

## Tema 2: SCTR pentru controlul proceselor industriale

§2.1. Tipuri de procese.

§2.2. Operații realizate de către sistemele pentru controlul proceselor.

§2.3. Structuri de sisteme pentru controlul proceselor industriale.

### §2.1. Tipuri de procese.

În funcție de modul în care sunt efectuate prelucrările, procesele industriale sau de laborator pot fi de tipul:

- pe loturi (batch processes);
- continue;
- de laborator (sau de test);

Termenul de *prelucrare în loturi* este utilizat pentru descrierea proceselor în care o secvență de operații determină producerea unor serii rezultate și în care secvența este apoi repetată pentru producerea unor alte serii de rezultate. Astfel de prelucrări se întâlnesc de exemplu în sistemele de proces care controlează laminoare.

Între două lansări în producție ale unui lot se modifică datele despre produs dar secvența de operații rămâne practic aceeași. Caracteristica proceselor pe loturi este timpul necesar pregătirii pentru producție. Acesta se numește timp de *setup* și în multe sisteme de acest gen este important raportul dintre timpul de setup și timpul de operare efectivă.

Termenul *continuu* este folosit pentru procesele în care producția este menținută pentru o lungă perioadă de timp fără întreruperi (luni sau chiar ani). Caracteristicile produselor care trebuie obținute în sistemele continue se schimbă din mers (exemplu: producția de energie electrică).

Termenul de *sisteme de laborator* se referă la acele procese care în mod curent sunt controlate de către operator. Acestea constau în utilizarea calculatorului pentru a controla experimente complexe sau echipamente complexe supuse testării. Exemplu: standuri pentru încercarea traductoarelor, standuri pentru testarea motoarelor electrice, experimente în medicina, etc.

Indiferent de tipul procesului controlat, calculatorul de proces execută una sau mai multe dintre operațiile:

- controlul secvențial al proceselor;
- controlul în buclă;
- supervizarea proceselor;
- interfața om-mășină.
- înregistrarea datelor;
- analiza datelor.

### §2.2. Operații realizate de către sistemele pentru controlul proceselor.

#### 2.2.1 Controlul secvențial al proceselor

Deși controlul secvențial apare în cea mai mare parte a proceselor, el este totuși predominant la procesele de producție pe loturi. Controlul secvențial este utilizat mai mult în procesele în care operațiile se referă la amestecul unor materii prime în anumite condiții impuse. Pe lângă controlul secvențial, calculatorul realizează frecvent și controlul continuu în buclă închisă pentru reglarea unor parametri precum temperatura, presiunea, nivelul, debitul etc.

## 2.2.2 Controlul în bucla (Direct Digital Control)

În astfel de sisteme calculatorul este interfațat cu procesul ca în figura 2.2.2-1:

