

1. INTRODUCERE

1.1 Conceptul de „mecatronică”: definiție; modele

Termenul “mecatronică” (MECANică + elecTRONICĂ) a fost conceput în 1969 de un inginer al firmei japoneze Yaskawa Electric și protejat până în 1982 ca marcă a acestei firme. Se referea inițial la complectarea structurilor mecanice din construcția aparatelor cu componente electronice. În prezent termenul definește o știință inginerască interdisciplinară, care, bazându-se pe îmbinarea armonioasă a elementelor din construcția de mașini, electrotehnică și informatică, își propune să îmbunătățească performanțele și funcționalitatea sistemelor tehnice.

Ca și în cazul multor altor domenii de mare complexitate, în literatura de specialitate nu există o definiție unitară a noțiunii de mecatronică. În IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (1996) mecatronica a fost definită astfel: *“Mechatronics is the synergetic integration of mechanical engineering with electronic and intelligent computer control in the design and manufacturing products and processes.”*, în traducere: *“Mecatronică este integrarea sinergetică a ingineriei mecanice cu controlul electronic și cel inteligent cu calculatoare în proiectarea și fabricația produselor și proceselor.”*. Termenul “sinergetică” impune o detaliere. În Mic Dicționar Enciclopedic (Editura Enciclopedică Română, 1972) termenul “sinergie” este definit astfel:

- gr. Synergia (“conlucrare”) s.f. (FIZIOL.) Asociație a mai multor organe sau țesuturi pentru îndeplinirea aceleiași funcțiuni.

Cele mai sugestive reprezentări ale mecatronicii sunt reprezentate prin intersecția a trei sau mai multor cercuri. După modul în care sunt definite zonele de intersecție, există multe modele, unele fiind prezentate în figura 1.1[GIU02].

Modelul din figura 1.2 detaliază conținutul celor 3 cercuri din figura 1.1, a și sintetizează principiile pe baza cărora a fost conceput învățământul de mecatronică la Universitatea „Transilvania” din Brașov: *Studiul mecatronicii și proiectarea și realizarea sistemelor mecatronice trebuie clădite pe cei trei piloni principali: mecanica, electronica, tehnica de calcul, fiecare cu subsistemele și subdomeniile lui principale, iar intersecția acestora conduce la sisteme și produse cu caracteristici remarcabile, superioare unei simple reuniuni a componentelor de diferite tipuri. Acest lucru impune înzestrarea specialistului în mecatronică cu cunoștințe temeinice din domeniul mecanicii, electronicii și tehnicii de calcul, dar și al sistemelor mecatronice, de cele mai diferite tipuri, și al principiilor și etapelor de proiectare și realizare a acestora.*

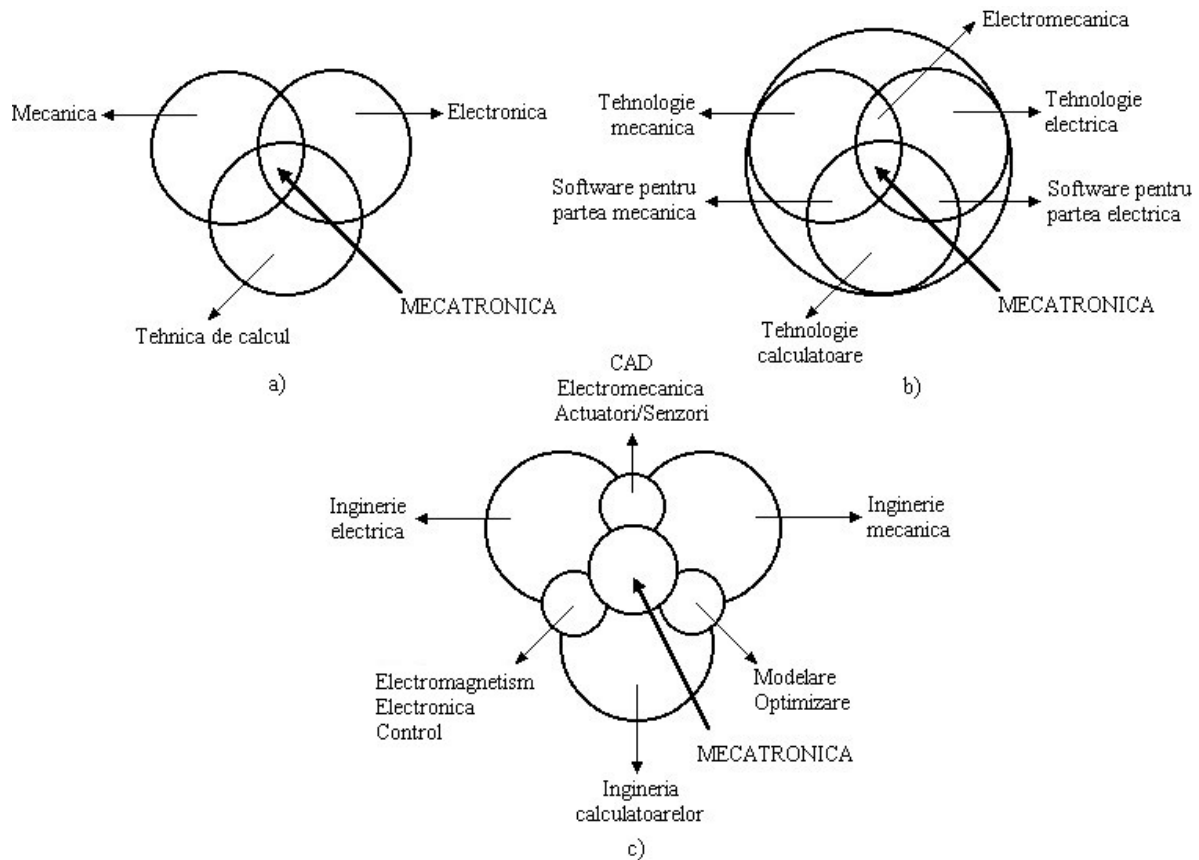


Fig. 1.1 Diagrame pentru ilustrarea noțiunii de mecatronică: a) Conceptul Universității Stanford; b) Conceptul Universității Missouri-Rolla; c) Conceptul Universității Purdue

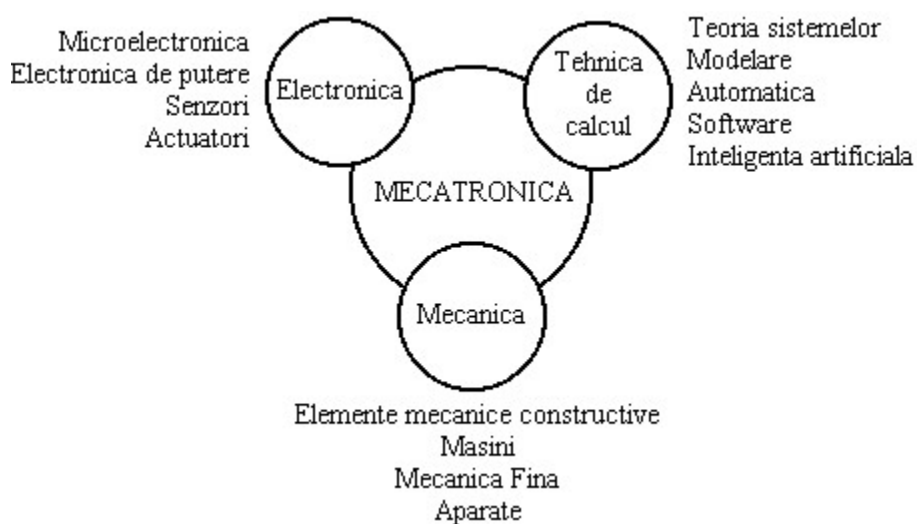


Fig. 1.2 Diagramă cu detalierea subsistemelor

1.2 Evoluția sistemelor tehnice: de la sisteme pur mecanice la sisteme mecatronice

Dezvoltarea mecatronicii și a produselor și tehnologiilor mecatronice reprezintă o etapă logică și concretă în evoluția științei și tehnologiei, iar revelația inginerului de la Yaskawa era inevitabilă, în condițiile în care electronica devenise o componentă care nu mai putea fi separată de sistemele mecanice.

Evoluția omenirii a fost însoțită de o dezvoltare lentă a uneltelor, dispozitivelor și sistemelor create și realizate de om, începând din paleolitic și până în secolul 18, când odată cu inventarea mașinii cu abur (James Watt – 1788), care a marcat începutul revoluției industriale, sistemele tehnice au cunoscut o evoluție rapidă. Mașina cu abur s-a constituit într-una dintre primele borne ale procesului de înlocuire a muncii fizice, prestate de oameni și animale, cu lucrul mecanic efectuat de mașini. Câteva repere importante de-a lungul acestui drum: 1775 - prima mașină orizontală de găurit și alezat țevile de tun (englezul John Wilkinson); 1784 – ciocanul mecanic cu abur; 1795 – presa cu transmisie hidraulică; 1797 – primul strung cu cărucior și păpușă mobilă, acționate de un ax elicoidal; vaporul cu aburi (începutul secolului 19); locomotiva cu aburi (mijlocul secolului 19).

Pe parcursul secolului al 19-lea apar și se dezvoltă motoarele cu ardere internă, ca rezultat al preocupării unor inventatori de geniu de a realiza mijloace de transport rutiere: 1807 – brevet pentru un motor cu un cilindru vertical, cu funcționare cu gaz și cu aprindere cu ajutorul unei scânteii electrice; 1872 – invenția motorului cu benzină și supape laterale – motorul Otto; 1887 – motorul Daimler, cu ardere internă, cu doi cilindri în V, la care aprinderea combustibilului avea loc la fiecare rotație a arborelui (capacitatea cilindrică de 1,5 l; puterea de 7,5 CP);

Caracteristica esențială a sistemelor tehnice de până în jurul anilor 1900 este aceea că acestea erau pur mecanice. Mecanica „pură” a permis realizarea unor adevărate bijuterii tehnice, cum ar fi precursorul genial al calculatorului electronic, reprezentat de mașina de calcul a lui Charles Babbage, sau mașina de scris mecanică; s-au pus însă în evidență și limitele acestor sisteme.

