

***OPTIMIZAREA MODULELOR DE INSPECȚIE
DIMENSIONALĂ DIN COMPONENTA LINIILOR
AUTOMATIZATE DE FABRICAȚIE***

- monografie după Teza de Doctorat –

(conducător științific: Profesor doctor inginer Ciprian Iustin OLTEANU)

Barbu Cristian BRAUN



2023

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: 500091 Brașov,
B-dul Iuliu Maniu 41A
Tel:0268 – 476050
Fax: 0268 476051
E-mail : editura@unitbv.ro

Copyright © Autorul, 2023

**Editură acreditată de CNCSIS
Adresa nr.1615 din 29 mai 2002**

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

BRAUN, BARBU CRISTIAN

Optimizarea modulelor de inspecție dimensională din componența

liniilor automatizate de fabricație / Barbu Cristian Braun. - Brașov :

Editura Universității "Transilvania" din Brașov, 2023

Conține bibliografie

ISBN 978-606-19-1660-3

681.518.3;

519.8

PREFAȚĂ

Monografia **Optimizarea modulelor de inspecție dimensională din componența liniilor automatizate de fabricație** răspunde într-o foarte mare măsură cerințelor de ultimă oră privind atât asigurarea eficienței, cât și a calității și fiabilității produselor fabricate.

Asigurarea calității proceselor de fabricație cât mai ales a produselor finite este strict condiționată de asigurarea calității tuturor componentelor din structura oricărui produs finit, mai ales în privința celor cu rol funcțional activ în funcționarea corectă, sigură, eficientă și durabilă a produsului.

Pentru aceasta, un aspect deosebit de important îl are inspecția dimensională ale componentelor cu rol activ, punându-se nu doar problema verificării abaterilor dimensionale, cât și a abaterilor de formă și a abaterilor în regim dinamic, cum ar fi, de exemplu bățile radiale și/sau axiale ale unor repere de revoluție.

În cadrul acestei monografii sunt identificate și descrise o serie de soluții menite să îmbunătățească radical procesul tehnologic de inspecție dimensională, atât din punct de vedere al eficientizării, cât și sub aspectul creșterii preciziei, în condițiile asigurării unor costuri relativ scăzute. Lucrarea descrie principalele contribuții aduse de autor în scopul menționat mai sus, printre acestea fiind de remarcat pe de-o parte contribuțiile teoretice, analitice, iar pe de altă parte cele experimentale menite să identifice soluțiile optime, inovative privind optimizarea proceselor de inspecție dimensională.

Prin această monografie pot fi ușor scoase în evidență principalele avantaje ale metodelor teoretice și practice identificate și dezvoltate pe parcursul cercetării făcute în perioada de elaborare a Tezei de Doctorat „Contribuții privind optimizarea echipamentului de măsurare de la automatele de control”. În acest sens, principalul avantaj este acela că aceste metode sunt flexibile, putând fi folosite în diferite situații, în cadrul diferitor posturi de inspecție și control dimensional, având regimuri de funcționare variate. Prin aceasta se poate demonstra faptul că soluțiile identificate pot fi cu succes aplicate în cadrul liniilor de producție din halele industriale, cu aplicații într-o gamă foarte variată de domenii. Un exemplu din acest punct de vedere îl constituie faptul că metodele de inspecție dimensională pot fi aplicate atât post-proces de producție, cât și în timpul procesului, putând fi în acest mod reduse drastic rebuturile.

Nu în ultimul rând, cercetările s-au axat și pe aspectul optimizării din punctul de vedere al creșterii eficienței energetice și al reducerii costurilor necesare privind procesele de inspecție dimensională și asigurarea calității. Pentru aceasta s-a realizat un studiu analitic privind evaluarea comparativă a mai multor metode propuse în acest scop, cercetarea fiind sintetizată printr-un algoritm asistat, descris în cadrul lucrării.

Tema abordată în cadrul cercetării a fost, este și va rămâne întotdeauna una de mare importanță, de eficientizarea proceselor de inspecție dimensională depinzând strict asigurarea calității componentelor fabricate și, implicit calitatea și fiabilitatea produselor finite.