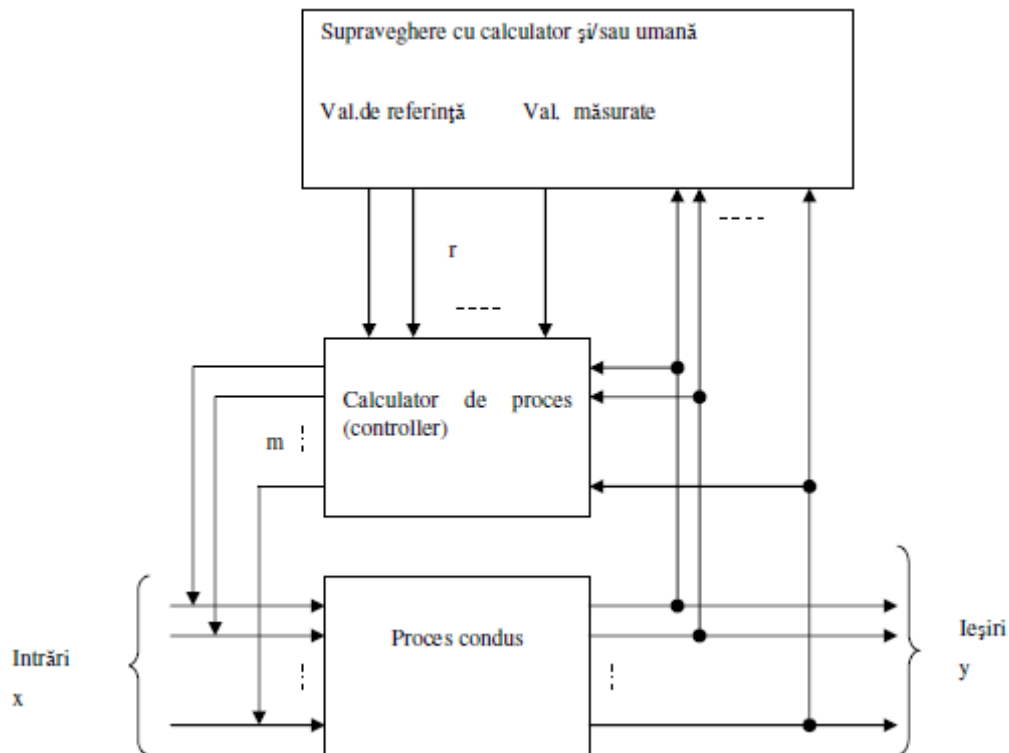


Fig. 2.2.2-1 Control în bucla închisa

În aceste sisteme calculatorul este o componenta critica si trebuie luate masuri pentru a garanta ca în cazul unei proaste funcționari a acestuia procesul va ramâne într-o stare stabila.

Algoritmii de control utilizați depind de aplicație. Cei mai folosiți sunt algoritmii care pleaca de la *algoritmul analogic de control cu 3 termeni* (proporțional+integral+derivativ - *PID*). Ecuația în domeniul timpului pentru controller-ul PID ideal este [Stu88]:

$$m(t) = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

unde  $e(t) = r(t) - y(t)$ , cu  $y(t)$  - variabila masurata la iesire,  $r(t)$  - variabila de referință (set-point),  $e(t)$  - eroarea.  $K_c$  este factorul de amplificare global al controller-ului,  $T_i$  este constanta de timp de integrare iar  $T_d$  constanta de timp a acțiunii derivate. Acest algoritm poate fi exprimat si în alte forme. De exemplu, acțiunea derivativa este în mod frecvent neutilizata sau uneori  $de/dt$  este înlocuit prin  $dy/dt$  pentru a evita diferențierea variabilei de referință etc.

Algoritmii pot fi implementat soft utilizând o ecuație echivalenta pentru (1). Astfel, daca intervalul de esantionare pentru calcule este  $T$  secunde, atunci pot fi utilizate aproximările

$$\frac{de}{dk} \Big|_k = \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \quad \text{si} \quad \int e(t) dt = \sum_{k=0}^n e_k T$$

Ecuația de control devine în acest caz

$$m_n = K_c \left[ T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T} + e_n + \frac{1}{T_i} \sum_{k=0}^n e_k T \right] \quad (2)$$

Daca se fac înlocuirile

$$K_p = K_c$$

$$K_i = K_c \frac{T}{T_i}$$

$$K_d = K_c \frac{T_d}{T}$$

ecuația (2) poate fi exprimată ca un algoritm de forma

$$s_n = s_{n-1} + e_n$$

$$m_n = K_p e_n + K_i s_n + K_d (e_n - e_{n-1}) \quad (3)$$

unde  $sn$  este suma erorilor.

Algoritmul PID nu este singurul algoritm pentru control în buclă, dar este cel mai utilizat, datorită simplității și a faptului că este adecvat pentru peste 90% dintre problemele de control.

### 2.2.3 Supervizarea proceselor - nu

Utilizarea calculatorului pentru controlul proceselor a dus la diversificarea tipurilor de activități care se pot realiza, deoarece sistemele cu calculator pot să controleze operațiile unei instalații și în paralel să furnizeze informații pentru ingineri sau manageri în diverse moduri, prin intermediul interfeței om-mășină.

Un exemplu de instalație care se pretează la supervizarea cu ajutorul calculatorului este prezentată în figura

2.2.3-1.

