o analiză FAST, în termenii concepției axiomatice – cerințe funcționale, parametri de concepție, matrice de concepție. Astfel, devine posibilă analiza zonelor care ridică probleme, putând fi aplicate, dacă este cazul și unde este nevoie, axiomele de concepție, ca factor de decizie sau control pentru soluțiile posibile de mecanisme.

Studiul conceptual este structurat în două părți. În prima parte, pentru transformarea mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă sunt analizate câteva tipuri de mecanisme cunoscute, apoi se urmărește transpunerea funcțiilor în termeni de concepție axiomatică și verificarea axiomei de independență cu privire la cerințele funcționale enunțate. În a doua parte se evidențiază noi direcții de soluții în vederea realizării funcției principale, folosind meta-algoritmului inventării.

Fiind vorba despre analiza unui produs existent, structura generală, ansamblurile, componentele, funcțiile, sunt cunoscute, nivelul de abstractizare nefiind atât de ridicat. Pornind de la funcțiile care trebuie realizate se trece la definirea conceptelor. Mijloacele care pot fi folosite în generarea conceptelor sunt tehnicile de analiză și sinteză, ca: analogia, brainstorming, combinarea, matricile morfologice, metoda convergenței controlate. Alături de acestea poate fi folosit meta-algoritmii inventării bazat pe instrumente TRIZ.

În cadrul aplicației s-au particularizat activitățile modelului holistic în faza de concepție preliminară (studiu conceptual):

- descompunerea funcțională a produsului și realizarea unei diagrame FAST;
- prezentarea de soluții posibile pentru transformarea mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă;
- transpunerea funcțiilor în termeni de axiomatic design și aplicarea axiomei de independență;
- căutarea de soluții inovative pentru realizarea funcției principale a fierăstrăului alternativ, folosind meta-algoritmii inventării.

Faza de concepție preliminară (studiu conceptual), reprezentată prin intermediul ICOM box (I-input, O-output, C-control, M-mecanism), este ilustrată în figura 6.1. Activitatea este înscrisă într-un dreptunghi. Intrările sunt: specificațiile produsului - rezultatele analizei QFD, analizei funcționale externe; cunoștințele echipei; eventuale studii existente. Elementele de control sunt constrângerile. Ieșirile vor consta în identificarea problemelor esențiale, o structură funcțională,

soluții conceptuale. Mecanismele de acționare folosite sunt: tehnici de analiză și sinteză, alternative tehnice disponibile, soluții din literatura de specialitate, TRIZ.

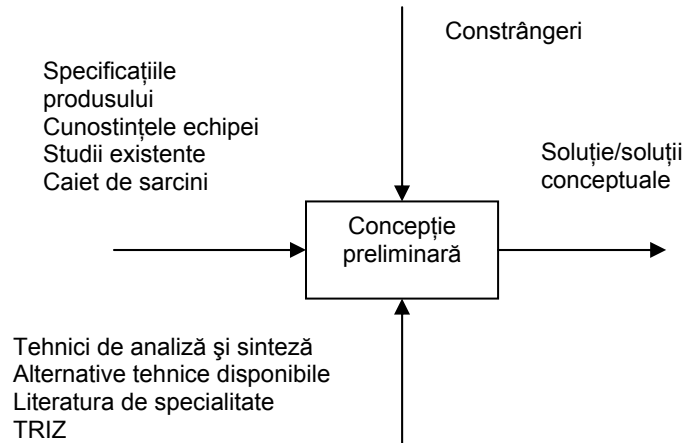


Fig. 6.1. ICOM box



Fig. 6.2. Obiectul de studiu: fierăstrăul alternativ

6.2. Analiza funcțională a fierăstrăului alternativ

Pentru realizarea structurii funcționale a produsului se folosește analiza funcțională externă prin inventarierea sistematică a mediului înconjurător (*Pieuvre*)

și analiza funcțională internă prin metoda FAST (*Function Analysis System Technique*). Acestea permit o bună vizualizare a grupării funcțiilor care trebuie să fie realizate sau reconcepute.

O abordare cunoscută este aceea a unui model funcțional relațional, care este utilizat în metodologia TRIZ și care conține funcțiile utile și funcțiile nefaste ale unui sistem. Tendința generală este de a crea produse ideale, care să nu conțină funcții nefaste, însă o multitudine de produse existente și folosite în practică au și astfel de funcții în structura lor. Intenția este de a concepe produse prin prisma funcțiilor utile pe care le îndeplinesc. O privire combinată a produsului, din perspectiva „util-nefast” poate conduce la o reprezentare aproape exhaustivă a funcțiilor produsului și a efectelor lor și, în acest fel, acesta devine mai puțin abstract.

6.2.1. Analiza funcțională externă

Relativ la descompunerea funcțională, pentru produsul studiat descompunerea nu este de complexitate ridicată - componentele sunt cunoscute, de asemenea și funcțiile îndeplinite de acesta.

Pentru a scoate în evidență funcțiile și relațiile dintre ele se întocmește diagrama Pieuvre (fig. 6.3). Legăturile create între produs și elementele mediului său înconjurător pot fi vizualizate grafic. Această diagramă este o diagramă de asociere dintre elementele mediului înconjurător și obiectul studiat, exprimată prin intermediul funcțiilor, printr-un verb urmat de un complement. Există două tipuri de funcții: funcții de serviciu și funcții tehnice. Funcțiile de serviciu sunt împărțite în funcții principale și funcții constrângeri. Funcțiile principale justifică existența obiectului de studiat și conectează două elemente ale mediului înconjurător prin intermediul obiectului de studiat. Relațiile dintre elementele mediului înconjurător și obiectul de studiat sunt definite prin funcții constrângeri. Printr-o astfel de reprezentare, fără a avea în vedere cum anume sunt realizate aceste funcții, funcția principală este enunțată la un nivel ridicat de abstractizare. Este un lucru cunoscut că abstractizarea conduce la lărgirea spațiului soluțiilor posibile.

Funcțiile de serviciu sunt realizate prin funcții tehnice. Acestea leagă soluțiile tehnice posibile și reflectă modul în care pot fi realizate funcțiile principale, posibilitățile de obținere a acestora. Funcțiile tehnice sunt interne produsului și sunt alese de echipa de lucru pentru a asigura o funcție de serviciu. Relațiile dintre obiectul studiat și elementele mediului înconjurător sunt reprezentate în diagrama schițată în figura 6.3. Funcțiile identificate sunt:

A) Funcția principală (FP):

- FP 1: Tăierea materialelor

B) Funcții constrângeri (C)

- C1: Securitate în funcționare
- C2: Manevrabilitate
- C3: Fiabilitate
- C4: Asigurarea parametrilor de lucru impuși
- C5: Asigurarea îndepărtării așchiilor
- C6: Reciclare ușoară
- C7: Asigurarea alimentării cu energie

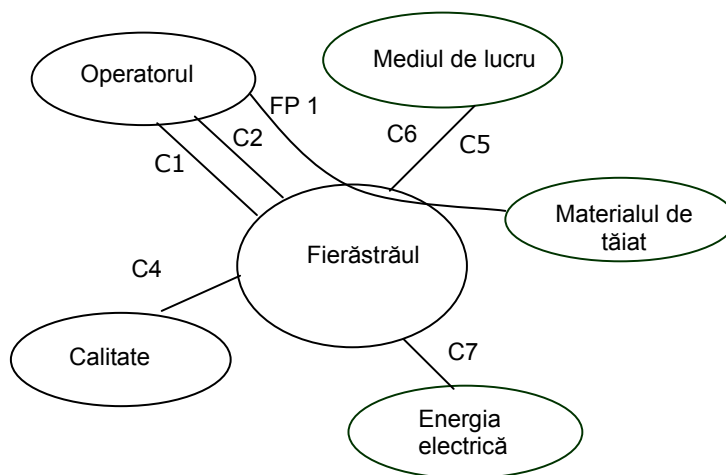


Fig. 6.3. Diagrama Pieuvre

La constrângerea C6 apar probleme legate de reciclarea fierăstrăului alternativ, problemele ridicate de folosirea anumitor materiale și posibilitățile lor de reciclare.

Încă de la început, după o analiză a produsului s-a constatat că:

- extragerea motorului este o operație dificilă, ar trebui găsită o soluție pentru accesul mai ușor la motor;
- PVC (policlorura de vinil), materialul din care este confecționat cablul, nu este reciclabil, iar pentru carcasă ar trebui folosite materiale ca ABS (acrilonitril butadien stiren), care este un material termoplastic utilizat pentru confecționarea de produse rigide și ușoare sau HIPS (polistiren rezistent la impact, antișoc) care sunt reciclabile, și nu PC (poli-carbonat) care nu poate fi sortat după măcinare;
- în construcția actuală carcasa este asamblată cu 8 șuruburi, sugestia fiind de scădere a numărului acestora.

6.2.2. Analiza funcțională internă

Demersul de descompunere funcțională internă a fost bazat pe intuiție și experiența anterioară (elemente cunoscute din literatura de specialitate). Pentru realizarea sa s-a folosit o diagramă FAST (*Functional Analysis System Technique*) care reprezintă o translație a fiecărei funcții de serviciu în funcție tehnică. În continuare se materializează funcțiile tehnice în soluții constructive. Acest tip de diagramă este construit de la stânga la dreapta, fiind ghidată de logica întrebărilor „de ce?” „cum?”.

Modelul FAST este bazat pe logica intuitivă de testare a relațiilor dintre funcții și apoi dispunerea acestora într-o diagramă a modelului. În urma analizării produsului existent, funcția principală a acestuia este de a realiza tăierea materialelor.

Tăierea efectivă a materialelor se materializează prin mișcarea unei lame. Ideea de bază este că trebuie să existe o transformare a energiei în forță și mișcare.

S-a considerat astfel, într-o primă fază, două principii fizice care trebuie respectate și care conduc la un set de soluții posibile, aplicabile în vederea obținerii funcției principale a produsului. Primul principiu se referă la transformarea energiei electrice în energie mecanică, iar cel de-al doilea este transformarea mișcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă. Analizând posibilitățile de realizare ale acestor principii vor fi identificate soluțiile care pot satisface aceste funcții și vor fi alese unele dintre ele.

În continuare, bazat pe logica diagramei FAST, s-a realizat o descompunere a produsului luând în considerare mai multe posibilități de satisfacere a acestor funcții (fig. 6.4).

O analiză FAST ajută la o mai bună înțelegere a relațiilor care există între elemente/funcții ale acestora și, fiind ghidată de logica „de ce” /” cum?”, poate ajuta la o redactare a cerințelor funcționale și a parametrilor de concepție, care sunt și ei generați prin întrebări „ce ?” „cum?”. Astfel, având o imagine de ansamblu, dată de o analiză FAST, cerințele funcționale și parametrii de concepție corespunzători în concepția axiomatică, într-o formulare generală, sunt redați în tabelul 6.1. Spațiul lăsat liber și necompletat din tabel se referă la zona în care, în funcție de ce fel de mecanism de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă este ales, va decurge în continuare descompunerea în cerințe funcționale. În tabel s-au marcat cu culoarea albastru (deschisă) cerințele funcționale și parametrii de concepție nivel 2.

O reprezentare a acestor funcții și parametrii în Acclaro DFSS este prezentată în figura 6.5. Din descompunerea în funcții care trebuie îndeplinite, în figura 6.5, este încercuită zona în care există cerința funcțională de asigurare a mișcării circulare la o anumită turație și viteză și conversia mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă. Reprezentarea sub forma unei diagrame arborescente a funcțiilor și parametrilor este prezentată în figura 6.6, iar aceeași zonă de interes este marcată și pe diagrama arborescentă din figura 6.7. Aceste reprezentări permit o vizualizare rapidă a funcțiilor și soluțiilor prin care se realizează funcțiile. Un astfel de model poate fi validat. Celula aflată la joncțiunea dintre un rând și o coloană este numită celulă de legătură și poate avea atribute determinate de un set de ecuații (Suh, 2001). Pentru o înțelegere rapidă, vizuală, a matricei de concepție, un x reprezintă o dependență puternică, pe când un 0 indică o dependență mică sau chiar inexistentă.

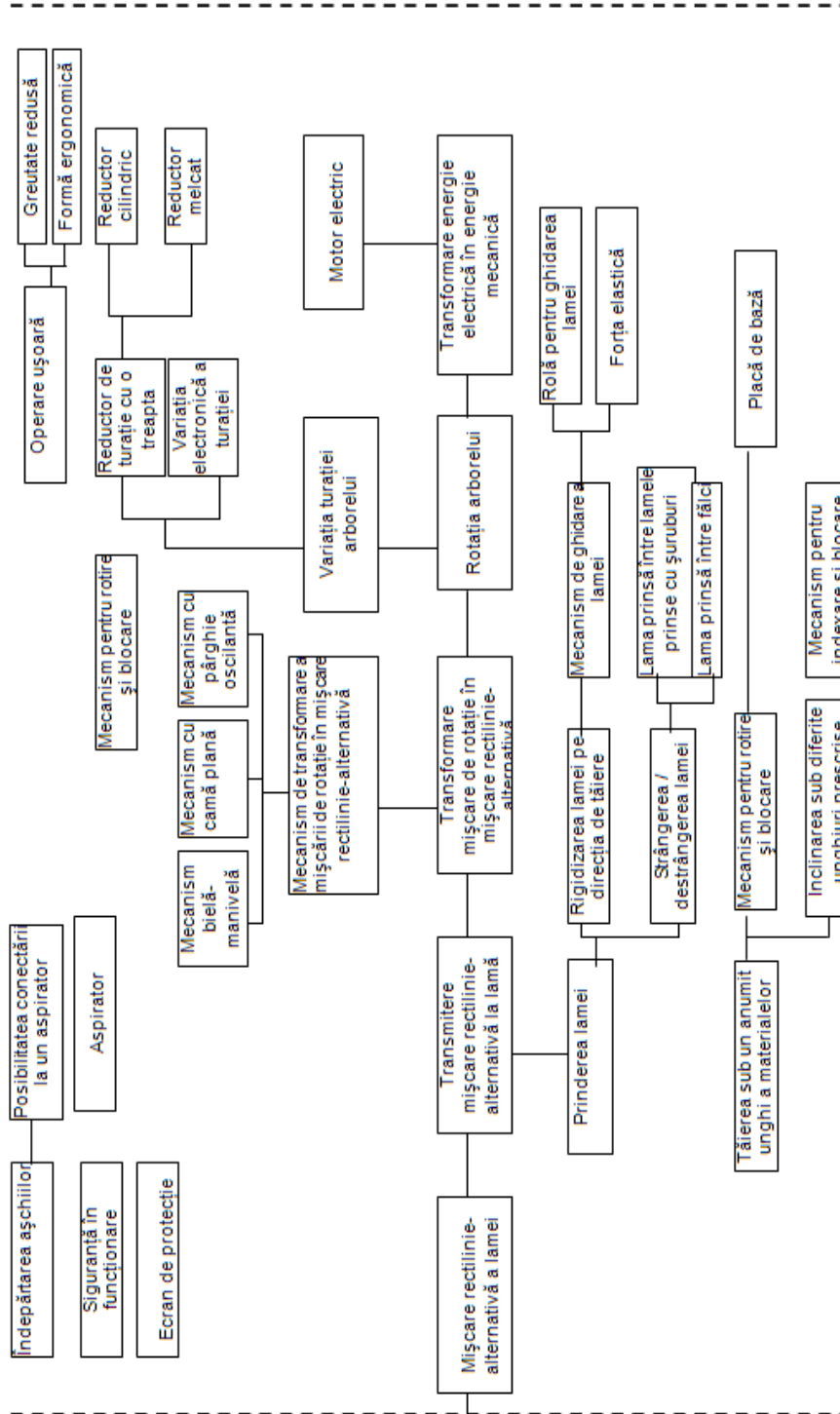


Fig. 6.4. Diagrama FAST

Tabelul 6.1. Tabelul general al cerințelor funcționale și al parametrilor de concepție