Monografia *Optimizarea modulelor de inspecție dimensională din componența liniilor automatizate de fabricație* face parte dintr-o serie de publicații în domeniul creșterii eficiente a calității cu aplicații în industrie și medicină, elaborate de către colectivul de cadre didactice și cercetători din cadrul Universității Transilvania din Brașov. Aceasta poate constitui o excelentă bază de referință atât pentru automatizarea proceselor de producție, cât și pentru instruirea operatorilor și programatorilor de linii robotizate de mare precizie din industrie.

SEMNIFICAȚIA SIMBOLURILOR ȘI A NOTAȚIILOR

A. Semnificația simbolurilor

| | |
|--|---------------------|
| T_c – durata unui ciclu de control al calității unui semifabricat | [s] |
| T_m – durata unui ciclu de măsurare dimensională | [s] |
| T_{oa} - durata operațiilor auxiliare necesare controlului calității | [s] |
| T_o - timpii fiecărei operații în parte | [s] |
| ε - eroarea de măsurare dimensională | [μ m] |
| v – viteza de antrenare a unui reper în postul de măsurare, în cazul antrenării în translație | [m/s] |
| ω - viteza de antrenare a unui reper în postul de măsurare, în cazul antrenării în rotație | [rot/s] |
| x_i – mărimea de intrare a unui mijloc de măsurare | [mm] |
| D_m – domeniul de măsurare al unui mijloc de măsurare | [mm] |
| e – eroarea de centrare a reperului supus măsurării dimensionale | [mm] |
| G_p greutatea sistemului de palpare al mijlocului de măsurare | [N] |
| F_a – forța arcului pentru asigurarea forței de măsurare, pentru mijloacele de măsurare cu contact | [N] |
| r – raza vârfului de palpare al mijlocului de măsurare | [mm] |
| E – modulul de elasticitate al materialului din care este confecționat reperul măsurat | [N/m ²] |
| ν - coeficientul lui Poisson pentru materialul din care este confecționat reperul măsurat | - |
| δ - deformarea reperului supus măsurării, prin folosirea mijloacelor cu contact | [μ m] |
| T - toleranța de prelucrare a reperului uzinat | [μ m] |
| L – lungimea de măsurare a reperului supus inspecției dimensionale | [mm] |
| R – raza reperului, în cazul antrenării în rotație | [mm] |
| U_e – tensiunea semnalului de ieșire de la traductorul utilizat ca mijloc de măsurare | [V] |

B. Semnificația abrevierilor

| |
|--|
| <i>I.D.A.D.vi</i> – Inspecția dimensională asistată în regim dinamic – aplicație software |
| <i>I.D.A.S.vi</i> - Inspecția dimensională asistată în regim static – aplicație software |
| <i>M.A.C.F.P.vi</i> – Măsurarea abaterii de formă a carcaselor de pompă – aplicație software |
| <i>CMD.M.vi</i> – Comandă măsurare – aplicație software |
| <i>O.A.E.E.vi</i> – Optimizarea asistată a echipamentului experimental - aplicație software |
| <i>O.E.M.A.vi</i> – Optimizarea echipamentului de măsurare asistată - aplicație software |
| <i>S.T.E.M.D.vi</i> – Statistica erorilor de măsurare induse în regimul dinemic – aplicație software |
| <i>M.A.D.R.vi</i> - Modelarea analitică a comportării dinamice pentru piesele antrenate în rotație |
| <i>M.A.D.T.vi</i> - Modelarea analitică a comportării dinamice a reperelor antrenate în translație. |