Germeii unei ere noi apar odată cu dezvoltarea motoarelor electrice – motorul de curent continuu în 1870 și cel de curent alternativ în 1889, care au permis, realizarea, la începutul secolului 20, a unor sisteme mecanice cu acționare electrică (pompe, mașini-unelte etc.). Electrotehnica a permis și saltul la realizarea unor sisteme mecanice cu control automat, bazate pe relee electrice, reglatoare PI, amplificatoare electrice, având ca exponenți avioanele, mașinile-unelte, turbinele cu aburi, automobilele (fig.1.3).

Perioada de după cel de-al doilea război mondial este caracterizată prin realizări științifice și străpungeri tehnologice remarcabile: primul calculator electronic numeric în 1945, tranzistorul cu germaniu în 1948, cel cu siliciu în 1952, tiristorul în 1958, primul circuit integrat în 1959, laserul etc.

În 1953 la Massachussets Institute of Technology (M.I.T.) s-a realizat și s-au făcut demonstrații cu o mașină de frezat cu comandă numerică. Ca început al mașinilor unelte cu comandă numerică poate fi considerată utilizarea benzii perforate în războiul de țesut automat (de către Jacquard) și în pianola mecanică cu program. Un rol important în perfecționarea acestor mașini l-a avut utilizarea calculatorului în locul benzii perforate, ajungându-se la comanda numerică, cu ajutorul calculatorului, a mașinilor unelte.

La începutul anilor 1960 sunt realizați și primii roboți industriali. Fabricarea și utilizarea roboților a fost facilitată de rezolvarea anterioară a unor probleme tehnice, indispensabile pentru funcționarea roboților:

- § Problema manipulării pieselor la distanță, cu ajutorul mecanismelor articulate, denumite telemanipulatoare. Dezvoltarea telemanipulatoarelor a fost impusă de necesitatea manipulării materialelor radioactive, extrem de nocive pentru organismele vii, în procesul utilizării energiei nucleare. În 1947 a fost construit primul telemanipulator cu servo-acționare electrică, în care operatorul uman nu controla forța de prindere. În 1948 a fost introdusă legătura inversă (feed-back), realizându-se astfel telemanipulatorul cu „buclă închisă”. Fabricarea manipulatoarelor cu operator uman a implicat rezolvarea unor probleme esențiale pentru proiectarea și realizarea unui robot: modelarea cu ajutorul mecanismelor a mișcărilor brațului și antebrațului omului (mecanisme de poziționare); modelarea cu ajutorul mecanismelor a mișcărilor de orientare specifice încheieturii mâinii omului (mecanisme de orientare); modelarea mișcărilor degetelor mâinii, specifice operațiilor de prindere.
- § Problema automatizării mașinilor unelte prin intermediul comenzii numerice. A permis stăpânirea comenzii incrementale a mișcărilor și a poziționării de mare precizie, prin dezvoltarea de servo-motoare, servo-comenzi și senzori de poziție/deplasare.
- § Problema automatizării calculelor și a controlului cu ajutorul calculatoarelor electronice

Iată câteva repere semnificative în evoluția roboticii:

- § 1961 – instalarea primului robot industrial – UNIMATE la General Motors. Și în următoarele decenii industria automobilului a fost forța motrice pentru producția

roboților industriali. Astfel, în 2002, în Germania erau 120 de roboți la fiecare 10.000 de angajați, dar în industria automobilului proporția era de 1 robot la 10 muncitori productivi.

- § 1963 – Cercetătorii de la Rancho Los Amigos Hospital din California au construit „Rancho Arm” pentru sprijinirea persoanelor handicapate. Avea 6 articulații, dispunea de gradele de mobilitate ale mâinii umane și a deschis drumul spre construirea roboților antropomorfi.
- § Studentul în construcția de mașini, Victor Scheinman, a realizat la Stanford Artificial Intelligence Laboratory, robotul Stanford pentru microchirurgie. Avea 6 grade de mobilitate și era primul robot conceput pentru comanda cu calculatorul. A fost precursorul unor roboți industriali remarcabili, ca PUMA (Programmable Universal Manipulator for Assembly), robotul cu cel mai mare succes de piață până în prezent.
- § 1979 – Robotul mobil Stanford Cart a reușit prima parcurgere a unei incinte mobilate cu scaune. Se baza pe o cameră video, montată pe o sanie, și își stabilea drumul pe bază de grafuri și algoritmi de căutare. Primele mașini mobile reprezentative au fost însă „broaștele țestoase” Elsie și Elmer ale englezului Grey Elmer, în 1950, capabile să identifice o priză electrică și să-și încarce bateriile.
- § 1973 – La Universitatea Waseda din Tokyo a fost realizat primul robot umanoid în mărime naturală – Wabot-1. Japonezii sunt cei mai fervenți susținători ai dezvoltării unor roboți cu aspect umanoid, care să fie acceptați mai ușor ca „parteneri” în servicii, munci casnice, ajutorarea persoanelor handicapate. Exemple semnificative: roboții P3 (Honda) și Asimo (Advanced Step in Innovative Mobility). Acesta din urmă, realizat în 2001, are o înălțime de 1,20 m, o greutate de 43 kg, iar prin modificarea centrului său de greutate se poate deplasa și în curbe.
- § Doi roboți umanoizi renumiți de la M.I.T. – Kismet („Soartă”), are buze de cauciuc, urechi rozalii, care arată ca două șervețele împăturite, ochi mari, în care sunt montate camere miniaturale și poate vedea, auzi și vorbi cu ajutorul unui sintetizator; Cog (Cognition = Cunoaștere), este constituit dintr-un trunchi de robot, care poate prinde obiecte și le poate aduce în dreptul celor doi ochi, materializați prin două camere video.

Câteva dintre realizările din domeniul roboticii par a fi desprinse din science-fiction și ele nu ar fi fost posibile fără dezvoltarea spectaculoasă a tehnicii de calcul și, în special, a microelectronicii, care este un pilon de bază al sistemelor. În finalul acestui paragraf se vor puncta câteva dintre principalele etape ale dezvoltării tehnicii de calcul.

Prelucrarea automată a informațiilor a fost revoluționată de apariția și dezvoltarea calculatoarelor electronice numerice. Prima generație a fost realizată cu tuburi electronice, primul calculator din aceasta generație fiind ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Calculator), construit între 1942-1946 la Universitatea Pennsylvania. A urmat generația a doua, cu tranzistoare, între anii 1950-1960, pentru ca nașterea microelectronicii să genereze salturi revoluționare, marcate de următoarele etape semnificative:

- 1959 - anul de naștere a microelectronicii; primul circuit integrat (TEXAS INSTRUMENTS);
- 1971 - producerea primului microprocesor de 4 biți - INTEL-4004;
- 1974 - apariția microprocesoarelor de 8 biți - INTEL-8080;
- 1978 – producerea primului microcontroller;
- 1981 - primul calculator personal IBM PC-XT;
- 1985 - lansarea sistemelor software AUTOCAD, dBASE III, IV și a unor noi limbaje de programare de nivel superior: PASCAL, C;
- 1986 - limbaje de programare destinate rezolvării problemelor de inteligență artificială: LISP, PROLOG; procesare în limbaj natural;
- 1987- explozie tehnologică în arhitectura hardware → lansarea calculatoarelor echipate cu hard-disk-uri;

Alte etape importante parcurse din 1987 și până în prezent:

- mărirea continuă a capacității de stocare a discurilor hard;
- dezvoltarea tehnicilor de procesare în paralel;
- introducerea discurilor optice read/write;
- utilizarea de microprocesoare din ce în ce mai performante;
- dezvoltarea unor noi sisteme de operare, cu performanțe superioare;
- mărirea capacității memoriei interne;
- creșterea vitezei de prelucrare;
- extinderea posibilităților de lucru în mod grafic etc.

Succinta prezentare a evoluției sistemelor tehnice, de la sisteme pur mecanice la sisteme mecatronice, sintetizată și în figura 1.3, permite evidențierea câtorva concluzii:

§ Integrarea electronicii și a tehnicii de calcul a condus la simplificarea substanțială a componentelor mecanice și la sisteme mai ieftine. Părți mecanice au fost înlocuite cu componente electronice, mai ieftine, mai fiabile și mai ușor de întreținut, întrucât pot facilita auto-diagnoza. Aceste sisteme sunt mai precise, întrucât precizia nu se bazează pe rigiditatea și stabilitatea mecanică, ci pe sisteme electronice de măsurare și reglare. Simplificarea construcției mecanice a fost facilitată și de comanda descentralizată, cu ajutorul microcalculatoarelor, a acționărilor electrice, ca, de exemplu, la mașini de scris, mașini de cusut, manipolatoare cu mai multe cuple.

- § În perspectiva unor construcții mai ușoare, s-au realizat sisteme relativ elastice, cu o amortizare mecanică redusă, dar la care o comandă cu reacție adecvată, bazată pe electronică, senzori și actuatori adecvați, asigură o amortizare electronică. Exemple: roboți elastici, transmisii de putere elastice, macarale uriașe, sisteme hidraulice, conducte și construcții în spațiul cosmic.
- § Introducerea unor sisteme de reglare pentru poziție, viteză, forță etc. permite nu numai menținerea în limite rezonabile de precizie a mărimilor programate, dar și obținerea unei comportări quasi-liniare, chiar dacă sistemul mecanic comandat este neliniar.