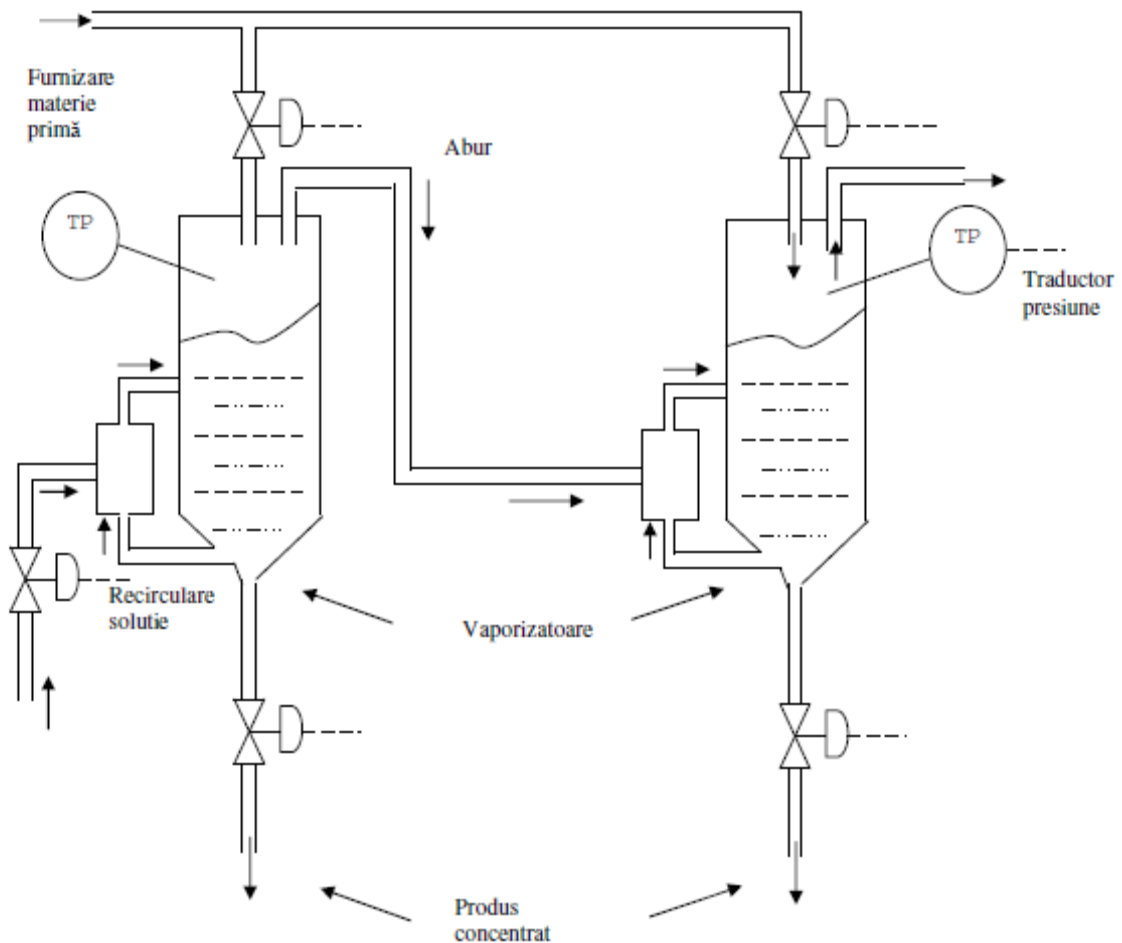


Fig. 2.2.3-1 Supervizarea unei instalații de vaporizare (reproducere din [Stu88])

În acest proces, două vaporizatoare sunt interconectate și în fiecare se introduce o soluție care prin evaporarea apei trebuie să își mărească concentrația în substanța utilă. Încalzirea se face

la primul vaporizator cu abur care este furnizat printr-un schimbator de caldura conectat la acesta, iar la al doilea vaporizator se utilizeaza aburul rezultat din primul vaporizator. Pentru a realiza o evaporare maxima, presiunea în vaporizatoare trebuie sa fie cât mai mare posibil, respectând însa masurile de siguranța în exploatare. Totusi, este necesara o coordonare între cele doua vaporizatoare: daca primul funcționeaza la capacitatea maxima, poate furniza atât de mult abur încât sa depaseasca limitele de siguranța pentru al doilea. O schema de supervizare pentru acest proces va fi proiectata sa opereze asupra celor doua instalații astfel încât sa obțina rezultatele cele mai bune, în condiții de siguranța.

Algoritmii de supervizare vizeaza ansamblul procesului si se executa în timp real, în paralel cu operațiunile curente din proces. Cele mai multe dintre aplicațiile de supervizare a proceselor permit inginerilor si operatorilor sa cunoasca starile instalațiilor si sa intervina în timp real. În unele sisteme complexe sunt implementati la acest nivel si algoritmi de control destinați optimizarii. Complexitatea lor depinde de tipul procesului: este o mare diferența de exemplu între procesul de evaporare prezentat mai sus si supervizarea procesului într-o centrala electrica nucleara.

#### **2.2.4 Interfața om-masina**

Foarte importante în SCTR pentru controlul proceselor sunt facilitățile furnizate operatorilor de proces, inginerilor si managerilor.

Un operator de proces trebuie sa aiba la dispoziție mijloace simple si clare pentru intervenția în instalații sau echipamente. El trebuie sa poata schimba valorile variabilelor de referința, sa fie informat rapid despre condițiile de alarmare, sa poata acționa asupra elementelor de execuție direct de la dispozitivul de intrare.