INDEX DE TERMENI

1. **Actuator** - sistem pentru comanda sau reglarea unor procese, pe baza unor semnale provenite de la senzorii ce măsoară anumiți parametri fizici.
2. **Câmp de toleranță** - valoarea maximă a abaterii de formă a căilor de rulare a inelelor, până la care nu este afectată corecta funcționare a rulmentului.
3. **Câmp de toleranță dimensională** - abaterea dimensională maximă pentru care un reper poate fi considerat corespunzător din punct de vedere dimensional.
4. **Control multicotă** - măsurarea simultană a mai multor parametri geometrici ai unui reper.
5. **Control post proces** - control care are loc în urma operațiilor tehnologice de prelucrare a unui reper.
6. **DIADUR** – material metalo-ceramic dur, obținut prin sinterizarea pulberilor metalice de Titan sau Wolfram, utilizat la mai ales la confecționarea riglelor incrementale ale traductoarelor de deplasare.
7. **Erori de aliniament** - erori cauzate de erorile de poziționare a elementelor mobile ale aparatelor mecanice.
8. **Forțe masice** - forțele dezvoltate de masele elementelor ce intră în componența aparatelor cu structuri mecanice.
9. **Hidroplast** - material plastic, cu proprietăți elastice la temperaturi cuprinse între 18 și 20°C, având proprietatea de a transmite presiunea în mod constant în orice direcție.
10. **Inspecție dimensională flexibilă** reprezintă inspecția dimensională adaptabilă în funcție de parametrii geometrici necesari a fi mășurați, după caz, acest proces putându-se realiza la nivelul aceluiași post de control.
11. **Palpator sferic multicap** - sistem de palpate cu mai multe capete sferice, care intră pe rând sau simultan în contact cu suprafața / suprafețele măsurate.
12. **Regim de măsurare** - regimul vitezelor de antrenare a pieselor în postul de control, în timpul procesului de măsurare dimensională, în cazul în care aceasta se face dinamic.
13. **Rezoluție de măsurare** - numărul măsurărilor realizate pentru o unitate de lungime sau de suprafață bine stabilită.
14. **Senzori magnetici Hall** - senzori cu proprietatea de a furniza un semnal de tip impuls, la trecerea unui magnet în dreptul acestora.
15. **Valori instantanee măsurate** - valorile măsurate la un moment dat în timpul procesului.

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE PRIVIND STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII MODULELOR DE INSPECIE DIMENSIONALĂ

1.1 ROLUL MODULELOR DE CONTROL ȘI INSPECIE ÎN PROCESUL DE PRODUCȚIE

Automatizarea în industrie aduce nu numai avantajul creșterii considerabile a productivității, dar și multe alte avantaje, cum ar fi: reducerea costurilor de producție, creșterea calității, scurtarea ciclurilor de fabricație, îmbunătățirea condițiilor de muncă, reducerea risipei de materiale etc.

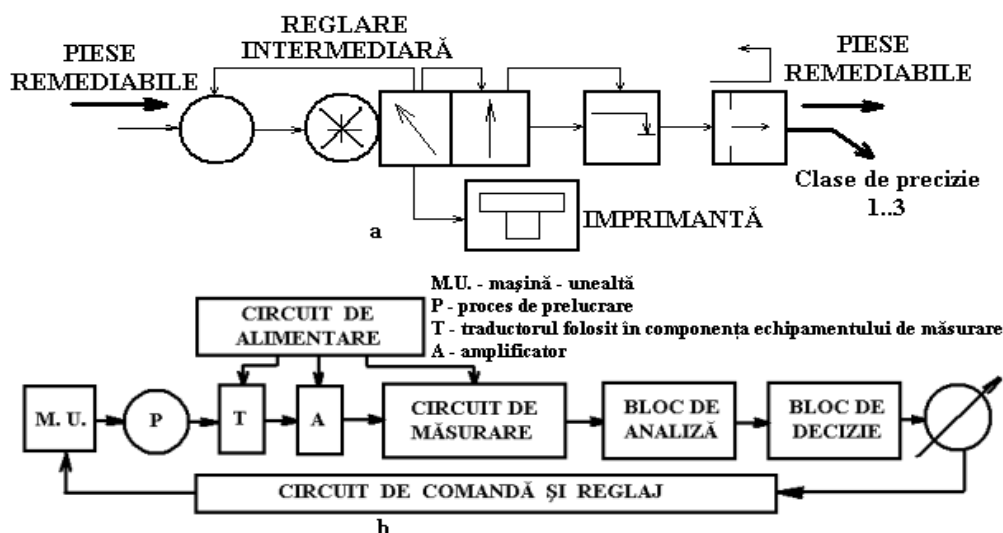
Procesele de automatizare a producției au în vedere în mod deosebit operațiile de control, deoarece de acestea depinde strict calitatea produsului. Prin control se înțeleg toate acele operații care asigură verificarea tuturor aspectelor privind calitatea uzinării semifabricatelor și a reperelor ce intră în componența produsului final [B30], [C5], [C12], [F4], [G3].

