

2. SISTEM TRIBOLOGIC (TRIBOSISTEM)

2.1. Conceptul de sistem [A4]

2.1.1. Introducere

Problema considerării subiectelor tribologice multidisciplinare se consideră ca esențială.

Aplicarea teoriei generale a sistemelor implică respectarea a două condiții:

(i) Interacțiunile dintre “părți” trebuie să fie inexistente sau, cel puțin destul de mici pentru a putea fi neglijate. Această condiție conduce la faptul că “părțile” pot fi primele izolate, logic, matematic și reasamblate.

(ii) Relațiile ce descriu influența “părților” trebuie să fie liniare; numai aceasta este condiția de “sumativitate” (însușire); procesele parțiale pot fi suprapuse în procesul total.

Kennet Boulding a sugerat o ierarhizare a sistemelor pe următoarele trei direcții:

- (i) sistemele se împart în clase, la diferite nivele de complexitate.
- (ii) Toate legile logice și empirice, valide la nivelul cel mai de jos, sunt de asemenea aplicabile la orice nivel mai înalt.
- (iii) Nivelul cel mai înalt, nivelul cu cel mai mare număr de elemente necunoscute și legi neștiute, constituie un sistem particular de lucru.

Spre ilustrare (fig. 2.1), se exemplifică conceptul de sistem și principiul ierarhic pentru sistemul trafic.

Sistemele celui mai de jos rang (nivel) sunt în general reprezentate de componente tehnice simple - notat în fig. 2.1 cu nivelul “b” (roată).

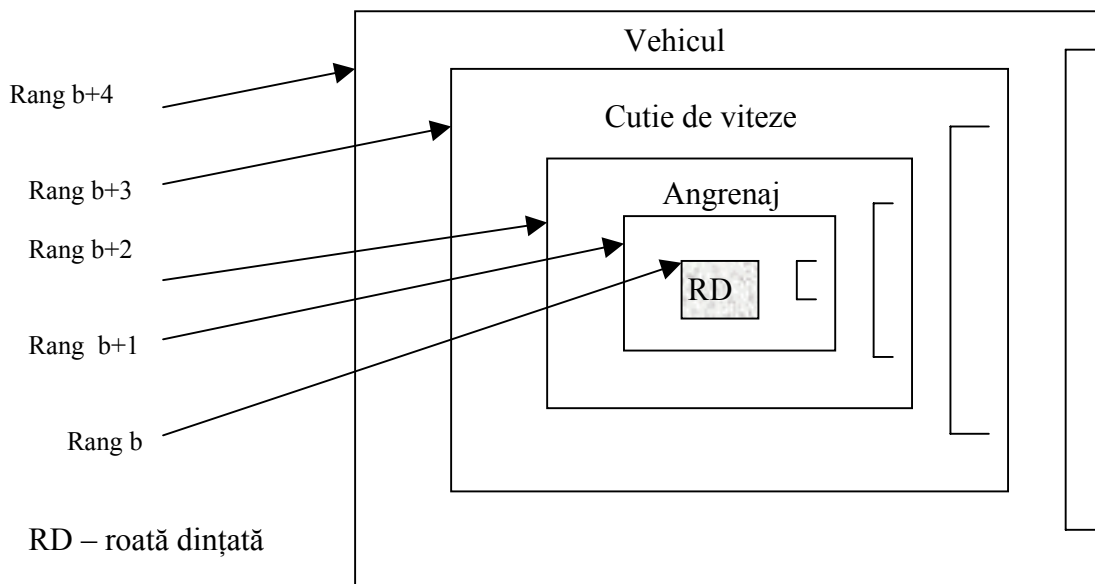


Fig. 2.1. Conceptul de sistem pentru trafic rutier

2.1.2. Descriere sistemului

Definiția generată a sistemului este conținută în fraza: “un sistem este un set de elemente interconectate prin structură și funcțiuni”.

Un sistem este numit “deschis” când se produc interschimbările de masă și energie cu “exteriorul”, iar când aceste interschimbări sunt neglijabile, sistemul este “închis”. În primul caz, spre exemplu, transformările energiei cinetice în căldură sau în alte forme de energie, prin procese ireversibile, conduc la “sisteme disipative”.

În general, caracteristicile unui sistem sunt prezentate sumar în fig. 2.2, simbolurile utilizate au următoarea semnificație:

(I) Structura

Structura sistemului este definită prin:

- a) setul de elemente (A)
- b) proprietățile relevante ale elementelor (P)
- c) cuplarea elementelor, specificând relațiile între elemente (R)

Cu aceste definiții structura sistemului poate fi reprezentată prin setul

$$S = \{A, P, R\}$$

(II) Intrări, ieșiri

Fiecare sistem poate fi, schematic, separat printr-o anvelopă sau suprafață de control de “mediul exterior”. Conexiunile între sistem și “mediu” sunt:

- a) intrări $\{X\}$ și
- b) ieșiri $\{Y\}$

(III) Funcțiuni

Funcția sistemului – utilizată pentru anumite chestiuni tehnice – este de a transforma intrările $\{X\}$ în ieșiri $\{Y\}$. Transformarea (T) a intrărilor în ieșiri poate fi descrisă în termenii ecuațiilor matematice, sau analogie fizică, sau descriere verbală etc.

