

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
Catedra Organe de Mașini și Mecanisme

Ing. Marius Mateaș

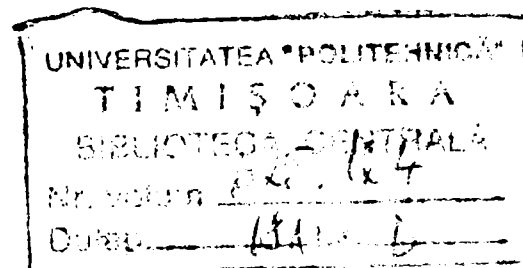
**MIJLOACE ȘI METODE DE
DETERMINARE A PARAMETRILOR
CALITATIVI AI ROBOȚILOR
INDUSTRIALI.
CRITERII DE APRECIERE ȘI DIAGNOZĂ**

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător științific: Prof.Dr.Ing. Dan Perju

- 1999 -



CUPRINS

Cuprins	C.1
Prefață	P.1
1 Introducere	1.1
1.1. Conceptul de calitate	1.1
1.1.1. Definiția calității	1.1
1.1.2. Componentele calității unui produs	1.2
1.2. Noțiunea de calitate aplicată în cazul roboților industriali	1.4
1.3. Tendințe actuale și de perspectivă în stabilirea calității RI.	1.6
2 Stadiul actual în domeniul determinării indicatorilor de calitate și diagnosticării RI	2.1
2.1. Definirea nivelului de calitate al RI	2.1
2.1.1. Indicatori de calitate ai RI. Definiție și clasificare.	2.1
2.1.2. Stadiul actual al utilizării indicatorilor de calitate ai RI	2.5
2.1.3. Rolul indicatorilor de calitate în determinarea nivelului de calitate al RI	2.7
2.2. Stadiul actual al utilizării indicatorilor de calitate ai RI în procesul de selecție	2.8
2.2.1. Indicatori de calitate geometrici	2.8
2.2.2. Alte categorii de indicatori de calitate utilizați în mod curent	2.13
2.3. Mijloace și metode actuale pentru stabilirea indicatorilor de calitate ai RI	2.16
2.3.1. Reflectarea în norme și standarde a indicatorilor de calitate	2.16
2.3.2. Reflectarea în norme și standarde a mijloacelor și metodelor de determinare a indicatorilor de calitate și a diagnosticării RI	2.18
3 Contribuții la stabilirea unor indicatori de calitate pentru aprecierea performanțelor robotului industrial	3.1
3.1. Propuneri privind introducerea unor indicatori obligatorii pentru aprecierea calității unui RI. Indicatori de calitate simpli.	3.1
3.2. Indicatori de calitate compuși	3.3
3.2.1. Indicatori de sarcină	3.3
3.2.2. Indicatori ai spațiului de lucru	3.4
3.2.3. Indicatori de mobilitate	3.4
3.2.4. Indicatori de exactitate / repetabilitate	3.5

3.2.5. Indicatori ai regimului de lucru	3.7
3.2.6. Indicatori de rigiditate / amortizare	3.8
3.2.7. Indicatori de forță și energetici	3.10
3.2.8. Indicatori de cost / prețuri specifice	3.11
3.3. Determinarea ponderii indicatorilor de calitate în procesul de stabilire a nivelului de calitate al RI	3.12
3.4. Indicatori de calitate globali	3.16
3.5. Determinarea unor indicatori de calitate pe un eșantion de 190 de RI	3.18
3.5.1. Prezentarea generală a studiului	3.18
4 Contribuții la elaborarea unor mijloace și metode pentru determinarea indicatorilor de calitate ai RI	4.1
4.1. Propuneri pentru realizarea unor sisteme de măsurare pentru determinarea indicatorilor de calitate geometrici	4.1
4.1.1. Proiectarea unei instalații cu braț telescopic	4.1
4.1.1.1. Generalități	4.1
4.1.1.2. Principiul de funcționare al instalației	4.2
4.1.2. Realizarea unei instalații optoelectronice pentru determinarea indicatorilor geometrici și cinematici	4.4
4.1.2.1. Generalități	4.4
4.1.2.2. Descrierea instalației opto-electronice propuse	4.9
4.1.2.3. Modelul matematic	4.10
4.1.2.4. Soluția constructivă de principiu a sistemului de măsurare	4.18
4.1.2.5. Determinări experimentale cu privire la funcționarea unei unități receptoare cu fotodiodă	4.20
4.1.2.6. Considerații privind domeniul de utilizare al sistemului de măsurare propus	4.22
4.1.3. Propuneri privind realizarea unei instalații optoelectronice pentru determinarea în regim static a indicatorilor geometrici	4.25
4.1.3.1. Generalități	4.25
4.1.3.2. Modelul matematic al procesului de măsurare cu instalația propusă	4.27
5 Contribuții la elaborarea unor mijloace și metode de monitorizare a nivelului de calitate al robotului industrial în exploatare	5.1
5.1. Necesitatea monitorizării nivelului de calitate al robotului industrial în exploatare	5.1

5.1.1. Factorii ce influențează nivelul de calitate al RI	5.1
5.1.2. Efectul monitorizării indicatorilor de calitate ai RI în exploatare	5.2
5.2. Efectul mediului asupra indicatorilor de calitate	5.3
5.3. Supravegherea menținerii indicatorilor de calitate în timpul aplicației robotizate	5.4
5.3.1. Generalități	5.4
5.3.2. Mijloace și metode de monitorizare on-line ale indicatorilor geometrici	5.5
5.3.2.1. Mijloace și metode de monitorizare on-line a situării efectorului final al RI	5.5
5.3.2.2. Aplicarea metodei celor patru puncte la monitorizarea RI	5.7
5.3.2.3. Metodă de calibrare a camerei CCD pentru determinarea parametrilor interni ai acesteia	5.8
5.3.3. Mijloace și metode de monitorizare a nivelului de menținere a vitezei programate	5.13
5.3.4. Mijloace și metode de monitorizare a nivelului de vibrații la efectorul final	5.16
5.3.4.1. Importanța monitorizării nivelului de vibrații al RI	5.16
5.3.4.2. Tipuri de traductoare utilizate la determinarea nivelului de vibrații	5.17
5.3.4.3. Modul de exploatare a informațiilor provenite din măsurarea vibrațiilor la RI	5.19
5.3.5. Monitorizarea temperaturii elementelor sistemului mecanic și de acționare al RI	5.20
5.3.5.1. Importanța monitorizării termice a RI	5.20
5.3.5.2. Propuneri privind monitorizarea și diagnosticarea termică a RI	5.24
5.3.5.3. Propuneri privind determinarea pe cale experimentală a unor metode de comportare termică a elementelor RI în vederea diagnosticării on-line a acestora	5.31
5.4. Studiul posibilității de monitorizare a unor indicatori de calitate ai RI acționat electric prin urmărirea variației intensității curentului electric de alimentare al motoarelor	5.35
5.4.1. Determinarea indicatorilor de calitate ce pot fi monitorizați prin măsurarea intensității curentului electric absorbit de motoare	5.35

5.4.2. Propuneri privind determinarea unor metode de reacție în vederea identificării unor defecte posibile	5.37
6 Contribuții la elaborarea unor soluții constructive de instalații pentru determinarea indicatorilor de calitate ai roboților industriali	6.1
6.1. Instalație fără contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare	6.1
6.1.1. Generalități	6.1
6.1.2. Prezentarea soluției constructive adoptate pentru instalația de determinare a caracteristicilor de situare a I.D.C.S.	6.3
6.2. Instalație cu contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare	6.6
6.2.1. Necesitatea proiectării și experimentării unor instalații cu contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare în regim dinamic	6.6
6.2.2. Stabilirea domeniului de lucru al instalației și limitele acestuia	6.7
6.2.3. Considerații privind exactitatea de măsurare a instalației	6.9
6.2.4. Soluția constructivă adoptată pentru instalația de măsurare cu fir și braț telescopic	6.13
7 Determinări experimentale	7.1
7.1. Prezentare generală	7.1
7.2. Întocmirea programului de experimentări	7.2
7.2.1. Determinarea indicatorilor de calitate geometrici	7.2
7.2.1.1. Determinarea derivei punctului caracteristic. Generalități	7.3
7.2.1.2. Determinarea pasului minim programabil. Generalități	7.7
7.2.1.3. Determinarea cursei după comanda STOP. Generalități	7.13
7.2.1.4. Unele aspecte privind determinarea exactității de traiectorie	7.17
7.2.2. Determinarea unor indicatori cinematici	7.32
7.2.2.1. Determinarea indicatorilor de viteză ai robotului industrial	7.32
7.2.2.2. Determinarea experimentală a indicatorului de accelerație	7.41
7.2.2.3. Determinarea indicatorilor de timp	7.48
7.2.3. Determinarea unor indicatori dinamici	7.52

7.2.4. Determinarea unor indicatori termici	7.63
7.2.4.1. Generalități	7.63
7.2.4.2. Utilizarea indicatorilor termici pentru monitorizarea funcționării RI	7.64
8 Concluzii de ansamblu asupra tezei. Contribuții și posibilități de exploatare concretă a acestora în mediul industrial, de cercetare și educațional	8.1
8.1. Concluzii finale	8.1
8.2. Contribuții teoretice	8.3
8.3. Contribuții cu aplicabilitate directă	8.4
8.4. Contribuții în domeniul cercetării	8.6
Anexe	A.1
Bibliografie	B.1

PREFAȚĂ

Dintotdeauna procesul de selecție, indiferent în ce domeniu s-a aplicat, a avut ca principal criteriu, calitatea și raportul calitate / cost.

În multe situații însă accesul la acest criteriu nu este simplu. Iată de ce, teza de față se înscrie în efortul general de-a elabora mijloace și metode de obținere a informației despre nivelul calității.

Direcțiile de acțiune trebuie să răspundă unor întrebări cu caracter general cum sunt:

- ◆ Cum se definește calitatea unui produs complex ?
- ◆ Care este nivelul optim al calității unui produs ?
- ◆ Care sunt mijloacele și metodele de evaluare pentru un domeniu specific ?
- ◆ Ce pondere au diverși indicatori în definirea nivelului calității ?

Iată deci, că se deschide un domeniu demn de exploatat cu aplicare directă pentru roboții industriali unde complexitatea acestora nu a permis elucidarea tuturor aspectelor legate de evaluarea calității.

Rezultatele cercetării în domeniu devin exploatabile nu numai de producătorii și beneficiarii de roboți industriali ci și de cercetători, cadre didactice precum și de reprezentanți ai altor domenii.

Pornind de la cele arătate mai sus, trebuie spus că includerea mea în acest generos mediu de cercetare se datorează distinsului conducător științific, Prof.dr.ing.Perju Dan care prin experiența profesională și modul deosebit de-a educa generații de studenți (ce includ și pe autorul tezei) și colaboratori mi-a asigurat susținerea profesională și morală pe durata elaborării prezentei teze și nu numai.

Studiile psihologice arată că una din cele mai eficiente metode de-a forma trăsături de personalitate este exemplul personal al educatorului. În mod cert fără aportul de calități al distinsului meu conducător științific această teză nu ar fi fost finalizată.

Doresc în continuare, să adresez mulțumiri și referențelor științifice ai tezei prezentate, pentru bunăvoința de-a o parcurge și pentru aprecierile făcute, prin care, consider că am beneficiat de un plus de experiență, extrem de util.

Natura preocupărilor mele mă face să fiu receptiv la nou, iar în acest context trebuie să mulțumesc cadrelor didactice din cadrul Catedrei OMM atât pentru suportul direct creat prin acces la

documentație și aparatură sau prin consiliere cât și pentru suportul indirect creat prin observarea (de către autor) activității dinamice și tenace desfășurate de aceștia în domeniul cercetării științifice și al educației. Funcționând în cadrul acestui colectiv, m-am simțit dator să mă aliniez la activitatea desfășurată de membrii componentei în speranța atingerii standardelor impuse de aceștia. De aceea aduc mulțumiri tuturor colegilor mei, în special celor din vecinătatea mea imediată pentru ajutorul direct acordat.

În final, îmi exprim dorința ca prin elaborarea acestei teze să creez un minim beneficiu pe terenul vast al calimetriei industriale în așa fel încât formarea mea de până acum să dea rezultatele așteptate.

Capitolul 1

INTRODUCERE

1.1. Conceptul de calitate.

1.1.1. Definiția calității.

Noțiunea de calitate exprimă totalitatea însușirilor și laturilor esențiale care, împreună, determină gradul de utilitate al unui produs. Prin ansamblul caracteristicilor tehnice, funcționale, psiho-senzoriale și al parametrilor economici, produsul satisface într-un anumit grad nevoile pentru care a fost creat, dar trebuie să respecte cerințe legate de protecția omului și a mediului.

Calitatea, sub diferite forme, a preocupat omenirea în diverse etape istorice. *Socrate* afirma că "ceea ce este bun este folositor, iar ceea ce este rău este păgubitor" referindu-se direct la aptitudinea de utilizare a produsului evidențiată de *M.Juran* în anii '60. În același mod definește calitatea *Genichi Taguchi* la 1983. Acesta asociază calitatea cu implicațiile economice.

Urmărind cronologic evoluția conceptului de calitate se remarcă o diferențiere clară a modului de abordare a acestuia. Astfel, la începutul secolului *Frederick Taylor* introduce conceptul de disociere a lucrului în fragmente mici ceea ce conduce la deplasarea controlului calității în partea finală a fluxului de fabricație, având un pronunțat caracter de constatare.

După anii '40 *Walter Shewart* introduce metodele de investigare folosind statistica matematică pentru controlul proceselor tehnologice. În anii 1945 - 1950 se dezvoltă teoria fiabilității ce aruncă o lumină nouă asupra fazei de concepție ca factor decisiv al calității produsului.

În urma acestei evoluții obiectul calității a parcurs câteva etape decisive prezentate în fig.1.1.

Efectul evoluției prezentate în fig.1.1. este asimilat cu imaginea celor cinci cercuri olimpice corespunzătoare următoarelor situații: zero defecte, zero întreruperi, zero amânări, zero stocuri, zero hârtii.

Pe baza efortului depus de specialiști precum *Walter Shewart*, *Joseph Moses Juran*, *Walter Deming* și *Genichi Taguchi* s-a elaborat definiția calității inclusă în standardul ISO 8402 din 1986. Conform acesteia " **Calitatea reprezintă totalitatea proprietăților și**

caracteristicilor unui produs sau serviciu, care îi conferă acestuia aptitudinea de-a satisface anumite cerințe exprimate sau implicite”.