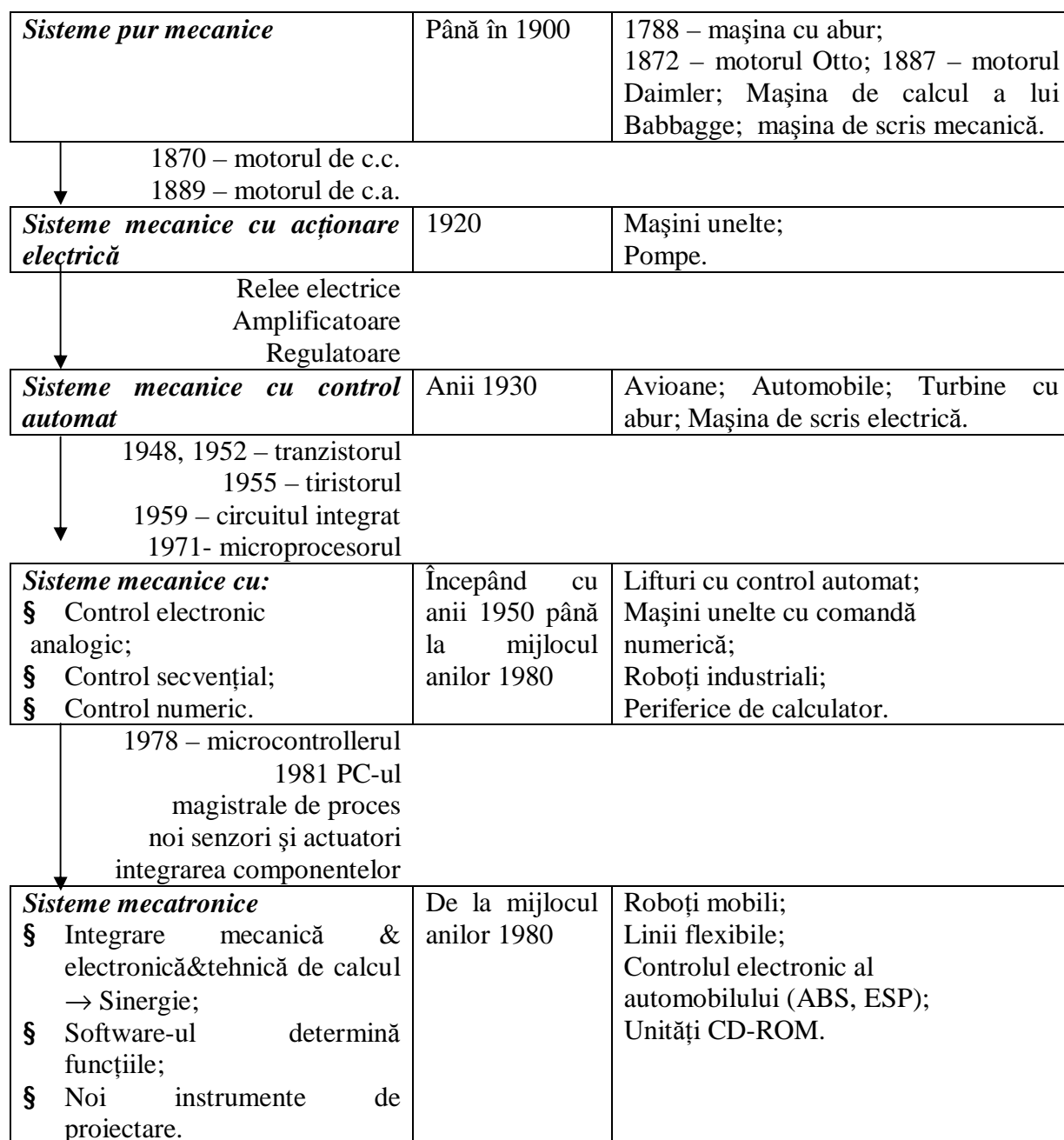


Fig.1.3 Evoluția sistemelor mecanice, electrice și mecatronice

1.3 Clasificarea sistemelor mecatronice

O imagine asupra diversității și complexității domeniilor care sunt incluse în vasta noțiune de “Mecatronică” poate fi furnizată de tematica secțiunilor primei conferințe IFAC (International Conference of Automatic Control) de “Sisteme Mecatronice”, organizată între 18 și 20 septembrie 2000 la Darmstadt (Germania):

- § Secțiunea A – Sisteme mecatronice, incluzând vehicule mecatronice, motoare și mașini mecatronice, trenuri mecatronice și sisteme spațiale mecatronice;
- § Secțiunea B - Componente mecatronice, cu temele actuatori și dispozitive mecatronice și lagăre magnetice;
- § Secțiunea C – Roboți și mașini pășitoare, cuprinzând roboți mecatronici, sisteme robotice mobile, mașini pășitoare;
- § Secțiunea D – Proiectarea sistemelor mecatronice – a avut ca centre de greutate: modelarea și identificarea; instrumente software; simularea în timp real și hardware-in-the-loop;
- § Secțiunea E – Controlul automat al sistemelor mecatronice, s-a concentrat asupra metodelor de control, a controlului mișcării și vibrațiilor și a sistemelor mecatronice pentru detectarea și diagnosticarea erorilor.

Conceptul de sistem mecatronic

Un sistem mecatronic este un sistem tehnic care integrează, într-o configurație flexibilă, componente mecanice, electronice și de comandă cu sisteme numerice de calcul, pentru generarea unui control inteligent al mișcărilor, în vederea obținerii unei multitudini de funcții. Diagrama bloc a unui sistem mecatronic este prezentată în fig. 1.4.

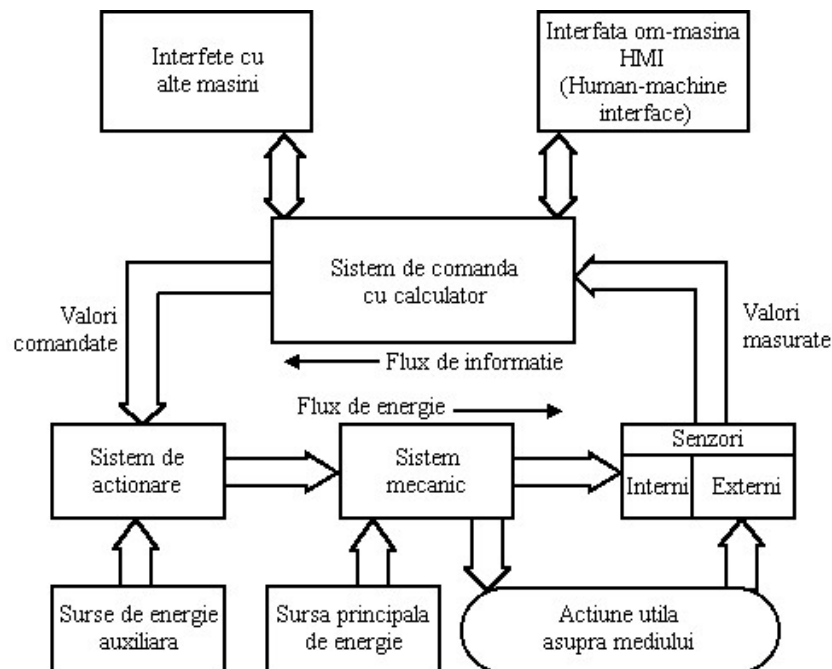


Fig.1.4 Diagrama bloc a unui sistem mecatronic

Care sunt cuvintele cheie în mecatronică? [DUM03a].

§ **Integrare**

- **Integrare spațială** prin întrepătrunderea constructivă a subsistemelor mecanice, electronice și de comandă;
- **Integrare funcțională**, asigurată prin software.

§ **Inteligență**, raportată la funcțiile de control ale sistemului mecatronic și caracterizată printr-o comportare adaptivă, bazată pe percepție, raționament, autoînvățare, diagnosticarea erorilor și reconfigurarea sistemului (comutarea pe module intacte în cazul unor defecțiuni) etc.

§ **Flexibilitate**, caracterizată de ușurința cu care sistemul poate fi adaptat, sau se poate adapta singur, la un nou mediu, pe parcursul ciclului său de funcționare; implică schimbarea adecvată a programelor de control (software) și nu a structurii sale mecanice sau electrice (hardware).

Fără îndoială că pot fi luate în considerare multiple criterii pentru clasificarea sistemelor mecatronice, iar câteva dintre cele mai interesante, vor fi prezentate în continuare.

În [ISE96] clasificarea se bazează pe sistemele mecanice, care constituie suportul pentru configurarea unei structuri mecatronice:

- § *Componente mecanice* (incluzând componente mecanice de bază – lagăre, ghidaje, cuplaje, angrenaje etc. și componente pentru generarea forțelor și mișcărilor – lanțuri cinematice, lanțuri de acționare, componente hidraulice/pneumatice, componente electromecanice etc.);
- § *Mașini* (incluzând mașini generatoare de energie – electromotoare, motoare cu combustie internă, turbine etc.) și mașini consumatoare de energie – mașini-unelte, utilaje tehnologice, mașini agricole);
- § *Vehicule* (automobile, trenuri, vapoare, avioane, navete spațiale);
- § *Produse ale mecanicii fine* (incluzând componente mecanice de precizie – lagăre, ghidaje, lanțuri cinematice și de acționare, comutatoare, relee, senzori, actuatori și dispozitive de mecanică fină – înregistratoare, imprimante, dispozitive de comunicație, aparatură electrocasnică, aparatură optică, aparatură medicală);
- § *Produse ale micro-mecanicii* (incluzând componente micro-mecanice - lagăre, ghidaje, lanțuri cinematice și de acționare și sisteme micro-mecanice – senzori, actuatori, motoare, pompe).