CERINȚE FUNCȚIONALE	PARAMETRI DE CONCEPȚIE
[FR0] Tăiere semifabricat	[DP0] Fierăstrău mecanic cu mișcare rectilinie-alternativă
[FR1] Realizare mișcare rectilinie-alternativă pe direcție verticală	[DP1] Mijloc de obținere a mișcării rectilinii-alternative
[FR1.1] Energie [FR1.2] Mișcare circulară la n, v	[DP1.1] Motor electric [DP1.2] Reductor de turație
[FR2] Conversia mișcării de rotație în mișcare de translație	[DP2] Mecanism de transformare a mișcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă
[FR2.1] [FR2.2].....	[DP2.1] [DP2.2]
[FR3] Transmiterea mișcării rectilinii-alternative la lamă	[DP3] Legătura între mecanismul de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă și lamă
[FR4] Rigidizarea lamei fierăstrăului alternativ pe direcția de tăiere	[DP4] Rolă suport a lamei de fierăstrău alternativ
[FR5] Posibilitatea tăierii înclinată	[DP5] Talpă de sprijin rabatabilă
[FR6] Prinderea/desprinderea lamei	[DP6] Mecanism de fixare a lamei

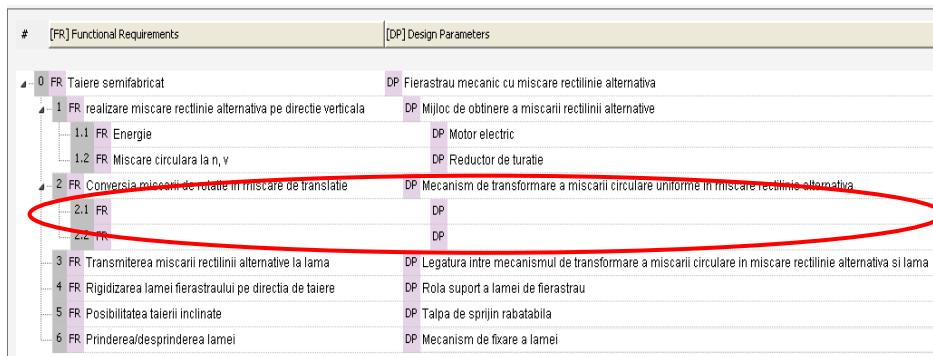


Fig. 6.5. Cerințele funcționale (FRs)/parametrii de concepție (DPs)

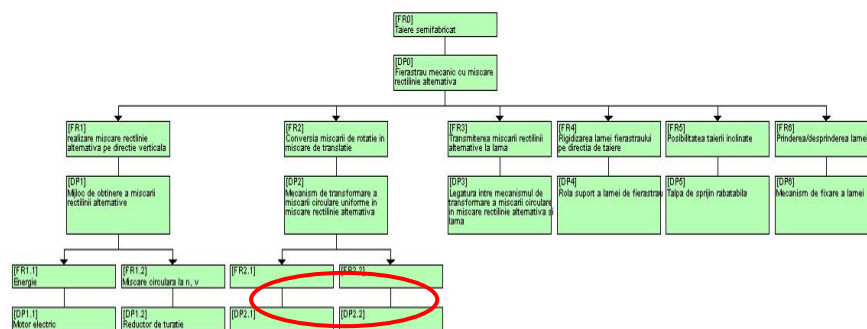


Fig. 6.6. Diagrama arborescentă

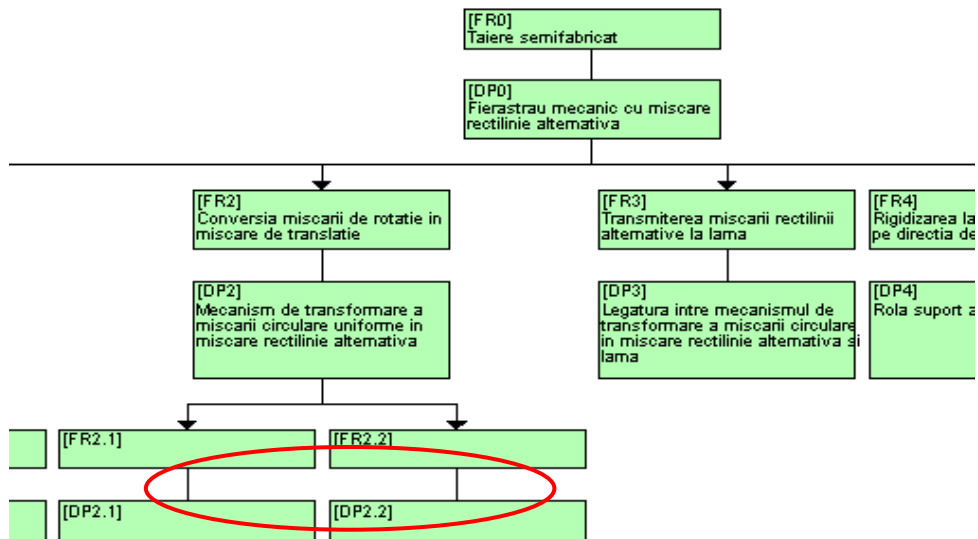


Fig. 6.7. Diagrama arborescentă - detaliu

6.2.3. Analiza funcțională TRIZ

Pentru produsul studiat, în urma aplicării unei analize funcționale TRIZ rezultă următoarele funcții utile și funcții nefaste:

- funcție utilă: transmiterea mișcării circulare de la arborele motorului la intrarea în mecanismul de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă;
- funcție nefastă: uzura pinionului / roții dințate;
- funcție utilă: antrenarea lamei în mișcare rectilinie-alternativă;
- funcție nefastă: uzura lamei.

Această funcție nefastă, uzura lamei, antrenează încă o funcție nefastă - apariția vibrațiilor.

În cazul în care toate aceste funcții nefaste nu ar exista, produsele ar fi ideale, lucru spre care se tinde. Ideea este însă de a încerca evitarea apariției acestor funcții nefaste prin soluții inovante, care trebuie găsite, pentru realizarea funcțiilor utile.

6.2.4. Analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității

O analiză FMEA poate fi făcută la nivel de funcții, la nivel de componente sau la ambele nivele. Defectarea poate apărea și ca urmare a unei situații conflictuale, a unei probleme care încă nu a fost rezolvată.

Astfel, analizând funcțiile nefaste prezente anterior, rezultă că elementul care cu siguranță va antrena defectări este pinionul, care este predispus la o uzură accentuată. Privind din acest punct de vedere acțiunile viitoare este necesară găsirea unor soluții care să conducă la îndeplinirea funcției principale, eliminând această problemă.

O analiză a funcțiilor din perspectiva util/nefast poate conduce, prin încercarea de eliminare a funcțiilor nefaste, la o determinare mai sigură a elementelor care pot antrena defectările sau efectele care le generează, facilitând astfel o analiză FMEA și, totodată, la găsirea de idei de soluții inovante, care să elimine efectele nedorite.

6.3. Generarea conceptelor/soluțiilor

6.3.1. Reductor cilindric cu o treaptă

Aceasta este soluția actuală (fig. 6.8), pentru care avantajele sunt: mecanismul este foarte simplu; lungimea cursei este $2r$.

Dezavantajele: viteza de translație este variabilă, $v = \omega r \sin \varphi(t)$; raportul de transmitere este mare ($i = z_2/z_1 = 10$), ceea ce conduce la uzura rapidă a pinionului.

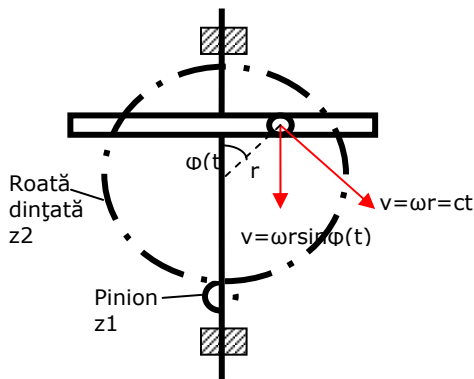


Fig. 6.8. Soluția actuală

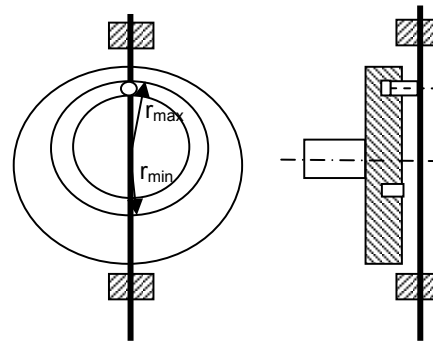


Fig. 6.9. Reductor cilindric cu o treaptă și camă

6.3.2. Reductor cilindric cu o treaptă și camă

Soluția este schițată în figura 6.9.

Avantajele acestei soluții sunt: ghidarea ușoară și viteza de translație mai uniformă pentru excentric.

Dezavantajele: lungime mică a cursei, $l = r_{\max} - r_{\min}$; dimensiune redusă a manivelei; dacă se dorește o lungime mai mare a cursei, atunci aceasta presupune o creștere a dimensiunii manivelei.

6.3.3. Reductor cilindric cu o treaptă și amplificarea cursei prin pârgii

Avantajele soluției schițate în figura 6.10 sunt: ghidarea mai ușoară, viteza de translație mai uniformă pentru excentric, uniformă pentru spirala arhimedică (curba camei).

Dezavantajele: complexitatea mecanismului și dimensiunile mai mari.

6.3.4. Reductor melcat, camă și amplificarea cursei prin pârghie oscilantă

Avantajele acestei soluții, schițate în figura 6.11, sunt: cursa lamei este amplificată de pârghia oscilantă, viteza este mai uniformă pentru excentric, posibilitatea de preluare a mișcării alternative a rolei de ghidare a lamei de la pârghia oscilantă, timpul necesar pentru cursă activă mai mare decât cel pentru cursa de mers în gol, avansul variabil (0,...,max).

Dezavantajele sunt date de complexitatea constructivă a mecanismului, deoarece este o piesă pentru ghidare în plus (pârghia oscilantă) și randament scăzut pentru reductorul melcat.

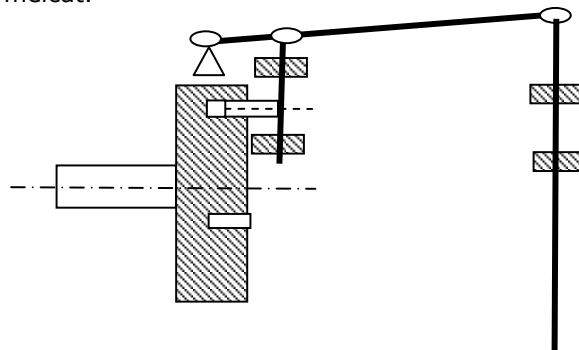


Fig. 6.10. Reductor cilindric cu o treaptă și amplificarea cursei prin pârghii

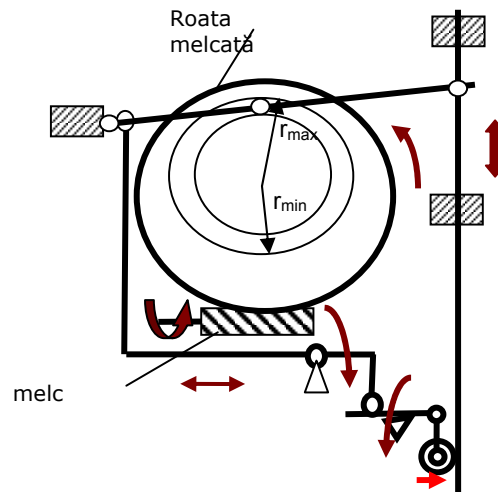


Fig. 6.11. Angrenaj melc-roată melcată și camă

6.4. Analizarea conceptelor/soluțiilor

Pentru evaluarea conceptelor enumerate anterior se aplică axioma de informare. Pentru aceasta, fiecare concept trebuie evaluat din punct de vedere al independenței funcționale vis-a-vis de acestea.

Pentru un mecanism de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă, cu camă, cerințele funcționale și parametrii de concepție corespunzători sunt redați în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2. Cerințele funcționale și parametrii de concepție pentru un mecanism de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă, cu camă

CERINȚE FUNCȚIONALE	PARAMETRI DE CONCEPȚIE
[FR0] Tăiere semifabricat	[DP0] Fierăstrău mecanic cu mișcare rectilinie-alternativă
[FR1] Realizare mișcare rectilinie-alternativă pe direcție verticală	[DP1] Mijloc de obținere a mișcării rectilinii-alternative
[FR1.1] Energie	[DP1.1] Motor electric
[FR1.2] Mișcare circulară la n, v	[DP1.2] Reductor de turație
[FR2] Conversia mișcării de rotație în mișcare de translație	[DP2] Mecanism de transformare a mișcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă, mecanism cu camă
[FR2.1] Uniformitatea mișcării în cursa activă	[DP2.1] Cama
[FR2.2] Profilul camei	[DP2.2] Legea de mișcare a tachelului
[FR2.2.1] Profil 1	[DP2.2.1] Lege de mișcare 1
[FR2.3] Șocuri mici la cursa de reversare	[DP2.3] Panta mică a camei la reversarea cursei
[FR2.4] Solicități minime ale mecanismului cinematic	[DP2.4] Utilizarea mișcării uniforme
[FR2.4.1] Evitarea autoblocării	[DP2.4.1] Unghiul de presiune mai mic decât unghiul critic
[FR2.4.2] Gabarit redus al camei	[DP2.4.2] Raza cercului de bază al camei
[FR2.5] Realizarea vitezei prescrise	[DP2.5] Mecanism de variație a turației (electronic)
[FR2.6] Reglarea cursei mișcării alternative	[DP2.6] Mecanism de amplificare a cursei (pârghie)
[FR3] Transmiterea mișcării rectilinii alternative la lamă	[DP3] Legătura între mecanismul de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie-alternativă și lama
[FR4] Rigidizarea lamei fierăstrăului pe direcția de tăiere	[DP4] Rola suport a lamei de fierăstrău
[FR5] Posibilitatea tăierii înclinate	[DP5] Talpă de sprijin rabatabilă
[FR6] Prinderea/desprinderea lamei	[DP6] Mecanism de fixare a lamei

#	[FR] Functional Requirements	[DP] Design Parameters
0	FR: Taiere semifabricat	DP: Fierastrau mecanic cu miscare rectilinie alternativa
1	FR: realizare miscare rectilinie alternativa pe directie verticala	DP: Mijloc de obtinere a miscarii rectilinii alternative
1.1	FR: Energie	DP: Motor electric
1.2	FR: Miscare circulara la n, v	DP: Reductor de turatie
2	FR: Conversia miscarii de rotatie in miscare de translatie	DP: Mecanism de transformare a miscarii circulare uniforme in miscare rectilinie alternativa-MECANISM CU CAMA
2.1	FR: Uniformitatea miscării în cursa activă	DP: Cama spirala arhimedică
2.2	FR: Profilul camei	DP: Legea de miscarea a tachelului
2.3	FR: Șocuri mici la cursa de reversare	DP: Panta mică a camei la reversarea cursei
2.4	FR: Solicitări minime ale mecanismului cinematic	DP: Utilizarea mișcării uniforme
2.4.1	FR: Evitarea autoblocării	DP: Unghiul de presiune mai mic decit unghiul critic
2.4.2	FR: Gabarit redus al camei	DP: Raza cercului de baza a camei
2.5	FR: Realizarea vitezei prescrise	DP: Mecanism de variație a turajei (electronic)
2.6	FR: Reglarea cursei mișcării alternative	DP: Mecanism de amplificare a cursei (pârghie)
3	FR: Transmiterea miscarii rectilinii alternative la lama	DP: Legatura între mecanismul de transformare a miscarii circulare in miscare rectilinie alternativa si lama
4	FR: Rigidizarea lamei fierastraului pe directia de taiere	DP: Rola suport a lamei de fierastrau
5	FR: Posibilitatea taierii inclinate	DP: Talpa de sprijin rabatabila
6	FR: Prinderea/desprinderea lamei	DP: Mecanism de fixare a lamei

Fig. 6.12. Cerințe funcționale/parametri de concepție - vederea FR/DP din Acclaro DFSS

Dependența între cerințe funcționale/parametri de concepție este prezentată în figura 6.13.