Definiție: *Un sistem este un set de elemente interconectate prin structuri și funcțiuni*

(I) Structură $S = \{A, P, R\}$

a) Elemente

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (n - \text{numărul elementelor})$$

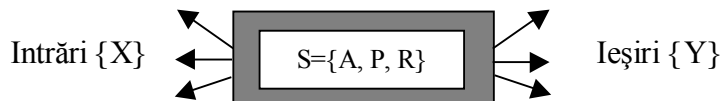
b) Proprietăți

$$P = \{P(a_i)\}$$

c) Relații

$$R = \{R(a_i, a_j)\}$$

(II) Intrări $\{X\}$, Ieșiri $\{Y\}$



(III) Funcția $\{X\} \xrightarrow{T} \{Y\}$

Pentru caracterizarea funcției sistemului, există trei metode diferite:

a) Starea dinamică. Ecuații diferențiale

Dacă intrările și ieșirile variază în timp, sistemul se găsește în stare “dinamică”. Starea dinamică se reprezintă printr-un sistem de ecuații diferențiale, numite “ecuații de mișcare”.

b) Starea sigură. Liniaritatea

În anumite cazuri un sistem poate fi în echilibru dinamic, starea sigură, regulată. Ca urmare, ieșirile $\{Y\}$ sunt adesea descrise de superpoziția liniară a intrărilor $\{X\}$, prin reprezentarea algebrică.

c) Proces stocastic. “Zgomot”

În sistemele reale relația funcțională intrări-ieșiri este influențată de procese stocastice (aleatoare), efectele dinamice având anumite distribuții aleatoare, generând un “zgomot” statistic. În aceste situații, se estimează pe baza teoriei probabilităților limitele de aplicabilitate ale funcției $\{X\} \rightarrow \{Y\}$.

Descrierea “structurată” a sistemului este esențială pentru partea “internă” a elementelor, iar cea “funcțională” ca parte “externă” a interacțiunilor cu mediul.

2.1.3. Bilanț energetic. Rețele. Analogii

În caracterizarea dinamică a sistemelor trebuie introdus conceptul bilanțului generalizat de energie: puterea este zero, dacă se însumează toate procesele de stocare și transformare a energiei în timp:

$$\Delta E=0.$$

Variabilele fizice ale sistemului (intrări și ieșiri) pot fi clasificate convențional în “directe” sau “finale” (de traversare). Variabilele directe măsoară transmiterea semnalului într-un element, de exemplu, curentul electric într-o rezistență, forța într-o piesă.

Variabilele “finale” măsoară diferența dintre starea finală și inițială a elementului, de exemplu, căderea de tensiune pe un rezistor, viteza în mecanică.

În această conexiune este importantă analogia dintre sistemele fizice, tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Disciplina	Variabile “finale” (tensiuni, “efort”)	Variabile directe (debit)
Electrotehnică	Tensiune electrică, u	Curent electric, i
Mecanică (translație)	Viteză, v	Forță, F
Mecanică (rotație)	Viteză unghiulară, ω	Moment, M
Termodinamică	Temperatura absolută, T	“Debit” de entropie, S
Fluide	Presiunea, p	Debit volumic, V

Prin analogia electrică a sistemelor mecanice, se pot aplica legile lui Kirchoff:

I – Legea nodurilor – suma tuturor “variabilelor directe” în orice nod este nulă (în mecanică principiul D’Alembert);

II – Legea rețelelor (ochiurilor) – suma tuturor “variabilelor finale” pe rețea este nulă.

2.1.4. Metoda grafului de conexiuni

Se consideră că sistemele fizice sau ingineresti pot fi reprezentate prin “rețele”, simbolizate prin cuvinte și legături.

Graful de conexiuni al elementelor poate fi reprezentat inițial prin cuvinte și legături, iar schimbul de putere între ele prin linii simple. De exemplu, fig. 2.3 conține graful pentru alimentarea variabilă a unui motor Diesel cu pompă:

$$\text{Controlează } \frac{F}{v} \quad \text{Conduce } \frac{M}{\omega} \quad \text{Pompă } \frac{P}{V} \quad \text{Consumator}$$

F - forța; v – viteza,
 M - momentul de torsiune;
 ω - viteza unghiulară;
 P – presiunea; V - volumul

Fig. 2.3

Fluxul energetic sau puterea în “legături” este adesea produsul a două variabile – variabila potențială denumită efort (tensiune) și debitul sau variabila curentă ce se referă la debit.