Operatorii utilizeaza console dedicate, care au de obicei o tastatura speciala, unul sau mai multe monitoare si imprimanta. Pe monitoare se prezinta funcționarea instalațiilor prin intermediul schemelor sinoptice, sunt afisate evenimentele legate de proces si de funcționarea sistemului, se prezinta informații despre modul de funcționare al buclelor de reglare etc.

O mare parte din eforturile de proiectare si programare este dedicata dezvoltarii de aplicații destinate operarii cu mare usurința si prezentarii cât mai sugestive a informațiilor (prin scheme sinoptice, instrumente vizuale etc).

#### **2.2.5 Responsabilitățile inginerului de sistem-----**

Inginerul de sistem are ca responsabilitate configurarea aplicației pentru a controla procesul, pentru a oferi operatorilor informațiile necesare si pentru a crea si actualiza în timp real baze de date cu informații necesare analizei ulterioare, cu evenimentele care au aparut în instalații etc.

Cu alte cuvinte, inginerul responsabil de sistem trebuie sa aiba posibilitatea:

- sa defineasca modul de achiziție de date si de acțiune în proces;
- sa seteze constantele pentru scanare, filtrare, limite de alarmare si acționare etc.;
- sa defineasca buclele de reglare, eventual modul de cascada a controller-elor destinate reglării si de conectare cu alte elemente din schema de control;
- sa poata sa regleze modul de achiziție si control prin selectarea amplificatorilor celor mai potrivite;
- sa defineasca si sa programeze procedurile de control necesare pentru operarea automata;
- sa determine si sa implementeze schemele de supraveghere.

Software-ul trebuie sa puna la dispoziția inginerului mijloacele necesare pentru a face aceste lucruri. În acest scop, au fost realizate medii de dezvoltare a aplicațiilor de proces precum: WinCC, Monitor PRO, Genesys, InTouch, SL/GMS, PVSS II, ActivWare, MicroSCADA etc.

## 2.3 Structuri de sisteme pentru controlul proceselor industriale

### 2.3.1 Sisteme de control centralizate

Odata cu reducerea costurilor calculatoarelor s-a extins utilizarea sistemelor de control cu calculator.

Primele sisteme (anii 1960...1970) constau dintr-un singur calculator cu o capacitate suficienta pentru a îndeplini toate funcțiile unui proces. Acesta era conectat la un set de interfețe cu procesul. Semnalele de la traductoare în astfel de sisteme sunt aduse într-un singur loc (o camera) pentru a fi conectate la interfețe.

Dezavantajul unei astfel de soluții, pe lângă consumul mare de cabluri, este ca defectarea calculatorului afectează întregul sistem. Implementarea buclelor de control în sistemele centralizate pune probleme legate de disponibilitatea calculatorului central – nefuncționarea acestuia era echivalenta cu blocarea întregului proces. În anii '70 s-a trecut la implementarea buclelor de reglare cu regulatoare analogice, care primeau valorile de setpoint de la calculatorul central. În cazul defectării calculatorului, regulatoarele continuau funcționarea în regim de lucru local.

În anii '70-80, ca urmare a scaderii prețului calculatoarelor, pentru creșterea toleranței la defecte în aplicațiile industriale critice erau frecvent utilizate sisteme de calculatoare duble ( figura 2.3.1-1).

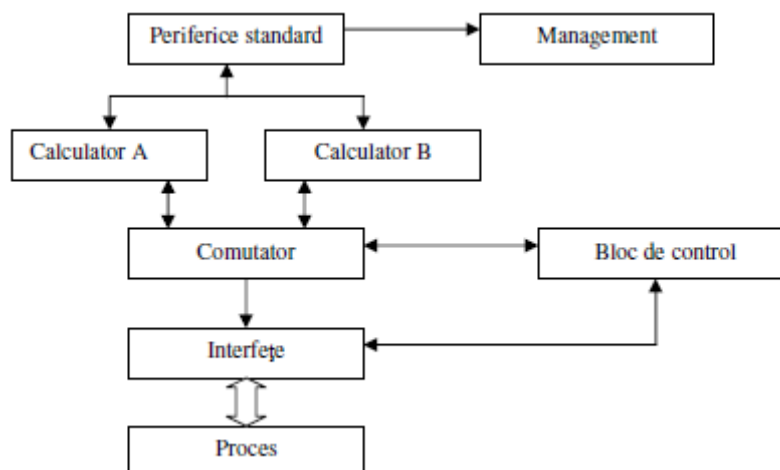


Fig. 2.3.1-1 Sistem cu calculatoare duble

Comutarea între cele două calculatoare poate fi manuală sau automată. Când este necesară comutarea automată comutatorul devine o componentă critică. De asemenea, programarea și problemele de testare și control sunt foarte complicate.