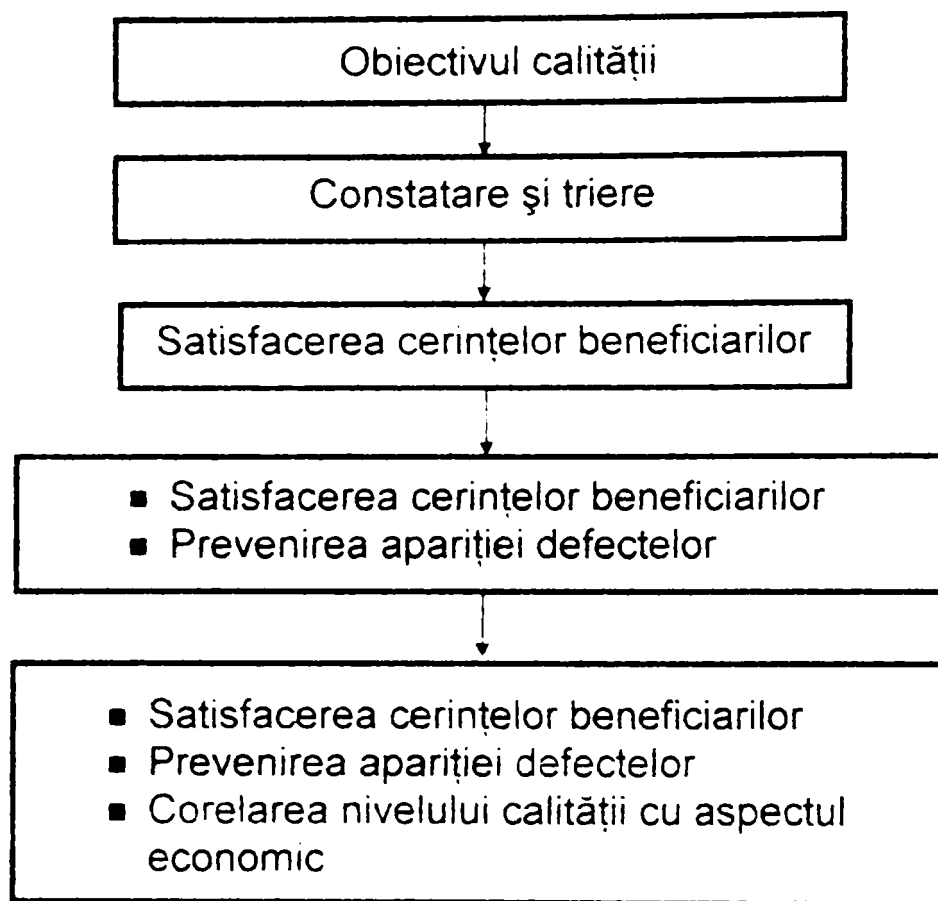


Figura 1.1. Evoluția obiectivului calității.

1.1.2. Componentele calității unui produs.

Conform cercetătorului *Joseph Moses Juran* calitatea include patru componente de bază: calitatea concepției, calitatea de conformanță, disponibilitatea și calitatea service-ului.

În fig.1.2. se prezintă structura calității din acest punct de vedere.

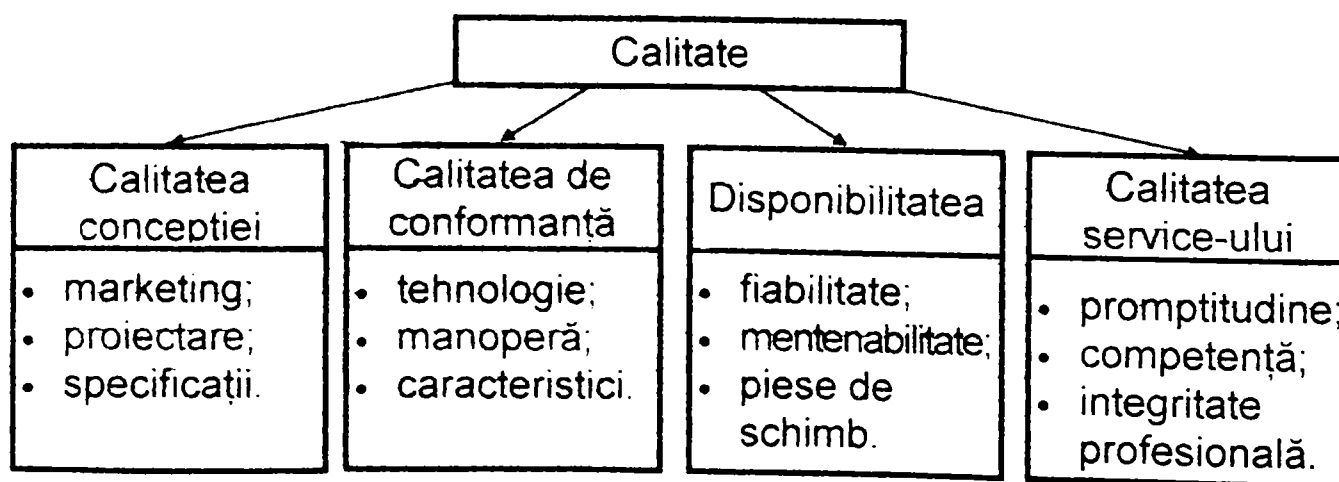


Figura 1.2. Componentele calității, după M. Juran.

Calitatea unui produs sau serviciu este determinată de toate etapele de realizare ale acestuia și anume: concepție, execuție, livrare, exploatare. Pornind de la acest fapt se evidențiază caracteristicile calității prezentate în fig. 1.3.

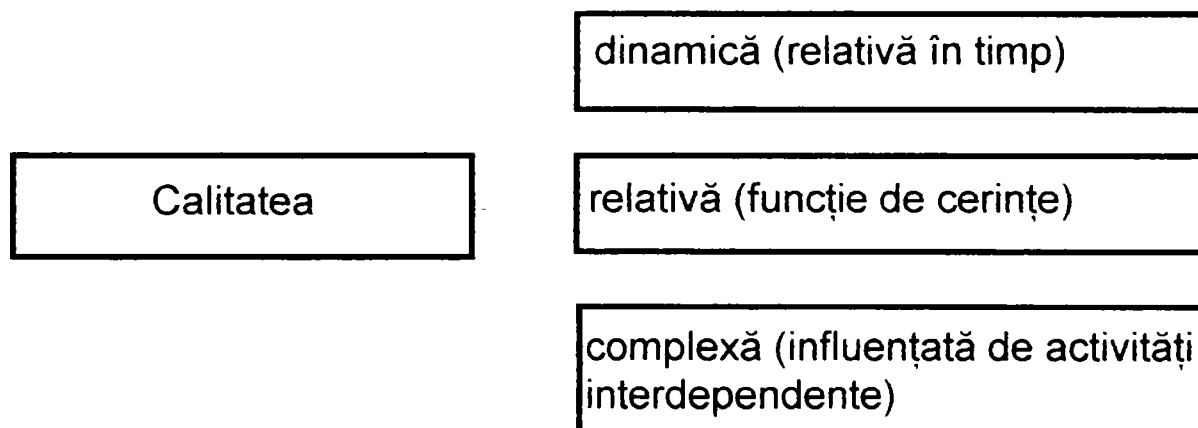


Figura 1.3. Caracteristici de bază ale calității.

Pe lângă prezentarea componentelor calității dată de M. Juran (vezi fig.1.2), se întâlnesc și alte modalități de reprezentare cum sunt spirala calității și bucla calității.

Acestea sunt reproduse în fig. 1.4. și fig. 1.5.

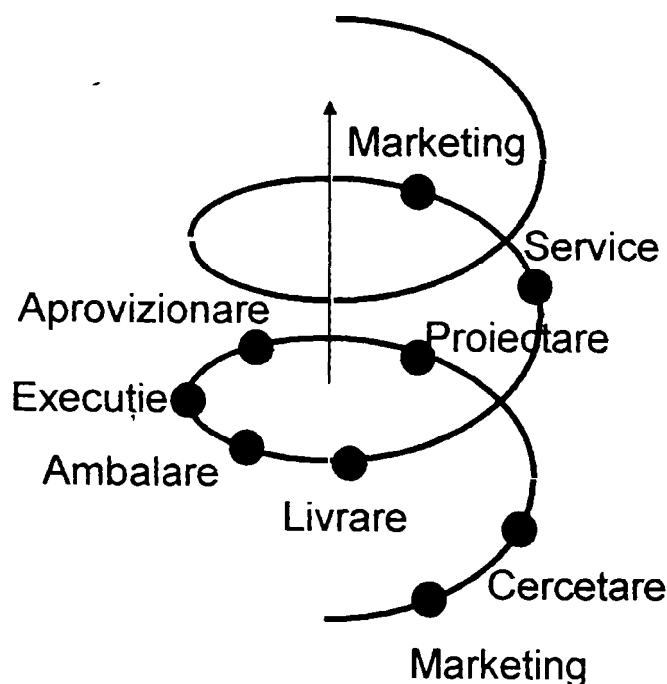


Figura 1.4. Spirala calității.

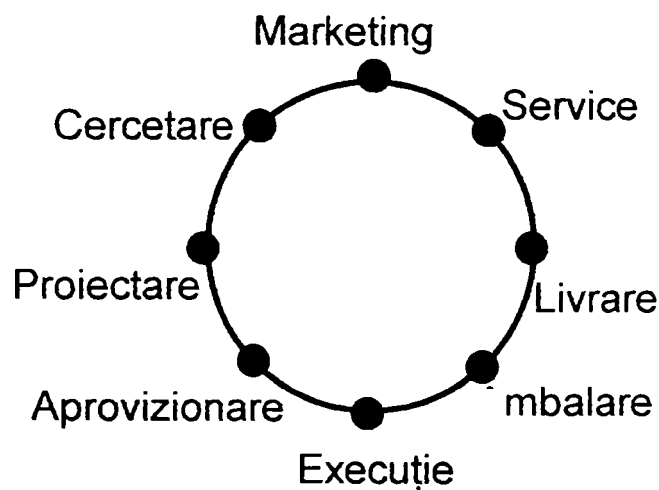


Figura 1.5. Bucla calității.

În prezent, în aria de acțiune a noțiunii de calitate se operează cu următoarele concepte asimilate omologării: calificare, validare, certificarea conformității și acreditarea.

Pentru lucrarea de față prezintă importanță trei concepte și de aceea ele se definesc în continuare.

- a). Calificarea, conform ISO 8402-1, este procesul de demonstrare că o entitate este capabilă să răspundă unor exigențe specificate.
- b). Validarea este confirmarea prin examinare și aducerea de dovezi care demonstrează că exigențele specificate, particulare unei utilizări specifice, sunt îndeplinite.
- c). Certificarea conformității, este acțiunea unei terțe părți, care demonstrează că un produs este conform cu un standard specific sau alt document normativ.

1.2. Noțiunea de calitate aplicată în cazul roboților industriali.

Aplicarea noțiunii de calitate la roboții industriali este o acțiune de mare amploare dat fiind faptul că atât calitatea cât și RI sunt elemente de complexitate ridicată. Din acest motiv se impune abordarea pe mai multe direcții bine precizate. Acestea sunt relevate atât de structura calității cât și a robotului industrial.

Pentru a crește gradul de eficiență în determinarea calității RI ca produs complex este necesar să se elaboreze programe de testare ce devin, conform celor arătate în § 1.1.2. programe de validare, adică aduc dovezi concrete că exigențele particulare unei aplicații date sunt îndeplinite.

Deci, pentru a obține informații cu privire la nivelul calității unui robot industrial pe baza unui program de încercări este necesar să se determine exigențele impuse de aplicația concretă a RI și numai după aceea să se treacă la efectuarea testelor în strânsă legătură cu obiectivul atribuit în cadrul aplicației în care robotul industrial se regăsește.

În acest context se poate introduce o noțiune considerată de autor ca fiind sugestivă, aceea de "*calitate eficientă*".

A discuta despre calitatea robotului la modul general nu este productiv. Se impune a se vorbi despre calitatea eficientă a unui robot în strânsă legătură cu aplicația acestuia.

Iată de ce, este important să se definească în mod corect aplicațiile posibile ale robotului industrial și pentru fiecare din acestea să se elaboreze programe de validare a căror finalitate este determinarea calității eficiente a robotului industrial.

Departajarea categoriilor mari de aplicații ale RI se poate face în două moduri (vezi fig. 1.6.a și 1.6.b):

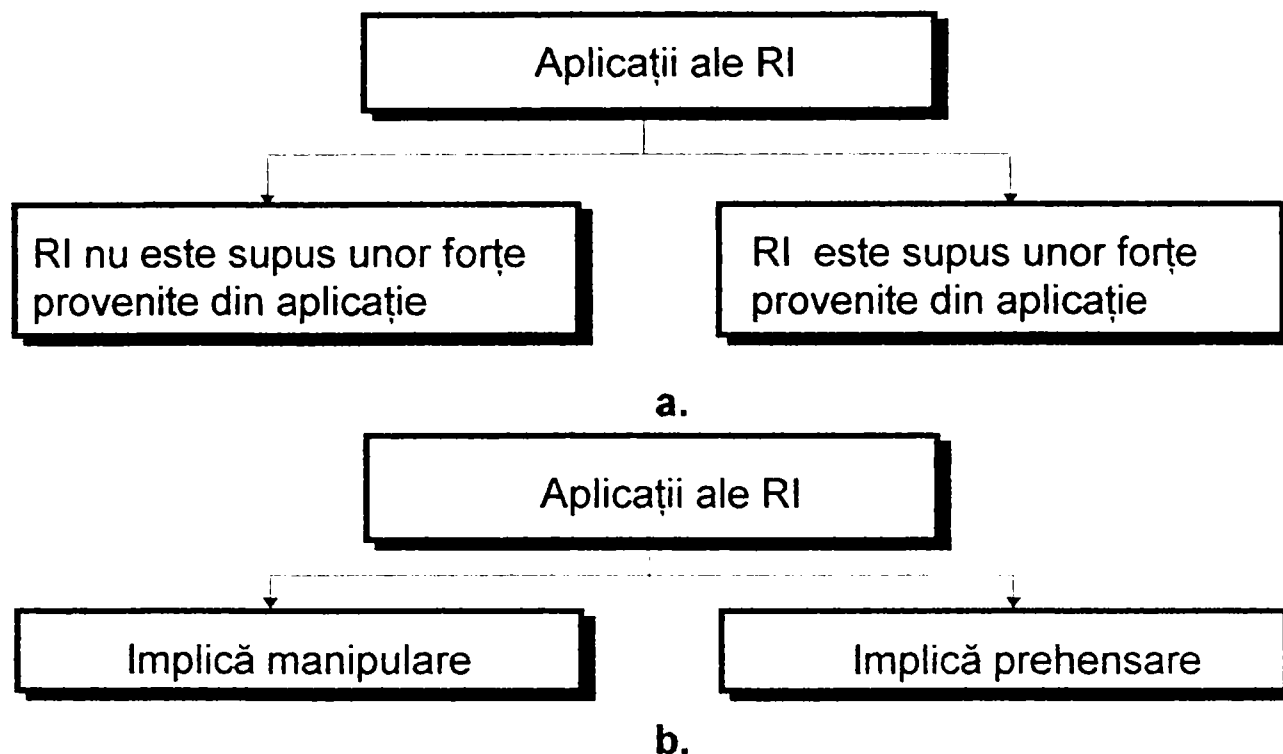


Figura 1.6. Categoriile de aplicații ale RI.