2.1.5. Clasificarea sistemelor

Sistemele fizice sau ingineresti sunt compuse din componente materiale ale căror proprietăți, interrelații se pot schimba în timp.

După Horbert Wiener, intrările și ieșirile sistemelor pot fi clasificate în trei categorii: materie, energie și informație.

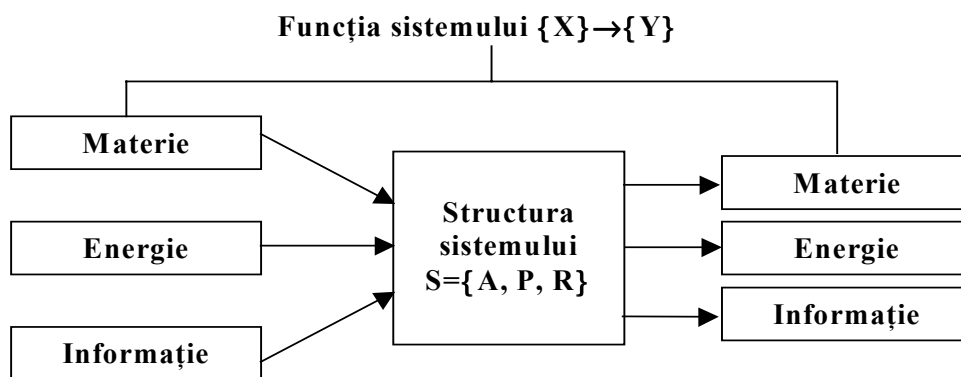


Fig. 2.4

Sistemul poate fi reprezentat printr-o “cutie neagră” (fig. 2.4).

Din punct de vedere funcțional, intrările și ieșirile din sistemele fizice și ingineresti pot fi descrise formal prin matricea reprezentată în tabelul 2.2. Cele trei categorii de intrări și ieșiri (materie, energie și informații) sunt subdivizate, astfel că un punct situat la intersecția intrărilor și ieșirilor reprezintă o anumită clasă a sistemului și corespunde unui anumit domeniu al științei sau tehnologiei.

Tabelul 2.2

Intrări {X}			Ieșiri {Y}										
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
Materie	a	Solide											
	b	Lichide											
	c	Gaze											
	d	Particule											
Energie	e	Mecanică											
	f	Termică											
	g	Electrică											
	h	Magnetică											
Informație	i	Nucleară											
	j	Analog											
	k	Digital											

2.2. Conceptul de sistem tribologic [A4, B1, B5]

2.2.1. Funcțiile sistemelor tribomecanice

Conceptul de sistem tribologic are în vedere aplicarea metodelor de analiză a interacțiunilor mărimilor de intrare și ieșire utilizate în alte domenii, de exemplu electrotehnică.

Din punct de vedere fizic, se disting cinci funcțiuni de bază ale sistemelor tribomecanice:

- ghidarea, cuplarea și oprirea mișcării;
- transmiterea energiei și puterii;
- generarea sau reproducerea informațiilor;
- transportul materialelor;
- formarea materialelor.

În anexa A.2.1. sunt prezentate aceste funcțiuni și exemple de sisteme sau procese tribo-inginerești.

Din punct de vedere extern, sistemul sau procesul tribologic trebuie considerat ca o “cutie neagră” cu intrări și ieșiri, prezentată schematic în fig. 2.4.