### 2.3.2 Sisteme ierarhizate

Au o largă răspândire în domeniile unde se iau decizii centralizate. Într-un sistem ierarhizat o celulă este implicată în luarea deciziei în felul următor (Fig. 2.3.2-1):

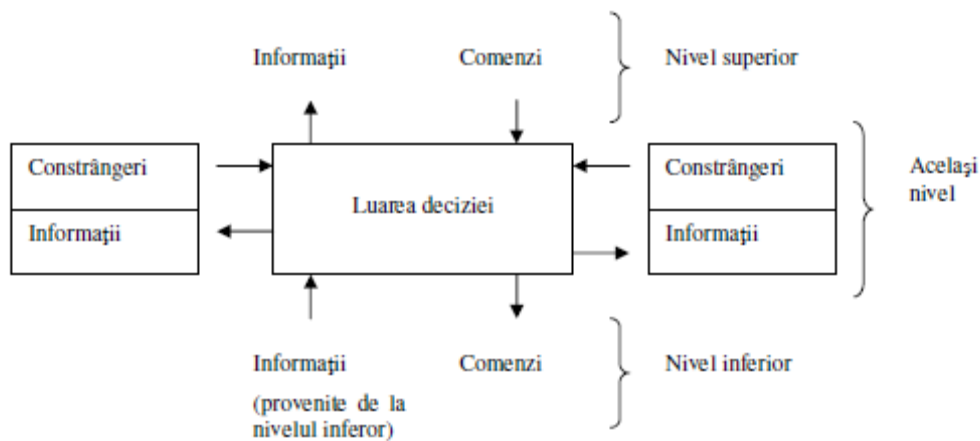


Fig. 2.3.2-1 Funcția de fabricare ierarhica a deciziilor

Fiecare element de decizie presupune recepționarea unor comenzi de la nivelul superior și transmiterea informațiilor înapoi la acest nivel. Pe baza informației recepționate de la elementele de pe nivelul inferior precum și pe baza corecțiilor sau constrângerilor impuse de elementele de pe același nivel se transmit comenzi la elementele de pe nivel inferior.

O structură ierarhică cu mai multe celule poate fi asimilată cu o piramidă ca în figura 2.3.2-2:

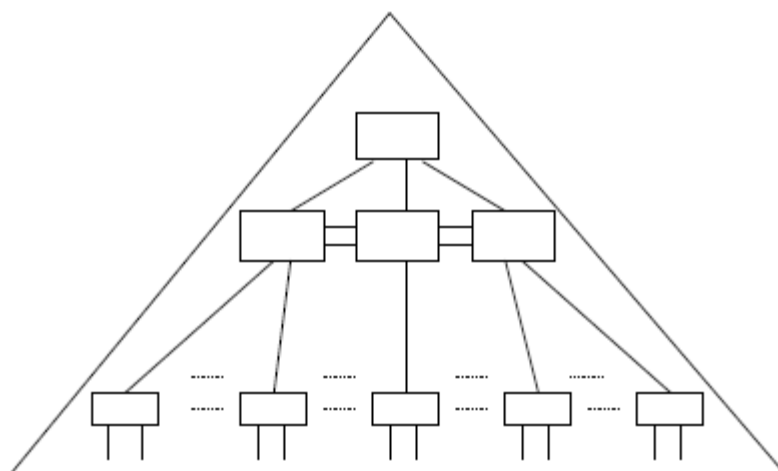


Fig. 2.3.2-2 Structura ierarhica de luare a deciziilor

La baza piramidei este necesar un timp de răspuns mic, de ordinul msec sau sec. Pe măsură ce se avansează spre vârful piramidei timpul de răspuns crește.

Un exemplu tipic de sistem ierarhizat este sistemul de producție automată a unor loturi de produse (figura 2.3.2-3).

Acest sistem are 3 niveluri pe care le vom denumi:

- manager;
- supervisor;
- unitate de control.