	1: Fierastrau mecar	DP1: Mijloc de obti	DP2: Mecanism de	DP2.1: Cama :	DP2.2: Legea c	DP2.3: Panta n	DP2.4: Utilizare	DP2.4.1: U	DP2.4.2: R;	DP2.5: Mecani:	DP2.6: Mecani:	DP3: Legatura între	DP4: Rola suport a	DP5: Talpa de sprij	DP6: Mecanism de	
FR0: Taiere semifabricat	X															
FR1: realizare miscare rectilinie alternativ	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
FR2: Conversia miscarii de rotatie în mis	O	X										O	O	O	O	
FR2.1: Uniformitatea mișcării în curs	O		X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
FR2.2: Profilul camei	O		O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
FR2.3: Șocuri mici la cursa de revers	O		O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
FR2.4: Solicitări minime ale mecanis	O		O	O	O	X				O	O	O	O	O	O	
FR2.4.1: Evitarea autoblocării	O		O	O	O			X	O	O	O	O	O	O	O	
FR2.4.2: Gabarit redus al camei	O		O	O	O			O	X	O	O	O	O	O	O	
FR2.5: Realizarea vitezei prescrise	O		O	O	O	O	O	O		X	O	O	O	O	O	
FR2.6: Reglarea cursei mișcării alter	O		O	O	O	O	O	O		O	X	O	O	O	O	
FR3: Transmiterea miscarii rectilinii alte	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	
FR4: Rigidizarea lamei fierastraului pe d	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	
FR5: Posibilitatea taierii inclinate	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	
FR6: Prinderea/desprinderea lamei	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X

Fig. 6.13. Dependența cerințe funcționale (FR)/parametri de concepție (DP)

În continuare se analizează zona corespunzătoare alegerii unui mecanism cu camă pentru transformarea mișcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă, zona corespunzătoare cerinței funcționale FR2/DP2 [FR2] Conversia mișcării de rotație în mișcare de translație / [DP2] Mecanism de transformare a

mişcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă, mecanism cu camă.

Cerințele funcționale derivate din alegerea DP2 sunt:

- [FR2.1] Uniformitatea mișcării în cursa activă
- [FR2.2] Profilul camei
 - [FR2.2.1] Profil 1
- [FR2.3] Șocuri mici la cursa de reversare
- [FR2.4] Solicitări minime ale mecanismului cinematic
 - [FR2.4.1] Evitarea autoblocării
 - [FR2.4.2] Gabarit redus al camei
- [FR2.5] Realizarea vitezei prescrise
- [FR2.6] Reglarea cursei mișcării alternative

Corespunzător acestor cerințe funcționale parametrii de concepție sunt:

- [DP2.1] Camă spirală arhimedică
- [DP2.2] Legea de mișcarea a tchetului
 - [DP2.2.1] Lege de mișcare 1
- [DP2.3] Pantă mică a camei la reversarea cursei
- [DP2.4] Utilizarea mișcării uniforme
 - [DP2.4.1] Unghiul de presiune mai mic decât unghiul critic
 - [DP2.4.2] Raza cercului de bază a camei
- [DP2.5] Mecanism de variație a turației (electronic)
- [DP2.6] Mecanism de amplificarea cursei (pârghie)

Analizarea perechilor FR/DP enumerate mai sus conduce la următoarele dependențe: [FR2.4] Solicitări minime ale mecanismului cinematic depind de parametrii [DP2.1] Camă, [DP2.2] Legea de mișcare a tchetului și [DP2.3] Pantă mică a camei la reversarea cursei, iar [FR2.6] Reglarea cursei mișcării alternative depinde de [DP2.1] Camă. Aceste dependențe sunt marcate pe matricea de concepție prin notarea cu X, figura 6.14.

	DP0: Fierastrau me	DP1: Mijloc de i	DP2: Mecanistr	DP2.1: Car	DP2.2: Legt	DP2.3: Pant	DP2.4: Utili	DP2.4.1	DP2.4.2	DP2.5: Mec	DP2.6: Mec	DP3: Legatura i	DP4: Rola supo	DP5: Talpa de s	DP6: Mecanistr
FR0: Taiere semifabricat	X														
FR1: realizare miscare rectilinie alternativa pe directie vertical	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FR2: Conversia miscarii de rotatie in miscare de translatie	O	X										O	O	O	O
FR2.1: Uniformitatea mișcării în cursa activă	O		X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FR2.2: Profilul camei	O			X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FR2.3: Șocuri mici la cursa de reversare	O		O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FR2.4: Solicitări minime ale mecanismului cinematic	O		X	X	X					O	O	O	O	O	O
FR2.4.1: Evitarea autoblocarii	O		O	O	O			X	X	O	O	O	O	O	O
FR2.4.2: Gabarit redus al camei	O		O	O	O			X	X	O	O	O	O	O	O
FR2.5: Realizarea vitezei prescrise	O		O	O	O	O	O	O	O	X		O	O	O	O
FR2.6: Reglarea cursei mișcării alternative	O		X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O
FR3: Transmiterea miscarii rectilinii alternative la lama	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O
FR4: Rigidizarea lamei fierastraului pe directia de taiere	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O
FR5: Posibilitatea taierii inclinate	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O
FR6: Prinderea/desprinderea lamei	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X

Fig. 6.14. Dependența FR2.4/DP2.4 - vederea matricei de concepție

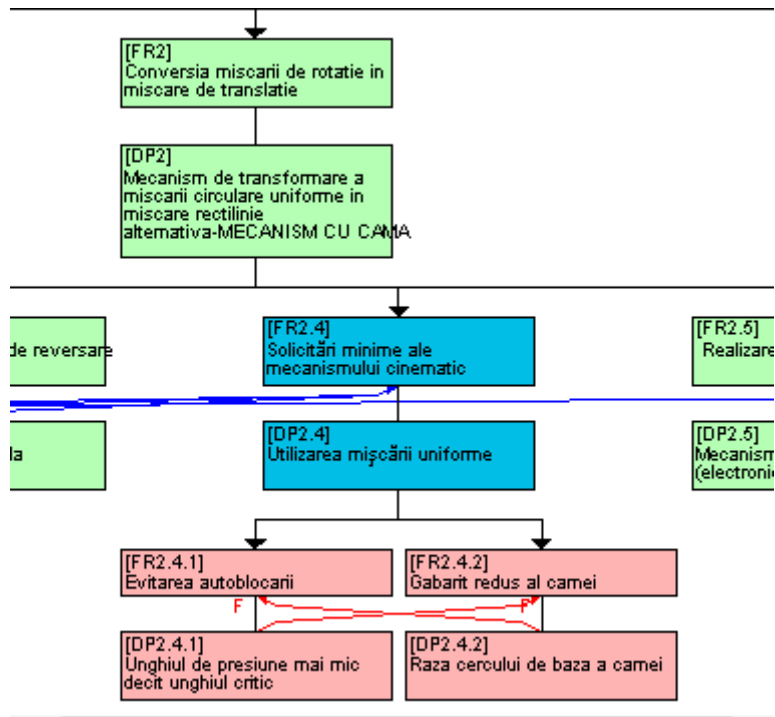


Fig. 6.15. Dependența FR2.4/DP2.4 - vederea arborescentă

Analizarea perechilor FR2.4/DP2.4:

- [FR2.4.1] Evitarea autoblocării
- [FR2.4.2] Gabarit redus al camei
- [DP2.4.1] Unghiul de presiune mai mic decât unghiul critic
- [DP2.4.2] Raza cercului de baza a camei

Profilul camei este generat de legea de mișcare a culegătorului (tachetului). (legea de mișcare - viteză, accelerație, deplasare $s=f(\varphi)$). Transmiterea mișcării sub acțiunea forțelor trebuie făcută având în vedere faptul că trebuie evitat fenomenul de autoblocare. Geometria mecanismului cu camă are influență asupra transmiterii forțelor. Problema se reduce la aceea de limitare a unghiului de presiune, notat alfa, astfel încât să nu apară fenomenul de autoblocare. Se cunoaște că unghiul de presiune, exprimat în funcție de dimensiunile mecanismului cu camă, are expresia (Paizi ș.a., 1980):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\left(\frac{V_B}{\omega} - e \right)}{\left(\sqrt{r_0^2 - e^2} \right) + S} \dots \dots \dots (6.1)$$

în care:

- V_B - viteza culegătorului, viteza sa în timpul cursei active este constantă;
- ω - viteza unghiulară a camei, constantă;
- r_0 - raza cercului de bază al camei;
- e - excentricitatea;

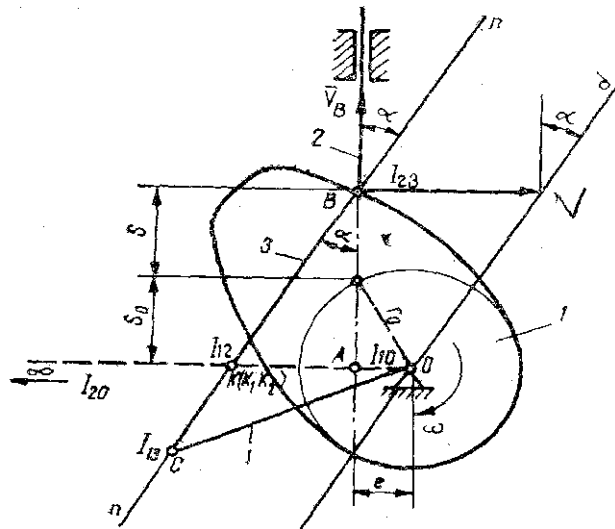


Fig. 6.16. Legătura între unghiul de presiune și dimensiunile geometrice ale camelor (Paizi ș.a., 1980)

Dependența [FR2.4.1] Evitarea autoblocării / [DP2.4.1] Unghiul de presiune mai mic decât unghiul critic poate fi exprimată matematic cu ajutorul relației (6.1), punând condiția ca $\alpha < \alpha_{\text{critic}}$. În continuare, analizând relația 6.1 se observă că unghiul de presiune – de care depinde autoblocarea – depinde de 5 elemente:

V_B este viteza culegătorului, viteza sa în timpul cursei active este constantă;

ω - viteza unghiulară a camei, constantă;

r_0 - raza cercului de bază al camei;

e - excentricitatea;

S - spațiul parcurs de culegător, cursa curentă, care este funcție de unghiul de rotație al camei φ .

Dintre cele 5 elemente, V_B , ω , r_0 pot fi considerate constante, iar cu valoare variabilă sunt S , care variază de la 0 la maxim, în funcție de unghiul de rotație φ , iar e poate fi ales astfel încât să fie satisfăcută cerința FR1- unghiul de presiune al camei mai mic decât o valoare critică (unghi de presiune critic).

Analizând în continuare relația, dacă raza r_0 a cercului de bază al camei crește se obține un unghi de presiune mic, condiție favorabilă transmiterii în bune condiții a forțelor, însă crește gabaritul camei, și invers, dacă raza cercului de bază al camei se micșorează, unghiul de presiune crește, se înrăutățesc condițiile de transmitere a forțelor și apare fenomenul de blocare, însă gabaritul camei este mai mic. Gabaritul camei este în funcție de mărimea razei cercului de bază al acesteia.

Având în vedere că raza cercului de bază al camei apare în ambele cerințe funcționale, [FR2.4.1] Evitarea autoblocării și [FR2.4.2] Gabarit redus al camei, din acest punct de vedere, concepția este cuplată, în sensul că o modificare a razei cercului de bază afectează atât gabaritul cât și unghiul de presiune. Trebuie găsită valoarea pentru raza cercului de bază astfel încât să fie satisfăcute simultan cele două cerințe funcționale în limitele impuse.

Acest lucru se poate observa și din figurile 6.14 și 6.15, în care această

dependență este marcată printr-o zonă colorată în roșu. O astfel de situație nu este dorită și se caută soluții care să nu prezinte astfel de cuplări.

Analizând în continuare relația (6.1), valoarea vitezei tachelului depinde de legea de mișcare urmată de acesta, deci unghiul de presiune va varia ca valoare în funcție de legea de mișcare urmată de tachel, această dependență fiind redată în figura 6.17.

	DP0: Fierastrau mecanic	DP1: Mijloc de obtiner	DP1.1: Motor elec	DP1.2: Reductor c	DP2: Mecanism de tr	DP2.1: Cama spii	DP2.2: Legea de t	DP2.2.1: Lege	DP2.3: Panta mică	DP2.4: Utilizarea t	DP2.4.1: Unghi	DP2.4.2: Raza	DP2.5: Mecanism	DP2.6: Mecanism	DP3: Legătura între r	DP4: Rola suport a lai	DP5: Talpa de sprijin	DP6: Mecanism de fix
FR0: Taiere semifabricat	X																	
FR1: realizare mișcare rec	X																	
FR1.1: Energie		X																
FR1.2: Mișcare circulară			X															
FR2: Conversia mișcării d				X														
FR2.1: Uniformitatea t					X													
FR2.2: Profilul camei						X												
FR2.2.1: Profil 1							X											
FR2.3: Șocuri mici la c								X										
FR2.4: Solicitări minir						X	X	X	X									
FR2.4.1: Evitarea ε										X	X							
FR2.4.2: Gabaritur										X	X							
FR2.5: Realizarea vite												X						
FR2.6: Reglarea curse					X								X					
FR3: Transmiterea mișca															X			
FR4: Rigidizarea lamei fie																X		
FR5: Posibilitatea taierii ir																	X	

Fig. 6.17. Dependența unghiului de presiune de legea de mișcare

Legile de mișcare posibile pentru tachel pot fi: legea de mișcare liniară, parabolică, sinusoidală, cosinusoidală și, corespunzător, rezultă profilurile camei. Pentru fiecare din aceste legi se poate calcula valoarea vitezei tachelului, respectiv unghiul de presiune. Aceste calcule se pot efectua în Excel și poate fi trasat un grafic de variație al unghiului de presiune în funcție de legea de mișcare urmată și raza cercului de bază al camei, putând astfel să se aleagă soluția optimă.

Folosind expresiile legilor de mișcare parabolică, sinusoidală și cosinusoidală din (Paizi ș.a., 1980) și ale variației vitezei, accelerațiilor și spațiului, în funcție de unghiul de rotire al camei se pot trasa graficele acestora și al unghiului de presiune, în funcție de unghiul de rotire al camei φ , o valoare a razei cercului de bază r_0 , a excentricității e , φ urcare și φ coborâre.

Valorile pentru care sunt efectuate calculele și trasate graficele (valorile pot fi adaptate) sunt:

- cursa $h=10$ mm;
- $\varphi_u=150^\circ$; $\varphi_c=2.61799388$ rad;

- $\varphi_c=150^\circ$; $\varphi_c = 2.61799388$ rad;
- $e=1$ mm - excentricitatea;
- $r_0 = 3$ mm - raza cercului de bază al camei;
- $\omega = 1$ rad/s - viteza unghiulară a camei.