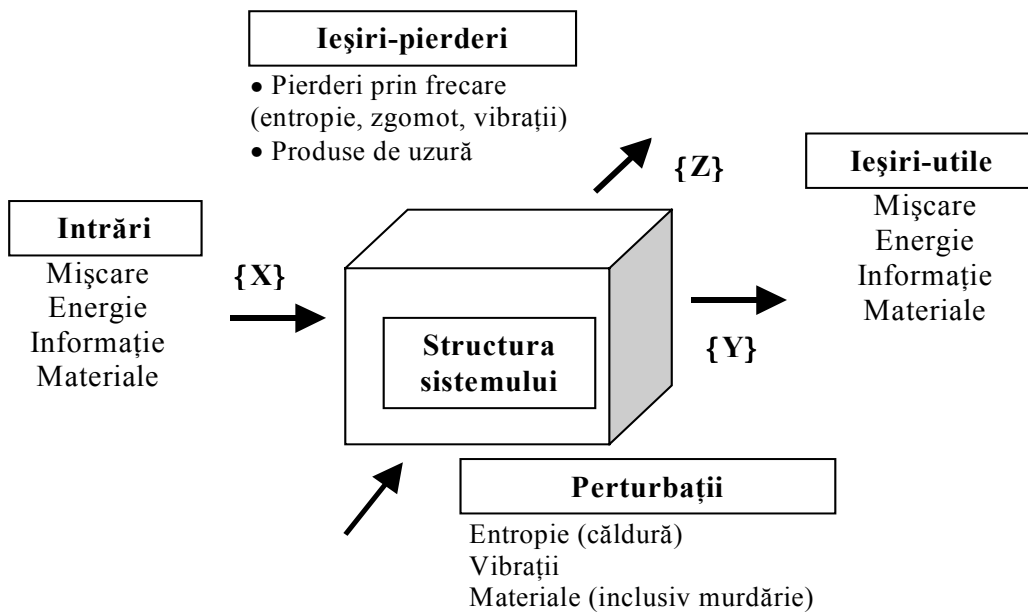
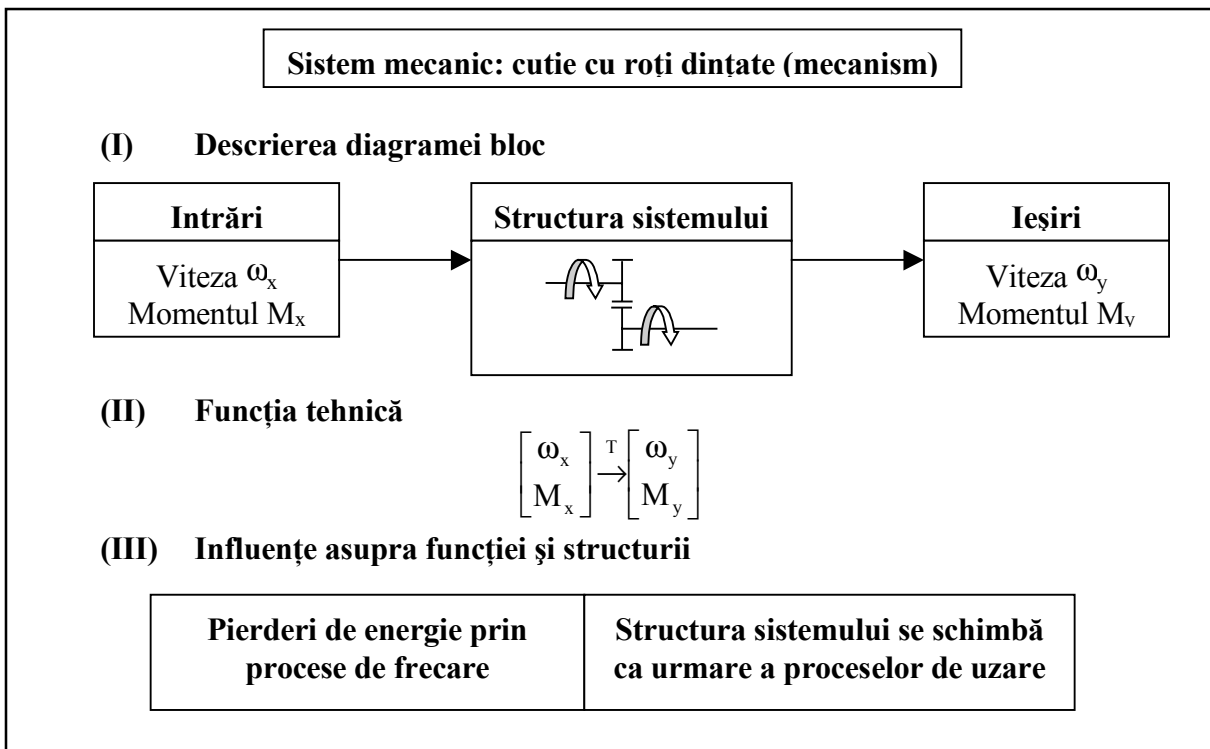


Fig. 2.4

Parametrii operaționali ce trebuiesc considerați în caracterizarea sistemelor mecanice sunt indicați în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4.

Cantități de intrare și ieșire	Variabile primare	Variabile derivate
Energie (mișcare)	Forță/Moment Poziție/Dimensiune	Putere Viteză de rotație Viteză de translație
Termice (transfer de căldură)	Temperatură Căldură specifică Entropie specifică	Viteză de transfer a căldurii Viteză de transfer a entropiei
Masă (transfer de masă)	Compoziție Energie liberă	Viteză de transfer de masă Viteză de transfer de energie liberă
Informație	Poziție Forță/Moment	Frecvență Fază

2.2.2. Structura sistemelor tribomecanice

În acord cu teoria sistemelor, structura unui sistem este caracterizată prin elementele sau componentele sistemului, proprietățile lor relevante și relațiile dintre elemente.