Aplicarea noțiunii de calitate în cazul RI impune un complex de operații, în conformitate cu cele prezentate în § 1.1.2., a căror prezentare se face în fig. 1.7.

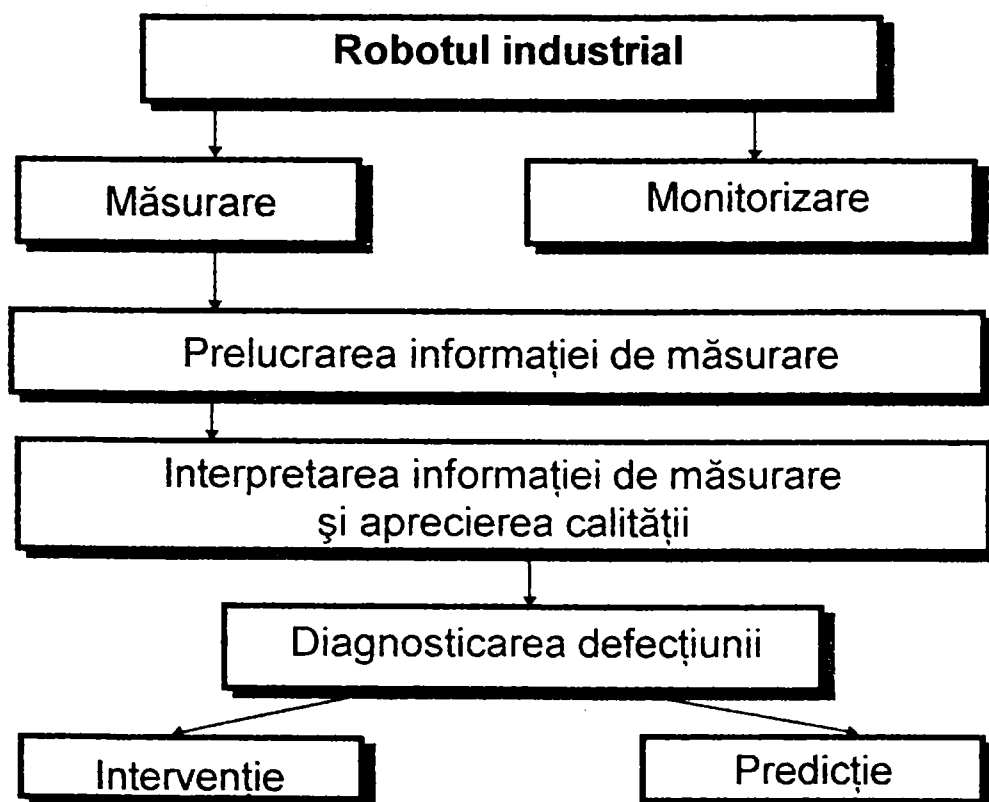


Figura 1.7. Etapele determinării nivelului de calitate al unui RI.

După cum arată un studiu [S1] efectuat pe un eșantion de 4000 de subiecți, în întreaga Europă, procesul de determinare a calității RI a suferit o serie de modificări după cum urmează:

- a). orientarea metodelor de testare după aplicația RI;
- b). introducerea de teste noi;
- c). alegerea de traiectorii și situații noi față de cele prevăzute de ISO 9283;
- d). determinarea de către beneficiar a situațiilor și traiectoriilor critice.
- e). optimizarea calității testelor și asigurarea unui grad mare de încredere a acestora.

Tendențele enunțate anterior au condus la propunerea de modificare a ISO 9283 pe baza programului IRIS - DIS 9283 aplicabil din 1998.

Programul IRIS - DIS 9283 conține criterii noi de evaluare a nivelului de calitate cât și criterii modificate sau preluate direct din conținutul ISO 9283,

Cele arătate justifică pe deplin caracterul dinamic al noțiunii de calitate în special în cazul RI ceea ce a permis și dezvoltarea prezentei lucrări.

1.3. Tendințe actuale și de perspectivă în stabilirea calității RI.

Pentru a izola tendințele actuale în domeniul determinării calității RI este necesar să se prezinte metodele generale de acces la informații privind calitatea unui produs.

Astfel, în practică evaluarea nivelului calității unui produs se realizează prin metode experimentale, expertize tehnice, metode statistice și anchete conduse de sociologi.

Metodele experimentale se utilizează pentru evaluarea proprietăților fizico-chimice și se efectuează cu mijloace tehnice.

Expertizele tehnice determină parametri nemăsurabili și se efectuează cu experți cu competență în domeniu și cu integritate profesională ridicată.

Metodele sociologice folosesc informații obținute prin alte metode pe care le prelevează matematic și furnizează date pentru analize și decizii manageriale.

Pentru RI devin importante, în contextul prezentei lucrări metodele experimentale și cele statistice iar efectul aplicării acestora în procesul de determinare a nivelului calității unui RI se prezintă în fig. 1.8.

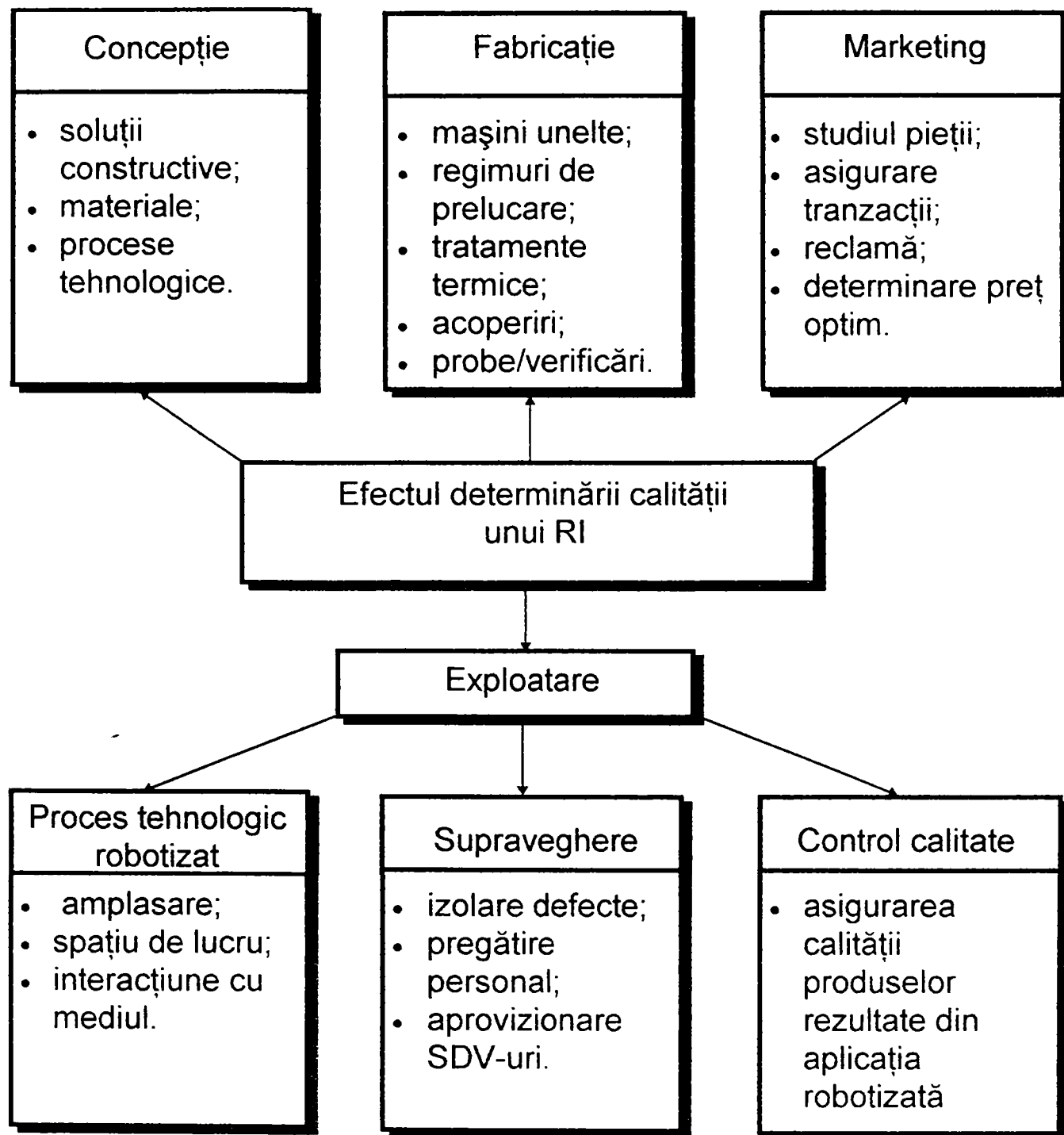


Figura 1.8. Efectul determinării calității unui RI.

Ca o tendință de actualitate se reține prezența indicatorilor specifici orientați după aplicația robotizată în vederea determinării calității eficiente a RI.

Pe direcția acestei tendințe se înscrie, parțial și prezenta lucrare.

De remarcat faptul că tendințele actuale nu au impact numai asupra noțiunii de calitate ce evoluează permanent ci și asupra

mijloacelor de accesare a acestora. Pentru exemplificare se subliniază ponderea crescândă a instrumentației virtuale în experimentarea diferitelor sisteme din cadrul RI, utilizată și de autor în prezenta lucrare.

Instrumentația virtuală s-a născut din combinarea instrumentelor de măsurare programabile cu calculatoare PC și are marele avantaj de-a da libertate utilizatorului în definirea funcțiilor acestora.

Capitolul 2

STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL DETERMINĂRII INDICATORILOR DE CALITATE ȘI DIAGNOSTICĂRII RI.

2.1. Definirea nivelului de calitate al RI.

2.1.1. Indicatori de calitate ai RI. Definiție și clasificare.

Nivelul de calitate al unui RI este determinabil prin intermediul parametrilor lui funcționali. Aceștia pot fi utilizați direct după măsurare sau vor suporta o prelucrare matematică în vederea creșterii gradului de încredere și obiectivitate a estimării.

În momentul în care parametrii funcționali servesc la determinarea nivelului de calitate ei se vor utiliza sub denumirea de indicatori de calitate. Indicatorii de calitate operează deci în domeniul calimetriei.

După unii autori, cum este A. Isaic Maniu [12], sistemul de indicatori ai calității trebuie să fie suficient de cuprinzător, ordonat ierarhic și deschis, eliminând indicatorii nerelevanți dar incluzând alții noi, în funcție de nivelul de decizie. Conform aceluiași autor, indicatorii de calitate utilizați sunt:

- ◇ parțiali ;
- ◇ cumulativi;
- ◇ ai calității medii;
- ◇ de preț;
- ◇ generalizați.

Indicatorii parțiali se folosesc astfel: pentru aprecierea nivelului calității se selectează una din caracteristicile de calitate ale produsului și aceasta se compară cu valoarea corespunzătoare din normative sau cu valoarea unor produse etalon.

Acest indicator are forma unui coeficient de comparare și se exprimă cu relația :

$$K = \frac{x_r}{x_c} \quad (2.1)$$

unde: x_r - valoarea caracteristicii produsului testat.
 x_e - valoarea caracteristicii produsului etalon.

Indicatorii cumulativi ai calității se folosesc la produse complexe pentru care diverse caracteristici au diverse ponderi în stabilirea nivelului calității și se exprimă astfel:

$$K_{cum} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i \quad (2.2)$$

unde: x_i - valorile caracteristicilor de calitate.
 f_i - ponderi ale caracteristicilor de calitate.

Cu acest indicator se poate determina dinamica evoluției calității, prin relația:

$$i_{cum} = \frac{K_{cum\ j}}{K_{cum\ j-1}} \quad (2.3)$$

unde $j = 1, n$, exprimă momentul evaluării.

Indicatorul calității medii exprimă sintetic calitatea produselor pe clase de calitate cu relația:

$$K_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.4)$$

unde: K_i - clasa de calitate [0, 1, 2, ..., n]
 Q_i - numărul de produse din fiecare clasă.

Coeficientul generalizat al calității se obține ca medie aritmetică pe baza coeficienților medii pe produs, ponderați cu valoarea produselor cu relația:

$$K_{gen} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{med} \cdot Q_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot P_i} \quad (2.5)$$

unde: Q - numărul produselor.
P - prețul produselor.

Pe lângă aprecierea calității se procedează și la aprecierea lipsei de calitate, utilizând metode de penalizare a defectelor. Pentru aceasta defectele se punctează și se clasifică astfel:

- a). clase de defecte - critice;
- majore;
- minore.
- b). categorii de defecte - funcționale / structurale;
- aspectuale;
- de ambalare;
- alte categorii.

Coefficientul mediu de penalizare are expresia dată de:

$$K_{pen} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i \cdot p_{c_i}) \quad (2.6)$$

unde: n - numărul produselor verificate.
d - tipul defectului.
p_c - punctaj de penalizare.

În cazul RI indicatorii de calitate pot fi clasificați după natura parametrilor funcționali ce îi definesc, astfel:

- ↪ geometrici;
- ↪ cinematici;
- ↪ dinamici;
- ↪ termici;
- ↪ acustici;
- ↪ alte categorii.

În funcție de gradul de complexitate al acestora, se propune utilizarea următoarei clasificări:

- ↪ parțiali;
- ↪ compuși;
- ↪ globali;
- ↪ de dinamică a evoluției calității.

Indicatorii parțiali reflectă direct parametrii funcționali geometrici, cinematici, dinamici, termici, acustici sau alte categorii.