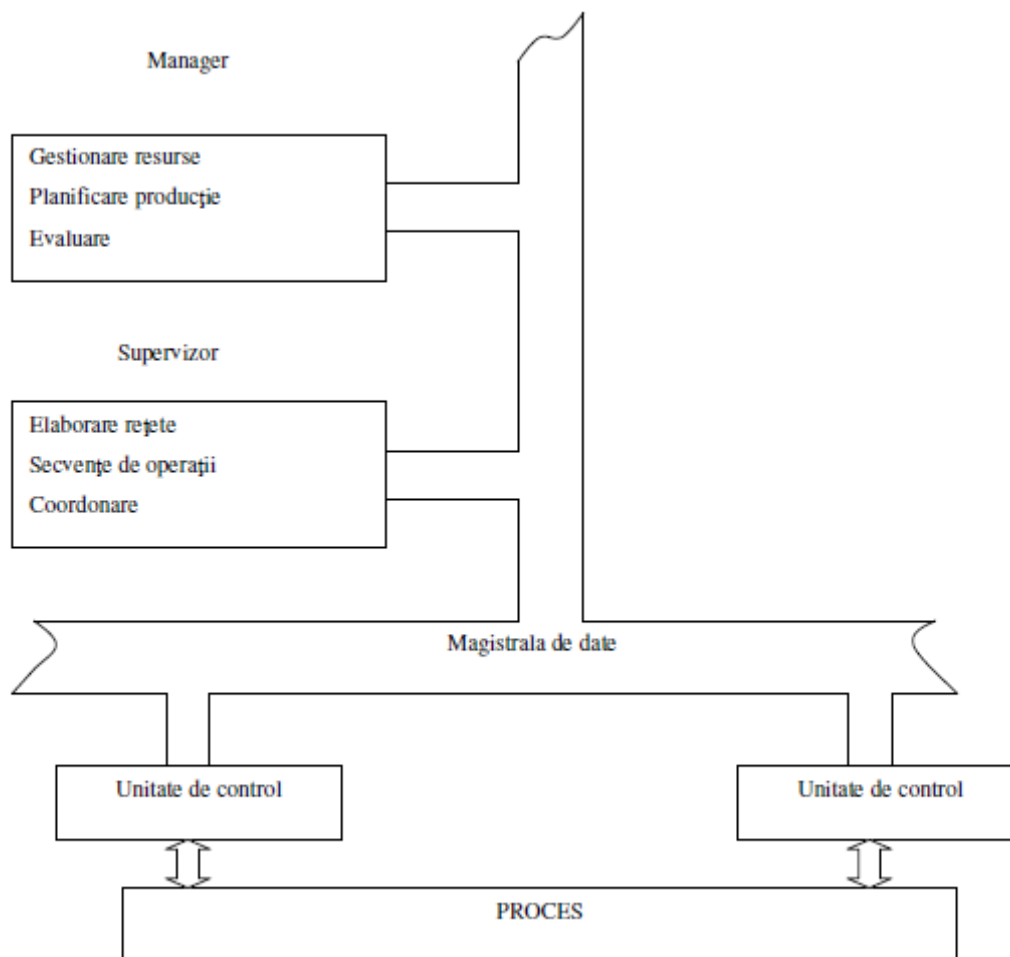


Fig. 2.3.2-3 Prelucrarea în loturi utilizând un sistem ierarhic

Se utilizează calculatoare separate pentru funcțiile de manageri, supervizori și pentru controlul procesului.

La nivelul de manager funcțiile principale sunt:

- gestiunea resurselor;
- programarea producției;
- evaluarea producției.

Informațiile referitoare la programarea producției sunt transferate la nivelul supervizor. Acest nivel are implementate rețelele de producție și secvențele de operații pentru obținerea produselor. Informațiile despre proces se încarcă la inițiativa supervizorului în unitățile de control care execută operațiile individuale. În timpul execuției, supervizorul va primi informații despre modul de derulare a fiecărui proces și va rezolva orice conflict în disputa asupra resurselor; de asemenea informează managerul despre rezultat.

La nivelul inferior, unitățile de control sunt responsabile de operațiile de proces (închiderea – deschiderea de vane, comutatoare, control de temperaturi, viteze, debite, monitorizarea alarmelor) și de informarea nivelului supervizor despre proces.

Cele mai multe sisteme ierarhizate necesită rețele de calculatoare distribuite, în practica cel mai des întâlnite sisteme de proces fiind cele distribuite (fizic și logic) și ierarhizate (în procesul de luare a deciziilor).

### 2.3.3 Sisteme distribuite

Caracteristicile unui sistem distribuit sunt:

- fiecare unitate poate executa task-uri similare cu celelalte unități de calcul;

□ în caz de defectare a unei unități, atributele acesteia pot fi realizate de alta unitate.