Cea mai simplă structură a unui sistem mecanic este formată din două corpuri solide (1) și (2) cu schimb mecanic prin suprafața de contact (fig. 2.6). Exemple de sisteme tribomecanice sunt date în anexa A.2.2 .

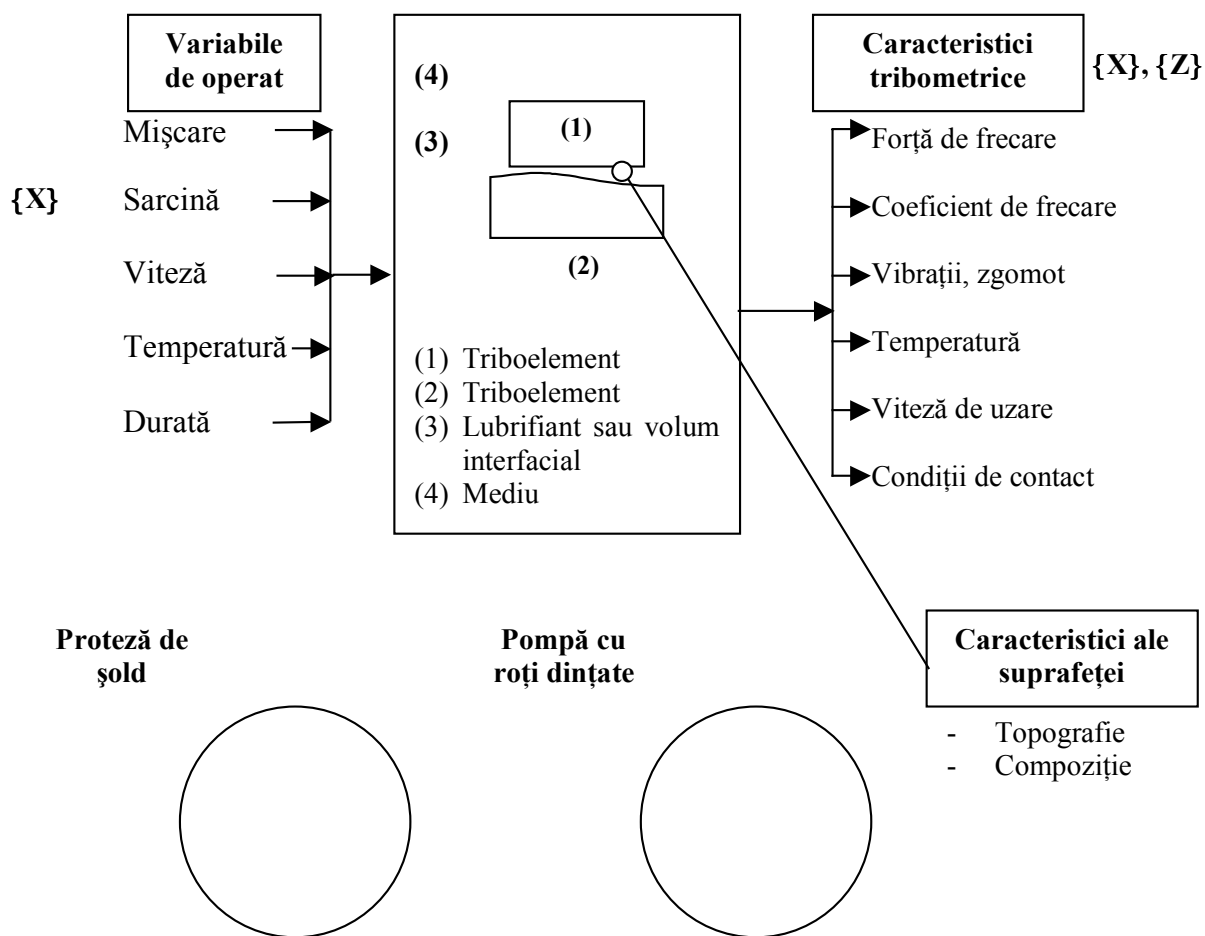
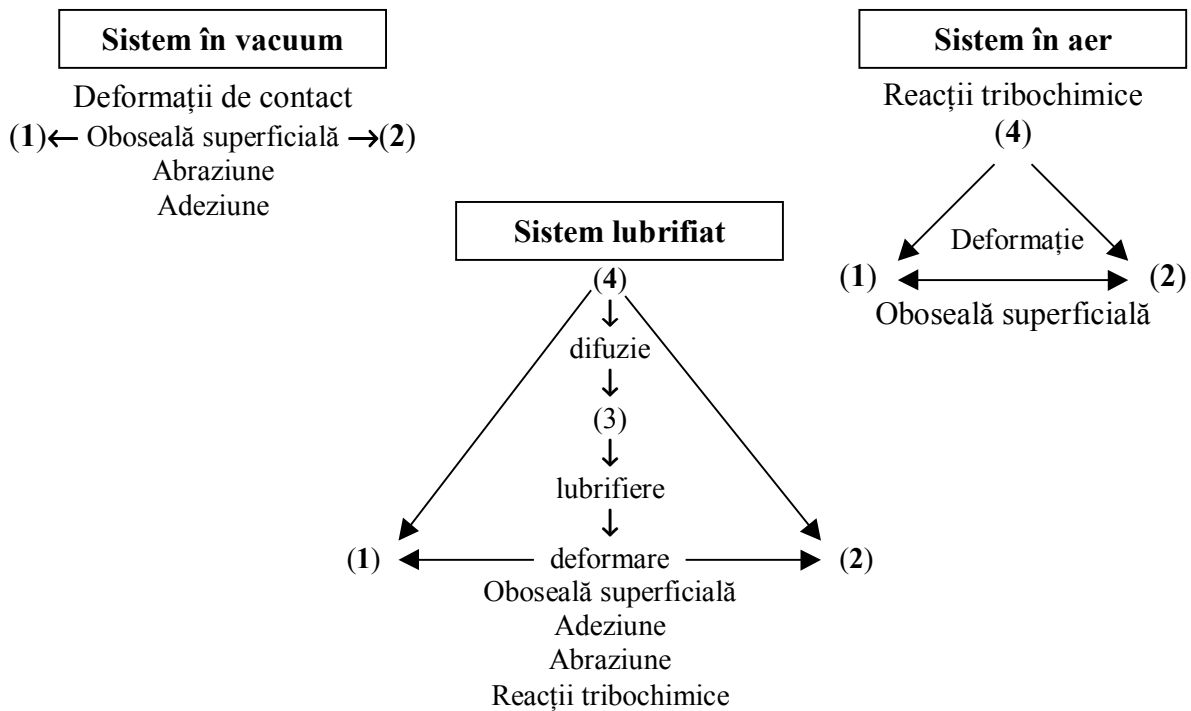