Prin adăugarea și integrarea componentelor electronice și de comandă cu sisteme de calcul la/în aceste structuri mecanice se obțin sisteme mecatronice corespunzătoare, care pot fi clasificate în:

- § Componente mecatronice;
- § Mașini mecatronice;
- § Vehicule mecatronice;
- § Mecatronică de precizie;

§ Micro-mecatronică.

O altă clasificare (fig.1.5), propusă în [LYS02], împarte sistemele mecatronice în:

§ Sisteme mecatronice convenționale;

§ Sisteme micro-mecatronice;

§ Sisteme nano-mecatronice.

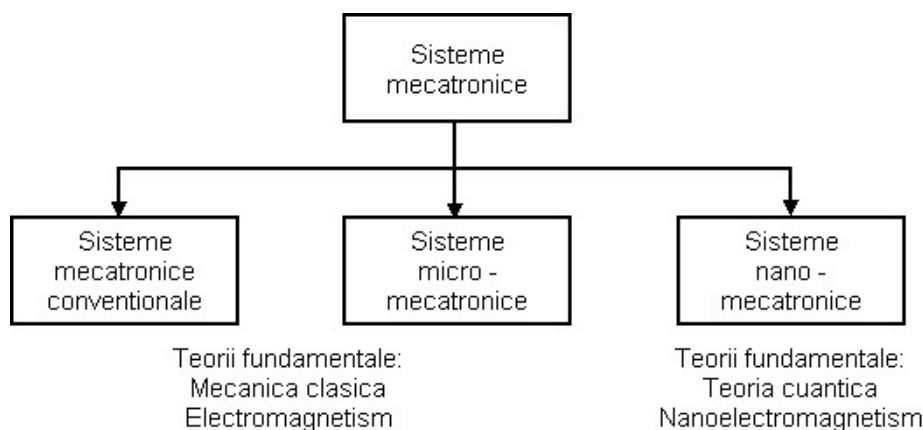


Fig. 1.5 Variantă de clasificare a sistemelor mecatronice [LYS02]

Presupunând că prima categorie acoperă primele patru grupe ale clasificării prezentate mai sus, se observă că în această a doua clasificare apare o clasă nouă de sisteme mecatronice, respectiv sistemele nano-mecatronice. Dacă principiile de operare și teoriile fundamentale sunt aceleași pentru sistemele mecatronice convenționale și sistemele micro-mecatronice, respectiv mecanica clasică și electromagnetismul, sistemele nano-mecatronice sunt studiate cu ajutorul unor concepte și teorii diferite, cum ar fi mecanica cuantică și nano-electromecanica.

O a treia clasificare prezentată în acest paragraf [RZE03], analizează sistemele mecatronice din punct de vedere al caracteristicilor lor comportamentale, și le împarte în:

§ Sisteme mecatronice automate;

§ Sisteme mecatronice inteligente;

§ Rețele mecatronice inteligente.

Sistemele mecatronice automate sunt capabile să manevreze materiale și energie, comunicând cu mediul înconjurător și au capacitatea de auto-reglare, care le permite să reacționeze la schimbări previzibile ale mediului într-un mod programat anterior. Marea majoritate a sistemelor mecatronice aparțin acestei categorii.

Sistemele mecatronice inteligente sunt capabile să realizeze un scop impus în condiții de incertitudine. Spre deosebire de sistemele automate, care sunt programate pentru a se comporta într-un mod dorit și sunt, în consecință, previzibile, sistemele inteligente

pot atinge un scop specificat într-un mod imprevizibil. Ele sunt înzestrate cu un înalt nivel de flexibilitate, fiind capabile să răspundă la schimbări frecvente ale mediului, fără a fi necesară o reprogramare a lor. Această diferență calitativă în comportament este determinată de separarea bazei de cunoștințe (knowledge base) de motorul de rezolvare a problemei (inference engine), concept de bază în inteligența artificială. Exemple de astfel de sisteme sunt mașinile-unelte inteligente, roboții inteligenți, vehicule cu ghidare autonomă, avioane fără pilot, rachete auto-ghidate, compresoare inteligente cu geometrie variabilă.

Atât sistemele mecatronice automate, cât și cele inteligente, pot fi incluse într-una din grupele celor două clasificări precedente, în funcție de specificul lor.

O nouă și interesantă grupă propusă în [RZE03] este cea a unor rețele de sisteme inteligente, interconectate mutual, sau *rețele mecatronice inteligente*. Aceste rețele sunt capabile să decidă asupra comportamentului lor prin negocieri între unitățile componente autonome (nodurile rețelei). Fiecare componentă este un sistem mecatronic inteligent. Semnificativă este pentru acest fel de rețele capacitatea fiecărei unități de a-și îmbunătăți performanțele prin auto-organizare (modificarea relațiilor dintre unitățile componente, în scopul îmbunătățirii performanțelor globale ale sistemului). Cele mai evaluate rețele sunt supuse unui continuu proces de evoluție (prin deconectarea și eliminarea unităților mai puțin utile și conectarea unor noi unități cu efecte benefice pentru scopurile urmărite de rețea).

Flotile de avioane fără pilot, colonii de mașini agricole inteligente, sisteme de fabricație inteligente (de exemplu, holonice), echipe de roboți militari, de salvare sau de jocuri sportive, sunt exemple semnificative pentru astfel de rețele.

O ultimă clasificare are la bază domeniile în care sunt utilizate sistemele mecatronice (tabelele 1.1 - 1.3).

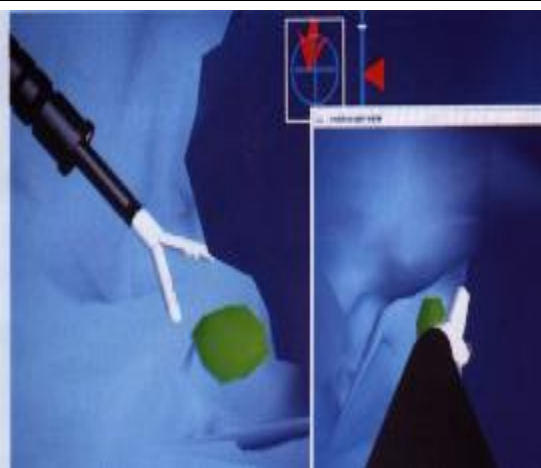
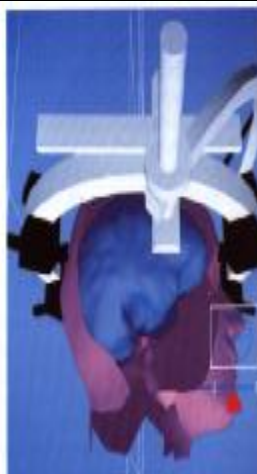
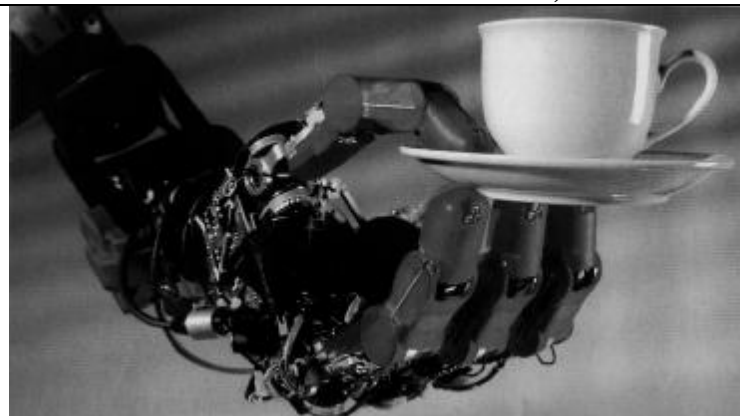
Se regăsesc, grupate după un alt criteriu – cel al domeniului de utilizare – multe dintre sistemele mecatronice care au fost menționate cu ocazia prezentării criteriilor de clasificare precedente. *Ceea ce se poate deduce din examinarea tabelelor 1.1, 1.3, care sunt oricum selective și incomplete, este faptul că nu există nici un domeniu al vieții economice și sociale în care sistemele mecatronice să nu aibă un rol predominant, iar acest rol crește continuu.*

Mulți oameni au o imagine relativ clară despre rolul acestora: în industrie, reprezentat de roboți, mașini unelte cu comandă numerică, sisteme flexibile, sisteme complexe de măsurare și control, magazii automate etc.; în vehicule civile și militare: automobile, trenuri de mare viteză, avioane, rachete etc., dar mai puțini, poate, intuiesc rolul acestora în agricultură. În tabelul 1.2 sunt enumerate: mașini agricole autonome, roboți agricoli, sisteme pentru irigații comandate de calculator, dar rolul mecatronicii în agricultură este mult mai amplu. Fermele moderne, de mare productivitate, presupun împânzirea terenului agricol cu o multitudine de senzori, receptați prin satelit (GPS), care furnizează date despre umiditatea din sol, despre conținutul în substanțe nutritive etc, pe baza cărora se realizează irigarea și distribuția automată a îngrășămintelor.

Tabel 1.1

I. ÎN INDUSTRIE	
	
	
<ul style="list-style-type: none"> • Lagăre magnetice; • Elemente constructive ale mașinilor, cu electronică integrată; • Sisteme de injecție electronice ; • Sisteme automate pentru comanda vehiculelor; • Mașini unelte cu comandă numerică; • Roboți industriali; • Roboți mobili și pășitori, de diferite tipuri și configurații; • Vehicule cu ghidare automată; • Avioane militare autonome; • Rachete autoghidate; • Sisteme pentru condiționarea aerului; • Imprimante laser și plottere; • Sisteme pentru citirea/scrierea informației etc. 	