Tabelul 6.3. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale, pentru legea de mișcare sinusoidală

Timp t	0	10	20	30	40
Ungh φ rad	0	0.174533	0.349066	0.523598776	0.698131701
Ungh φ gr	0	10	20	30	40
Spațiul S	0	1.097988	2.307907	3.722334299	5.398486251
Viteza V	0	0.330232	1.263828	2.639360663	4.218987953
Acceler a	0	3.728687	6.81265	8.718643914	9.117105158
Unghi pres gr	-19.4712	-9.68034	2.940416	14.0499925	21.36917866

Timp t	50	60	70	80
Ungh φ rad	0.87266463	1.047197551	1.22173048	1.3962634
Ungh φ gr	50	60	70	80
Spațiul S	7.34832402	9.536486228	11.886403	14.2935357
Viteza V	5.72957795	6.909935923	7.55596725	7.55596725
Acceler a	7.93913609	5.388418275	1.90599398	-1.905994
Unghi pres gr	24.9263383	25.5459413	24.0146305	20.9517487

Timp t	90	100	110	120	130
Ungh φ rad	1.570796	1.745329	1.919862	2.094395	2.268928
Ungh φ gr	90	100	110	120	130
Spațiul S	16.64345	18.83161	20.78145	22.4576	23.87203
Viteza V	6.909936	5.729578	4.218988	2.639361	1.263828
Acceler a	-5.38842	-7.93914	-9.11711	-8.71864	-6.81265
Unghi pres gr	16.88364	12.31749	7.763877	3.709446	0.566123

Timp t	140	150	160	170	180
Ungh φ rad	2.443461	2.617994	2.792527	2.96706	3.141593
Ungh φ gr	140	150	160	170	180
Spațiul S	25.08195	26.17994	27.27793	28.48785	29.90227
Viteza V	0.330232	0	0.330232	1.263828	2.639361
Acceler a	-3.72869	-2.2E-15	3.728687	6.81265	8.718644
Unghi pres gr	-1.37467	-1.97436	-1.27443	0.482684	2.867339

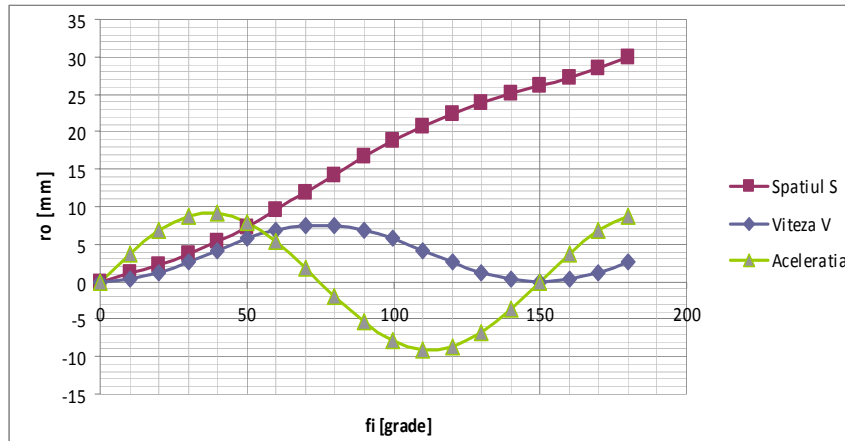


Fig. 6.18. Dependenta spațiu, viteză, accelerație, funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare sinusoidală

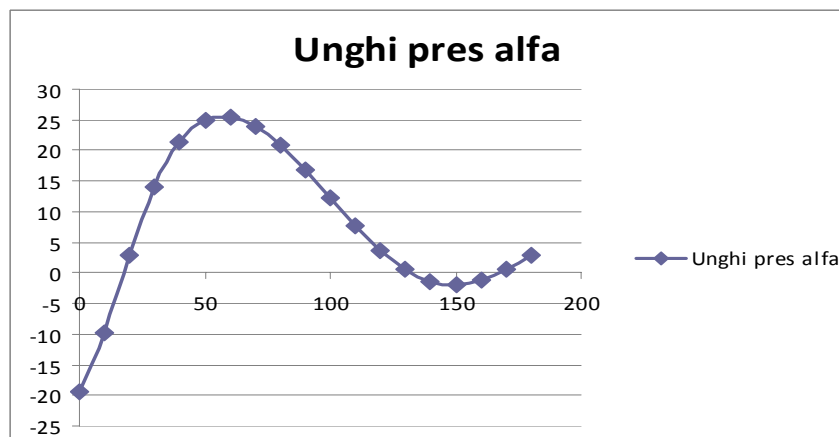


Fig. 6.19. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare sinusoidală

Tabelul 6.4. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale pentru legea de mișcare cosinusoidală

Timp t	0	10	20	30	40
Ungh φ rad	0	0.174533	0.349066	0.523598776	0.698131701
Ungh φ gr	0	10	20	30	40
Spațiul S	0	0.109262	0.432273	0.954915028	1.654346968
Viteza V	0	1.24747	2.44042	3.526711514	4.458868953
Acceler a	7.2	7.042663	6.577527	5.824922359	4.817740366
Unghi pres gr	-19.4712	4.815212	23.83353	33.73704798	37.65346106

Timp t	50	110	120	130
Ungh φ rad	0.87266463	1.919862	2.094395	2.268928
Ungh φ gr	50	110	120	130
Spațiul S	2.5	8.345653	9.045085	9.567727
Viteza V	5.19615242	4.458869	3.526712	2.44042
Acceler a	3.6	-4.81774	-5.82492	-6.57753
Unghi pres gr	38.2205387	17.19959	12.01347	6.627984

Timp t	140	150	160	170	180
Ungh φ rad	2.443461	2.617994	2.792527	2.96706	3.141593
Ungh φ gr	140	150	160	170	180
Spatiul S	9.890738	10	9.890738	9.567727	9.045085
Viteza V	1.24747	7.35E-16	-1.24747	-2.44042	-3.52671
Acceler a	-7.04266	-7.2	-7.04266	-6.57753	-5.82492
Unghi pres gr	1.114633	-4.4573	-10.0207	-15.5114	-20.8691

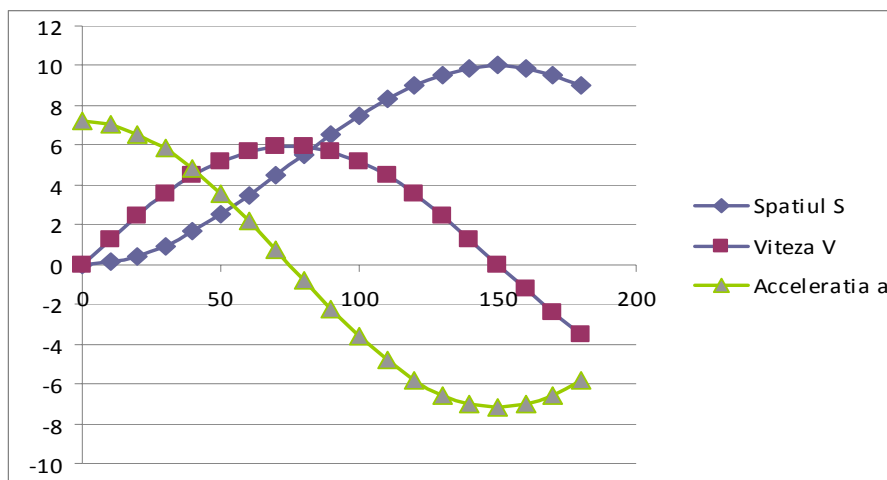


Fig. 6.20. Dependența spațiu, viteză, accelerație, funcție de unghiul de rotație, pentru legea de mișcare cosinusoidală

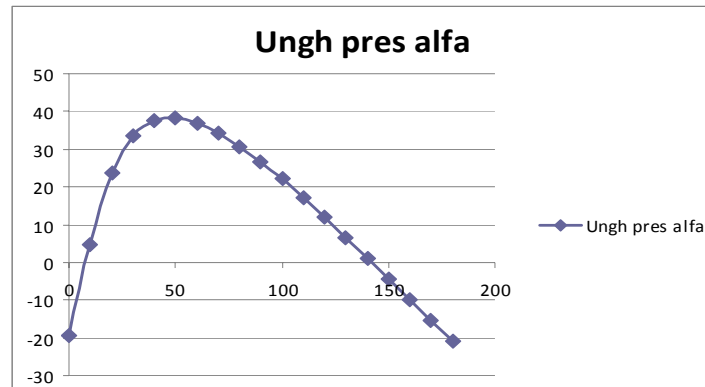


Fig. 6.21. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare cosinusoidală

Tabelul 6.5. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului și unghiului de presiune, în funcție de unghiul de rotire al camei și datele inițiale, pentru legea de mișcare parabolică

Timp t	0	10	20	30	40
Ungh φ rad	0	0.174533	0.349066	0.523598776	0.698131701
Ungh φ gr	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00
Spatiul S	0	0.088889	0.355556	0.8	1.422222222
Viteza V	0	1.018592	2.037183	3.055774907	4.074366543
Acceler a	5.83610018	5.8361	5.8361	5.836100178	5.836100178
Unghi pres gr	-19.4712206	0.365133	18.04303	29.53479234	35.87708183

Timp t	50	60	70	80	90
Ungh φ rad	0.87266463	1.047197551	1.22173048	1.3962634	1.570796
Ungh φ gr	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00
Spatiul S	2.22222222	3.2	4.35555556	5.64444444	6.8
Viteza V	5.09295818	6.111549815	7.13014145	7.13014145	6.11155
Acceler a	5.83610018	5.836100178	5.83610018	-5.8361002	-5.8361
Unghi pres gr	39.0207056	40.29486839	40.4743527	35.885822	27.96299

Timp t	100	110	120	130	140
Ungh φ rad	1.745329	1.919862	2.094395	2.268928	2.443461
Ungh φ gr	100.00	110.00	120.00	130.00	140.00
Spatiul S	7.777778	8.577778	9.2	9.644444	9.911111
Viteza V	5.092958	4.074367	3.055775	2.037183	1.018592
Acceler a	-5.8361	-5.8361	-5.8361	-5.8361	-5.8361
Unghi pres gr	21.10171	15.08472	9.698696	4.753502	0.083615

Timp t	150	160	170	180
Ungh φ rad	2.617994	2.792527	2.96706	3.141593
Ungh φ gr	150.00	160.00	170.00	180.00
Spatiu S	10	9.911111	9.644444	9.2
Viteza V	0	-1.01859	-2.03718	-3.05577
Acceler a	-5.8361	-5.8361	-5.8361	-5.8361
Unghi pres gr	-4.4573	-9.00372	-13.6854	-18.6332

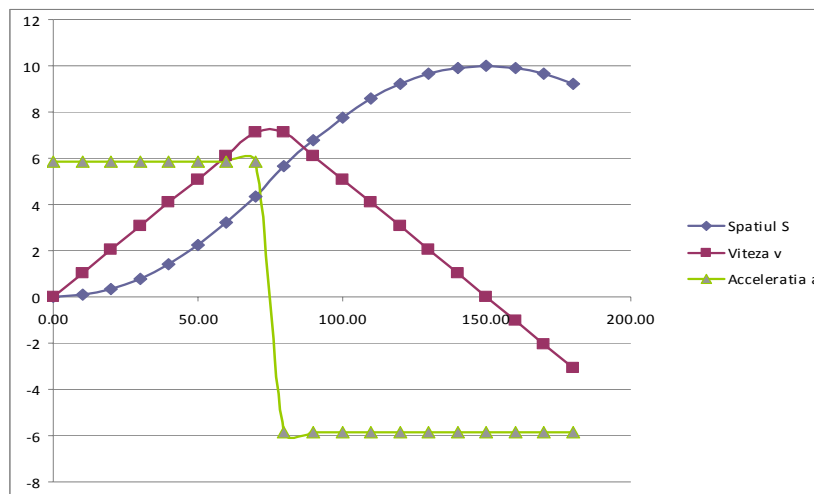


Fig. 6.22. Dependența spațiu, viteză, accelerație, funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare parabolică

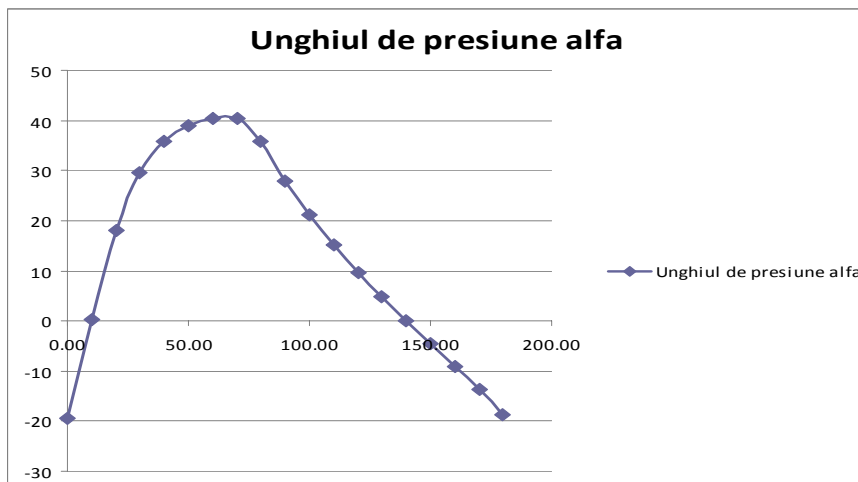


Fig. 6.23. Unghiul de presiune în funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare parabolică

Mecanismul folosit efectiv pentru realizarea mișcării alternative rectilinii pe verticală nu folosește o camă, ci are în construcție un bolț care efectuează o mișcare de rotație, bolțul transmite această mișcare prin contact direct la o piesă prevăzută cu un canal transversal și această piesă, împreună cu bolțul, transformă mișcarea de rotație în mișcare de translație a sculei (piesa care are canalul transversal și asigură legătura cu lama este ghidată astfel încât mișcarea să se efectueze doar pe direcție verticală).

La varianta de obținere a mișcării rectilinii cu ajutorul elementelor prezentate mai sus nu apare posibilitatea blocării mecanismului, piesa de care este atașată lama fiind ghidată atât în partea superioară cât și în partea inferioară. Transmiterea forțelor în bune condiții presupune, în cazul acestui tip de mecanism, un contact adecvat între bolț și piesa de legătură (cu lama de tăiere), bolțul realizează o manivelă, nu există posibilitatea autoblocării mecanismului, iar gabaritul este dat de mărimea efectivă a cursei dorite a lamei de tăiere, ea variind între 0 și $2r$, r fiind raza la care se află bolțul pe disc.

Analizând mecanismul din punct de vedere al posibilității de autoblocare și gabarit, gabaritul este influențat doar de mărimea dorită a cursei, nu și de alți parametri, deci se poate vorbi despre independența funcțională a acestei cerințe, spre deosebire de soluția cu camă.

Tabelul 6.6. Cerințele funcționale/parametrii de concepție pentru mecanismul fără camă

[FR2] Conversia mișcării de rotație în mișcare de translație	[DP2] Mecanism de transformare a mișcării circulare uniforme în mișcare rectilinie-alternativă
[FR2.1] Uniformitatea mișcării în cursa activă [FR2.2] Combinația bolț - canal transversal din piesa de legătură cu lama	[DP2.1] Canal transversal din piesă [DP2.2] Mișcare rectilinie a lamei
[FR2.3] Șocuri mici [FR2.4] Solicități minime ale mecanismului cinematic	[DP2.3] Joc mic între bolț și canal, fără trepte de variație a accelerației [DP2.4] Utilizarea mișcării uniforme
[FR2.5] Realizarea vitezei prescrise [FR2.6] Reglarea cursei mișcării alternative	[DP2.5] Mecanism de variație a turației (electronic) [DP2.6] Prin construcție, raza bolțului

Tabelul 6.7. Valoarea vitezei, accelerației, spațiului, în funcție de unghiul de rotire și datele inițiale, pentru legea de mișcare a mecanismului fără camă

Timp t	0	10	20	30	40	50
Ungh φ rad	0	0.261799	0.523599	0.785398163	1.047197551	1.30899694
Ungh φ gr	0.00	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00
Spatiul S	0	1.294095	2.5	3.535533906	4.330127019	4.82962913
Viteza V	7.5	7.244444	6.495191	5.303300859	3.75	1.94114284
Acceler a	0	2.911714	5.625	7.954951288	9.742785793	10.8666655

Timp t	60	70	80	90	100
Ungh φ rad	1.570796327	1.83259571	2.0943951	2.356194	2.617994
Ungh φ gr	90.00	105.00	120.00	135.00	150.00
Spatiul S	5	4.82962913	4.33012702	3.535534	2.5
Viteza V	4.59431E-16	-1.9411428	-3.75	-5.3033	-6.49519
Acceler a	11.25	10.8666655	9.74278579	7.954951	5.625

Timp t	110	120	130	140	150
Ungh φ rad	2.879793	3.141593	3.403392	3.665191	3.926991
Ungh φ gr	165.00	180.00	195.00	210.00	225.00
Spatiul S	1.294095	6.13E-16	-1.2941	-2.5	-3.53553
Viteza V	-7.24444	-7.5	-7.24444	-6.49519	-5.3033
Acceler a	2.911714	1.38E-15	-2.91171	-5.625	-7.95495

Timp t	160	170	180
Ungh φ rad	4.18879	4.45059	4.71238898
Ungh φ gr	240.00	255.00	270.00
Spatiul S	-4.33013	-4.82963	-5
Viteza V	-3.75	-1.94114	-1.37829E-15
Acceler a	-9.74279	-10.8667	-11.25

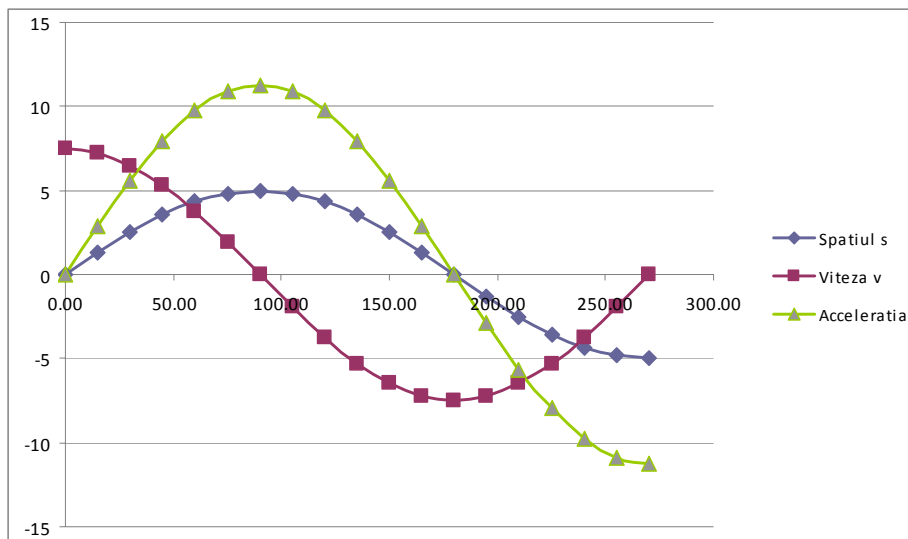


Fig. 6.24. Dependența spațiu, viteză, accelerație, funcție de unghiul de rotire, pentru legea de mișcare a mecanismului fără camă

6.5. Căutarea de soluții inovante

Îmbunătățirile se pot realiza numai prin inovare continuă. Aceasta poate fi o inovare parțială, prin îmbunătățirea soluțiilor existente, sau inovare totală, atunci când se concepe o nouă soluție. În urma colectării cerințelor clienților, urmează procesul de concepție a produsului. Acest proces se desfășoară în trei faze importante, urmând logicile de acțiune ale lui Asimow (Perrin, 2001): divergența, care vizează lărgirea frontierelor situației de concepție pentru a lărgi spațiul de cercetare a soluțiilor; transformarea, acțiunea de construire a unei structuri, a unui model, a unei soluții, pornind de la rezultatele logicii de divergență; convergența, acțiunea de reducere progresivă a incertitudinii datorită multitudinii soluțiilor posibile, în scopul selecționării celei mai satisfăcătoare soluții.