1.1.1 Clasificarea și structura automatelor de control

Automatele de control pot realiza două tipuri de evaluare:

- controlul pasiv, la care se constată calitatea produselor realizate fără să se intervină în timpul procesului de fabricație; acesta nu poate preveni execuția necorespunzătoare a pieselor în timpul procesului de fabricație;
- controlul activ, care se desfășoară în timpul procesului de fabricație și preîntâmpină apariția pieselor necorespunzătoare [C6].

În cazul controlului pasiv, măsurarea se poate face atât înaintea cât și după procesul de prelucrare. Măsurarea dimensională înainte de prelucrare contribuie la sortarea pieselor în funcție de adaosul de material în raport cu cel optim, pentru preîntâmpinarea uzurii premature sau deteriorării sculelor așchietoare. Controlul pasiv prezintă o productivitate scăzută, ca urmare a duratei mari a procesului de control în raport cu celelalte operații tehnologice. În figura 1.1.1, a) este prezentată structura unui automat de control pasiv, integrat într-o linie de fabricație [C6].



Controlul activ este o metodă foarte eficientă de automatizare a procesului de inspecție dimensională deoarece poate influența în mod direct asupra procesului tehnologic, asigurându-se precizia necesară de execuție și, totodată, evitarea rebuturilor. Și în acest caz este preîntâmpinată scoaterea prematură din uz a sculelor așchietoare.

Din punctul de vedere al procesului, controlul activ poate fi în timpul prelucrării sau post proces, acesta având loc imediat după prelucrare.

În cazul controlului activ în timpul prelucrării, mijlocul de măsurare poate fi reglat în regim automat, prin aceasta compensându-se deformația cauzată de temperatură, uzura sculei așchietoare, generarea de erori sistematice. La atingerea dimensiunii prescrise pentru reperul prelucrat, are loc comanda opririi automate, pe baza semnalului dat de echipamentul de inspecție dimensională [M19].

În figura 1.1.1, b) este prezentată schema bloc a unui automat pentru controlul activ în timpul prelucrării.

1.1.2 Exemple de automate de control folosite în industrie

Până în prezent, în general, automatele de control au fost prevăzute pentru controlul de parametri geometrici, de suprafață, de funcționare sau de structură pentru un anumit tip de piesă, controlul făcându-se pe serii mari. De exemplu, companiile OMRON (Japonia), respectiv BLUM NOVOTEST (Germania) au dezvoltat echipamentele de măsurare din componența automatelor pentru controlul orientării corecte a reperelor semifabricate. [B10], [W1].

Companiile TALYROND și TAYLOR-HOBSON au dezvoltat automate pentru controlul calității pieselor ce intră în componența produselor finite. În acest caz controlul se face cu ajutorul codurilor de bare [T4].