Tabel 1.2

II. ÎN AGRICULTURĂ, MEDICINĂ, BIOMECHANICĂ**În agricultură**

- Roboți agricoli;
- Roboți pentru industria alimentară;
- Mașini agricole autonome;
- Sisteme pentru irigații comandate prin calculator;

În medicină și biomecanică

- Roboți medicali;
- Organe artificiale;
- Dispozitive chirurgicale;
- Aparate pentru investigații medicale complexe etc.

Tabel 1.3

III. PENTRU UZ GENERAL
<ul style="list-style-type: none"> • Camere foto și video; • Aparatură video;

<ul style="list-style-type: none"> • Antene TV cu poziționare automată; • Automate comerciale și bancare; • O gamă largă de aparatură electro-casnică “inteligentă “: <ul style="list-style-type: none"> - mașini de spălat; - mașini de cusut; - roboți pentru servicii etc.

IV. ÎN CONSTRUCȚII
<ul style="list-style-type: none"> • Roboți pentru construcții; • Sisteme de securitate automate • Automatizarea locuințelor și a clădirilor etc.
V. PRODUSE MICRO-MECATRONICE
<ul style="list-style-type: none"> • Micro-Mechanic-Electro-Systems (MEMS); • Micro-actuatori; • Micro-senzori; • Microsisteme etc.

1.4 Considerații privind proiectarea sistemelor mecatronice

Este un fapt evident, că produsele mecatronice prezentate în tabelele 1.1÷1.3 sunt prea complexe, pentru a fi proiectate de o singură persoană, sau de un număr mare de persoane, de diferite specializări, în măsura în care acestea nu lucrează în echipă.

Varianta de proiectare clasică, anterioară filozofiei mecatronice, presupunea proiectarea unui produs, având o funcție mecanică (de execuție de mișcări sau transmitere de forțe) și înzestrat cu componente electrice și electronice și un sistem de control, în mai multe etape succesive (fig.1.6):

- § într-o primă etapă, ingineri mecanici proiectau structura mecanică de bază;
- § în a doua fază a proiectării, inginerii de profil electric și electronic complectau această structură cu senzorii și actuatorii necesari;
- § ultima etapă era realizată de ingineri automatiști, al căror rol consta în implementarea unei structuri de control și a unui algoritm adecvat funcționării întregului ansamblu.

Această filozofie, utilizată în proiectarea unor produse complexe, a condus nu numai la soluții scumpe și ineficiente, dar a generat și multe efecte dezastruoase.

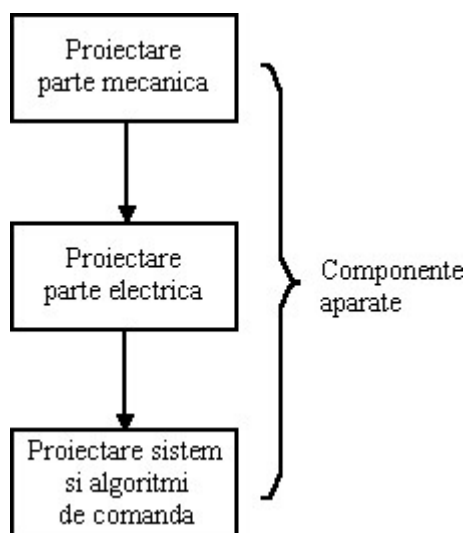


Fig.1.6 Modelul proiectării clasice (secvențiale)

Prin contrast, mecatronica are la bază principiile ingineriei concurente, impunând, încă din momentul demarării proiectării unui produs, munca într-o echipă, care include atât ingineri de diferite specializări, cât și reprezentanți ai compartimentelor de fabricație, marketing, din domeniul financiar etc. Colaborarea permanentă pe parcursul proiectării este esențială, întrucât sistemul mecanic influențează sistemul electronic, și invers, sistemul electronic are un rol important în proiectarea unei structuri mecanice adecvate. Obținerea efectelor sinergetice poate fi realizată numai prin inginerie simultană (fig.1.7).

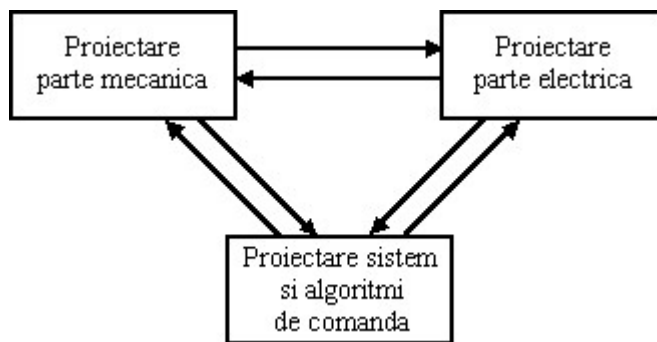


Fig. 1.7 Modelul proiectării simultane (concurrente)

Vor fi prezentate și comentate două puncte de vedere privind etape și principii de proiectare a sistemelor mecatronice, aparținând unor personalități de prestigiu din Europa, cu rezultate remarcabile în proiectarea, realizarea și testarea de produse mecatronice.

Conform cu [ISE99] etapele proiectării unui sistem mecatronic sunt sintetizate în figura 1.8. Etapele specifice sistemelor mecatronice sunt listate cu litere cursive.

Câteva aspecte importante, care trebuie avute în vedere de proiectanții de sisteme mecatronice, sunt sintetizate în [ISE96]. Succesiunea etapelor de proiectare din figura 1.8 este comentată și argumentată în [ISE99]:

1. Funcții ale sistemului mecatronic

- § Proiectarea sistemului mecanic de bază: simplificare;
- § Împărțirea funcțiilor între mecanică și electronică;
- § Performanțe în funcționare: precizie, domenii mari de lucru, funcționarea în apropierea limitelor extreme;
- § Funcții noi: controlul mărimilor care nu pot fi măsurate, generarea unor comportamente dinamice speciale, sisteme adaptive, detectarea timpurie a erorilor în funcționare și diagnosticarea erorilor;
- § Vehicule „drive-by-wire”, avioane „fly-by-wire”: tolerante la erori, componente redundante, proprietăți influențate de software;
- § Noi senzori (micro-mecatronică), senzori inteligenți;
- § Noi actuatori: electro-mecanici, piezo-electrici, electro-reologici.

2. Forme de integrare

- § Integarea componentelor (integrearea hardware, integrarea senzorilor, actuatorilor și a microelectronicii în structura mecanică a sistemului);
- § Integrarea prin procesarea informației (integrearea software, bazată pe cunoașterea modelului și a procesului, metode algoritmice).

3. Componente electronice

- § Lanț de prelucrare a informației: senzori → microcalculatoare → actuatori;
- § Microelectronică „dedicată” (embedded);
- § Microprocesoare, microcontrollere, DSP-uri, ASIC;
- § Magistrale și protocoale de comunicație: CAN-, PROFIBUS, SERCOS-Bus;

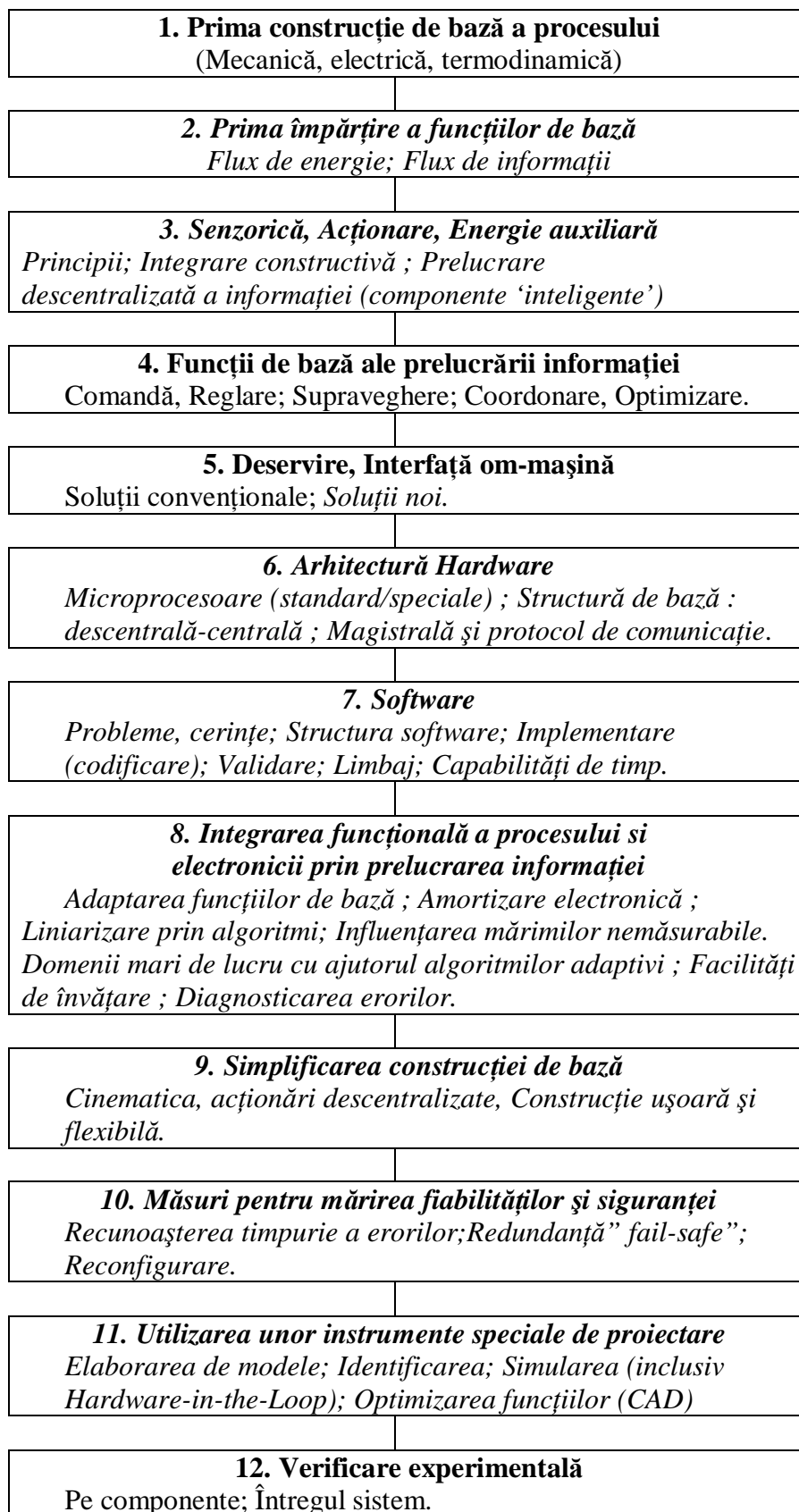


Fig.1.8 Etapele proiectării unui sistem mecatronic [ISE99]