Faza divergentă are loc atunci când echipa dezvoltă cerințele clientului într-o creație abstractă. În această fază toate barierele psihologice ar trebui să fie depășite și, gândirea profundă, creativă, ar trebui să conducă la elaborarea de soluții îndrăznețe. Toate metodele de concepție care contribuie la dezvoltarea gândirii creative sunt binevenite și TRIZ joacă un rol foarte important în acest sens. Prin spargerea barierelor psihologice și de gândire imaginativă ar putea fi însă concepute produse care nu pot fi obținute cu tehnologiile actuale. Uneori, aceste produse nu sunt pe deplin înțelese de oameni și, prin urmare, acestea nu sunt considerate a fi modele tehnologice.

În faza de gândire convergentă se încearcă să se selecteze din numeroasele soluții obținute în faza de gândire divergentă acele soluții care pot fi puse în practică cu ajutorul tehnologiilor existente. Alte criterii de alegere includ maximizarea performanței și eficienței soluției și minimizarea costurilor produsului.

Ideea prezentată în subcapitolul 4.4, că "un câmp al soluției poate fi construit prin variația efectelor fizice și caracteristicile formei" (Pahl ș.a, 2007), poate fi completată cu descompunerea funcțională TRIZ, care evidențiază efectele pozitive și negative ale funcțiilor.

Pentru lărgirea câmpului soluțiilor prin efecte fizice și caracteristici de formă se poate folosi ca un mijloc de ajutor meta-algoritm inventării, care are la bază TRIZ, în cadrul algoritmului existând și o fază de identificare a funcțiilor utile și a funcțiilor nefaste.

Ținând cont de aceste aspecte, scopul este, pornind de la ideea de a îndepărta funcțiile nefaste evidențiate printr-o descompunere funcțională TRIZ, de a prezenta câteva soluții pentru realizarea funcției principale a fierăstrăului și anume aceea de tăiere a materialelor.

Toate soluțiile prezentate în subcapitolul 6.3 folosesc transformarea energiei electrice într-o mișcare rectilinie-alternativă a lamei. Trebuie căutate și alte moduri de a obține mișcarea lamei, îndepărtând totodată efectele / funcțiile nefaste, prin folosirea meta-algoritmului inventării, împreună cu *A-Navigators*, prezentate în subcapitolul 4.6.5.3.

6.5.1. Diagnoza

În timpul fazei de creație divergentă, un pas important este diagnosticarea problemei (Orloff, 2006). În acest sens, următoarele măsuri trebuie luate:

1. Definierea obiectivelor și problemelor.

Funcția principală pentru fierăstrău este de a tăia un material într-un timp foarte scurt și de a face un decupaj folosind o rază de curbură mică.

2. Definierea zonei operative.

Zona operativă (ZO) este un întreg set de componente ale unui sistem și mediul său, care sunt direct legate de o contradicție. Actorii sunt elementele primare ale ZO care interacționează în ZO și dau naștere la contradicție.

Inductorul este un actor care influențează un alt actor (receptor), cu un transfer de energie, informații sau material care inițiază apoi o modificare sau o acțiune în receptor. Receptorul este un actor care primește influența inductorului și apoi suferă el însuși o modificare sau începe o acțiune din cauza acestei influențe. Reprezentarea abstractizată a fierăstrăului este prezentată în figura 6.25. Instrumentul de tăiere este inductorul, iar materialul de tăiere este receptorul. Inductorul va primi energia necesară pentru realizarea tăierii de la o sursă de energie și acționând asupra receptorului va realiza tăierea.

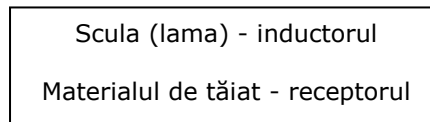


Fig. 6.25. Reprezentarea abstractizată a fierăstrăului

3. Construirea modelului inițial de contradicție.

Funcțiile utile includ:

- obținerea unui decupaj folosind rază de curbură mică,
- eliminarea rapidă a materialului care se află în partea frontală a mașinii.

Funcții nefaste includ:

- uzura sculei urmată de distrugerea sa,
- crearea unor vibrații crescute generate de tăiere, care conduc la scăderea calității suprafeței tăiate,
- productivitatea tăierii.

Zona operativă este reprezentată de contactul (conexiunea) dintre inductor și receptor. O analiză câmp-substanță (Su-Field), în conformitate cu (Savransky, 2000) și (Altshuller, 1984), este prezentată în figura 6.26.

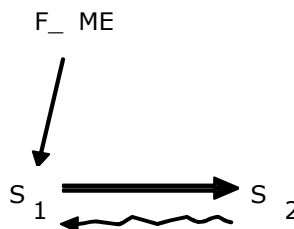


Fig. 6.26. Zona operativă modelului câmp-substanță

Se poate observa că un câmp mecanic, o presiune, care acționează asupra instrumentului de tăiere (S1) va contribui la transformarea materialului care se află în fața sa. Materialul este apoi îndepărtat, realizându-se astfel tăierea. La rândul său, materialul care urmează să fie tăiat (S2) acționează asupra lamei și cauzează uzura acesteia.

6.5.2. Reducerea

Reducerea este o etapă de conectare între diagnosticare și transformare. În această etapă, se examinează concret problema concentrată în zona operativă. Reducerea problemei include selectarea navigatorilor și modelelor standard TRIZ pentru care soluțiile sunt cunoscute într-o formă generală, formularea, modelul funcțional ideal și rezultatul final ideal, și o căutare pentru potențiale resurse operative.

Apelând la anexa 1 din (Orloff, 2006), modelul funcțional structural este acela în care un element S1 (scula de tăiere) influențează pozitiv un element S2 (materialul de tăiat), dar și S2 influențează negativ S1, prin apariția uzurii lui S1. Din această anexă se poate extrage un exemplu de soluție, într-o formă generală: "schimbarea sau schimbul materialului unuia sau ambelor elemente, adăugarea de suplimente în cadrul elementelor, în suprafața sau în mediul înconjurător, schimbarea caracterului influenței".

Reducerea arată că ideal ar fi să nu existe uzura sculei. Trebuie căutată o soluție în direcția rezultatului ideal: eliminarea uzurii, dar cu păstrarea funcției utile de îndepărtarea materialului.

Cu cât este mai mare puterea inductorului, cu atât este mai mare randamentul tăierii, dar în același timp scula (lama) este mai uzată și își pierde abilitatea de a oferi o tăiere de calitate, dând astfel naștere la vibrații. Pentru a tăia contururi cu raze mici curbura este important să existe un instrument care creează o tăietură îngustă.

Factorii pozitivi identificați sunt productivitatea tăierii, tăierea după contur cu raze de curbura mici, iar cei negativi sunt uzura sculei, vibrațiile crescute, eficiența scăzută. Modelul inițial al contradicțiilor tehnice este redat în figura 6.27.

O selecție a factorilor corespunzători din matricea A pentru selectarea navigatorilor specializați din anexa 3 (Orloff 2006) (*A-Matrix for the Selection of Specialized A-Navigators*, matricea contradicțiilor tehnice) conduce la următoarele modele concrete de contradicție tehnică, prezentate în figura 6.28.

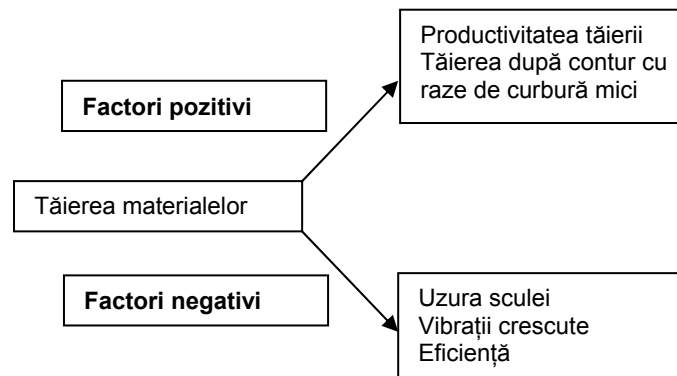


Fig. 6.27. Modelul inițial al contradicțiilor tehnice

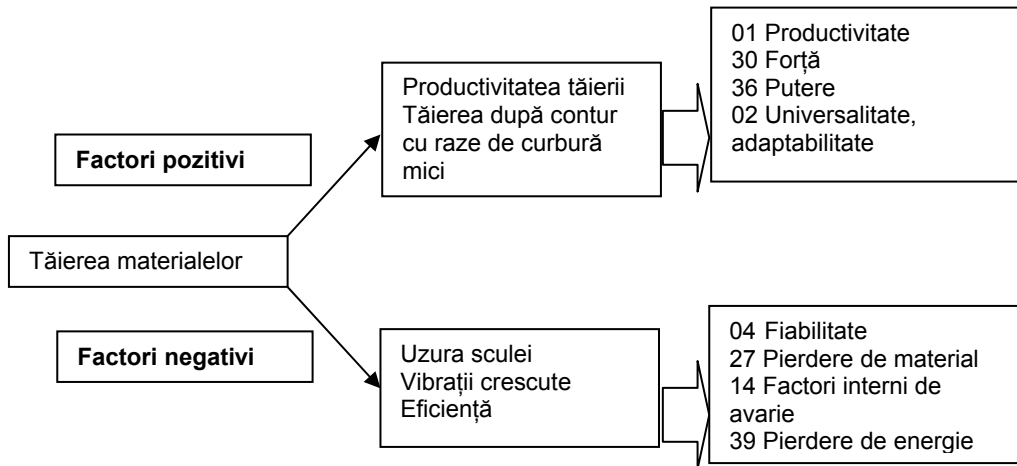


Fig. 6.28. Modelul contradicțiilor tehnice

Pentru a rezolva problema sunt notate următoarele direcții:

- intensificarea puterii inductorului asupra receptorilor;
- intensificarea vitezei de tăiere a inductorului;
- proiectarea unui instrument de tăiere cu rezistență la uzură crescută.

6.5.3. Transformarea și verificarea

În faza de transformare se întâlnesc discipline de gândire și inspirație, logica și intuiția, experiența și motivația, determinarea în căutarea de noi idei.

Din anexa 3 (Orloff, 2006) sunt aleși ca factori care se îmbunătățesc 01 Productivitate, 30 Forță, 36 Putere, 02 Universalitate, adaptabilitate, iar ca factori negativi 04 Fiabilitate, 27 Pierdere de material, 14 Factori interni de avarie, 39 Pierdere de energie.

Folosind matricea contradicțiilor (<http://www.triz40.com/>) sau anexele din (Orloff, 2006) pot fi găsite direcții de soluții specializate.

Astfel, ținând seama că factori ca productivitate, forță, putere, universalitate, adaptabilitate se îmbunătățesc, iar fiabilitatea, pierderile de material, factori interni de avarie și pierderea de energie sunt cei care se înrăutățesc, folosind anexele din (Orloff, 2006) avem următoarele principii inventive (*A-Navigators*) din matricea pentru selectarea acestora.

Tabelul 6.8 este un pas din metoda CICO (Cluster în Cluster out) (Orloff, 2006) cu privire la integrarea alternativelor de contradicții. Astfel, în faza *Cluster In* au fost identificate pentru grupele de factori pozitivi/negativi, grupul de proceduri generate de fiecare pereche de factori din figura 6.28, conform matricei A din anexa 3 (Orloff, 2006), pentru selectarea navigatorilor specializați. Se observă că grupul de proceduri variază, de la 4 la 2 sau chiar nici una. În continuare, se ordonează metodele găsite în ordinea frecvenței apariției lor și se începe analizarea lor în ordinea dată de frecvență. Această ordonare corespunde pasului *Cluster Out* cu privire la navigatori.

Tabelul 6.8. Grupul de proceduri generate de fiecare pereche de factori pozitivi/negativi

01-04	01-27	01-14	01-39
01	01	01	01
02	02	06	02
03	04	21	04
30	36	23	14
30-04	30-27	30-14	30-39
01	01	11	07
11	17	12	22
12	32	18	
33	35	26	
36-04	36-27	36-14	36-39
08	06	01	01
10	04	05	02
18	13	06	30
31	30		
02-04	02-27	02-14	02-39
01	02	-	03
11	05		06
32	07		07
18	11		

Dintre navigatorii (principiile inventive) 01(9), 02(5), 03(2), 04(3), 05(2), 06(4), 07(3), 08(1), 10(1), 11(4), 12(2), 18(3), 21(1), 22(1), 23(1), 26(1), 30(3), 31(1), 32(2), 33(1), 35(1), 36(1), care se pot găsi împreună cu câteva explicații în anexa 4 (Orloff, 2006), s-au reținut următoarele: 11-Inversarea acțiunii, 04-Înlocuirea substanței/fondului/materiei mecanice, 06-Utilizarea oscilației mecanice, și 07-Dinamizarea, 03-Segmentarea. Numărul dintre paranteze indică frecvența cu care apare o metodă recomandată.

O scurtă descriere a navigatorilor (principiilor inventive) selectate este redată în tabelul 6.9.

Tabelul 6.9. Descrierea navigatorilor (principiilor inventive) selectate

03 Segmentarea	Dezasamblarea unui obiect în părți individuale
	Crearea posibilității ca un obiect să poată fi dezasamblat
	Creșterea gradului de dezasamblare (reducerea numărului de părți) a unui obiect
04 Înlocuirea substanței / fondului / materiei	Înlocuirea schemelor mecanice, cu scheme optice, acustice, olfactive
	Utilizarea câmpurilor magnetice, electrice sau electromagnetice pentru interacțiunea obiectelor
	Înlocuirea câmpurilor statice cu unele dinamice, de la câmpuri fixate temporar la câmpuri flexibile, de la câmpuri nestructurate la câmpuri cu o structură specifică
06 Utilizarea oscilațiilor mecanice	Inducerea unei vibrații unui obiect
	Creșterea frecvenței vibrațiilor până la / includerea unei frecvențe foarte înalte dacă obiectul este deja

	în mișcare
	Utilizarea frecvenței de rezonanță, aplicarea unor vibrații cuart
	Utilizarea vibrațiilor ultrasonice în conexiune cu câmpuri electromagnetice
07 Dinamizarea	Caracteristicile unui obiect sau ale unui mediu sunt schimbate pentru a optimiza orice procedură de lucru
	Dezasamblarea unui obiect în părți care sunt în mișcare unele în raport cu celelalte
	Obiectul să fie făcut deplasabil, altfel fiind fix
11 Inversarea acțiunii	În locul unei acțiuni prescrise de condițiile unei probleme, realizarea unei acțiuni inverse (încălzirea unui obiect în locul răcirii lui)
	O parte a unui obiect sau a mediului care este deplasabilă să fie fixată sau o parte fixă să fie deplasabilă
	Întoarcerea unui obiect cu partea superioară în partea de jos sau rotirea

6.5.3.1 Folosirea oscilației mecanice

Transformarea. Conform cu această direcție de soluție, scula de tăiere va fi supusă unei mișcări oscilatorii pentru a îndepărta părți din materialul care este supus tăierii, pentru a îl pregăti pentru tăiere. Lama de tăiere are o mișcare oscilatorie la cursa activă. Această soluție există și dinții lamei sunt orientați în sus, astfel încât forța de tăiere este preluată de fierăstrău (fig. 6.29).