Indicatorii compuși rezultă din compunerea indicatorilor parțiali după o anumită regulă ce servește optimizării procesului de determinare a calității.

Indicatorii globali rezultă din compunerea indicatorilor de mai sus (parțiali sau compuși) și ilustrează calitatea funcțională generală a RI.

Indicatorii de dinamică a evoluției calității compară indicatori parțiali, compuși sau globali la momente de timp diferite. Reflectă evoluția sau capacitatea menținerii nivelului de calitate al RI.

Este important de arătat că dat fiind caracterul relativ al calității, compararea unui indicator măsurat se poate face cu:

- ◇ valori din normative;
- ◇ valori recomandate pentru aplicația dată;
- ◇ valori anterioare, proprii.

Se propune pentru situația comparării cu valorile din normative, utilizarea denumirii de **indicator de referință**, iar pentru situația comparării cu valorile cerute de aplicația dată, denumirea de **indicator de eficiență**. Acesta din urmă reflectă corelarea aplicație - preț (efort financiar).

Indicatorul de eficiență ilustrează faptul că este necesar ca toate componentele implicate în producerea și implementarea RI (concepție, fabricație, exploatare) să-și ajusteze pretențiile de performanță la nivelul impus de aplicația în cadrul căreia RI-ul operează.

În finalul acestui paragraf se prezintă modul de apreciere al RI introdus de prof. Pokorny de la Universitatea Tehnică Cehă din Praga [P10].

Acesta definește valoarea tehnică a unui RI astfel:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot T_i}{n \cdot T_{\max}} \quad (2.7)$$

unde: T_i - caracteristici tehnice.
 K_i - coeficienți de pondere.
 n - nr. caracteristici tehnice considerate.
 T_{\max} - caracteristica tehnică a stării ideale.
 iar valoarea economică, cu relația de forma:

$$E = \frac{N_{id}}{N_{p_o} + N_{prov}} \quad (2.8)$$

unde: N_{id} - costul ideal al variantei considerate.

N_{p_o} - costul variantei alese.

N_{prov} - costul operației robotizate în varianta aleasă.

Plasând cele două valori T și E pentru fiecare variantă, într-o diagramă T;E, se apreciază gradul de apropiere de punctul optim, de coordonate [1;1], ca o măsură a calității RI-ului studiat.

Pe baza analizei diagramei obținute se face o filtrare a posibilităților, alegând soluția proximală punctului optim. Iată deci modul concret de aplicare al indicatorilor de calitate în procesul deciziei manageriale incluzând aspectul tehnic și economic.

2.1.2. Stadiul actual al utilizării indicatorilor de calitate ai RI.

După cum s-a arătat în §1.2., indicatorii de calitate sunt supuși permanent evoluției, ei formând un sistem deschis. Odată cu fluctuația în conținut al acestora se modifică și limbajul ce îi desemnează.

Inițial, indicatorii de calitate au fost utilizați, pe zone de producători și erau individualizați. Facilitatea circulației informației și presiunea economică a pieței a produs uniformizarea indicatorilor și cuprinderea lor în prevederile standardelor naționale și a celui internațional.

În timp, pe baza experienței locale a unor producători cum sunt cei din Japonia, Franța, Germania, SUA, s-a trecut de la standarde naționale:

- a). VDI 2861 (Germania) 1987
- b). JIS B 0134 (Japonia) 1979
- c). E 61 - 103 (Franța) 1986

la standardul internațional cu caracter de recomandare ISO DP 9283 TC din 1998 - 184 / Sc" / WG2 ce operează pe arealul : Suedia, Franța, Japonia, Norvegia, Anglia, America de Nord, Danemarca, Germania [S1].

În urma analizei modului de asimilare al ISO DP 9283 s-au efectuat propuneri de corectare la nivelul indicatorilor de calitate numiți criterii [S1] prin programul IRIS - DIS 9283. Acest fapt s-a impus dat fiind că doar 10% din companiile ce folosesc RI (sau produc) acționează după ISO 9283 (la nivelul anului 1998).

Elementul comun al ISO 9283 și IRIS - DIS 9283 este lista de indicatori de performanță utilizați pentru aprecierea nivelului de calitate al RI. În continuare se enumeră acești indicatori stabili, după cum apar în sursa bibliografică [S1]:

- ◇ repetabilitate de situare;
- ◇ suprareglarea situației;
- ◇ timpul de stabilizare;
- ◇ exactitatea de situare;
- ◇ variația exactității de situare multidirecțională;
- ◇ exactitatea distanței parcurse;
- ◇ reproductibilitatea distanței parcurse;
- ◇ deriva situației;
- ◇ exactitatea conlucrării;
- ◇ exactitatea de traiectorie;
- ◇ repetabilitatea de traiectorie;
- ◇ eroarea de rotunjire a colțului;
- ◇ suprareglarea la colț;
- ◇ lungimea de stabilizare la colț;
- ◇ exactitatea vitezei la colț;
- ◇ exactitatea vitezei pe traiectorie;
- ◇ repetabilitatea vitezei pe traiectorie;
- ◇ fluctuația vitezei pe traiectorie;
- ◇ lungimea de stabilizare a vitezei;
- ◇ exactitatea accelerației pe traiectorie;
- ◇ repetabilitatea accelerației pe traiectorie;
- ◇ fluctuația accelerației pe traiectorie;
- ◇ timpul minim de situare;
- ◇ timpul de întârziere a sincronizării la START / STOP;
- ◇ criterii (indicatori) de compliantă;
- ◇ criterii (indicatori) de histereză.

În concluzie, cu acești indicatori simpli se operează la determinarea nivelului de calitate dar modul în care aceștia se compun pentru a rezulta indicatori compuși și globali nu este încă o problemă soluționată.

În această situație, lucrarea de față propune câteva elemente de remediere a acestei curențe.

2.1.3. Rolul indicatorilor de calitate în determinarea nivelului de calitate al RI.

Indicatorii de calitate simpli, compuși și globali constituie mijloace de determinare a nivelului calității tehnice a RI. Ei asigură obiectivitatea procesului de stabilire a calității RI și implicit elimină subiectivismul în cadrul deciziilor cu caracter tehnic, economic sau social.

Modul de utilizare al indicatorilor de calitate în practică este diversificat. Astfel indicatorii se pot utiliza direct sau incluși în algoritmi de calcul cu forme specifice fiecărei aplicații robotizate.

Totodată indicatorii pot să se raporteze la valorile prevăzute în normele generale sau să folosească pentru validarea nivelului de calitate repere provenind din solicitările tehnologice ale operației robotizate preconizate. În acest context unii indicatori de calitate primează iar alții dețin un caracter orientativ.

Din seria de surse bibliografice ce au tratat aceste aspecte se reține modul de utilizare al indicatorilor de calitate propus de prof. H.J.Warnecke [W2]. Conform procedurii propuse, se face departajarea RI pe aplicații industriale specifice și se apreciază cerințele asupra indicatorilor de calitate, după cum se vede în tabelul:

Tabelul 2.1.

Structura sistemului mecanic								Indicatori de calitate simpli (mărimi măsurate)
RRR	RRT	RTT	RT _{TT}	RRR	TTT	RTT	RTT	
RR	RR	RR	R	RRR	RR		TR	
2	2	2	3	1	3	3	2	săgeata statică
3	3	3	3	1	3	3	3	eroarea statică,
3	3	1	2	1	2	3	3	relaxarea în timp
3	3	3	1	1	3	1	2	vibrații
2	1	1	1	2	3	1	3	exactitatea de traiectorie
1	1	1	3	1	3	1	-	cursa după c-da STOP
3	1	3	3	3	3	2	1	regim de viteze,
2	3	3	2	-	3	3	2	acelerația max.
2	3	3	2	-	3	3	3	viteza maximă
manipulare / sudare	manipulare / sudare puncte	manipulare	manipulare	acoperiri	sudare	manipulare	manipulare	aplicația recomandată

unde cifrele 1,2, 3 corespund gradului de importanță după cum urmează:

- ◇ 1 - fără importanță;
- ◇ 2 - importanță medie;
- ◇ 3 - importanță majoră.

După cum se observă, sursele bibliografice recomandă utilizarea indicatorilor de calitate pentru determinarea nivelului calității cu ajutorul căruia se pot recomanda RI cu structuri mecanice și parametri funcționali diferiți pentru aplicații specifice în cadrul cărora să se atingă eficiența maximă.

2.2. Stadiul actual al utilizării indicatorilor de calitate ai RI în procesul de selecție.

2.2.1. Indicatorii de calitate geometrici.

Pornind de la destinația robotului industrial, este de așteptat ca utilizarea indicatorilor de calitate geometrici să dețină frecvența maximă. Acest fapt este evidențiat și de ponderea mare a preocupărilor legate de acest tip de indicatori în literatura de specialitate și în cercetare (la producător sau utilizator).

Analizând preocupările de standardizare în domeniu, se observă că majoritatea producătorilor focalizează zona de preocupare în a aprecia calitatea situării punctului și dreptei caracteristice în regim static și dinamic.

Din punct de vedere al frecvenței de apariție în literatura de specialitate indicatorul "**incertitudine și exactitate de poziționare și orientare**" ocupa primul loc. Acesta este definit ca fiind distanța dintre poziția comandată a punctului caracteristic și centrul de greutate al mulțimii de poziții atinse în realitate, la un număr " n " de deplasări.

Pentru exprimarea acestui indicator se introduc notațiile :

(x_i, y_i, z_i) : coordonatele curente ale punctului atins de către robotul industrial, la deplasarea pe o axă sau în urma acționării simultane pe axe.

n = numărul de încercări efectuate.

$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$: valorile medii ale coordonatelor punctelor atinse de n ori, calculate cu expresiile și care corespund coordonatelor centrului norului de puncte atinse :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.9)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.10)$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (2.11)$$

Inexactitatea (abaterea) exprimată pentru fiecare axă în parte este:

$$\Delta L_x = \bar{x} - x_c \quad (2.12)$$

$$\Delta L_y = \bar{y} - y_c \quad (2.13)$$

$$\Delta L_z = \bar{z} - z_c \quad (2.14)$$

unde: (x_c, y_c, z_c) sunt coordonatele poziției comandate .

Inexactitatea (abaterea) de poziționare are expresia:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta L_x^2 + \Delta L_y^2 + \Delta L_z^2} \quad (2.15)$$

Inexactitatea (abaterea) de orientare se exprimă similar prin diferența dintre unghiurile formate cu axele sistemului de referință atașat punctului fix (valoarea medie) și unghiurile comandate, notate $\lambda_c, \theta_c, \rho_c$.

Astfel valorile medii sunt:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.16)$$

$$\bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (2.17)$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (2.18)$$

iar incertitudinea de orientare devine:

$$\Delta \lambda = \bar{\lambda} - \lambda_c \quad (2.19)$$

$$\Delta\theta = \bar{\theta} - \theta_c \quad (2.20)$$

$$\Delta\rho = \bar{\rho} - \rho_c \quad (2.21)$$

Pentru definirea incertitudinii de poziționare se exprimă valoarea maximă și media statistică a intervalului de valori ale coordonatelor punctului caracteristic atins pentru aceeași poziție comandată și aceeași traiectorie de "n" ori.

Valoarea maximă corespunzătoare razei "r" a sferei circumscrise norului de împrăștiere a cărui centru este valoarea medie a pozițiilor atinse de punctul caracteristic după eliminarea valorilor aberante (dacă există) se exprimă cu relația :

$$r_{\max} = \underset{i=1}{\overset{n}{\text{Max}}} \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (2.22)$$

Valoarea statistică este dată de relația:

$$r_r = \bar{r} + \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s \quad (2.23)$$

unde: $t=f(v, p)$ din repartitia Student
 $v = n - 1$ gradul de libertate

Se recomandă $p = 95\%$ sau $p = 99\%$.

Valoarea medie a distanțelor este:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \quad (2.24)$$

Abaterrea medie pătratică experimentală a distanțelor punctelor individuale față de punctul mediu G al acestora este:

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} \quad (2.25)$$

Incetitudinea de orientare se exprimă prin valoarea maximă și media statistică a intervalului de valori ale unghiurilor formate de axele sistemului de referință atașat punctului caracteristic și axele omonime ale sistemului de referință fix, pentru aceeași valoare a orientării comandate, realizată de "n" ori, adică:

$$U_{max,\lambda} = \underset{i=1}{\overset{n}{\text{Max}}}(\lambda_i - \bar{\lambda}) \quad (2.26)$$

$$U_{max,\theta} = \underset{i=1}{\overset{n}{\text{Max}}}(\theta_i - \bar{\theta}) \quad (2.27)$$

$$U_{max,\rho} = \underset{i=1}{\overset{n}{\text{Max}}}(\rho_i - \bar{\rho}) \quad (2.28)$$

Incertitudinea statistică va fi:

$$U_{pr\lambda} = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} S_\lambda \quad (2.29)$$

$$U_{pr\theta} = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} S_\theta \quad (2.30)$$

$$U_{pr\rho} = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} S_\rho \quad (2.31)$$

unde:

$$S_\rho = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2} \quad (2.32)$$

$$S_\theta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (2.33)$$

$$S_\lambda = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} \quad (2.34)$$

Apropiindu-ne de situația reală, se va defini incertitudinea de poziționare multidirecțională corespunzătoare situației în care apropierea de punctul comandat se face pe mai multe traiectorii. Astfel:

$$\underset{i=1}{\overset{n}{\text{Max}}} = |\Delta R_i| = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1})^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_{i-1})^2 + (\bar{z}_i - \bar{z}_{i-1})^2} \quad (2.35)$$

i fiind numărul traiectoriei la capătul căreia se atinge x_i, y_i, z_i .

Pentru a efectua determinări utile, acestea trebuie să fie în acord cu situația în care robotul lucrează efectiv. De aceea măsurările vor fi făcute în următoarele condiții:

- ◆ prezența sarcinii utile;
- ◆ modificarea vitezei de apropiere de țintă;
- ◆ modificarea timpului de citire după atingerea punctului comandat.

Pe lângă indicatorul de calitate prezentat, în literatura de specialitate sunt prezenți și alți indicatori geometrici.