În sistemele distribuite, munca e divizată și executată de mai multe calculatoare. Aceasta implică dificultăți în realizarea modulelor hard și a pachetelor soft pentru că task-urile trebuie alocate mai multor procesoare, care partajează sau nu anumite resurse.

În realitate, cele mai multe sisteme moderne utilizează structuri distribuite și ierarhizate. În acestea, task-urile de măsură, acționare, control în buclă, comunicare cu operatorul, supervizare etc. sunt distribuite între mai multe calculatoare. Acestea sunt interconectate printr-un canal de comunicare de mare viteză (FIELD BUS sau LAN), de-a lungul cărui calculatoare sunt interconectate într-o structură ierarhică de comandă (figura 2.3.3-1).

Sistemele distribuite și ierarhizate au următoarele avantaje:

□ Capacitatea de calcul crește prin partajarea task-urilor între diferite procesoare. De exemplu, la nivelul 1 se pot face mult mai bine filtrări, scalări, măsurări, acționări, nu pentru că acestea sunt operații foarte complicate, ci mai ales pentru că se aplică unui număr mare de mărimi. De asemenea, calculele complicate pentru control în buclă se fac de către procesoare separate, crescând viteza de lucru și fiabilitatea. Nivelul 2 preia datele și trimite concluziile prin intermediul mediului de comunicație.

□ Sistemul este mai flexibil decât cu un singur procesor; se pot face mai ușor modificări prin adăugarea de noi module. De asemenea, se pot utiliza standardizările specifice comunicațiilor de date în rețea.

□ Defectarea unui modul nu afectează întreg sistemul. Pentru izolarea defecțiunii se poate trece ușor în alt mod de lucru (manual de exemplu) apoi se face înlocuirea.

□ Se pot face ușor modificări hard și soft deoarece este mai ușor să modifici un singur modul decât întreg sistemul.

□ Calea de comunicare serială permite ca echipamentele să fie distribuite pe o arie geografică mai mare, nemaifiind astfel necesare cabluri care să aducă semnalele într-o singură încăpere.