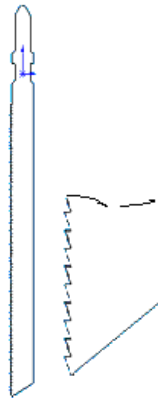


Fig. 6.29. Lama

În soluția actuală sunt incluse transformările care provin din folosirea unor anumite câmpuri. O detaliere a acestora este prezentată în figura 6.30. Câmpul electric este transformat în câmp magnetic care rotește rotorul unui motor electric S1, obținând o mișcare de rotație. Aceasta, la rândul său, este transformată într-o altă mișcare de rotație, la turație mai redusă, printr-un reductor S2 și printr-un mecanism S3 transformă mișcarea de rotație într-o mișcare de rectilinie-alternativă

paralelă, oscilatorie. Lama de tăiere 4 formează o unitate cu S3 și prin cursa sa ascendentă produce tăierea (fig. 6.30).

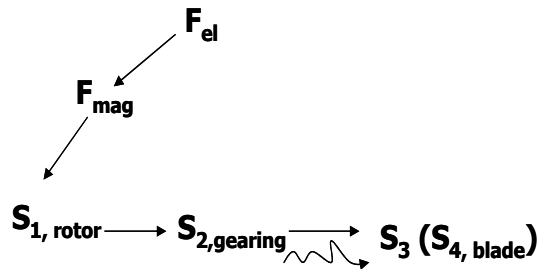


Fig. 6.30. Transformarea câmpurilor în mișcarea oscilatorie

Această transformare presupune existența unei unități de reducere a mișcării de revoluție, care poate duce la vibrații, care nu sunt dorite.

Astfel, apare o nouă zonă operativă care corespunde transformării câmpului electric într-o mișcare de deplasare paralelă, oscilatorie, printr-un lanț mai scurt, așa cum este prezentat în figura 6.31. Conform acestei scheme, câmpul electric este transformat într-un câmp magnetic, care operează asupra S3, cu care lama de tăiere formează un tot unitar, fiind creată mișcarea de deplasare paralelă, oscilatorie. O soluție care poate crea mișcarea necesară este bazată pe cercetările făcute de (Tutelea ș.a., 2008) și este prezentată în figurile 6.32 și 6.33. Mașinile cu magneți permanenți liniari oscilatorii prezintă interes și pot juca un rol important în conducerea directă a pistoanelor pompelor, compresoare etc. O suprafață plată care se deplasează permite concentrarea fluxului magnetic și miezul mașinii poate fi fabricat din material laminat.

Schița mașinii oscilatorii cu flux magnetic concentrat este prezentată în figura 6.32. Elementul deplasabil alunecă pe lagăre liniare. Energia cinetică este recuperată prin intermediul a două arcuri, iar lama va fi atașată de elementul deplasabil.

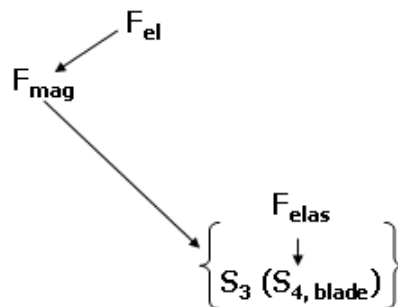


Fig. 6.31. Scăderea lanțului transformărilor

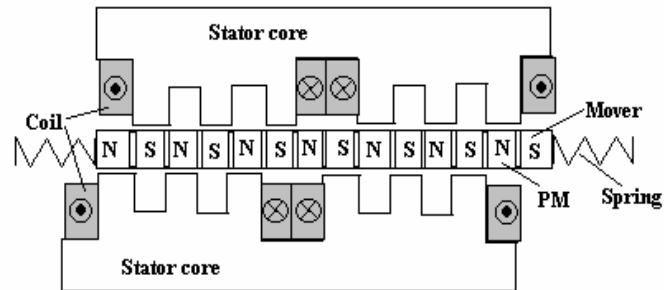


Fig. 6.32. Mașina oscilatorie cu flux magnetic concentrat

Schița mașinii oscilatorii permanente cu magneți permanenți-suprafață este prezentată în figura 6.33.

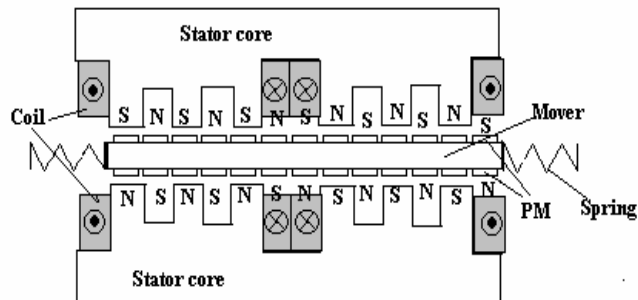


Fig. 6.33. Mașina oscilatorie cu magneți permanenți-suprafață

Verificarea. Dezavantajele soluției sunt că frecvența elementului deplasabil trebuie să fie egală cu frecvența de rezonanță a arcului, viteza de tăiere trebuie să fie constantă și cursa maximă să fie de 30-40 mm.

6.5.3.2 Înlocuirea substanței/fondului/materiei mecanice

Transformarea. În conformitate cu această direcție, înlocuirea corpului solid al lamei de tăiere cu alte materiale duce la alte tipuri de tăiere. În cazul în care corpul solid al lamei de tăiere este înlocuit cu un lichid sub presiune, care angajează particule abrazive, rezultă tăierea cu jet de lichid (fig. 6.34). Acest tip de tăiere necesită existența unui lichid sub presiune în care se angajează particule abrazive. Soluția are avantajul de tăiere curbilinie, poate urmări raze de curbură mici, prin reducerea intensității lichidului și se poate obține o calitate bună a tăierii.

Verificarea. În cazul unei astfel de tăieri se pot urmări raze de curbură mici, prin reducerea intensității lichidului, și se poate obține o calitate bună a tăierii, deci contradicția tehnică legată de tăierea cu raze mici de curbură ar fi îndepărtată.

Este dificil însă să se aplice această soluție pentru un fierăstrău manual, deoarece transferul de lichid la o presiune mare creează probleme și, de asemenea, de protecție a operatorului și a mediului. Utilizarea aerului sub presiune, care ar antrena particule abrazive, ridică probleme chiar mai mari în ceea ce privește operatorul și protecția mediului.

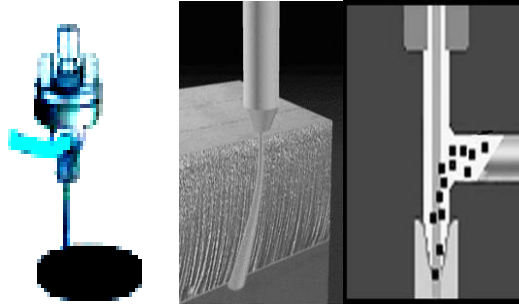


Fig. 6.34. Tăierea cu jet de lichid

6.5.3.3 Inversarea acțiunii

Transformarea. În conformitate cu această direcție, poate fi dezvoltată următoarea soluție: datorită interacțiunii dintre lama de tăiere și materialul de prelucrat, în afară de uzură abrazivă rezultă și căldură, care contribuie la deteriorarea sculei. Soluția care să facă uz de căldură în tăierea materialelor este cea cu fascicul laser. În acest caz, căldura din raza laser este utilizată pentru topirea și evaporarea materialului. Utilizarea fasciculului laser la un fierăstrău manual creează alte probleme, făcând inutilizabilă o astfel de soluție. O altă soluție este utilizarea a căldurii emise de energia electrică, care topește materialul. Este cazul de prelucrare prin eroziune electrică cu fir. Această soluție este dificil să fie pusă în aplicare pentru un fierăstrău manual, deoarece materialul care urmează să fie tăiat trebuie să fie cufundat într-un lichid dielectric. Pentru a utiliza abraziunea ca o soluție, a fost dezvoltată tăierea folosind eroziunea prin contact electric. La această metodă scula interacționează electric cu materialul ce urmează a fi prelucrat. Căldura care rezultă din contactul electric topește materialul care este apoi eliminat prin mișcarea sculei.

Verificarea. Se observă că prin ajustarea parametrilor electrici și mecanici a echipamentului de tăiere, uzura sculei este foarte mică sau chiar nu există.

Din acest punct de vedere, contradicția legată de uzura sculei este înlăturată. Acest lucru depinde într-o mare măsură și de caracteristicile materialului care urmează să fie prelucrat, cât și de parametrii echipamentului de tăiere. În plus, scula de tăiere trebuie să fie răcită în mod corespunzător.

Deși tăierea electrică ar fi tentantă, în prezent există unele probleme tehnice care ar fi dificil de depășit, mai ales în cazul unui fierăstrău portabil. Dimensiunile mici ale sculei fac ca răcirea corespunzătoare să fie dificil de realizat. În plus, un fierăstrău portabil este utilizat pentru tăierea unei game largi de materiale cu caracteristici mecanice diferite, caz în care uzura sculei ar fi mare, deteriorându-se astfel rapid.

6.5.3.4 Dinamizarea, segmentarea

Transformarea. În conformitate cu această direcție, soluția aplicată la proiectare constructivă a sculei ar trebui să fie modificată, astfel încât mișcarea de rotație continuă să poate fi folosită la viteze mari.

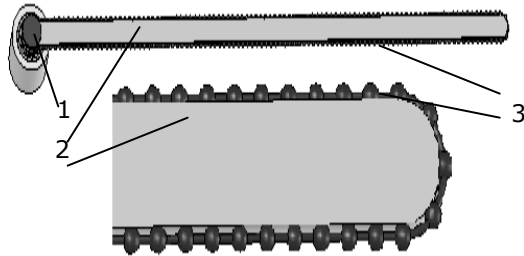


Fig. 6.35. Scula cu mișcare continuă

Scula de tăiere cu mișcare continuă (fig. 6.35) este realizată dintr-un fir rezistent și flexibil (3), care are atașate sfere. Partea superioară a acestor sfere se face dintr-un material abraziv (sfere diamantate), iar partea inferioară a sferelor este utilizată pentru a ghida firul de tăiere, adică ghidarea sa pe o placă de ghidare (2). Acest fir este condus în mișcarea de rotație de către o rolă de conducere (1). Sensul de rotație al firului flexibil este ales astfel încât fierăstrăul să preia forța de tăiere. Această soluție poate fi ușor transformată prin utilizarea tăierii cu arc, caz în care firul va fi fără sfere. Cu toate acestea, problemele de uzură excesivă și răcire ar trebui să fie rezolvate.

Verificarea. Dezavantajele soluțiilor constructive care folosesc mișcarea liniară alternativă sunt: existența unei unei curse de revenire, care conduce la scăderea eficienței tăierii; forțe de inerție care sunt generate atunci când este inversat sensul mișcării sculei (datorate mișcării oscilatorii); inserarea unui dispozitiv suplimentar care va întrerupe contactul sculei cu materialul de prelucrat în cursa de întoarcere. Aceste dezavantaje pot fi îndepărtate cu ajutorul unei scule cu mișcare continuă, dar trebuie să se asigure realizarea cursei de întoarcere a sculei prin tăietura făcută.

6.6. Concluzii

Cercetările teoretice efectuate sunt validate prin utilizarea modelului holistic în faza de studiu conceptual al unui produs. Aplicația a fost realizată în cadrul rețelei europene VRL-KCiP, finanțată prin Programul Cadru 6, echipei UPT revenindu-i sarcina de soluționare a studiului conceptual.

Abordarea holistică a fazei de studiu conceptual s-a bazat pe folosirea combinată a elementelor din demersul sistematic împreună cu cele din demersul axiomatic, transpunerea funcțiilor în termeni de concepție axiomatică, aplicarea axiomei de independență și informare ca factori de decizie, folosirea teoriei rezolvării problemelor inventive în vederea găsirii de noi idei de soluții.

Fazele parcurse au fost:

- descompunerea funcțională a produsului și realizarea unei diagrame FAST;
- prezentarea de soluții posibile pentru funcțiile enunțate;
- transpunerea funcțiilor identificate printr-o analiză funcțională internă și externă în termenii specifici concepției axiomatice;

- analizarea independenței cerințelor funcționale folosind formalismul din concepția axiomatică;
- căutarea de idei de soluții pentru funcția principală folosind TRIZ, meta-algoritmul inventării.

7. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE

7.1. Concluzii generale

În ultima perioadă se remarcă o creștere a nivelului exigențelor clienților, a cererii de produse din ce în ce mai complexe și o reducere a termenelor de punere a lor pe piață. Aceste necesități au determinat evoluția de la un model liniar de concepție către unul interactiv, secvențialitatea fiind înlocuită de suprapunerea parțială a unor activități, iar cunoștințele referitoare la întregul ciclu de viață al produsului fiind integrate în faza de concepție. Totodată, prin aplicarea unui demers DFSS este posibilă realizarea unui proces de concepție bun de la început, creșterea performanțelor sale și scăderea variațiilor. Astfel, defectele vor fi mai puține și calitatea produselor va crește.

Cercetările întreprinse sunt bazate pe modelele de concepție a produsului existente în literatura de specialitate, care consideră concepția ca fiind o componentă comună oricărui demers de realizare de noi produse sau îmbunătățire a unor existente. Concepția, ca și activitate centrală a oricărui demers urmat, nu poate fi tratată separat, ci într-o strânsă legătură cu toate etapele ciclului de viață al produsului.

Procesul de concepție are o serie de activități, faze, pași, o anumită desfășurare care diferă în linii mari de la un demers la altul, de la un model la altul, însă rezultatele vizate sunt aceleași. Metodele și mijloacele prin care se materializează un model de concepție sunt și ele comune, alegerea se face în funcție de domeniului de activitate și competențe. În această idee, scopul prezentării modelelor, metodelor și mijloacelor de concepție a produselor a fost de a constitui o bază de plecare pentru propunerea unui model holistic de abordare a concepției. În urma analizei modelelor de concepție cunoscute, acestea au fost grupate în: modele bazate pe noțiunea de fază, modele bazate pe noțiunea de activitate, modele bazate pe noțiunea de domeniu și modele hibride.

Ca punct de pornire în dezvoltarea noului model de concepție inovantă, colaborativă a produselor s-a optat pentru cele două modele fundamentale: modelul sistematic, bazat pe noțiunea de fază, și modelul de axiomatic, bazat pe noțiunea de domeniu. Cele două modele au fost analizate din punct de vedere al finalității fazelor, respectiv al rezultatelor trecerii de la un domeniu la altul. Scopul fazelor și trecerii între domenii este același, modul în care se realizează trecerea, metodele și mijloacele folosite sunt comune, doar ghidarea procesului de concepție este diferită.

Modelul holistic de abordare a concepției, care a fost propus, folosește ideile de bază din cele două modele fundamentale – concepția ca și o succesiune de faze, ajutată/controlată de axiomele de concepție.