În cadrul ISO 9283 și a programului de revizuire a acestuia, IRIS - DIS apar următorii indicatori de calitate geometrici:

- 1 - repetabilitatea de situare (RP)
- 2 - exactitatea de situare (AD)
- 3 - variația exactității de situare multidirecțională (vAP)
- 4 - repetabilitatea distanței parcurse (RD)
- 5 - exactitatea distanței (AD)
- 6 - deriva situării (ΔP)
- 7 - exactitatea conlucrării
- 8 - exactitatea de urmărire a traiectoriei (AT)
- 9 - repetabilitatea pe traiectorie (RT)
- 10- eroarea de rotunjire a colțului (test "corner") CR
- 11- eroarea de depășire a colțului (CO)
- 12- lungimea de stabilizare pe traiectorie după depășirea colțului (LSC).

Anterior ISO 9283 și a programului IRIS au fost dezvoltate o serie de standarde naționale ce includeau prevederi legate de indicatorii geometrici de calitate. Tabelul 2.2 prezintă comparativ conținutul acestora.

Este util de amintit că după unii autori, indicatorii de calitate geometrici se utilizează eficient prin ponderare în acord cu aplicația în care RI operează.

Modul de ponderare este diferit, dar în general ierarhizarea ponderării pentru diverși indicatori se regăsește neschimbată la toți autorii studiați [P8, P9, P10, W2].

Indicatori geometrici de calitate

Tabelul 2.2.

Nr.crt.	Japonia	Franța	Germania
1	spațiul de lucru	spațiul de lucru	granițele sistemului mecanic
2	spațiul de lucru programabil	-	divizarea volumului util
3	distanța de operare	-	zona de lucru
4	deplasarea robotului mobil	-	-
5	exactitatea de situare	exactitatea și repetabilitatea de situare	-
6	repetabilitatea de situare	-	repetabilitatea de situare
7	deriva punctului caracteristic	deriva situații compleanța statică rezoluția exactitatea traiect. repetabilitatea traiectoriei	- - repetabilitatea de reproducere a traiectoriei -

2.2.2. Alte categorii de indicatori de calitate utilizați în mod curent.

Folosind aceleași surse ca și în §2.2.1. se observă preocuparea generală existentă la toți marii producători în a defini și utiliza și alte tipuri de indicatori de calitate decât cei geometrici, printre care:

- ◆ mișcarea și parametrii acesteia - viteză, accelerație, timp.
- ◆ dinamica mișcării - forțe, momente, vibrații.
- ◆ consumul energetic
- ◆ temperatura elementelor
- ◆ confortul exploatării.

În continuare se explicitează o parte din indicatorii de alt tip decât cei geometrici, utilizați de producători cum sunt cei din Franța, Germania, Japonia.

Astfel în Franța sunt activi următorii indicatori (în condițiile în care 10% din producători aplică recomandările ISO) (vezi tab.2.3).

Tabelul 2.3.

Indicatori de sarcină	
1	masa manipulată
2	momente în cuplele motoare
3	momente de inerție
Indicatori de viteză	
1	viteza pe o axă
2	viteza rezultantă la acționarea simultană a axelor
3	viteza pe traiectorie - exactitate, repetabilitate, fluctuație
Indicatori de accelerație	
1	accelerația pe o axă
2	accelerația rezultantă la acționarea simultană a axelor
3	accelerația pe traiectorie
Indicatori de timp	
1	timpul minim de deplasare
2	timpul de stabilizare

În Germania se utilizează indicatorii prezentați în continuare în tab. 2.4.

Tabelul 2.4.

Indicatori de sarcină	
1	sarcina nominală
2	sarcina utilă maximă
3	sarcina maximă
Indicatori dinamici	
1	moment motor nominal
2	moment de inerție nominal
3	forțe (de prehensiune, de deplasare, de instruire)
Indicatori de mișcare	
1	viteza (fluctuație, maximă, medie)
2	accelerație (fluctuație, maximă)
3	amplitudinea oscilațiilor
4	timp de stabilizare
5	durata unui ciclu de lucru
6	durata cursei pe o axă
Indicatori energetici	
1	putere consumată
Indicatori termici	
1	temperatura elementelor
2	temperatura medie

Față de aceștia, ISO 9283 și IRIS - DIS prevăd următorii indicatori de altă natură decât cea geometrică (vezi Tab. 2.5):

Tabelul 2.5.

Indicatori de timp	
1	timpul de stabilizare
2	timpul minim de situaie
Indicatori de viteză	
1	exactitatea vitezei pe traiectorie
2	repetabilitatea vitezei pe traiectorie
3	fluctuația vitezei pe traiectorie
4	lungimea de stabilizare a vitezei
5	exactitatea vitezei la testul colț
Indicatori de accelerație	
1	exactitatea accelerației pe traiectorie
2	repetabilitatea accelerației pe traiectorie
3	fluctuația accelerației pe traiectorie
Alți indicatori (criterii)	
1	pentru compliantă
2	pentru histereză

Pe baza surselor studiate și a experienței proprii **se propune următoarea listă** de indicatori de calitate de altă natură decât cea geometrică, ce servește la elaborarea unui program de testare a RI (vezi Tab. 2.6):

Tabelul 2.6.

Indicatori cinematici	
1	viteza pe o axă
2	viteza rezultantă la acționarea simultană a axelor
3	viteza pe traiectorie
4	fluctuația vitezei pe axă
5	fluctuația vitezei pe traiectorie
6	viteza maximă și minimă
7	viteza medie
8	gama de viteze
9	accelerația pe o axă
10	accelerația pe traiectorie
11	accelerația maximă și minimă
12	timpul maxim/minim aferent cursei pe axă
13	timpul maxim/minim aferent unui ciclu complet
14	timpul minim de stabilizare a situației
15	timpul minim de stabilizare a vitezei
Indicatori dinamici	
1	masa RI mobilă
2	suprasarcina (sarcina maximă)

3	sarcina nominală
4	forța de prehensiune
5	forțe / momente în cuplele motoare
6	forța de instruire
7	forța de deplasare pe o axă
8	forța rezultantă pe traiectorie la acționarea simultană a axelor
9	sarcina inerțială maximă / minimă
10	momentul forțelor de inerție
11	momente motoare de accelerare
12	randamentul
Indicatori speciali	
1	puterea consumată (în gol, la diferite sarcini)
2	temperatura medie
3	temperatura locală a elementelor
4	nivelul de zgomot
5	costul RI

Această listă nu este închisă, ea suportă atât intrări cât și ieșiri în funcție de evoluția concepției, fabricației și consumului de RI.

În acest sens o primă intrare necesară este cea prezentată în lucrările prof. Warnecke [W1]. El arată că pe lângă indicatorii măsurabili, nivelul de calitate mai conține și indicatori nemăsurabili cum sunt :

- ◆ ergonomia utilizării RI;
- ◆ efortul de programare;
- ◆ siguranța în exploatare.

Accesul la acești indicatori este asigurat de experți ce pot aprecia nivelul acestora având independența și neutralitatea dar și pregătirea și acumularea de informații necesară.

2.3. Mijloace și metode actuale pentru stabilirea indicatorilor de calitate ai RI.

2.3.1. Reflectarea în norme și standarde a indicatorilor de calitate.

Datorită condițiilor diferite de producție și a necesității conlucrării mai multor producători, se impune prezența unor criterii de apreciere a produselor intermediare și finale. De aici și necesitatea standardizării mijloacelor și metodelor de apreciere a calității RI.

Din analiza standardelor existente se observă o ierarhizare pe areal cât și în timp.

Din analiza standardelor existente se observă o ierarhizare pe areal cât și în timp.

Ierarhizarea în areal se prezintă astfel :

- ◆ contracte economice
- ◆ caiete de sarcini
- ◆ norme tehnice de firmă
- ◆ norme tehnice departamentale
- ◆ standarde de stat
- ◆ standarde regionale
- ◆ standarde internaționale.

După puterea de acțiune, standardele sunt :

- ◆ experimentale
- ◆ cu caracter de recomandare
- ◆ generale.

În cazul indicatorilor de calitate, caracterul de recomandare al standardelor specifice lasă câmp liber modificărilor rezultate din activitatea de cercetare precum lucrarea de față.

Analiza temporală a activității de standardizare în domeniu, evidențiază câteva repere cum sunt apariții de profil în diverse țări, prezentate în continuare:

- ◆ 1979 JIS B-0134 în Japonia
- ◆ 1986 E 61-103 în Franța
- ◆ 1987 VDI 2861 în Germania
- ◆ 1990 ISO 9283
- ◆ 1998 IRIS - DIS 9283.

Astfel în 1986 apare sub egida AFNOR :

“Normalisation française E 61/103. Robots et manipulateurs industriels. Performances. AFNOR, Paris.”

În 1987 în Germania sub egida VDI se elaborează :

“VDI 2861/1987 Einsatzspezifische Kenngrößen von Industrierobotern. Prüfung der Kenngrößen. Stuttgart.”

La nivel mondial apare ISO - DP 9283 - 1998.

“Performance criteria and related testing methods” sub egida Technical Committee TC 184 și a subordonatului său SC 2 și grupul Working Grup WG 2.

După analiza efectului ISO 9283 asupra industriei de RI apare programul de revizuire al acestuia IRIS - DIS 9283 (la nivelul anului 1998).

De subliniat că și în industria românească au apărut preocupări organizate, de cercetare, în domeniul calității, concretizate prin standardizare. Un exemplu în acest sens îl constituie STAS 10911 - 77 “Fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate. Culegerea datelor privind comportarea în exploatare a produselor industriale.”

Iată deci că această preocupare are o întindere importantă în timp ceea ce justifică continuarea activității de cercetare în domeniu.

2.3.2. Reflectarea în norme și standarde a mijloacelor și metodelor de determinare a indicatorilor de calitate și diagnosticarea RI.

După cum s-a arătat accesul la nivelul de calitate al RI se face prin intermediul indicatorilor de calitate iar aceștia provin din activități de măsurare a parametrilor funcționali ai RI.

Fără a uniformiza mijloacele și metodele de obținere a indicatorilor cât și configurația acestora, nivelul de calitate rămâne relativ și blochează generarea unei aprecieri universale a RI ca produs tranzacționat.

Ca urmare a celor de mai sus, s-a justificat recomandarea unor mijloace și metode de încercare comune pentru toți producătorii și utilizatorii de RI prin ISO 9283 : “Manipulating Industrial Robots. Performances Criteria and Related Test Methods.”

În urma feed - backului generat de utilizatorii standardului ISO 9283 și preluat pe canalul unei anchete ce a cuprins 4000 de agenți comerciali chestionați, s-a trecut la revizuirea unor prevederi ale ISO prin programul IRIS.

(IRIS = Improvement of Robot Industrial Standardisation).

Conform anchetei doar 10% din companii testează roboții după ISO 9283 ! (date preluate în intervalul 1996 - 1997).

Doar 20% din subiecți privesc ISO 9283 ca fiind folositor. Concluziile au fost prezentate în 1997 la Berlin sub titlul “State, Obstacles and Requirements of Performance Criteria Application.”

Proiectul IRIS și-a propus să răspundă la întrebarea :

1. dezvoltarea și testarea prototipului
2. control de calitate la livrare
3. testare la aprovizionare
4. control de calitate la recepție
5. testare la instalare
6. monitorizare on line
7. mentenanță
8. ajustări ulterioare

Programul IRIS a abordat și revizuirea metodelor și a mijloacelor de testare, eliminând pe cele ce presupun specializare înaltă și supun utilizatorul la un efort financiar major. S-a introdus conceptul de "low-cost operations" ceea ce favorizează difuzia mai bună a standardului la utilizator.

Ca urmare a modificărilor s-a acționat și asupra indicatorilor de calitate, propunându-se schimbarea unora și eliminarea altora după cum se vede în tabelul 2.7 :

Programul IRIS a stabilit și câteva mijloace de testare viabile pentru utilizatorul mediu. Iată câteva :

- ◆ Krypton Refcube 6D
- ◆ Refpose 3D
- ◆ Rodym 2D / 3D / 6D
- ◆ GCS 300
- ◆ Leica - SMART
- ◆ Meronor
- ◆ Mac Reflex

și două sisteme de măsurare "low - cost" accesibile firmelor cu putere financiară medie:

- a) Ku Leven Ball - Bar system
- b) Flexaco

cu ajutorul cărora se testează indicatorii geometrici ai robotului industrial.

Cele două sisteme sunt prezentate în figurile 2.1, respectiv 2.2:

Tabelul 2.7.

Simbol IRIS	Denumirea indicatorului	Simbol ISO
RP	Repetabilitatea de poziționare	RP
OP	Depășirea poziției	OV
tSP	Timp de stabilizare pe poziție	
AP	Exactitatea de poziționare	AP
	Variația exactității de poziționare	vAP
	Exactitatea distanței	AD
	Repetabilitatea distanței	RD
ΔP	Deriva poziției	dAP, dRP
AE	Exactitatea de sincronizare	E
Atr	Exactitatea pe traiectorie	AT
RTr	Repetabilitatea pe traiectorie	RT
RoCc	Eroarea de rotunjire a colțului	CR
OC	Eroarea de depășire a colțului	CO
LSC	Lungimea de stabilizare la colț	
ACV	Exactitatea vitezei la colț	
AV	Exactitatea vitezei pe traiectorie	AV
RV	Repetabilitatea vitezei pe traiectorie	RV
FV	Fluctuația vitezei	FV
LSV	Lungimea de stabilizare a vitezei pe traiectorie	
AA	Exactitatea accelerației pe traiectorie	
RA	Repetabilitatea accelerației pe traiectorie	
FA	Fluctuația accelerației pe traiectorie	
	Timp minim de poziționare	
tSy _{start}	Întârziere la start	
tSy _{stop}	Întârziere la stop	
C	Indicatori de compliantă	
H	Indicatori de histereză	
RTm	Repetabilitatea montării sculei	
Aac	Testarea axelor auxiliare	
AWs	exactitatea mișcării de țesere	WS
AWf	Exactitatea frecvenței de țesere	WF
	Test de colț extins	
	Test pe cerc extins	
	Test pentru durata unui ciclu de lucru	