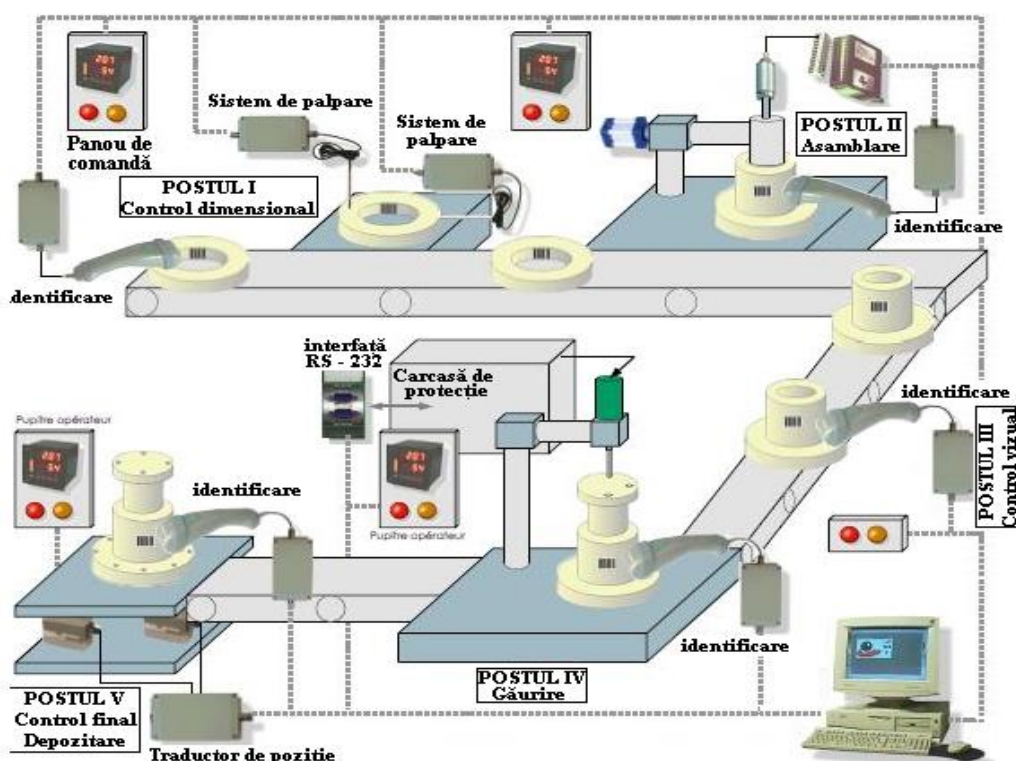


Fig. 1.1.2 Automat de control al unor subansambluri în timpul procesului de fabricație [C]

La nivelul fiecărui post, este citit câte un cod de bare, după care acesta este înregistrat în calculator, cu valorile corespunzătoare fiecărei piese în parte. Panoul de comandă permite: validarea operațiilor efectuate la nivelul fiecărei faze de fabricație, declararea rebut a unei piese necorespunzătoare sau reînceperea unui control (figura 1.1.2).

Ca urmare a identificării piesei de formă inelară, în postul (1) are loc o inspecție dimensională a acesteia, prin palpate, cu ajutorul unui traductor de deplasare inductiv. La postul (2) are loc asamblarea piesei controlate la postul (1) cu o altă piesă, tubulară, identificată și ea în prealabil. După asamblare, la postul (3) se realizează un control fără contact al piesei tubulare nou asamblate. Acest control se face cu ajutorul unui traductor ce funcționează pe principiul emisiei și al recepției de raze LASER. După asamblarea unei alte piese de tip capac, la postul (4) are loc găurirea acesteia din urmă, iar la postul (5) are loc un control final al ansamblului realizat. Rezultatele controlului final și intermediar sunt transmise panoului de comandă. Dacă subansamblul este bun, atunci acesta este lăsat să avanseze mai departe pe linia de fabricație, dacă nu, acesta este scos din linia de fabricație și declarat rebut. Cu ajutorul unui PC printr-o interfață software se pot configura parametrii rețelei. Acesta înregistrează într-o bază de date valorile obținute în urma fiecărui control și numărul piesei controlate, permițându-se de asemenea depistarea numerelor loturilor de piese elementare ce intră în componența produsului. Totodată se poate realiza prelucrarea, editarea, arhivarea și exportul datelor.