Modelul holistic de concepție integrată a produsului, extins la întregul său ciclu de viață, a fost reprezentat folosind formalismul grafic dat de metoda SADT (*Structured Analysis and Design Technique*) și programul iGrafx 2011, care conține modulul IDEF0 (*Integration Definition Function*), iar în cadrul modelului ciclului de

viață al produsului a fost detaliată activitatea de concepție preliminară (studiu conceptual). Detalierea etapei s-a făcut corelat cu modelul sistematic, astfel că subactivitatea de concepție preliminară conține subactivitățile de descompunere funcțională, căutare de idei și soluții, enunțare și selectare a soluției optime. Astfel, abordarea holistică a concepției aplicată pentru subactivitatea de concepție preliminară din ciclul de viață a produsului, presupune:

- să conțină elemente din concepția axiomatică - folosirea în cadrul demersului sistematic a unei exprimări în termenii concepției axiomatice - cerințe funcționale, parametri de concepție, matrice de design - pentru o analiză mai facilă a zonelor care ridică probleme;
- folosirea axiomelor de concepție, acolo unde este nevoie, ca și factor de decizie sau control;
- în vederea generării de idei de soluții posibile în faza de concepție, folosirea teoriei rezolvării problemelor inventive (TRIZ) .

Au fost analizate principalele metode și mijloace de concepție a produselor, folosite în modelele de concepție bazate pe noțiunile de fază și domeniu, metode care sunt mai mult sau mai puțin adecvate unui demers sau altuia. Metodele și mijloacele reținute, care să permită integrarea între cele două modele sunt: QFD, analiza funcțională, TRIZ și AMDEC/FMEA.

Metodologia propusă se materializează printr-o platformă de concepție inovantă, colaborativă a produselor, care este constituită din trei pachete de programe, furnizate de IDEACore (WEB Mine, QFD Designer și TRIZ Contrastolve), TDC Software (TDC Need, TDC Structure și TDC FMEA) și Axiomatic Design Solutions (Acclaro DFSS). Aceste pachete de programe software asistă metodele folosite de modelul holistic de concepție a produsului.

Pașii unei abordări holistice a concepției preliminare sunt:

- descompunerea funcțională a produsului și realizarea unei diagrame FAST;
- prezentarea de soluții posibile pentru funcțiile enunțate;
- transpunerea funcțiilor identificate printr-o analiză funcțională internă și externă (diagramă FAST) în termenii specifici concepției axiomatice;
- analizarea independenței cerințelor funcționale folosind formalismul din concepția axiomatică;
- căutarea de idei de soluții pentru funcționalitatea principală folosind teoria rezolvării problemelor inventive TRIZ, meta-algoritmul inventării.

Astfel, noua metodologie propusă prezintă un avantaj major și anume acela că poate conduce activitatea din faza de concepție preliminară, de la utilizarea rutinieră a informațiilor de proiectare, către o activitate creativă, care utilizează toate cunoștințele, nu numai cele strict ale domeniului produsului dorit, ci și pe cele ale ariilor adiacente. Rezultatul final are astfel șanse foarte mari să fie încadrat în rândul produselor inovante.

Exemplificarea acestei abordări originale a fazei de concepție sprijină afirmațiile de mai sus, prin aceea că pornind de la o temă dată și transpunând cerințele în funcții care trebuiesc îndeplinite, urmând procedura produsă, se ajunge la descrierea unui set de soluții posibile care satisfac funcțiile utile. Aceste soluții ajung să transceadă denumirea inițială a produsului „fierăstrău alternativ portabil” prin multitudinea de soluții posibile, pentru îndeplinirea funcției principale, de tăiere. O succintă trecere în revistă a soluțiilor independente generate prin metoda holistică propusă relevă faptul că, fără a exista această intenție declarată în demersul de concepție, ele înglobează toate tipurile cunoscute de a tăia materiale, de la cele clasice, bazate pe energie mecanică, până la unele aparținând domeniilor de vârf ale

tehnologiilor, cum ar fi cele care au ca suport forme de energie concentrată: jet de lichid, plasmă, laser, fascicul de electroni etc.

Este de presupus că în momentul în care în tema de proiectare nu va mai figura denumirea, fie ea și „comercială”, a produsului cerut de client, ci doar funcțiile utile sau cel puțin descrierea acestora, utilizarea metodologiei holistice propuse va lăsa libertatea membrilor echipei de proiect pentru generarea tuturor soluțiilor posibile, singura constrângere fiind aceea a gradului de cunoaștere pe care aceștia îl au la momentul respectiv. Alegerea soluției care se va materializa va fi cel mai probabil o invenție și reprezintă o problemă de decizie în condiții de incertitudine, dependentă de factori manageriali, economici etc. Însă, oricare din soluțiile selectate ca viabile vor putea fi materializate, atunci când condițiile firmei sau cerințele sociale vor preleva în alegerea ei și, cu mare siguranță, se poate spune că multă vreme de atunci înainte, în zona în care procesul de concepție a acționat, alte soluții în afară de cele deja generate nu vor mai exista.

Avantajele din concluzie se pot ușor transforma în avantaje economice și se impun de la sine: brevetarea tuturor soluțiilor viabile va crea unicitate și protecție intelectuală pe termen lung pentru o gamă de produse care satisfac o funcție sau o combinație de funcții utile.

7.2. Contribuții personale

Pornind de la ideea de a propune un model holistic de concepție a produsului, în care activitatea de concepție este văzută ca un întreg, contribuțiile pe care teza de doctorat le aduce se referă la evaluarea stadiului cunoașterii în domeniul concepției produselor, prin realizarea unui transfer de cunoștințe de actualitate, care sunt analizate și sistematizate pentru a dezvolta un model de concepție și o metodologie care constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție, model care îmbină avantajele a două modele fundamentale, modelul sistematic și cel axiomatic.

Este propusă, de asemenea, o metodă de evaluare a capabilității procesului de concepție, care servește în luarea deciziei privind alegerea soluției.

Contribuțiile personale se bazează pe următoarele:

- studierea informațiilor de actualitate care acoperă domeniul tezei;
- sistematizarea globală și unitară a cunoștințelor;
- realizarea taxonomiei metodelor utilizate în concepție;
- elaborarea unui model holistic de concepție inovantă, colaborativă a produsului;
- validarea modelului holistic în faza de concepție preliminară (studiu conceptual) a unui produs;
- conceperea unei metode criteriale de selectare și de decizie a căii optime în procesul de concepție.

Cercetările prezentate au fost valorificate prin activități de diseminare și publicare, ca prim autor sau în colectiv, a unui număr de 21 lucrări științifice, în volumele unor conferințe internaționale și în reviste, 12 lucrări fiind indexate ISI Web of Knowledge și în alte baze de date internaționale.

7.3. Perspective de cercetare

Pentru viitor, se preconizează dezvoltarea cercetărilor în domeniul concepției produselor, pe următoarele direcții:

1. Extinderea modelului holistic de concepție a produsului pentru faza de concepție constructivă;
2. Evaluarea modelului holistic de concepție a produsului;
3. Realizarea unei metodologii de alegere a celei mai bune variante de concepție, prin prisma capabilității procesului, bazată pe termenii din axiomatic design;
4. Realizarea unui program software pentru determinarea performanței unei soluții, prin prisma capabilității procesului de concepție.

BIBLIOGRAFIE

1. AFNOR (1988). Recommandation pour obtenir et assurer la qualité en conception. Norme X50-127, AFNOR, Paris
2. Ahmed, S. și Hansen, C.T. (2002). A Decision-Making Model for Engineering Designers, Shahin T.M.M. (ed.), Computer based design, EDC2002, Cambridge, pp.217-227
3. Alexander, C. (1964). Notes on the Synthesis of Form, Harvard University Press Cambridge, Mass
4. Altshuller, G. (1984). Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems, Gordon and Breach Science Publishing, New York, 1984.
5. Altshuller, G. (1988). Creativity as Exact Science, Gordon & Breach, New York, ISBN 0-677-21230-5
6. Altshuller, G. (1999). TRIZ The Innovation Algorithm; Systematic Innovation and Technical Creativity, Technical Innovation Center Inc., Worcester, MA
7. Andreasen, M. M. (1992). The Theory of Domains. Proceedings of Workshop on Understanding Function and Function-to-Form Evolution, Cambridge University
8. 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
9. **Banciu, F.** și Drăghici, G. (2003). About Axiomatic Design Method, în Academic Journal of Manufacturing Engineering, Volume 1, Number 3/2003, Editura Politehnica, ISSN 1583-7904, pp.22-26
10. **Banciu, F.** și Drăghici, G. (2003). Axiomatic Design Method-Corollaries and Theorems, în Proceeding of the International Conference on Manufacturing Science and Education Challenges of the European Integration, 6th - 7th November 2003, Sibiu, ISBN 973-651-700-4, pp.15-20
11. **Banciu, F.**, Grozav, I. și Drăghici, G. (2008). Redesign Case of a Jigsaw, published, în Academic Journal of Manufacturing Engineering, at The 3rd International Conference on Integrated Engineering C2I 2008, May 8th-10th 2008, Timisoara, Romania, Vol. 6, ISSUE 1/2008, Editura Politehnica, ISSN 1583-7904, pp. 18-28
12. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Mihărtescu, A. (2008). Synthesis Regarding the Product Conceptual Design Methods and Tools, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VIII (XVIII), 2009, CD-ROM Edition, Volume VIII (XVIII), 2008, ISSN 1583 - 0691, pp. 925-934, Annual Session Of Scientific Papers IMT Oradea - 2008, ORADEA, FELIX SPA, May 28-29th, 2008 (Abstract page 159) (**indexată BDI Ulrich**)
13. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Turc, C. (2009). Holistic Approach on Integrated, Collaborative Product Design, în Proceedings of the 13th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Iasi & Chisinau,

- ModTech 2009, New face of TMCR, 21-23th May, Iasi, Romania, ISSN 2066-3919, pp. 39-42 **(indexată ISI Proceedings)**
14. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Belgiu, G. (2009). Product Design Models, Methods and Tools Knowledge Synthesis, în Proceedings of the 13th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Iasi & Chisinau ModTech 2009, New face of TMCR, 21-23th May, Iasi, Romania, ISSN 2066-3919, pp. 43-46 **(indexată ISI Proceedings)**
 15. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Mazilescu, A.C. (2009). Methodology and Platform for Integrated Product Design, în Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, Volume 20, No1, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-70-4, pp. 927-928 **(indexată ISI Proceedings)**
 16. **Banciu, F.**, Drăghici, G., Pămîntaş, E. și Turc, C. (2010). Comparative Study Between Systematic and Axiomatic Design Models, în Proceedings of the 14th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Iasi-Chisinau-Belgrad ModTech 2010, New face of TMCR, 20-22th May 2010, Sănic Moldova, Romania, ISSN 2066-3919, pp.87-91 **(indexată ISI Proceedings)**
 17. **Banciu, F.**, Grozav, I. și Drăghici, G. (2010). Supporting Conceptual Design Phase Using TRIZ, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, CD-ROM Edition Volume IX (XIX), ISSN 1583 – 0691, pp. 1.5-1.12, Annual Session of Scientific Papers IMT ORADEA – 2010, FELIX SPA, May 27-29th, 2010, Oradea, Romania, Extended abstracts ISBN 978-606-10-0128-6, pp. 1.6 **(indexată BDI Urlich)**
 18. **Banciu, F.** și Drăghici, G. (2010). Holistic model for Collaborative Integrated Product design, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, CD-ROM Edition Volume IX (XIX), ISSN 1583 – 0691, Nr. 1/ pp. 3.24-33, Annual Session of Scientific Papers IMT ORADEA – 2010, FELIX SPA, May 27-29th, 2010, Oradea, Romania, Extended abstracts ISBN 978-606-10-0128-6, pp 3.11 **(indexată BDI Urlich)**
 19. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Grozav, I. (2010). Using TRIZ Method for Creativity în Conceptual Design, în Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21th International DAAAM Symposium, "Intelligent manufacturing and automation: Focus on interdisciplinary solutions", 20-23rd October 2010, Zadar, Croatia Volume 20, No.1, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-73-5, pp.443 **(indexată ISI Proceedings)**
 20. **Banciu, F.**, Drăghici, G. și Belgiu, G. (2011). A New Functional Analysis Approach, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, CD-ROM Edition Volume X (XX), ISSN 1583 – 0691, Nr. 1/ pp.5.9-14, Annual Session Of Scientific Papers IMT ORADEA – 2011, FELIX SPA, May 26-27th, 2011, Oradea, Romania, Extended abstracts ISBN 978-606-10-0508-6, pp. 5.3 **(indexată BDI Urlich)**
 21. **Banciu, F.**, Drăghici, G., Pămîntaş, E. și Grozav, I. (2011). Identify Functions, Failure Modes, Causes and Effects Using the TRIZ Functional Modelling în Proceedings of The 5th International Conference on manufacturing Science and Education –MSE 2011, Editura Universităţii Lucian Blaga din Sibiu, Sibiu-2-5 iunie, Romania, ISSN 1483-2522, pp. 265-269 **(indexată ISI Proceedings)**

22. **Banciu, F.**, Drăghici, G., Pămîntaş, E. și Turc, C. (2011). Product Functions Definition în Systematic Design and Axiomatic Design Approaches, în Proceedings of The 15th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Iasi-Chisinau-Belgrad ModTech 2011, New face of TMCR, 25-27 May 2011, Vadul lui Voda-Chisinau, Republic of Moldova, ISSN 2069-6736, pp.57-60 (**indexată ISI Proceedings**)
23. Bertoluci, G. și Le Coq, M. (2000). Integration du TRIZ au sein de cycle de conception de produit. 3e Conference internationale sur la conception et la fabrication integree en mecanique, IDMMM 2000, Montreal 2000
24. Blanco, E. ș.a. (1998). La construction conjointe du problème et des solutions en ingénierie simultanée, Actes de la journée PRIMECA, Concurrent Engineering, Lyon
25. Blessing, L. (1996). Comparison of Design Models Proposed în Prescriptive Literature, Proceedings of the COSTA3/A4 Int. Res. Workshop on The role of design în the shaping of technology, Lyon, pp.187-212
26. Brissaud, D. ș.a. (2003). Design Process Logic Capture and Support by Abstraction of Criteria, Research în Engineering Design, 19, 4, pp.162-172
27. Buede, D. (2000). The Engineering Design of Systems-Models and Methods. John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-28225-1
28. Busov, B., Mann D., Jirman, P. (1999) TRIZ and Invention Machine®: Methods and Systems for Creative Engineering and Education în the 21st Century, Available at: <http://www.systematic-innovation.com/Articles/>
29. Cross, N. (1989, 2000). Engineering Design Methods, John Wiley & Sons, 1989 (prima ediție) și 2000 (ediția a treia)
30. Cross, N. ș.a. (1997). Analyzing Design Activity, John Wiley & Sons, New York
31. Cavalluci D. și Lutz, P. (1997). TRIZ un concept de resolution des problemmes d'innovation, 2e Congres International de Genie Industriel, Albi
32. Choulier, D. și Drăghici, G. (2000). TRIZ : une approche de résolution des problèmes d'innovation dans la conception de produits. Modélisation de la connaissance pour la conception et la fabrication intégrées, Drăghici G. & Brissaud D. (Ed.), Editura Mirton, Timișoara, ISBN 973-585-216-0, pp. 31-59
33. Cohen, L. (1995). Quality Function Deployment. How to Make QFD Work for You, Addison Wesley Longman, Inc. ISBN 0-201-63330-2
34. De La Bretesche, B. (2000). La methode APTE. Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle. Editions Petrelle, ISBN 2-84440-019-1
35. Dorst, K. și Cross, N. (2001). Creativity în the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution, Design Studies, 22, 5, pp.425-437
36. Dovoino, I. (1993). Forecasting Additional Functions în Technical Systems, Proceedings of ICED-93, The Hague, vol. 1, pp. 247-277
37. Drăghici, G. (1999). Ingineria integrată a produselor, Editura Eurobit Timișoara, ISBN 973-96065-7-1
38. Drăghici, G. (2003). Plateforme de préconception de produit, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volum II (XII), Editura Universității din Oradea, CD-ROM Edition, ISSN 1583-0691