Fig. 2.5

Variabilele de operat	Tip mișcare	Alunecare Rostogolire Spin Impact	Continuă Oscilatorie Reciprocă Intermitentă
	Sarcina, F_n Viteza, v Temperatura, T Distanța de mișcare, s Durata, t		

Reprezentarea schematică a interacțiunilor tribologice



Procesele tribologice se pot analiza în următoarele plane: funcțional, energetic, termic și de material (fig. 2.6). Schimburile dintre aceste plane permit explicarea unora dintre comportările la frecare și uzare.

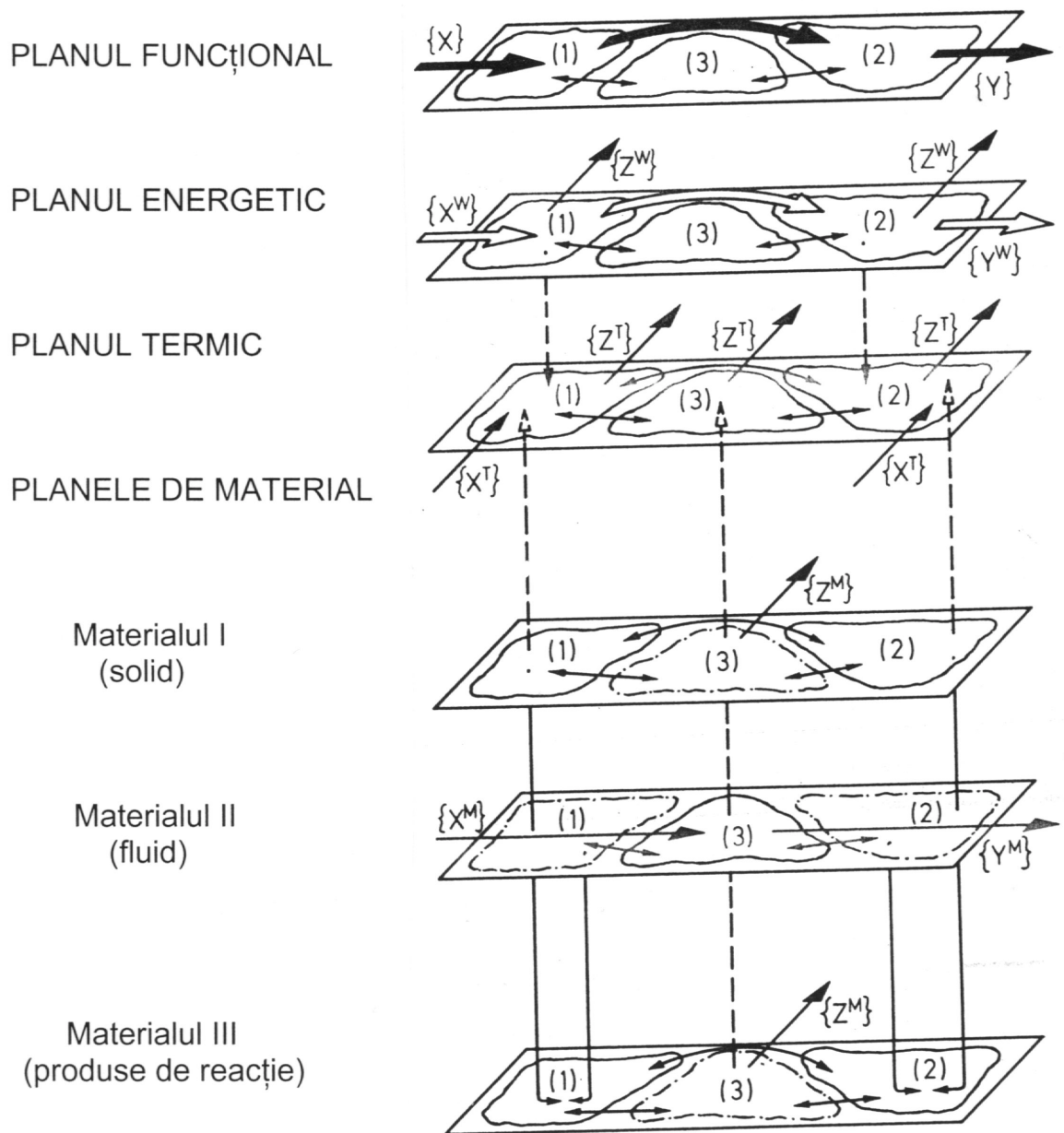


Fig. 2.6 Planele conceptuale ale parametrilor și proceselor în sisteme tribomecanice.

În **planul lucrului mecanic** (energetic) – elementele (1) și(2) acumulează (stochează) energie. Pierderile $\{Z^W\}$ se manifestă prin zgomot, încălzire, radiații etc.

Ecuția bilanțului puterilor este de forma

$$\sum \dot{E}_x^W = \sum \dot{E}_y^W + \sum \dot{E}_z^W + \sum \dot{E}_s^W + \sum \dot{E}^{WT}$$

în care:

\dot{E}_x^W - puterea de intrare; \dot{E}_y^W - puterea utilă la ieșire; \dot{E}_z^W - rata (viteza) pierderile de energie la ieșire; \dot{E}_s^W - energia stocată; \dot{E}^{WT} - energia termică transformată din lucrul mecanic.

Pentru un singur element, j:

$$\sum_{\text{toate } i} \dot{E}_{ij}^W = \sum_{\text{toate } i} \dot{W}_{ij}^W - \sum \dot{E}_j^W + \sum \Delta \dot{E}_{sj} + \sum \dot{E}_j^{WT} + \sum \dot{E}_j^{WM},$$

în care materialul "i" se referă la toate elementele cu care elementul "j" are schimburi de energie și \dot{E}^{WM} este absorbția de energie mecanică.