- § Structuri redundante: arhitecturi duble și triple pentru funcțiile critice pentru siguranța sistemului.
- 4. Operare: noi interfețe om-mașină
 - § Pedale electronice sau manete cu reacție haptică;
 - § Tele-manipulare;
 - § Noi tipuri de sisteme de afișare.
- 5. Metode de proiectare
 - § Instrumente software pentru modelare și simulare;
 - § Instrumente software pentru proiectarea și construcția sistemelor mecanice și electronice;
 - § Simulare în timp real (simulare „hardware-in-the-loop”, prototipare a controlului).
- 6. Efecte sinergetice
 - § Noi efecte prin integrarea hardware și software;
 - § Reducerea componentelor mecanice, prin îmbinarea componentelor mecanice și electronice.

Una dintre cele mai provocatoare probleme în proiectarea sistemelor mecatronice este aceea a elaborării arhitecturii sistemului, respectiv a alegerii componentelor hardware (actuatori, senzori, electronică de putere, circuite integrate (ICs – Integrated Circuits), microcontrollere, DSP-uri) și a modulelor software (algoritmii pentru realizarea percepției și controlului, fluxul de informație și achiziția datelor, simularea, vizualizarea și prototiparea virtuală).

Principalele diferențe de abordare a proiectării sistemelor convenționale și a celor mecatronice sunt sintetizate în tabelul 1.4.

Tabel 1.4 Diferențe principale între proiectarea convențională și cea mecatronică

Proiectare convențională	Proiectare mecatronică
Componente separate și, în consecință, sisteme mecanice complexe	Sisteme integrate, cu preluarea unor funcții mecanice de către electronică și software
Precizie realizată prin toleranțe foarte strânse	Precizie realizată prin măsurare și bucle de reacție
Construcție rigidă	Construcție elastică și ușoară
Probleme de cablare	Utilizarea magistralelor, de exemplu CAN-Bus
Mișcare comandată	Mișcare programată
Mărimile care nu pot fi măsurate nu pot fi influențate	Calculul și reglarea mărimilor care nu pot fi măsurate
Supraveghere simplă, bazată pe valori limită	Supraveghere prin diagnoza erorilor

Extrem de utile pot fi pentru specialiști și principiile privind proiectarea conceptuală, prezentate în [RZE03]. Articolul se referă, în principal, la sisteme mecatronice

inteligente și rețele de sisteme mecatronice inteligente (vezi secțiunea 1.3), dar conține câteva principii foarte interesante privind proiectarea conceptuală, care pot fi de un real folos pentru proiectanți.

Conform [RZE03], *programarea conceptuală este o fază inițială a proiectării*, în care proiectanții selectează conceptele care vor fi utilizate în rezolvarea unei anumite probleme și decid cum să interconecteze aceste concepte într-o arhitectură adecvată a sistemului. Iată sinteza principalelor reguli aferente programării conceptuale:

- § Unul dintre cele mai importante secrete ale unei proiectări reușite constă în păstrarea deschisă, cât mai mult timp posibil, a opțiunilor de proiectare. La începutul fiecărui proces de proiectare există o varietate mare de candidați la soluționarea problemei respective și multă incertitudine privind cea mai potrivită soluție. Această situație este mai acută în cazul sistemelor pentru care specificațiile utilizatorului sunt foarte vagi, sau care au o dinamică înaltă. Regula de bază constă în reducerea incertitudinii în mod gradual, pas cu pas, evitându-se ancorarea de o soluție de proiectare particulară, atât timp cât nu este strict necesar. O modalitate de a păstra deschise opțiunile, legate de soluțiile problemei, este oferită de amânarea selectării componentelor fizice până după selectarea conceptelor privind rezolvarea proiectului, interconectarea acestora într-un sistem de concepte adecvat și validarea proiectării conceptuale. Un rezultat important al acestei etape este reprezentat de o diagramă, denumită *arhitectura sistemului*, care sintetizează legăturile dintre blocurile conceptuale.
- § Pe parcursul proiectării conceptuale a sistemelor mecatronice principala alegere privind arhitectura trebuie făcută între un sistem ierarhic și cel de tipul unei rețele. Conform legii lui Metcalf, valoarea unei rețele este egală cu pătratul numărului de noduri, crescând polinomial, în timp ce valoarea unui sistem ierarhic crește liniar, odată cu mărirea numărului de noduri. Un alt argument, care recomandă o rețea față de un sistem ierarhic, este acela că un sistem în care decizia este distribuită în noduri, este mai aproape de senzori și actuatori și poate reacționa mult mai rapid decât un sistem centralizat, cu un drum și interval mai lung între raportarea unui eveniment și recepționarea deciziei. Concluzia este valabilă și pentru rețele constituite din oameni.
- § Altă regulă de bază a fost și este cea a *utilizării ingineriei concurente*, în detrimentul proiectării clasice, succesive, și a mai fost tratată în acest paragraf.

Autorul articolului prezintă câteva exemple de proiectare conceptuală, bazate pe experiența personală (o mașină-unealtă inteligentă, un compresor inteligent cu geometrie variabilă), dar și un studiu de caz, foarte interesant, privind eșecul proiectării unui sistem mecatronic foarte complex, reprezentat de o navă de război, comandată cu sisteme numerice sofisticate. Proiectarea s-a realizat separat pentru cele trei sisteme mecatronice componente: nava, cu sistemele ei de propulsie, sistemul de comunicație și sistemul de rachete, dar nava nu a putut să realizeze misiunea ei de bază, constând în lansarea cu maximă precizie a rachetelor, fără o sincronizare adecvată cu mișcările navei și sistemul de comunicație și au fost necesari mai mulți ani pentru remedierea deficiențelor. Principalele erori de proiectare au constat în:

- § Proiectarea separată a celor trei componente mecatronice și a sistemului lor de control;
- § Ignorarea condițiilor extrem de imprevizibile și volatile de operare a navei pe mare, în condiții de război, care ar fi impus o soluție cu control inteligent, distribuit, în locul unei comenzi centralizate.

Metodele și principiile de proiectare, prezentate mai sus, sunt foarte importante, dar abilitățile și competențele de proiectare și realizare a sistemelor mecatronice se câștigă prin lucrul în echipă pentru rezolvarea de proiecte concrete. Japonezii nu sunt numai promotorii conceptului de mecatronică, dar și maeștrii ai proiectării concurente și ai integrării, fapt dovedit de înalta calitate și competitivitate a produselor lor. În companiile japoneze mari, ca Toshiba, Hitachi, Canon, Fujitsu etc., care au un portofoliu de produse foarte larg și își motivează specialiștii pentru a rămâne în cadrul firmei, fiecare inginer proiectant este repartizat, succesiv, la un anumit număr de proiecte, care pot fi din domenii dintre cele mai deosebite. De exemplu, un inginer poate lucra, în ordine cronologică, în echipe care proiectează un reactor chimic, componente ale unui automobil sau noi tipuri de memorii optice pentru calculatoare. El va dobândi competențe deosebite în domeniul mecatronicii, fiind apt, la rândul lui, să coordoneze echipe de proiectanți.

1.5 Dezvoltarea educației în domeniul mecatronicii

Primul program de educație mecatronică în inginerie a fost elaborat în 1978 la Universitatea Toyohashi din Japonia, de către profesorul K. Yamazaky. Mai bine de un deceniu japonezii au scris despre mecatronică numai în limba maternă. Prima lucrare în engleză, legată de tehnologia și educația mecatronică a fost susținută în 1984, de profesorul Yamazaky, la o conferință internațională pe probleme de educație tehnologică în inginerie, desfășurată în Germania. Intensificarea vizitelor universitarilor europeni în Japonia, după 1980, au creat premisele introducerii de cursuri de mecatronică și a înființării de specializări de mecatronică la universități de prestigiu din Germania, Marea Britanie, Belgia, Finlanda, Elveția, Olanda etc. În martie 1986 Comitetul Consultativ pentru Cercetare și Dezvoltare al Comunității Europene afirmă că: „*mecatronică este o nevoie majoră pentru cercetarea europeană și pentru programele educaționale*”.

Câteva repere cronologice semnificative ale dezvoltării educației mecatronice în Europa, sunt sintetizate în [MĂT03], având la bază o amplă documentare. Iată unele dintre ele:

Belgia: În 1980 a fost înființat, prin eforturile profesorului Hendrik Van Brussel, Institutul de Mecatronică la Universitatea Catolică din Leuven, considerat drept poarta de intrare a mecatronicii în Comunitatea Europeană.