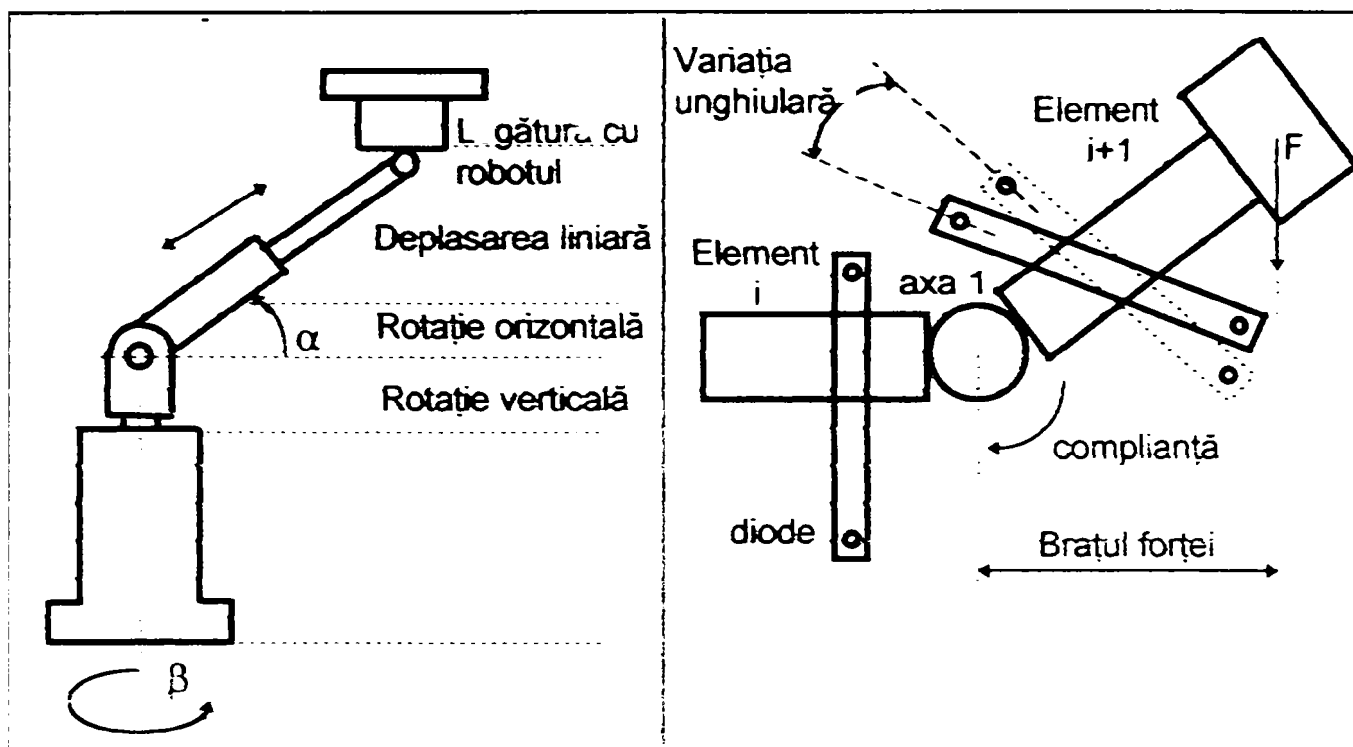


Figura 2.1.
Instalația BALL - BAR

Figura 2.2.
Instalația FLEXACO

La elaborarea noilor mijloace și metode de testare a RI au fost implicați următorii :

- Fraunhofer IPK (Germania)
- Krypton (Belgia)
- Ku Leven (Belgia)
- Dassault Aviation CTRI (Franța)
- Robot Konsult (Elveția)
- Chalmers University of Technology (Elveția)

Din analiza listei se vede că domeniul testării RI este tratat cu importanța cuvenită de către reprezentanți ai mediului universitar și industrial.

Pe lângă aceste preocupări dirijate, există și interese locale promovate de marii producători și institutele de cercetare aflate în legătură cu aceștia. Rezultatul este elaborarea unor mijloace și metode de testare specifice la solicitări punctuale.

Pentru a ilustra tendințele prezente în interiorul acestor preocupări se vor exemplifica mijloace și metode prezente în sursele bibliografice de dată recentă (1993 - 1998) grupate în tabelul următor (vezi Tab.2.8).

Tabelul 2.8.

Nr.crt	Tipul testului efectuat	Mijloacele de măsurare utilizate și metode specifice
1	2	3
1	Repetabilitatea situației pe robotul UKROS 316 Universitatea Uberlingen conform cu VDI 2861	<ul style="list-style-type: none"> • cap de referință cubic l=50mm • corp receptor cub deschis • traductoare inductive 8 buc. • verificare în 8 puncte egal repartizate în spațiul de lucru al robotului • 50 de repetări
2	Exactitatea de reproducere a traiectoriei la manipulatorul RADIUS Universitatea Toronto	<ul style="list-style-type: none"> • test corner cu latura 750 mm • test cerc cu raza 400 mm • poziția și vitezele s-au preluat din cuplurile motoare cu traductoare potențiometrice • deformațiile elementelor s-au preluat cu timbre tensometrice
3	Exactitatea de reproducere a traiectoriei unui robot mobil Army Research Office Universitatea Austin Texas	<ul style="list-style-type: none"> • se determină coordonatele x, y și rotația în jurul axei z • se furnizează DEM (Digital elevation map) • se folosesc cameră CCD, compas altimetru
4	Calibrarea RI Puma 560 Universitatea Tehnică Taiwan	metoda 1 <ul style="list-style-type: none"> • corp testat • platformă • 8 poziționări • 30 repetări
		metoda 2 <ul style="list-style-type: none"> • micrometre Mitutoyo 543 digitale • platformă • 12 poziționări • 45 repetări
		metoda 3 <ul style="list-style-type: none"> • dispozitiv laser KEYENCE LC 2330 • bloc de calibrare • 24 poziționări • 90 repetări • rezoluție 0,5 μm • domeniu ±8 mm • distanța la țintă 50 mm.

1	2	3
5	Determinarea gradului de încredere al calibrării RI Universitatea Tehnică Taiwan	<ul style="list-style-type: none"> • se execută calibrarea cu metodele 1,2,3 anterioare și se verifică rezultatele cu sistem de preîncercare a imaginii • Expert Vision Motion Analysis System - se determină exactitatea de situație și probabilitatea de obținere a exactității impuse
6	Determinarea de forțe și momente Durata ciclu de lucru Aspecte ale operației de montaj Teleoperator și PUMA 560 California Institute of Technology	<ul style="list-style-type: none"> • traductoare forță - moment • preluare informații 1000 Hz • redare 5 ms • înregistrare 100 Hz
7	Diagnoza mișcării de rotație în cuplele motoare ale RI Czech Technical University	<ul style="list-style-type: none"> • traductor de accelerație unghiulară • domeniu 0 - 3500 rpm • frecvența de lucru max. 30 Hz
8	Determinarea situației efectorului final prin ultrasunete Faculty of Engineering Okayama University	<ul style="list-style-type: none"> • emițător - receptor US • unitate de recunoaștere cu rețea neuronală
9	Determinarea aspectului termic al subansamblurilor RI (harta termică) Institute of Control Theory and Robotics Slovak Academy of Sciences	<ul style="list-style-type: none"> • modul optoelectronic cu scanner intern și detector IR • modul de procesare a semnalului • modul de comunicații ARCNET • domeniul spectral $\lambda=8-12 \mu\text{m}$ • domeniul de temperaturi 20-180°C • rezoluția < 0,5°C.
10	Localizarea în spațiu închis a unui robot mobil Puma 560 Tampere University of Technology, Finland,	<ul style="list-style-type: none"> • se determină coordonatele x,y,z ale punctului caracteristic al RI folosind: • sursă omnidirecțională de lumină • receptor fotosensibil de lucru • receptor de referință • PC 133 Mz Pentium • soft spatio Track (limbaj C) • exactitate 0,2° la 6000 mm distanță •
11	Determinarea forței de prehensiune pentru un dispozitiv de prehensare cu 2 degete Österreichische Raumfahrt und Systemtechnik Ges. m.b.H. Wien	<ul style="list-style-type: none"> • se măsoară deformația degetelor dispozitivului cu timbre tensometrice într-un sistem de referință (x,y,z) atașat folosind punte Wheatstone

1	2	3
12	Determinarea exactității absolute de poziționare la RI programați off-line Universitatea "Mihaly Pollack" 1996 din Polonia	metoda 1 "Snacke" <ul style="list-style-type: none"> • se folosește un lanț cinematic deschis cu 5 elemente și se apreciază situarea elementului final al lanțului racordat la efectorul final al RI • exactitate ± 1 mm metoda 2 - triangulație <ul style="list-style-type: none"> • se utilizează corp țintă și 2 teodoliți electronici • exactitatea $\pm 0,5$ mm
13	Determinarea exactității de reproducere a traiectoriei pe robot Bosch SR 800 Technische Universität Hamburg, 1996,	<ul style="list-style-type: none"> • dispozitiv trepied cu elemente telescopice "Tripod" echipat cu traductoare de deplasare • domeniul de măsurare 10 mm • exactitate 0,015 mm
14	Calibrarea manipuletoarelor și roboților industriali ,robot SCARA IBM 7535 cu repetabilitate 0,05 mm Universita Brescia, Italia	<ul style="list-style-type: none"> • sistem laser • sursă laser • oglindă • divizor (beam - splitter) • ecran • cameră CCD
15	Măsurarea caracteristicilor de situare Laboratoire Nationale d'essais Franța	<ul style="list-style-type: none"> • corp de probă cubic • cap de măsurare - contracub • suport cu 6 grade de libertate • traductoare de poziție (9)
16	Măsurarea caracteristicilor de traiectorie Laboratoire Nationale d'essais Franța	<ul style="list-style-type: none"> • diedru • traductoare de poziție (5) • riglă pentru materializarea traiectoriei
17	Determinarea caracteristicilor de situare Universitatea Surrey, Anglia	<ul style="list-style-type: none"> • triangulație cu fascicul laser • stații de măsurare • țintă fixată pe efectorul final • traductoare unghiulare
18	Determinarea caracteristicilor de situare National Bureau of Standards Anglia	<ul style="list-style-type: none"> • determinarea în coordonate sferice a situării efectorului final prin interferometrie laser
19	Determinarea poziției efectorului final Peugeot S.A. Franța	<ul style="list-style-type: none"> • traductoare potențiometrice cu fir platformă
20	Determinarea caracteristicilor de situare și de traiectorie Selspine Co. - Suedia	<ul style="list-style-type: none"> • diode în IR • 2 camere CCD în IR
21	Determinarea exactității de reproducere a traiectoriei liniare impuse Polytec GmbH. Germania	<ul style="list-style-type: none"> • laser He - Ne • traductor de poziție cu fotodetectoare (PSD) • greutate

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> • lungimea de testare 1000 mm • 2000 de puncte de măsurare • rezoluție $\pm 0,01$ mm, $\pm 0,003^0$
22	Determinarea termogramei unui robot Puma 560 Institutul de mașini unelte Stuttgart	<ul style="list-style-type: none"> • termocuple • sistem de achiziție de date • 36 puncte de măsurare
23	Determinarea efectului termic asupra caracteristicilor de situare Toyota Technological Institute Nagoya Japonia 1995	<ul style="list-style-type: none"> • traductoare de deplasare Keyence AH 440 • termocuple
24	Determinarea caracteristicilor de situare și de traiectorie KU Leven Belgia, 1998	<ul style="list-style-type: none"> • dispozitiv Ball - bar cu braț telescopic • determinări în coordonate sferice • traductoare de rotație • fir flexibil
25	Determinarea complianței statice 1998, Ku. Leven, Belgia.	<ul style="list-style-type: none"> • rigle rigide prevăzute cu LED -uri • soft de prelucrare a imaginii

Urmărind exemplificările de mai sus, se poate efectua un studiu de frecvență a apariției sistemelor de măsurare și se pot izola principiile utilizate în prezent precum și tendințele de evoluție ale acestora, după cum se sugerează în tabelul 2.9:

Tabelul 2.9.

Nr.crt.	Tipul determinării sau indicatorul	Mijloace folosite	Metode aplicate
1	2	3	4
1	Indicatori geometrici <ul style="list-style-type: none"> • repetabilitatea de poziționare • depășirea poziției • repetabilitatea distanței • deriva poziției • repetabilitatea traiectoriei • lungimea de stabilizare la testul "corner" • depășirea colțului • eroarea de rotunjire la colț • indicator de complianță • exactitatea de poziționare 	<ul style="list-style-type: none"> • corp de referință • corp receptor • traductoare de deplasare inductive, capacitive • suport cu 6 grade de libertate • platformă trepid • platformă cu fire • cameră CCD • scanner laser • interferometru laser • emitor - receptor US • platformă dinamometrică 	metode cu contact metode non-contact <ul style="list-style-type: none"> • cu US • cu camere CCD • cu scanner laser • cu interferometru • teodoliți fără urmărirea țintei cu urmărirea țintei fotogrametrie scanere US, laser

1	2	3	4
2	<p>Indicatori cinematici</p> <ul style="list-style-type: none"> • timp de stabilizare • exactitatea vitezei la colț • exactitatea vitezei pe traiectorie • reproductibilitatea vitezei pe traiectorie • fluctuația vitezei pe traiectorie • lungimea de stabilizare a vitezei pe traiectorie • exactitatea accelerației pe traiectorie • reproductibilitatea accelerației pe traiectorie • fluctuația accelerației pe traiectorie • timp minim de situare • durata unui ciclu 	<ul style="list-style-type: none"> • dispozitiv ball-bar • platforme cu fir • camere CCD • scanere laser • interferometrie • emitor - receptor US • dispozitiv "snake" 	<p>metode cu contact</p> <p>metode noncontact</p> <ul style="list-style-type: none"> • optoelectronice sau cu US
3	<p>Indicatori dinamici</p> <ul style="list-style-type: none"> • sarcina maximă • sarcina maximă utilă • vibrații • forța de prehensiune • forța de instruire • forțe-momente în cuple • forța de deplasare pe axă • forța rezultantă pe traiectorie • forța de montaj • rigiditatea dinamică • masă redusă • moment de inerție redus 	<ul style="list-style-type: none"> • dinamometru • balanțe • timbre tensometrice • accelerometre • vibratoare electro-dinamice • traductoare capacitive • traductoare de moment de torsiune • fibre de sticlă • surse coerente (laser) 	<p>metode cu contact</p> <ul style="list-style-type: none"> • mecanice • electronice <p>metode noncontact</p> <ul style="list-style-type: none"> • opto - electronice
4	<p>Indicatori speciali</p> <ul style="list-style-type: none"> • temperatura elementelor • temperatura globală • nivelul de zgomot • puterea consumată 	<ul style="list-style-type: none"> • termocuple • termorezistențe • folie cristale lichide • traductoare IR • traductoare presiune • traductoare debit • aparate electrice de măsurat 	<ul style="list-style-type: none"> • termometrie • pirometrie • camere CCD în IR • termografie • măsurarea consumului energetic • măsurarea nivelului presiunii acustice