Bilanțul energetic trebuie să ia în considerare și procesele tribologice prin care se acumulează, transformă, emite și disipă lucrul mecanic. Toate aceste fenomene se conectează cu procesele de contact, de deformare și de frecare la interfața elementelor (1) și (2) ale sistemului tribomecanic. În tabelul 2.5 sunt listate câteva procese de bază.

Tabelul 2.5

Shimb de lucru mecanic	Procese
Transferarea lucrului mecanic	Deformații elastice
Transformarea lucrului mecanic	Mecanisme de frecare <ul style="list-style-type: none"> - histerezis elastic - deformații plastic - adeziune
Disiparea energiei	Stocarea energiei Emisia de energie Conducția în alte plane conceptuale

În **planul termic**, procesele au la bază transformările lucrului mecanic în entropie, puterii mecanice în putere termică care se produc după relația:

$$\dot{E}_j^{WS} = \dot{S}_j T_j$$

unde \dot{S}_j este viteza de generare a entropiei în elementul j și T_j este temperatura absolută.

Puterea termică generează uzual modificarea temperaturii și creșterea entropiei, rezultând un transfer prin conducție sau radiație prin intermediul frecării. Căldura și entropia pot fi transferate între elementele sistemului. Mărimile de intrare pentru planul termic provin din planele materialelor.

Planele materialelor au în vedere procesele de transfer de masă și de transformare de masă în procesele de uzare a sistemelor mecanice.

Pierderile din planele materialelor sunt surse de creșterea entropiei în planul termic.

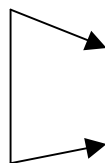
Analiza sistemului tribologic în diferite plane și de diferiți specialiști (mecanici, chimiști, fizicieni) permite surpinderea fenomenului complex de frecare și uzare sau de ungere.

Stabilirea funcțiilor sistemului și interconexiunile dintre elemente pot conduce la soluții tribologice optime.