Marea Britanie: În 1984 a fost înființat Consiliul pentru Educație Tehnologică și Afaceri (BTEC), care a elaborat un Program Național de Educație Mecatronică. În 1990 a fost recunoscut oficial „U.K. Mechatronics Forum”, care organizează conferințe internaționale bienale de mecatronică, în colaborare cu parteneri externi. Tot

în 1990, sub egida Consiliului pentru Știință și Cercetare în Inginerie (SERC), a fost înființat Centrul de Cercetare și Proiectare în Mecatronică la Universitatea din Lancaster.

Elveția: În 1988 s-a înființat Centrul de Cercetare în Mecatronică la Institutul Federal de Tehnologie din Zürich. În 2003 Elveția a găzduit Olimpiada Internațională de Mecatronică.

Finlanda: În 1985 s-au înființat specializările de mecatronică la universitățile din Tampere, Helsinki și Oulu. În anul 1987 a fost lansat Programul Național de Educație Mecatronică, care include obiective clare pentru învățământ, cercetare și producție și este unul dintre cele mai pragmatice programe de acest tip din Europa.

Olanda: În 1989 guvernul olandez a înființat Centrul de Cercetare în Mecatronică la Universitatea din Twente.

Franța: După 1990 au fost înființate mai multe Institute de Mecatronică. S-au impus, prin rezultatele obținute pe plan internațional cele din Besançon și Clermont-Ferrand. Institutul de Mecatronică din Besançon a inițiat congresele Franța-Japonia de mecatronică.

În acest subcapitol se vor prezenta câteva detalii privind modul în care este realizată educația mecatronică în S.U.A., Germania și România.

Inițiativele și programele elaborate la nivelul universităților din S.U.A., coordonate de către Fundația Națională pentru Știință, sunt prezentate pe larg în lucrările [ALC95], [CRA02], [DUR95], [GIU02], [HAR02], [KEY95], [LUE02], [LYS02], [MCN95], [NAG02], [UME95], [UME02], [WRI02]. O atenție deosebită este acordată și educației mecatronice în învățământul liceal. Lista universităților în care se predă mecatronica cuprinde cele mai prestigioase instituții de învățământ superior tehnic americane, care au un impact uriaș în lume în proiectarea și dezvoltarea de produse mecatronice.

Specificul instruirii academice în domeniul mecatronicii constă în aceea că, prin intermediul unui grup restrâns de cursuri, alese în mod adecvat de fiecare universitate, studenții de profil mecanic (dar și electric) dobândesc competențele necesare cunoașterii și proiectării sistemelor mecatronice. Cele mai multe cursuri au un pronunțat caracter aplicativ, cu o focalizare pe activitățile de laborator și proiect.

Un accent deosebit este pus în multe dintre aceste cursuri pe însușirea noțiunilor legate de arhitectura, programarea și utilizarea procesoarelor numerice în comanda sistemelor mecatronice. În [DUR95], [MCN95], [UME95], [UME02] sunt descrise astfel de cursuri, care au ca principale teme: aritmetica procesoarelor numerice, arhitectura microprocesoarelor și microcontrollerelor, funcții de I/E (intrări/ieșiri), funcții de temporizare/numărare, conversia analog-numerică, comunicația serială, sistemul de lucru în întreruperi, procesarea în timp real, programarea în limbaj de asamblare și limbaj C a procesoarelor numerice etc. Unele cursuri includ și noțiuni despre senzori, motoare pas cu pas, servomotoare de curent continuu.

Lucrările de laborator au o pondere mare și se desfășoară pe stații de lucru, fiecare având în componență un PC, o placă de dezvoltare cu microcontroller, instrumentație de măsură și analiză adecvată (osciloscop, multimetru, numărător de impulsuri etc.), și senzori și actuatori pentru dezvoltarea de aplicații. Multe dintre universități utilizează plăcile de dezvoltare Motorola 68HC11, puse la dispoziție, la prețuri promoționale, de firma Motorola și echipate cu microcontrollere de 8 biți, 68HC11. Este și motivul pentru care mulți roboți mobili, produși și comercializați pentru diferite scopuri (uz didactic, jocuri, servicii), sunt comandați cu acest tip de microcontroller, începutul fiind făcut la M.I.T. cu robotul Rug Warrior.

Semnificativă pentru spiritul pragmatic și eficient al învățământului universitar american este ancorarea studiului în proiecte concrete, care presupun realizarea unor produse mecatronice; unele dintre acestea au fost patentate și au intrat în producție de serie. Foarte apreciate sunt competițiile între studenți, care au ca scop realizarea de roboți mobili, capabili să urmărească o traiectorie impusă, să identifice și să evite obstacole și capcane, să introducă obiecte în decupări ale mesei de lucru etc. Iată câteva exemple de proiecte finalizate de studenți:

La Georgia Tech [UME95], [UME02]:

- Panou solar comandat cu microprocesor;
- Controlul numeric al traiectoriei unui automobil;
- Platformă pentru testări fiziologice la efort;
- Vehicul autonom, capabil să ocolească obstacole;
- Sistem de securitate a incintelor;
- Controlul prin radio al unui avion fără pilot;
- Operarea la distanță a unei locuințe;
- Robot comandat prin sistem de vedere artificială.

La Colorado State University [ALC95]:

- Scanner laser pentru digitalizarea suprafețelor tridimensionale;
- Robot cilindric cu facilități de orientare vizuală;
- Sistem acustic pentru investigarea perimetrului unei încăperi.

La Kettering University [HAR02]:

- Mecanism pentru prinderea și măsurarea dimensiunii unui obiect;
- Vehicul mobil.

În ceea ce privește Europa, se vor prezenta detalii numai despre învățământul de mecatronică din Germania, datorită amplului material bibliografic avut la dispoziție, prin investigarea paginilor de Internet ale universităților, prin vizite reciproce și schimburi de studenți. Trebuie spus că majoritatea instituțiilor de învățământ superior cu profil tehnic, sau care au facultăți de inginerie au introdus, mai devreme sau mai târziu, studiul mecatronicii (unele începând chiar cu anul universitar 2004/2005). Este o dovadă a faptului că mecatronica este considerată o componentă esențială a reformei în învățământ și a competitivității în competiția economică mondială. După cum rezultă din tabelul 1.5, soluțiile adoptate de universități sunt diferite: unele au specializări distincte de mecatronică, altele au cursuri de masterat în mecatronică, iar

altele specializări, distincte sau comune, pentru inginerii de profil mecanic, electric și informatic.

Tabel 1.5 Studiul mecatronicii la universități din Germania

Nr. crt.	Denumirea instituției de învățământ superior	Durata studiilor (ani)	Denumirea specializării	Observații
0	1	3	4	
1.	Fachhochschule Bochum http://www.fh-bochum.de	4	MECHATRONIK CU 3 DIRECȚII DE APROFUNDARE	LICENȚĂ
2.	Universität Carolo-Wilhelmina Braunschweig http://www.tu-braunschweig.de		MECHATRONIK	Specializare comună pentru Maschinenbau și Elektrotechnik
3.	Technische Universität Chemnitz http://www.tu-chemnitz.de	5	MIKROTECHNIK/ MECHATRONIK	Diplom-Ingenieur
4.	Technische Universität Darmstadt http://www.tu-darmstadt.de	5	MECHATRONIK	Specializare comună pentru Maschinenbau și Elektrotechnik
5.	Technische Universität Dresden http://www.tu-dresden.de	3	MECHATRONIK	BACHELOR
6.	Universität Duisburg- Essen http://www.uni-duisburg.de	5	MECHATRONIK	Specializare în Mechanical Engineering
7.	Universität Hannover http://www.uni-hannover.de	2+3	MECHATRONIK	Specializare în Maschinenbau
8.	Techische Universität Ilmenau http://www.tu-ilmenau.de	5	MECHATRONIK	DIPL.-ING.
9.	Universität Kaiserslautern http://www.uni-kl.de	5	MECHATRONIK	DIPL.-ING.
10.	Universität Karlsruhe http://www.uni-karlsruhe.de	5	MECHATRONIK	DIPL.-ING.

11.	Fachhochschule Köln http://www.fh-koeln.de	2	MECHATRONIK	MASTERSTUDIEN- GANG
12.	Technische Universität München http://www.tu-muenchen.de	5	MECHATRONIK	Specializare În Maschinenbau
13.	Universität des Saarlandes http://www.uni-saarland.de	5	MECHATRONIK	DIPL.-ING.
14.	Fachhochschule Brandenburg	3	MECHATRONIK	B.ENG.
15.	Fachhochschule Esslingen	3	MECHATRONIK	B.ENG.
16.	Fachhochschule Heilbronn	3	MECHATRONIK	B.ENG.

Informații detaliate despre planurile de învățământ și programele analitice pot fi găsite, apelând paginile WEB ale universităților. Succint vor fi prezentate câteva moduri de abordare a studiului mecatronicii în Germania.

La Fachhochschule Bochum [FH-Bochum], studiul mecatronicii este organizat pe parcursul a 8 semestre și presupune un trunchi comun, de-a lungul primelor 4 semestre, după care se desparte pe 3 direcții de aprofundare: tehnica sistemelor (Systemtechnik), producție (Production) și, fără îndoială, autovehicule (Automotive), Bochum fiind o citadelă a producției de automobile. Grupul comun de discipline include:

În anul I:

- Metode de proiectare asistată de calculator;
- Matematică (2 module);
- Fizică (2 module);
- Informatică (2 module);
- Electrotehnică/electronică (2 module);
- Tehnica materialelor.

În anul II:

- Matematică aplicată;
- Mecanică tehnică/Termodinamică/Mecanica fluidelor;
- Elemente constructive mecatronice/principii de bază ale mecatronicii;
- Limbă străină;
- Organizarea întreprinderilor;
- Proiectarea mecatronică
- Senzorică;
- Tehnica măsurării/Electronică (II).