Sintetizând informațiile din tabelul 2.8, se evidențiază tendința generală, prezentată în figura 2.3:

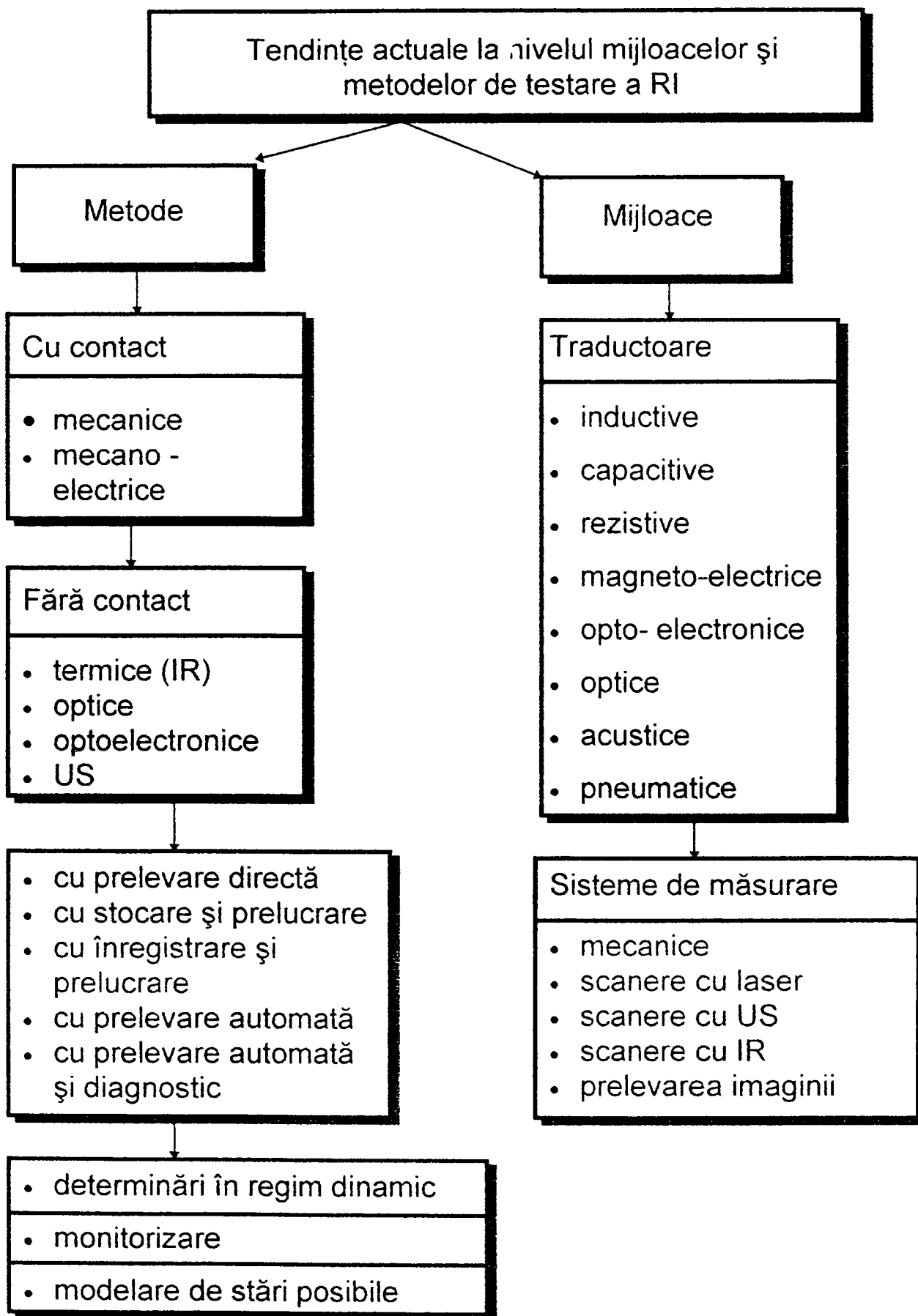


Figura 2.3.
Tendințe actuale în domeniul mijloacelor de testare a RI.

Și la nivelul concepției de programe de testare se manifestă tendințe de evoluție accentuată, astfel se poate forma schema bloc din figura 2.4:

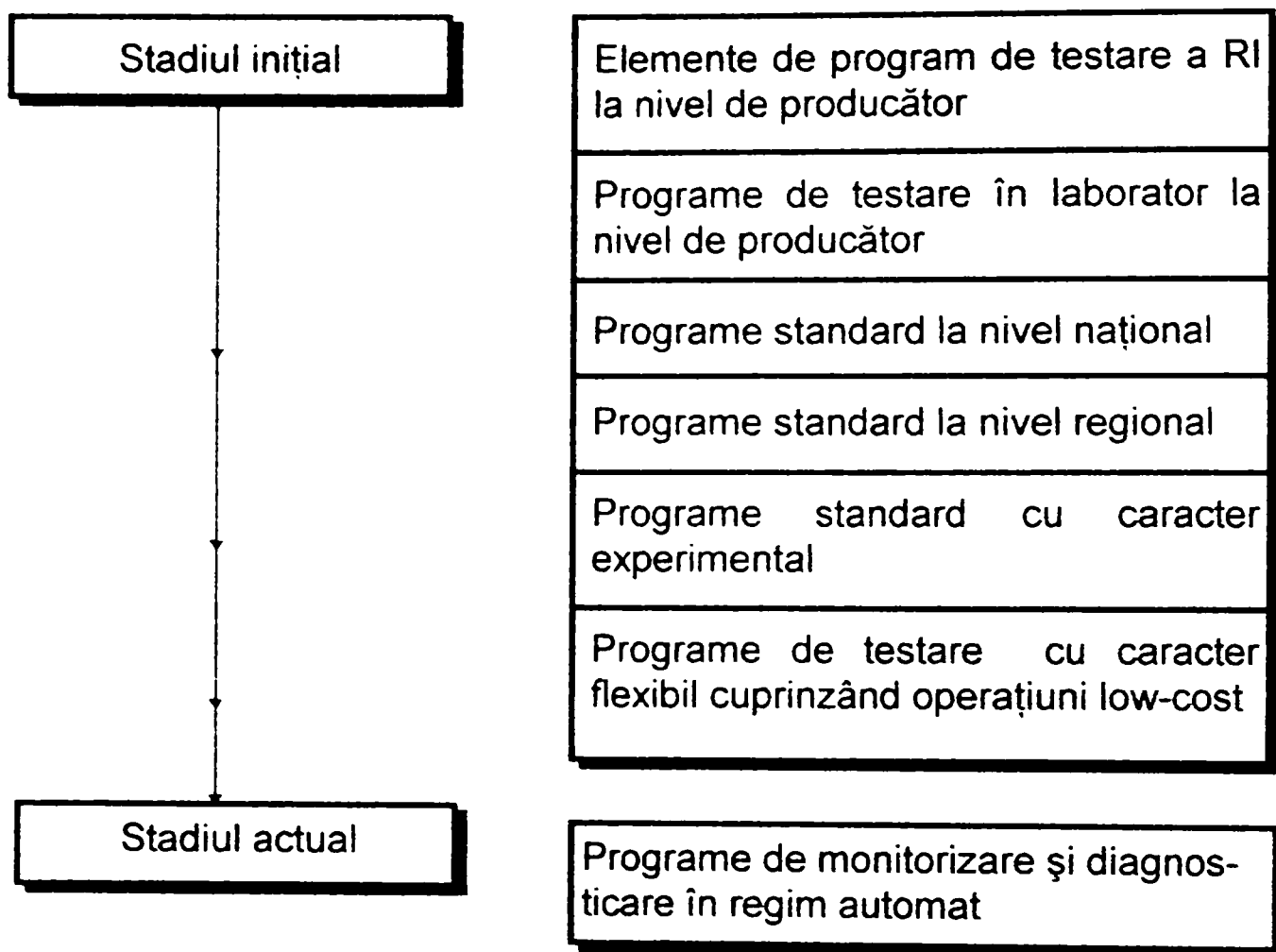


Figura 2.4.
Evoluția programelor de testare a RI.

În domeniul indicatorilor de calitate, tendința netă actuală este cea de uniformizare a acestora și folosirea lor în procesul de obiectivizare a aprecierii și selecției RI.

În domeniul monitorizării și diagnosticării se poate urmări modul de evoluție a metodelor utilizate pe baza unei scheme bloc prezentată în figura 2.5.

Efectul final al modificării mijloacelor și metodelor de evaluare a RI precum și a celor de monitorizare și diagnosticare este vizibil la nivel tehnic și economic și reiese din schema bloc propusă în figura 2.6.

În mod firesc, după efectuarea acestei prezentări a preocupărilor existente la scară mondială în domeniul indicatorilor de calitate ai roboților industriali, se identifică anumite zone unde informația are o

densitate scăzută în sensul că nu toate aplicațiile RI sunt acoperite de prevederi în domeniul mai sus menționat.

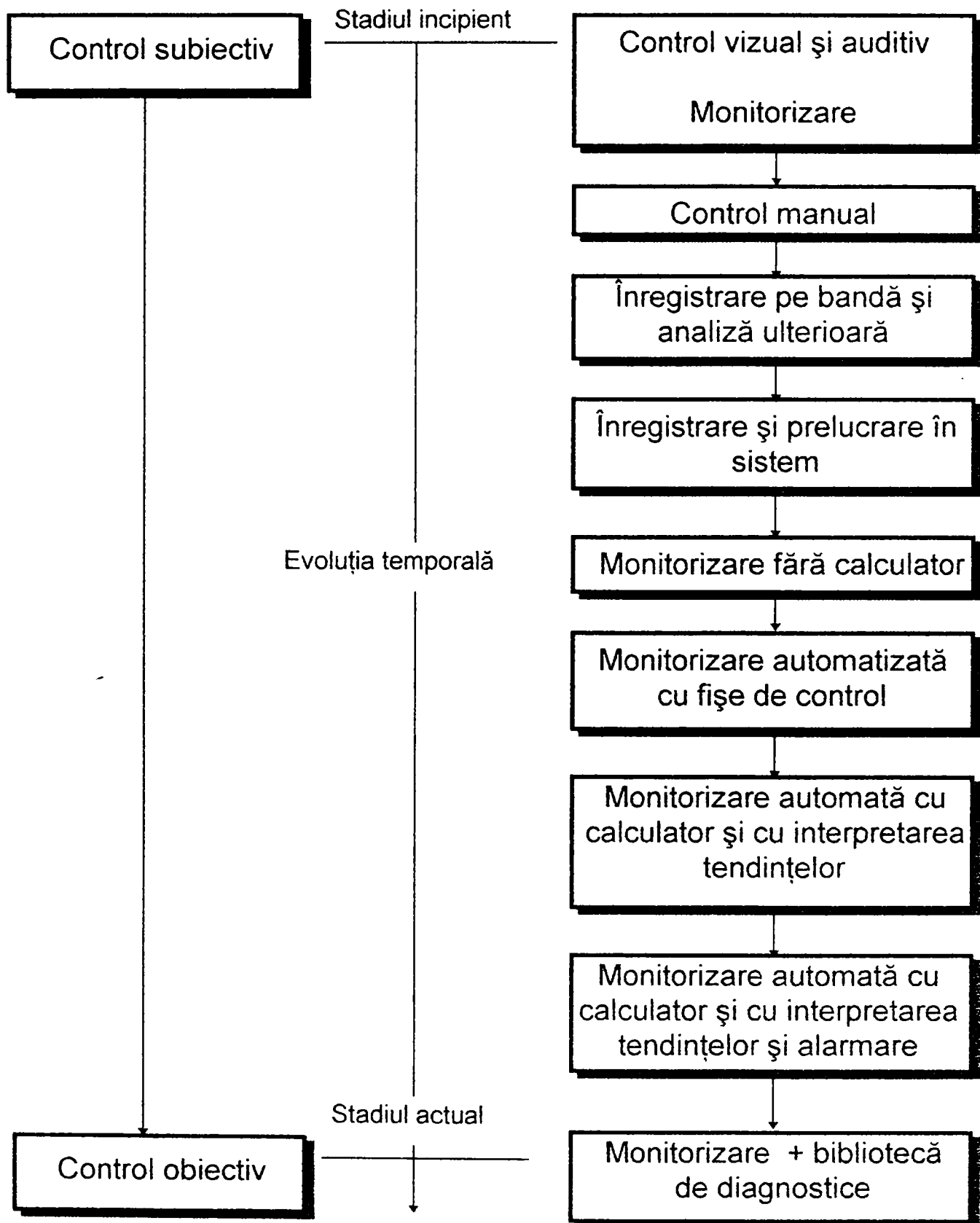


Figura 2.5.
Evoluția metodelor de control a RI.