ANEXA A.2.1

SISTEME TRIBO-INGINEREȘTI

- (a) Transmiterea mișcării
- (b) Transmiterea lucrului mecanic (sau puterii)
- (c) Generarea sau reproducerea informațiilor
- (d) Transportul materialelor
- (e) Formarea materialelor



tehnologie
biologie

Fucțiunea tehnică primară	Sistem tribo-ingineresc sau proces tribo-ingineresc	
(a1) Ghidarea sau transmiterea mișcării	Lagăre cu alunecare Lagăre cu rostogolire Lagăre cu ace Lagăre pivot Lagăre giroscopice Ghidaje Mese de alunecare (drumuri)	Șuruburi cu alunecare și cu bile Osii și axe Balamale Articulații tehnice Articulații umane și animale Încălțăminte sau piciorul pe sol (ciment, scări etc.)
(a2) Cuplarea mișcării	Flanșe Cuplaje dințate Caneluri	Ambreiaj conic Ambreiaj disc Ambreiaj cu bandă
(a3) Oprirea mișcării	Frâne bloc Frâne bandă Frâne disc	Dispozitive de fixare Șuruburi de fixare Amortizoare prin fricțiune
(b) Transmiterea lucrului mecanic sau puterii	Cremalieră și pinioane Roți dințate cilindrice Roți dințate conice Roți hipoide Roți planetare Angrenaj melcat Șuruburi de mișcare	Tranmisii prin lanțuri Tranmisii prin curele Tranmisii prin cabluri Came Servomotoare Tranmisii prin fricțiune Tranmisii hidraulice
(c1) Generarea informațiilor	Sincronizatoare Tachet-camă Contacte electrice	Înterupătoare Relee Tipar, element de scriere
(c2) Reproducerea informațiilor	Capete de înregistrare și redare Pick-up	Video pick-up
(d1) Transportul materialelor	Roată-șină Cauciuc-drum (pneu) Conducte	Conveier (bandă transportoare) Deplasare de pământ Vene umane și animale
(d2) Controlul urgerii materialelor	Etanșări Valve Garnituri	Robineți Piston-cilindru (ansamblu)
(e1) Formarea (tehnologia) materialelor	Trefilare Laminare Presare Extrudare Forjare	Rulare Turnare Injectare în matriță Țesături Rabotare
(e2) Tăierea materialelor	Minerit Foraj Exploatare în cariere	Sfărâmare, măcinare Dragare Dantura umană și animală
(e3) Prelucrarea mecanică a materialelor	Ascuțirea, tăierea, găurire, debitare Pilire, strunjire, rabotare și frezare Perforare, forare	Șlefuire, rectificare, prelucrare cu abrazive, prelucrare prin așchiere, lepuire, polizare, periere, suflare

ANEXA A.2.2

ELEMENTELE TRIBOSISTEMULUI

Orice tribosistem (a,...,e), indicat în tabel, conține:

- elementul (1)
- elementul (2)
- mediul interfacial (3)
- mediul înconjurător (4)
-

Tribosistem sau triboproses	Elementele sistemului			
	Elementul 1 (mobil sau fix)	Element 2 (mobil sau fix)	Mediul interfacial (3)	Mediul înconjurător (4)
(a1) Lagăre cu alunecare Articulație umană	Fus Femur	Cuzinet Acetabulum	Lubrifiant Sinovial	Aer -
(a2) Ambreiaj bandă Caneluri	Fus Fus canelat	Bandă Butuc canelat	- Unsoare	Aer Aer
(a3) Fână disc Dispozitiv de fixare	Disc Bolț	Garnit.fricțiune Garnit.fricțiune	Particule de uz -	Aer Aer
(b) Angrenaj cu roți dințate Transmisii prin curele	Pinion Roată	Roata Curea	Ulei -	Aer Aer
(c1) Camă și tchet Sistem de tipărire	Camă Tipar	Tchet Hârtie	Lubrifiant Cerneală	Aer Aer
(c2) Contact electric Audio pick-up	Inel Disc	Perie Ac saphir	Spray -	Gaz protector Aer
(d1) Mers (locomotia) Conductă dde transport	Roată Fluid	Drum Conductă	Contaminanți -	Aer -
(d2) Valvă Piston- segment- cilindru	Ventil Segment	Scaunul supapei Cilindru	Fluid Lubrifiant	Flud Fluid
(e1) Trefilare (banc) Extrudare la cald	Fir Țagla	Filieră Matriță	Borax Sticlă	Aer Aer
(e2) Foraj Dragare	Burghiu Draga	Sol Coasta	- -	- Aer
(e3) Strunjire Șlefuire	Piesa de lucru Piesa de lucru	Cuțit Piatra de șlefuit	Fluid -	Aer Aer