În semestrele 5 și 7 se studiază disciplinele specifice fiecărei direcții de aprofundare; semestrul 6 este rezervat pentru practica productivă, iar semestrul 8 pentru elaborarea proiectului de diplomă. Disciplinele aferente celor 3 direcții sunt:

Tehnica sistemelor:

- Conducerea proceselor;
- Automatizare;
- Actorică;
- Tehnica microsistemelor;
- Informatică aplicată;
- Analiza sistemelor;
- Proiect de an.

Producție:

- Roboți industriali/Automatizarea producției;
- Tehnica producției/Managementul calității;
- Actorică;
- Computer Integrated Manufacturing;
- Tehnologii de fabricație/Logistică;
- Proiect de an.

Autovehicule:

- Tehnica acționărilor;
- Tehnica producției/Managementul calității;
- Reglarea în timp real;
- Motoare cu ardere internă/Managementul electronic al motorului;
- Electronica autovehiculelor/Magistrale;
- Sisteme pentru asistența conducătorilor auto;
- Proiect de an.

La Universitatea „Carolo-Wilhelmina” din Braunschweig [TU-Braunschweig] mecatronica este concepută, datorită caracterului ei multidisciplinar, ca o direcție de aprofundare accesibilă studenților de la Informatică, Construcția de Mașini și Electrotehnică. Specializarea în Mecatronică, începe după absolvirea studiilor specifice fiecărui domeniu în parte (încheiat cu „Vordiplom”) și presupune un ciclu de cursuri specifice pentru fiecare categorie de studenți, în vederea complectării cunoștințelor mai deficitare și, în continuare, un ciclu de cursuri comune. Studenții de la Construcția de Mașini audiază câteva cursuri din domeniul electrotehnicii și informaticii, cei de la Electrotehnică, cursuri din domeniul construcției de mașini și informaticii, iar cei de la Informatică, cursuri din domeniul construcției de mașini și electrotehnicii. Ciclul de cursuri comune este structurat pe 4 grupe, care cuprind, fiecare, un mare număr de discipline opționale, din care studenții trebuie să aleagă cel puțin una. De exemplu, al doilea grup de discipline include: robotică, roboți industriali, automatizarea fabricației, vedere artificială, construcția autovehiculelor, managementul electronic al motorului, vehicule electrice și noi tehnici de transport, acționări electro-hidraulice etc.

De un prestigiu deosebit se bucură studiul mecatronicii la Universitatea Tehnică din Darmstadt (prof. Rolf Isermann) [TU-Darmstadt]. Este conceput ca una din cele 3

direcții de studiu ale studenților de la construcția de mașini. După un studiu de bază comun, studenții în Mecatronică studiază disciplinele: Acționări electrice, Electronică, Bazele electrotehnicii, Proiectare logică, Dinamica mașinilor sau Vibrații mecanice, Sisteme mecatronice, Actorică, Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Reglarea sistemelor mecatronice, Sisteme de calcul sau Introducere în ingineria software sau Microcontroller, Tehnica reglării automate, Prelucrarea semnalelor etc.

În România studiul mecatronicii a început în 1991, prin înființarea specializărilor de mecatronică la Universitatea „Transilvania” din Brașov, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava. În 1994 au luat ființă specializările de mecatronică și la Universitatea „Politehnica” din București și Universitatea Politehnica din Timișoara, simultan cu definirea profilului mecatronic, care a inclus cele două specializări: Mecatronică și Roboți Industriali.

La Universitatea “Transilvania” din Brașov, studiul Mecatronicii, demarat în anul academic 1991/1992, a fost stimulat de dezvoltarea specializărilor similare în Japonia, Statele Unite și Europa Occidentală și de experiența dobândită în cei 15 ani de instruire a unor generații de studenți în domeniul Mecanicii Fine. Specializarea de Mecatronică a primit autorizarea provizorie de funcționare din partea Consiliului Național de Evaluare și Acreditare Academică în 1997 și a fost acreditată, în conformitate cu Legea de Acreditare Academică din România, în mai 2001.

Prima promoție de ingineri în Mecatronică a absolvit în 1996, iar cea de-a zecea promoție în 2005. Peste 150 de absolvenți au investigat, începând cu anul 1996, o piață a forței de muncă, care avea puține informații și o experiență redusă în privința rolului și competențelor inginerilor mecatroniști, iar mulți dintre aceștia au reușit să-și găsească locuri de muncă adecvate pregătirii lor, în cele mai diferite firme, datorită pregătirii multidisciplinare.

În tendința de a veni în întâmpinarea pieței forței de muncă, s-au depus eforturi permanente, pe parcursul celor 14 ani de studiu în mecatronică, pentru perfecționarea planurilor de învățământ și a programelor analitice, care s-au bazat pe contactul permanent și pe schimbul de experiență cu universități din țară și din străinătate, la care se studiază Mecatronica și cu firme de profil, dar și pe aprecierile critice și sugestiile studenților și absolvenților. Ultimele intervenții substanțiale în planurile de studiu au fost determinate de alinierea învățământului superior la cel european, în conformitate cu Procesul de la Bologna, care a presupus reducerea perioadei de studiu pentru obținerea licenței de la 5 la 4 ani. Coordonatele esențiale ale planului de învățământ au rămas însă neschimbate, ele fiind determinate de întrebările fundamentale care stau la baza studiului în Mecatronică: “Care este obiectivul pentru absolvenți? Ce trebuie să fie capabili să facă?”, și pe răspunsul la acestea:

Absolvenții specializării de mecatronică trebuie să fie capabili să conceapă, să proiecteze, să exploateze, să monitorizeze, să întrețină și să depneze produse și sisteme mecatronice.

Principalele competențe care îi fac pe absolvenții specializării de Mecatronică competitivi pe piața muncii din zona Brașovului sunt:

- Cunoștințe temeinice de proiectare asistată (2D – AutoCAD și 3D – CATIA);
- Cunoștințe temeinice de programare a mașinilor unelte și a roboților;
- Cunoștințe temeinice în domeniul proiectării soluțiilor hardware și software de comandă cu microcontrollere;
- Cunoașterea unor limbaje de programare larg utilizate în cercetare și dezvoltare (C, MATLAB, LabVIEW).

Planul de învățământ a fost și este ancorat de 5 stâlpi de susținere, A÷E, detaliați în continuare. Fiecare dintre ei are o pondere de circa 20%. În timp ce disciplinele fundamentale sunt concentrate în primii doi ani de studiu, disciplinele legate de domeniile mecanic, electronic și de tehnică de calcul, acoperă anii de studiu 1÷3, într-o succesiune logică, cu o creștere gradată a complexității, astfel încât să asigure înțelegerea cursurilor despre sisteme mecatronice, din anul 4.

A. Discipline fundamentale

- § Analiză matematică (anul 1)
- § Algebră liniară, geometrie analitică și diferențială (anul 1)
- § Matematici speciale (anul 2)
- § Fizică (anul 1)
- § Chimie (anul 1)
- § Geometrie descriptivă
- § Desen tehnic și infografică (anul 1 și 2 – 2 module)
- § Bazele utilizării calculatoarelor în inginerie (ECDL) - (anul 1 – 2 module)
- § Programarea calculatoarelor și limbaje de programare (C, LabVIEW) - (anul 2)
- § Metode numerice (Matlab și Simulink, MathCAD) - (anul 2)

B. Discipline de profil mecanic

- § Mecanică (anul 1 și 2 – 2 module)
- § Știința și ingineria materialelor (anul 2)
- § Rezistența materialelor (anul 2)
- § Mecanica fluidelor și mașini hidraulice (anul 2)
- § Termotehnică și mașini termice (anul 3)
- § Mecanisme și organe de mașini (anul 2 și 3 – 2 module)
- § Cinematica și dinamica sistemelor mecatronice (anul 3)
- § Mașini unelte și prelucrări prin așchiere (anul 3)
- § Acționări pneumatice și hidraulice (anul 3)
- § Tehnologia micro- și nanosistemelor

C. Discipline de profil electric și electronic

- § Electrotehnică și mașini electrice (anul 1)
- § Măsurări electrice (anul 2)
- § Electronică (anii 2 și 3 – 3 module)
- § Microcontrollere și microprocesoare (anul 3)
- § Senzori și transductoare (anul 3)
- § Sisteme de acționare electrice (anul 3)

§ Sisteme de achiziție și interfețe (anul 4)

D. Teoria sistemelor, tehnică de calcul, inteligență artificială

§ Proiectare asistată de calculator (anul 3)

§ Bazele sistemelor automate (anul 3)

§ Bazele mașinilor inteligente (anul 3)

§ Sisteme de conducere în robotică (anul 3)

§ Semnale și sisteme (anul 4)

§ Interfețe om-mașină (anul 4)

§ Procesarea imaginilor și vedere artificială (anul 4)

E. Sisteme mecatronice

1. Discipline obligatorii

§ Bazele mecatronicii și roboticii (anul 2)

§ Sisteme flexibile mecatronice (anul 3)

§ Modelarea și simularea sistemelor mecatronice (anul 4)

2. Discipline opționale

Sunt organizate pe două grupe opționale, în semestrul II din anul 4

Grupa opțională A

§ Pneumatică și hidronică

§ Mecatronica automobilului

§ Roboți industriali

§ Biomecanisme; proteze și orteze

§ Automate bancare și de servire

§ Aparate și sisteme de măsurare

Grupa opțională B

§ Echipamente cine-foto

§ Mecatronica în agricultură

§ Echipamente pentru memorarea datelor (CD-ROM, DVD)

§ Echipamente pentru imprimare, tipărire și copiere

§ Surse de energie neconvențională

§ Sisteme pentru realitatea virtuală