Compania elvețiană CENSOR a dezvoltat în perioada anilor 1980 o serie de automate pentru controlul parametrilor geometrici și funcționali ai lagărelor. Un exemplu se referă la inspecția dimensională a inelelor interioare ale rulmenților cu bile (figura 1.1.3) [C6]. Structura postului de control indică faptul că automatul este perfect integrat în linia de fabricație. La apariția inelului, un senzor inductiv comandă cilindrul C_1 , aducând inelul în postul de măsurare I. Un limitator de capăt de cursă comandă retragerea cilindrilor C_1 și avansul cilindrilor C_2 pentru introducerea capului de măsurare a inelului interior.

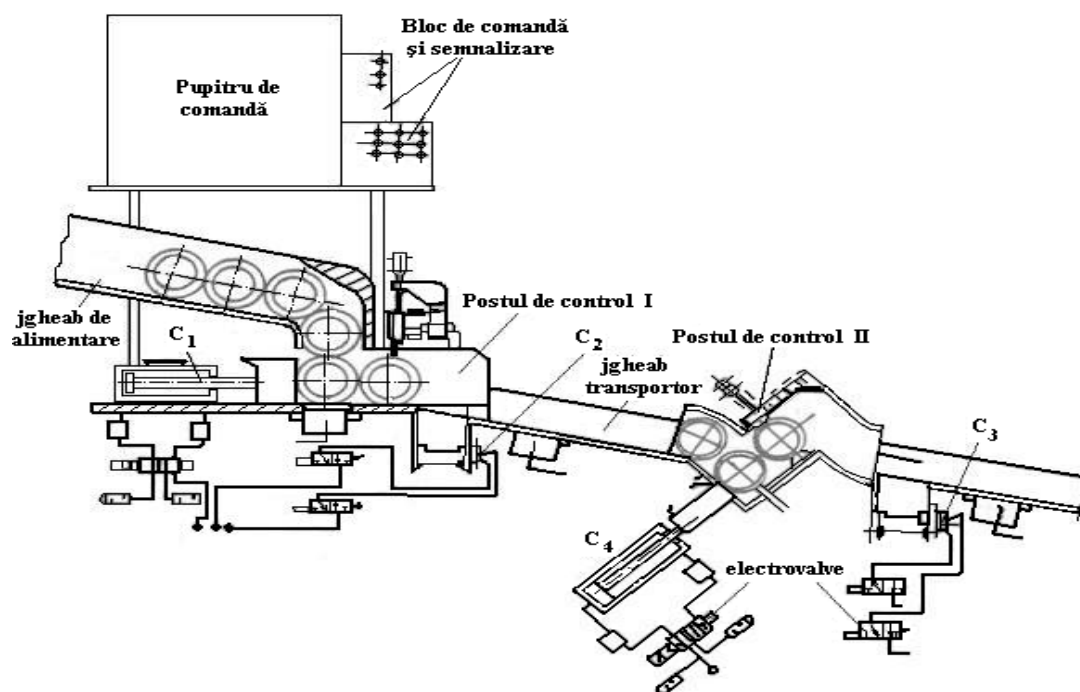


Fig. 1.1.3 Automat pentru controlul diametrului exterior, al diametrului interior și al lății inelelor de rulment [C6], [F1]

În cadrul industriei auto, au fost dezvoltate diferite automate de control pentru piese specifice. Un exemplu îl constituie automatul pentru controlul alezajelor (figura 1.1.4).

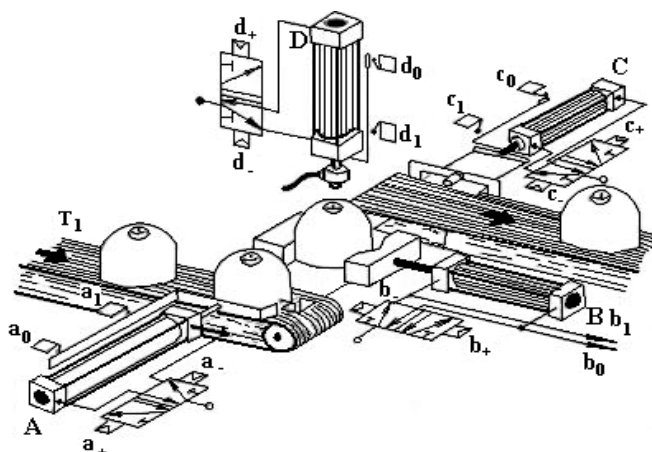


Fig. 1.1.4 Automat pentru controlul alezajului unor reperi cu aplicații în industria alimentară [I1]