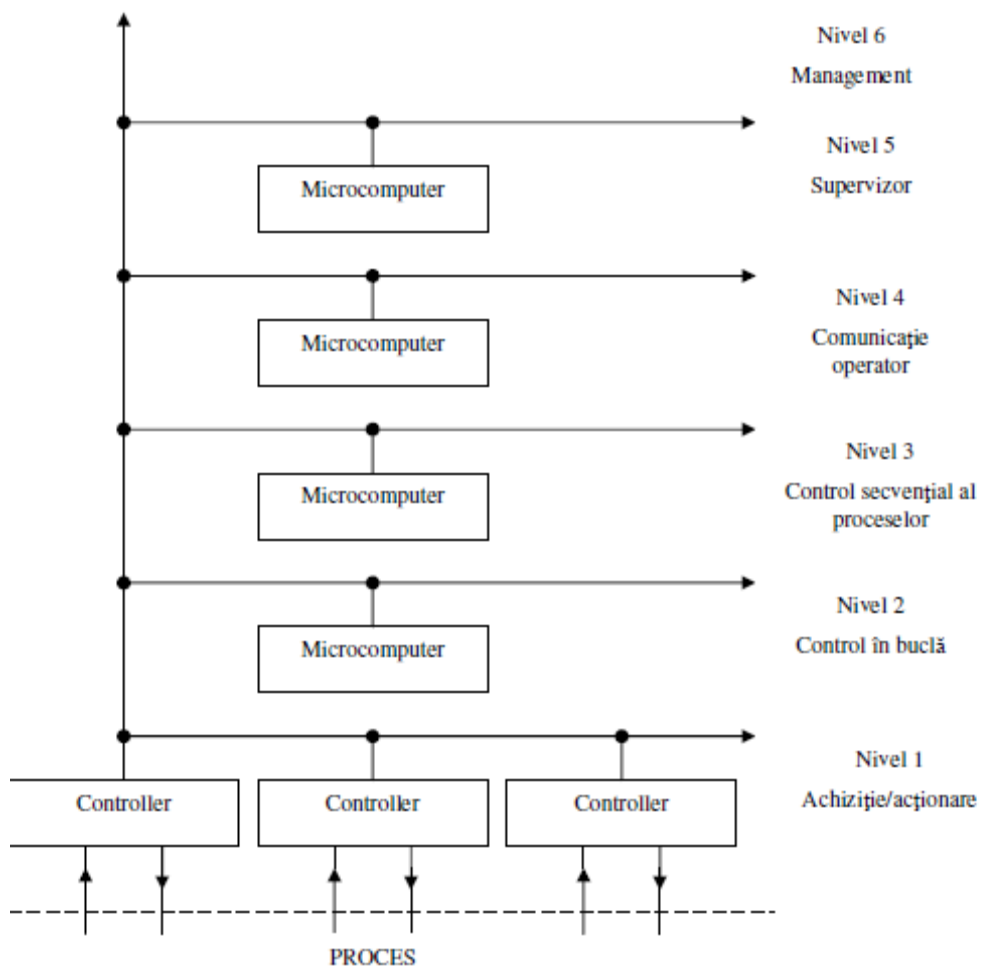


Fig. 2.3.2-1 Sistem distribuit si ierarhizat

### 2.3.4 Piramida automatizarii

SCTR distribuite si ierarhizate înlocuiesc tot mai frecvent sistemele clasice de automatizare. Nivelurile ierarhice de automatizare pot fi reprezentare prin piramida automatizarii (figura 2.3.4-1).

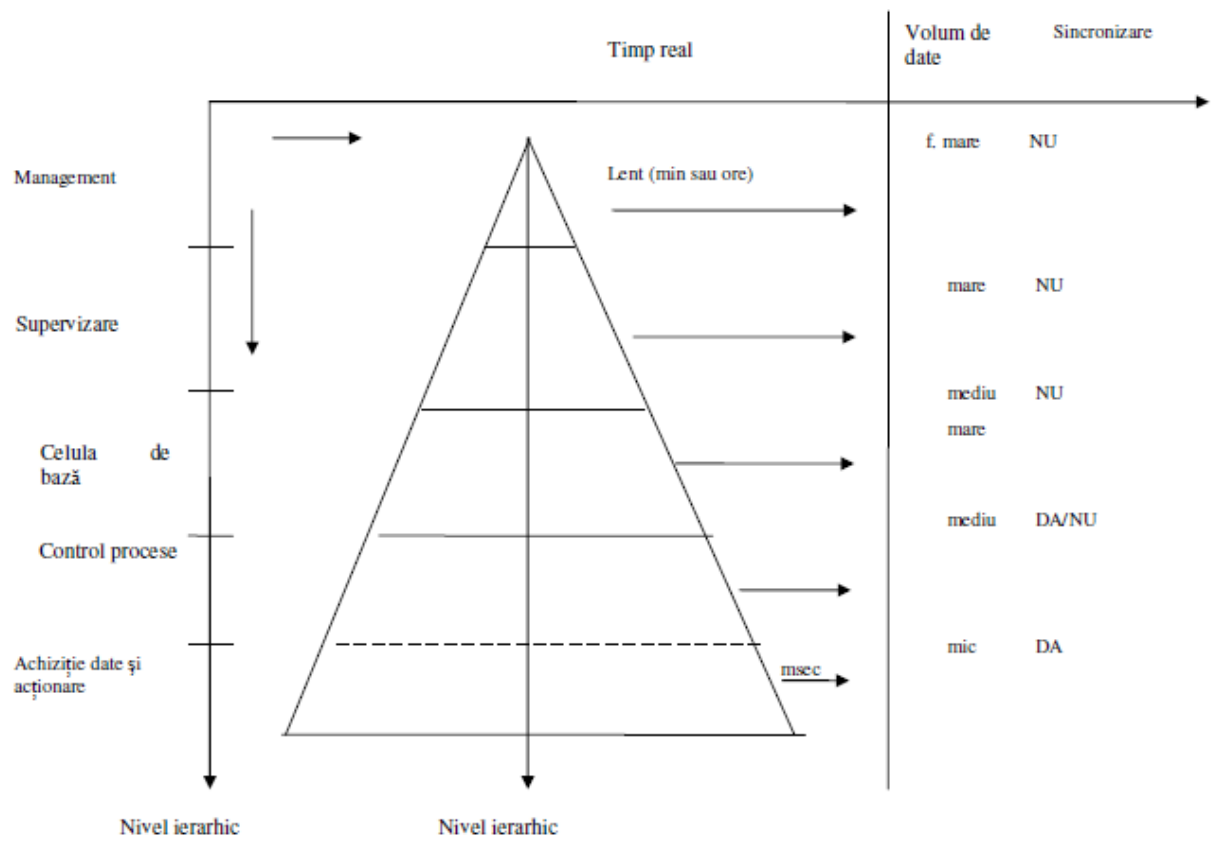


Fig. 2.3.4-1 Piramida automatizarii

Parametrii luați în considerare sunt: nivelul ierarhic, cerințele timp - real, volumul de date gestionat de elementele de prelucrare și cerințele de sincronizare.