39. Drăghici, G. and **Obreja, F.** (2001). Innovative Design of Products, Methods and Means, în Annals of MteM for 2001 & Proceedings of the 5TH International MteM Symposium, 4th-6th October 2001, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Editura Alma Mater, ISBN 973-85354-1-7, pp. 169-172
40. Drăghici, G. și **Banciu, F.** (2004). Development of a Conceptual Design Methodology for Products, în Romanian Journal of Technical Sciences, Applied Mecanics, Tome 49, Special number 2004, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 2004, ISSN 0035-4074, ISBN 973-27-1102-7, pp.575-578
41. Drăghici, G. și **Banciu, F.** (2004). Development of a Conceptual Design Platform for Products, The 1st International Conference on Computing and Solutions în Manufacturing Engineering, CoSME 2004, 16-18 September 2004, Braşov-Sinaia, Editura Universităţii Transilvania, Braşov, ISBN 973-635-372-9, pp.55-56 (extended abstract), CD-ROM (full paper)
42. Drăghici, A., Niemann, J., Drăghici, G. and **Banciu, F.** (2007). National Virtual Team's Management and Development. The Case of Romanian Research Network – INPRO, Review of Management and Economical Engineering, Vol.6, nr.2A (23), Editura Toderesco, Cluj-Napoca, ISSN 1583-624X, pp.5-18, **(indexată BDI Ulrich)**
43. Drăghici, G. and **Banciu, F.** (2007). Parallelism Between Algorithmic (Systematic) Design and Axiomatic Design, în Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI (XVI), 2007, CD-ROM Edition, Volume VI (XVI), 2007, ISSN 1583 – 0691, pp. 1457-1468, Abstract pp.247 **(indexată BDI Ulrich)**
44. Drăghici, G., **Banciu, F.**, Belgiu G. and Grozav I. (2008). Conceptual Design in Collaborative Multisite Product Lifecycle Management Platform, Conference Excellence Research – a Way to Innovation, (Editors: N. Vasiliu, L. Szabolcs), Vol. III, Braşov, 2008, Editura Tehnică, ISSN 1844-7090, pp. 243/1-6
45. Eben, K., Daniilidis, G.M., Lindemann, U. (2009). Problem Solving for Multiple Product Variants, în Proceedings of the TRIZFuture Conference 2009, November 4th-6th, Timisoara, Romania, ISBN 978-973-625-969-2, pp. 54-62
46. Finger, S. și Dixon, J.R. (1989). A Review of Research în Mechanical Engineering Design, Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Processes. Research în Engineering Design, 1 (1), pp. 51-68
47. Frey, D.D. ș.a. (2000). Computing the Information Content of Decoupled Designs în Research în Engineering Design Vol 12, Number 2, pp. 90-102, DOI: 10.1007/s001630050025
48. French, M. (1985). Conceptual Design for Engineers, The Design Council London; Springer-Verlag, ISBN:0-85072-155-5
49. Gero, J.S. și Kannengiesser, U. (2006). The situated function-behaviour-structure framework, Key Centre of Design Computing, and Cognition, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia, <http://mason.gmu.edu/~jgero/research/ontologies.html>
50. Girod, M. ș.a. (2000). Activities în Collaborative Concept Selection Processes for Engineering Design, Proceedings of ASMEDETC-DTM-14548, Baltimore
51. Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithms în Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley

52. Grozav, I., **Banciu, F.** și Drăghici, G. (2009). Using TRIZ to find Innovative Redesign Solutions for a Jigsaw, în Proceedings of the TRIZFuture Conference 2009, November 4th-6th, Timisoara, Romania, ISBN 978-973-625-969-2, pp. 108-116
53. Hansen, C.T. și Andreassen M.M., (2000). Basic Thinking Patterns of Decision-Making in Engineering Design, International Workshop on Multi-criteria Evaluation, MCE 2000 Neukirchen, pp. 1-8
54. Harry, M.J. (1994). The Vision of 6-Sigma: A Roadmap for Breakthrough, Sigma Publishing Company, Phoenix, Ariz
55. Harry, M.J. (1998). Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability, Quality Progress, pp. 60-64, May.
56. Hatchuel, A. și Weil, B. (2002). La théorie C-K: Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception, Colloque Sciences de la conception, Lyon 15-16 mars 2002
57. Horner J. și Atwood, M.E. (2006). Effective design rationale: Understanding the barriers. In: I.M. Allen, H. Dutoit, Raymond McCall and B. Paech, Editors, Rationale Management în Software Engineering, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 73-90
58. Hu, Xiaochun ș.a. (2000). A Survey On Design Rationale: Representation, Capture And Retrieval, Proceedings of DETC'00, ASME Design Engineering Technical Conferences September 10-13, 2000, Baltimore, Maryland
59. Hubka, V. (1980). Principles of Engineering Design, Butterworth Scientific, London
60. Hubka, V. și Eder, W.E. (1992). Engineering Design, Heurista
61. Hubka, V. și Eder, W.E. (1988). Theory of Technical Systems, Springer-Verlag
62. Jeantet, A. (1998). Les objets intermédiaires dans le conception, éléments pour une sociologie des processus de conception, Sociologie du travail, 3, pp.291-316
63. Jin, Y. ș.a. (2005). A Hierarchical Co-Evolutionary Approach to Conceptual Design IMPACT Laboratory, Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Southern California, Los Angeles, USA, în CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.54/1, pp.155-158
64. Kai, Y. și Hongwei, Z. (2000). A Comparison of TRIZ and Axiomatic Design, <http://www.triz-journal.com/archives/2000/08/d/>
65. Koza, J.R. (1992). Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, MIT Press. ISBN 0-262-11170-5
66. Lee, T. (2003). Complexity Theory în Axiomatic Design, PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology
67. Lee, D.G. și Suh, N.P. (2006). Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures: Applications in Robots, Machine Tools, and Automobiles, Oxford Series on Advanced Manufacturing, ISBN 0195178777
68. Lissandre, M. (1990). Maîtriser SADT, Armand Colin Editeur
69. 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

70. Maher, M.L. (2001). A Model of Co-Evolutionary Design, Eng. with Computers, 16: pp.195-208
71. Micaelli, J.P. (2002). Institutionnalisme, évolutionnisme: le défi de la conception, Actes des Journées d'étude Institutionnalismes et Évolutionnismes-Confrontations autour de perspectives empiriques, Lyon
72. Midler, C. (1997). Évolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception, Annales des Mines
73. Miles, L.D. (1972). Techniques of Value Analysis and Engineering, second Edition, New York, Mc Graw Hill
74. Moisdon J-C, Weil B. (1992). L'invention d'une voiture: un exercice de relations sociales? Gérer et Comprendre Nr.28, Nr.29 , pag. 30-41; 50-58
75. Morand, N. (1993). Processus de conception des systèmes d'information: objectifs, fonction et statut des modèles. Troisième table ronde francophone sur la conception, 01Design'93, Tunis, 18-20 novembre
76. Mortensen, N.H. și Andreassen, M.M. (1999). Contribution to a Theory of Detailed Design, 10. Symposium Fertigungsgerechtes Konstruieren
77. Munteanu, F. (2003). Asupra unei triade ontologice INFORMATIE + ENERGIE + MATERIE cadrul științific pentru studiul interacțiunii MINTE - MATERIE, Centrul Pentru Studii Complexe, <http://www.csc.matco.ro/altele1/0MINTE.htm>
78. Nordlund, M. (1996). An Information Framework for Engineering Design Based on Axiomatic Design, PhD Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden
79. O'Sullivan, B. (1999). Constraint-aided Conceptual Design. PhD thesis, Department of Computer Science, University College Cork, Ireland, July 1999, (Also published by Professional Engineering Publishing, 2001, ISBN: 1-86058-335-0
80. *O'Sullivan, B. Interactive Constraint - Aided Conceptual Design, <http://cobnitz.codeen.org:3125/citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26930/http:zSzzSzwww.cs.ucc.iezSz~osullbzSzpubszSzaiedam.pdf/interactive-constraint-aided-conceptual.pdf>
81. Orloff, M.A., (2006). Inventive Thinking through TRIZ, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
82. Pahl, G. și Beitz, W. (1988). Engineering Design: A Systematic Approach, Springer-Verlag Telos, ISBN: 0387504427 / 0-387-50442-7
83. Pahl, G. și Beitz, W. (1996). Engineering Design - A Systematic Approach, ediția a doua, Springer, ISBN 3-540-19917-9
84. Pahl, G. ș.a. (2007). Engineering Design - A Systematic Approach, ediția a treia, Springer, ISBN 978-1-84628-318-5 , e-ISBN 978-1-84628-319-2
85. Paizi, G., Stere N. și Lazăr D. (1980). Organe de mașini și mecanisme. Editura didactică și pedagogică, București
86. Parsaei, H. și Sullivan, W. G. (1993). Principles of Concurrent Engineering, Concurrent Engineering Contemporary Issues And Modern Design Tools, Chapman & Hall
87. Perrin, J. (2001). Concevoir l'innovation industrielle. Méthodologie de conception de l'innovation, CNRS Éditions, Paris

88. Petitdemange, C. (1992). *Maîtriser la conception par l'analyse de la valeur*, Editions Lavoisier Tec & Doc, Paris
89. Poveda, O. (2001). *Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, Modélisation des processus, analyse et instrumentation*, Thèse de l'INP Grenoble
90. Prudhomme, G. (1999). *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement – La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique*, Thèse de l'Université Joseph Fourier de Grenoble
91. Pugh, S. (1990). *Total Design, Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley
92. Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley, Reading, ISBN 0-201-41639-5
93. Pugh, S. (1996). *Creating Innovative Products Using Total Design* (edited by D. Clausing and R. Andrade), Reading, M: Addison-Wesley, ISBN 0-201-63485-6
94. Purcell, T. ş.a. (1994). *Design Fixation and Intelligent Design Aids*, Gero J.S. and Sudweeks F. (ed.), *Artificial Intelligence în Design*, Kluwer
95. Regli, W.C. ş.a. (2000). *A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval*, *Engineering with Computers*, 16, pp.209-235
96. Reymen, Isabelle M.M.J. (2001). *Improving design processes through structured reflection: a domain-independent approach – Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Proefschrift*, ISBN 90-386-0831-4 NUGI 841
97. Ribvens, J.A. (2000). *Simultaneous Engineering for New Product Development: Manufacturing Applications*, John Wiley & Sons; ISBN: 0471252654, <http://www.khace.com/support/books/matbooks/general/0471252654.htm>.
98. Roozenburg, N.F. şi Eeckels, J. (1995). *Product Design: Fundamentals and Methods*, John Wiley & Sons, New York, ISBN-10: 0471954659
99. Roy, R. ş.a. (2003). *Designing a Turbine Blade Cooling System Using a Generalised Regression Genetic Algorithm*, *CIRP Annals* 52/1, pp.415-418
100. Salamatov, Y. (1999). *TRIZ: the Right Solution at the Right Time*, Published by Insytec B.V. 1999, ISBN 90-804680-1-0, Netherlands
101. Savransky, S.D. (2000). *Engineering of creativity, (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)*, 2000 by CRC Press LLC.
102. Schmidt, L. şi Cagan, J. (1997). *GGREADA: A graph grammar-based machine design algorithm în Research în Engineering Design*, Volume 9, Number 4, 195-213, DOI: 10.1007/BF01589682
103. Shah, J. J. şi Mantyla, M. (1995). *Parametric and Feature -based CAD/CAM*, John Wiley and Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-00214-3
104. Stunell, P., Mech, M.L., (2003). *FMEA for engineers: how to improve productivity în design and development*. Leyland, UK: Stunell Technology, Available at: <http://www.stunell.com/PDFs/Engineering%20FMEA-Version-2-2.pdf>
105. Suh, N.P. (1990). *The Principles of Design*, Oxford University Press, ISBN 0-19-504345-6.
106. Suh, N.P. (1995). *Designing în of Quality through Axiomatic Design*, în *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 44. No. 2

107. Suh, N.P. (2001). *Axiomatic Design-Advances and Applications*, New York, Oxford University Press, ISBN -13: 978-0-19-513466-7, isbn0-19-513466-4
108. Suh, N.P. (2005). *Complexity: Theory and Applications*, ISBN: 9780195178760, Oxford University Press
109. Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*, UNIPUB/Kraus International, Publications, White Plains, N.Y.
110. Taguchi, G. și Wu, Y. (1986). *Introduction to Off-Line Quality Control*, Central Japan Quality Control Association, Magaya, Japan
111. Taguchi, G. ș.a. (1989). *Quality Engineering în Production, Systems*, McGraw-Hill, New York
112. Taguchi, G. (1993). *Taguchi on Robust Technology Development*, ASME Press, New York
113. Taguchi, G. (1994). *Taguchi Methods, Vol. 1, Research and Development*, Japan Standard, Association and ASI Press
114. Tate, D. (1999). *A Roadmap for Decomposition: Activities, Theories, and Tools for System Design*, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology
115. Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B. (1998). *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving)*, ISBN 1-57444-111-6, Saint Lucie Press, Boca Raton, Florida, USA.
116. Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B. (1996). *Step by Step TRIZ: Creating Innovative Solution Concepts*, 3rd Edition Responsible Management Inc Nottingham, ISBN 1-882382-12-9.
117. Tichkiewitch, S. ș.a. (1995). *Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée*, Congrès international de génie industriel, Montréal
118. Tsourikov, V. M. (1993). *Inventive Machine: Second Generation*, Artificial Intelligence & Society, nr. 7, pp. 62-77
119. Tutelea, L.N., Kim, M. C., Topor, M., Lee, J., Boldea, I. (2008). – “Linear permanent magnet oscillatory machine, comprehensive modeling for transients with validation by experiments”, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 55, no. 2 february, 2008, pp. 492-500, ISSN: 0278-0046 INSPEC Accession Number: 9748423 Digital Object Identifier: 10.1109/TIE.2007.911936
120. Ullman, D.G. (1997). *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-065756-4
121. Ullman, D.G. (2002). *The Mechanical Design Process*, McGraw Hill, ediția a treia, ISBN: 9780072373387
122. Ulrich, K.T. și Eppinger, S.D. (2000). *Product Design and Development*, Second edition, McGraw Hill International Editions
123. VDI-Richtlinie 2225 (1977). *Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*, Dusseldorf:VDI-Verlag
124. Vadcard, P. ș.a. (1995). *Méthodologie de conception de produits: fondements conceptuels des méthodes*. Actes de PRIMECA 95, pp. 305-309, La Plagne
125. Weber, C. ș.a. (2002). *A Different View on PDM and its Future Potentials*, Proceedings of DESIGN'02, Dubrovnik, Croatia
126. Wang, J. (1997). *A fuzzy outranking method for conceptual design evaluation*, *International Journal of Production Research*, 35: 4, 995 – 1010, To link to this

- Article: DOI: 10.1080/002075497195506, URL: <http://dx.doi.org/10.1080/002075497195506>
127. Weil, W. (1992). L'invention d'une voiture: un exercice de relations sociales?, Gérer et comprendre 28-29, Annales des Mines
 128. Yang, K. și El-Haik, B. (2003). Design For Six Sigma - A Roadmap for Product Development, McGraw-Hill, ISBN 0-07-141208-5, DOI: 10.1036/0071435999
 129. Yannou, B. și Petiot, J. F. (2002). Needs, perceptions, functions and products: highlights on promising design methods linking them, Proceedings of IDMME'02, Clermont Ferrand
 130. Zangemeister, Ch. (1970). Nutzwertanalyse în der Systemtechnik. Munchen Wittemannsche Buchhandlung
 131. United States Department of Defense. 'MIL-STD-1629A - Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode, Effects And Criticality Analysis', 24th November, 1980, available at: http://www.goes-r.gov/procurement/antenna_docs/reference/MIL-STD-1629A.pdf
 132. STAS 12689-88 Tehnici de analiză a fiabilității sistemelor. Analiza modurilor de defectare și a efectelor defectărilor
 133. (*) Concurrent engineering, <http://best.me.berkeley.edu/~pps/pps/concurrent.html>
 134. (**) Design Rationale, http://en.wikipedia.org/wiki/Design_Rationale
 135. (***) Value Analysis and Function Analysis System Technique, <http://www.npd-solutions.com/va.html>
 136. (****) The TRIZ Journal, www.triz-journal.com
 137. (*****) TRIZ 40, <http://www.triz40.com/>
 138. (*****) E-learning courses at UHP NANCY; http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/ROMA-002/chap_deux/index.html
 139. (*****) E-learning courses at UHP NANCY; http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/ROMA-002/chap_deux/index.html; E-learning courses at UHP NANCY http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/ROMA-003/chap_deux/cours_2_1.html
 140. TDC Software, <http://www.tdc.fr>
 141. Axiomatic Design Solutions, <http://www.axiomaticdesign.com>
 142. Acclaro DFSS, <http://www.dfss-software.com/default.asp>
 143. NF EN 1325-1, (1996). Vocabulaire du management de valeur, de l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle-Partie 1: analyse de la valeur et analyse fonctionnelle