Principiul de funcționare al acestui automat este pneumatic, tactul de funcționare putând fi reglat în funcție de tactul liniei de fabricație. [C6], [I1]. Verificarea pompelor de injecție și a mecanismelor cu came din componența motoarelor constituie un alt exemplu de sistem automat de control [M8], [P3].

Structura acestuia este de tipul celei din figura 1.1.5. Cama ajunge pe un platou rotativ, ce este pus în mișcare cu ajutorul unui motor pas cu pas, cu rezoluție foarte fină și viteză unghiulară foarte mică. Astfel, cama ajunge în dreptul postului de control unde are loc măsurarea acesteia cu ajutorul unui traductor inductiv sau al unui traductor optic, pe principiul LASER. Informația este transmisă la un bloc de leduri, care înștiințează operatorul dacă piesa este sau nu conformă din punctul de vedere dimensional. Operația de rebutare și de scoatere din circuitul de fabricație a piesei prea mici, precum și cea de rectificarea a piesei prea mari se poate face fie manual, fie automat, chiar în cadrul aceluiași sistem.

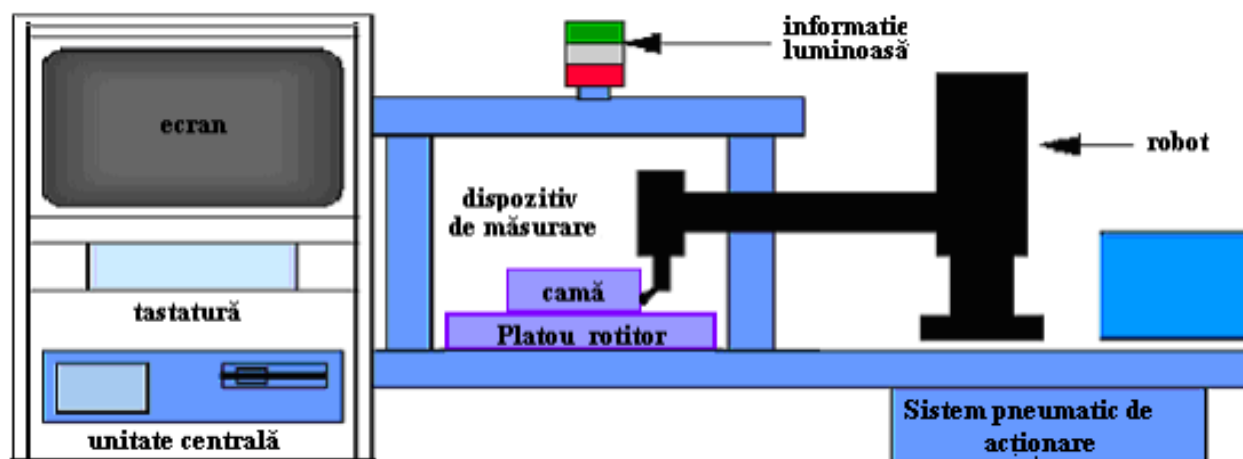


Fig. 1.1.5 Sistem automat de control al camelor [M8]

Semnalul de la traductor este transmis unui sistem de calcul dotat cu un ecran, unde pot fi vizualizate (cu precizie de ordinul zecimilor de micrometru) abaterile dimensionale și de formă a profilului camei măsurate. La nivelul sistemului de calcul are loc transferul și prelucrarea datelor, cu ajutorul unui soft specific, putându-se vizualiza și lista la imprimantă rezultatele. Mai mult, în cazul