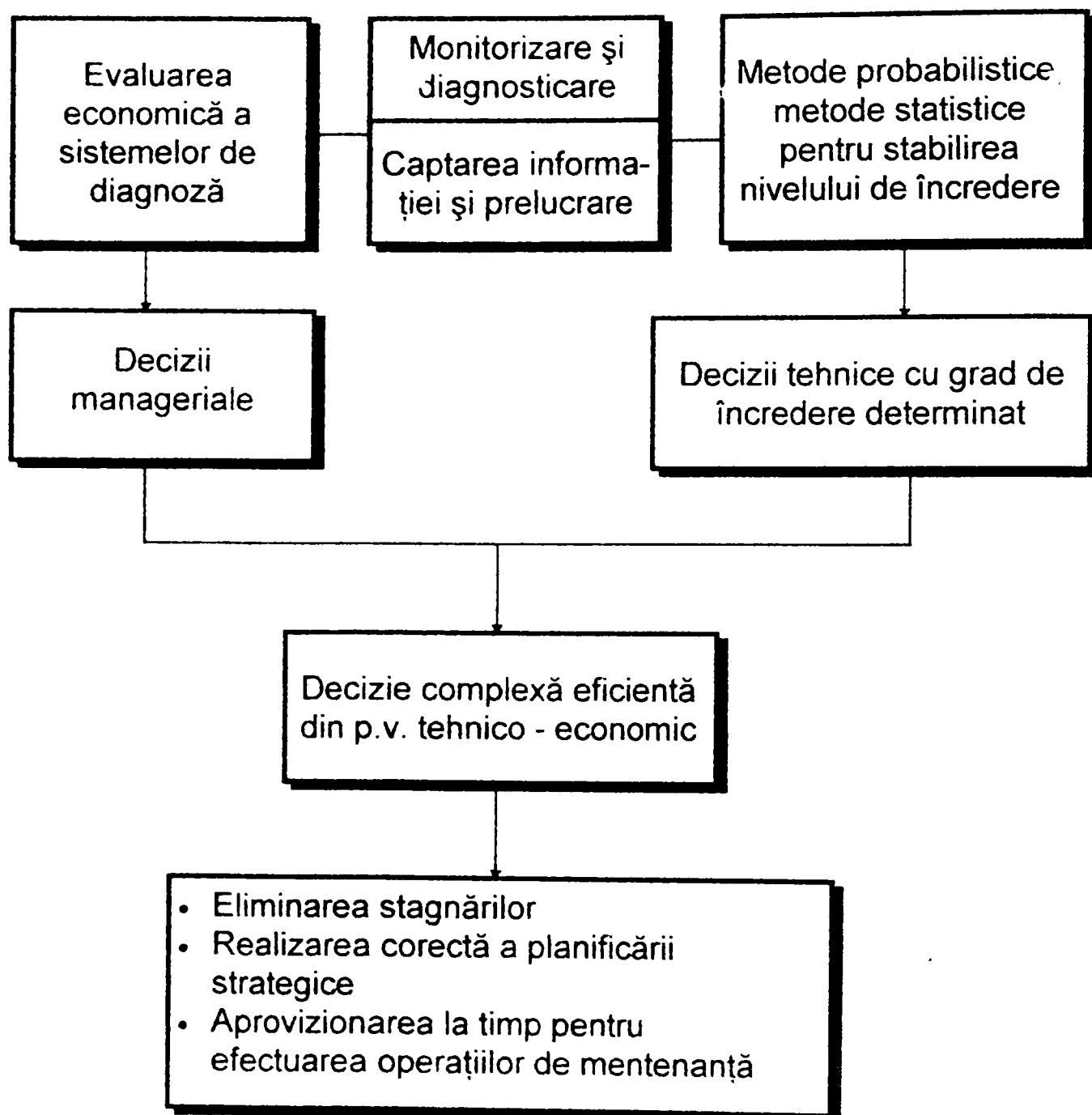


Figura 2.6.
Efectul monitorizării și diagnosticării RI.

De aceea, din capitolul al treilea al prezentei lucrări se prezintă activitatea de cercetare a autorului în vederea completării unor zone insuficient tratate. Trebuie menționat că deși posibilitățile de abordare a breșelor identificate au fost numeroase s-a efectuat o focalizare a unor obiective precise în vederea desfășurării unei activități de cercetare eficientă pe un domeniu îngust.

Capitolul 3

CONTRIBUȚII LA STABILIREA UNOR INDICATORI DE CALITATE PENTRU APRECIEREA PERFORMANȚELOR ROBOTULUI INDUSTRIAL

3.1. Propuneri privind introducerea unor indicatori obligatorii pentru aprecierea calității unui RI. Indicatori de calitate simpli.

Pe baza celor arătate în capitolele 1 și 2 și pornind de la experiența în producție și cercetare a autorului, se propune următoarea structură a indicatorilor de calitate necesari pentru evaluarea nivelului de calitate al unui RI :

Indicatori de calitate ai RI :

- a). simpli (primari)
- b). compuși
- c). globali.

Indicatorii de calitate simpli sau primari sunt identici cu parametrii funcționali prezenți în ISO 9283 și parțial în standardizările anterioare (AFNOR, JIS, VDI) precum și cei propuși de autor.

Autorul consideră că pentru stabilirea nivelului calității unui RI pe baza unor operații de tip **“cost scăzut”**, devin necesari indicatorii simpli prezentați în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

Nr. crt.	Indicatori de calitate simpli
I.	Indicatori geometrici
1	volumul spațiului de lucru (util)
2	volumul ocupat de robot (pasiv)
3	curse liniare / unghiulare
4	numărul de axe
5	exactitatea de situare

6	repetabilitatea de situare
7	exactitatea de generare a traiectoriei
8	repetabilitatea pe traiectorie
9	pasul minim programabil
10	curșa după acționarea comenzii STOP
11	compliance statică
12	deriva punctului caracteristic
II.	Indicatori cinematici
1	viteza maximă / minimă
2	gama de viteze
3	exactitatea de reproducere a vitezei
4	repetabilitatea vitezei pe traiectorie
5	fluctuația vitezei pe traiectorie
6	viteza medie
7	acelerația maximă / minimă
8	exactitatea accelerației pe traiectorie
9	repetabilitatea accelerației pe traiectorie
10	timpul de stabilizare a situației
11	durata unui ciclu de lucru
III.	Indicatori dinamici
1	masă redusă, impuls
2	moment cinetic
3	forțe și momente de inerție
4	forțe și momente motoare și variația lor
5	răspunsul dinamic la comenzi
IV.	Alți indicatori simpli
1	-indicatori ai sistemului de acționare (forța motoare generalizată, caracteristici mecanice, randament, forță de prehensare, forță tehnologică).
2	-indicatori ai sistemului de comandă (indicatori de programare, indicatori pentru senzorică și adaptabilitate).
3	-indicatori pentru funcții speciale (țesere, micromișcări, ai dispozitivelor de compliance).
4	-indicatori pentru dispozitive periferice (pentru schimbare efector final, curățire cap de sudare, mese de poziționare, posibilități de montaj).
5	-indicatori fizici (temperatură, zgomot, emisie de particule).

După cum s-a arătat, tendința actuală este aceea de a determina nivelul de calitate în funcție de aplicația dată a RI. Pentru aceasta este necesar să se identifice tipurile de aplicații uzuale ale RI, pentru a

determina reguli de compunere a indicatorilor simpli și factorii de ponderare ai acestora.

În urma compunerii indicatorilor simpli sau primari vor rezulta indicatori compuși cu grad mai mare de sinteză.

Se propune următoarea structurare a acestora conform tab. 3.2 :

Tabelul 3.2.

Nr.crt.	Indicatori de calitate compuși
1	• de sarcină
2	• ai spațiului de lucru
3	• de mobilitate
4	• de exactitate
5	• ai regimului de lucru
6	• de rigiditate / amortizare
7	• de forță / energetici
8	• de prețuri specifice

Pentru a da un instrument eficient de apreciere a nivelului calității ce nu mai presupune din partea utilizatorului decât aplicarea unui singur indicator, se propune elaborarea unui indicator de calitate global provenit din sinteza indicatorilor compuși și primari.

Acest indicator global devine nota de calitate acordată Ri-ului testat.

3.2. Indicatori de calitate compuși.

3.2.1. Indicatori de sarcină.

Sarcina maximă manipulată

Se notează m_{max} [kg] și reprezintă masa maximă purtată în dispozitivul de prehensiune la care se mențin încă acele condiții ce definesc buna funcționare a RI.

Sarcina specifică (supletea)

Se notează M_s [%] cu expresia:

$$M_s = \frac{m_{\max}}{M_{RI}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

ur.de: m_{\max} - sarcina maximă manipulată
 M_{RI} - masa totală a robotului.

Acest indicator selectează RI pe baza observației : cu cât este deplasată o masă mai mare de un robot cu o masă mai mică cu atât performanțele acestuia sunt mai bune.

3.2.2. Indicatori ai spațiului de lucru

Volumul spațiului de lucru.

Se notează V_L [m^3] și reprezintă locul geometric al punctelor ce pot fi ocupate de punctul caracteristic al RI în timpul funcționării în condițiile prescrise.

Spațiul de lucru specific.

- masic, notat V_{sm} [m^3/kg]

$$V_{sm} = \frac{V_L}{M_{RI}} \quad (3.2)$$

- volumic, notat V_{sv}

$$V_{sv} = \frac{V_L}{V_L + V_{RI}} \quad (3.3)$$

unde V_{RI} reprezintă volumul pasiv ocupat de robotul industrial și în care punctul caracteristic al acestuia nu poate pătrunde.

Spațiul de lucru specific volumic oferă informații despre eficiența volumică ce definește creșterea posibilităților de operare ale RI în cazul în care se înregistrează o creștere a volumului spațiului de lucru odată cu scăderea volumului ocupat de RI.

3.2.3. Indicatori de mobilitate.

Numărul de axe (grade de mobilitate)

Se notează L și este ilustrat în schema cinematică a RI.

Mobilitatea specifică masică

Se notează L_M și are expresia:

$$L_M = \frac{L}{M_{RI}} \quad [kg^{-1}] \quad (3.4)$$

Acest indicator ilustrează creșterea performanțelor RI pe măsură ce o schemă cinematică tot mai complexă este materializată într-un ansamblu cu masa totală în scădere.

Mobilitatea specifică

Se notează:

$$L_S = L \cdot M_S \quad [\%] \quad (3.5)$$

Indicatorul "**mobilitatea specifică**" ilustrează capacitatea unui RI de-a dezvolta mișcări complexe, cu masă mare în dispozitivul de prehensiune, în condițiile scăderii masei totale a RI.

3.2.4. Indicatori de exactitate / repetabilitate

Exactitatea de poziționare / orientare absolută a efectorului final

Se notează μ [mm] și $\Delta\theta$ [grad] și se calculează cu relația:

$$\mu = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2 + \mu_z^2}; \quad \Delta\theta = \sqrt{\theta_x^2 + \theta_y^2 + \theta_z^2} \quad (3.6)$$

unde: μ_x, μ_y, μ_z sunt abaterile de poziție pe axele sistemului de referință atașat, iar $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ sunt abaterile unghiulare în raport cu aceleași axe.

Exactitatea de poziționare / orientare relativă, masică a efectorului final

Se notează I_m și are expresia:

$$I_{m\mu} = \frac{m_{max}}{\mu} \quad [kg / mm]; \quad I_{m\theta} = \frac{m_{max}}{\Delta\theta} \left[\frac{kg}{grad} \right] \quad (3.7)$$

Indicatorul I_m denotă performanța RI de-a menține nivelul ridicat al exactității de poziționare - orientare odată cu creșterea sarcinii manipulate.

Exactitatea de poziționare / orientare relativă volumică

Se notează I_v și are expresia :

$$I_{v,u} = \frac{V_L}{\mu^3} \quad \text{sau} \quad \frac{V_L}{\mu_x \mu_y \mu_z} \quad \text{și} \quad I_{v,\theta} = \frac{V_L}{(\Delta\theta \cdot r_{max})^3} \quad (3.8)$$

unde r_{max} este valoarea maximă a razei vectoare a punctului caracteristic în raport cu originea sistemului de referință al robotului industrial.

Indicatorul I_v denotă capacitatea RI de-a menține valoarea crescută a exactității de poziționare - orientare în condițiile creșterii volumului spațiului de lucru, când efectul negativ al încărcării se face tot mai simțit.

Exactitatea absolută de generare a traiectoriei impuse

Se notează μ_{max} [mm] și se calculează cu relația:

$$\mu_{max} = \left(\mu_{max,x}^2 + \mu_{max,y}^2 + \mu_{max,z}^2 \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

și ilustrează abaterea maximă înregistrată de poziția curentă a punctului caracteristic față de omologul acestuia aflat în mulțimea de puncte impuse a cărei rezultantă este traiectoria comandată.

Exactitatea relativă liniară de generare a traiectoriei impuse

Se notează I_{TL} și are expresia:

$$I_{TL} = \frac{S_{max}}{\mu_{max}} \quad (3.10)$$

S_{max} = cursa maximă pe axa i ; $i = x, y, z$.

Indicatorul I_{TL} arată capacitatea RI de-a menține în limite reduse abaterea de la traiectoria comandată când aceasta este aliniată cu una din direcțiile de mișcare și odată cu creșterea distanței de la originea sistemului de referință atașat elementului fix.

Exactitatea relativă volumică de generare a traiectoriei impuse

Se notează I_{TV} și are expresia:

$$I_{TV} = \frac{V_L}{\mu_{max}^3} \quad (3.11)$$

Semnificația acestui indicator constă în capacitatea RI de-a se menține cu punctul caracteristic cât mai aproape de traiectoria comandată în condițiile creșterii volumului spațiului de lucru.

Pasul minim programabil

Se notează p_{min} [μm] și reprezintă valoarea distanței comandate minime pentru care se obține reacție din partea RI în limite prescrise (pragul de sensibilitate la comandă).

Pasul minim programabil relativ

Se notează I_p și are expresia :

$$I_p = \left(\sum_{s=1}^n I_{pj}^2 \right)^{1/2} \quad (3.12)$$

$$\text{unde } I_{pj} = \frac{S_{jmax}}{P_{jmax}} \quad (3.13)$$

cu S, p definite mai sus I_p denotă corelația caracteristică ce descrie sensibilitatea RI și caracteristica ce ilustrează cumulearea unor fenomene negative (jocuri, frecări, influențe termice) al căror rezultat este abaterea punctului sau a dreptei caracteristice de la poziția - orientarea comandată.

3.2.5. Indicatori ai regimului de lucru

În cadrul aplicațiilor robotizate devin importanți parametri ca de exemplu: viteza maximă, gama de reglare a vitezei punctului caracteristic, gradul de neuniformitate a vitezei. Aceștia dictează nivelul productivității precum și calitatea operațiilor atunci când sunt vizați roboți de sudare cu arc, roboți pentru decupare sau roboți pentru acoperiri de suprafețe etc.



Indicatorul de viteză maximă

Se notează V_{\max} <m/s> și dictează durata ciclului de lucru, precum și aspectul dinamic al comportării robotului pe durata funcționării (se referă la punctul caracteristic aflat în mișcare pe axele robotului).

Indicatorul de reglare al vitezei

Se notează:

$$I_r = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (3.14)$$

și exemplifică posibilitatea RI de a se adapta la specificul diverselor momente și regimuri ale ciclului de lucru. Astfel o viteză ridicată se pretează la traversarea unor zone sterile și în opoziție, o viteză coborâtă poate asigura condiții dinamice optime în faza activă a unei aplicații (montaj, decupare, paletizare etc.). I_r este dependent de poziția punctului caracteristic pentru mișcări combinate ale axelor.

Gradul de neuniformitate al vitezei

Se notează:

$$\delta_v = \frac{\Delta V}{V_r} \quad (3.15)$$

unde ΔV reprezintă abaterea maximă de la viteza nominală în zona de regim, iar V_r este viteza de regim comandată.

Acest indicator ilustrează capacitatea RI de-a menține viteza la un nivel dat pe perioada de regim. Importanța gradului de neuniformitate al vitezei crește în aplicațiile unde se pune problema efectuării unor operații aflate între punctele START și STOP (executarea unui cordon de sudură, tăierea unui profil cu flacăra, etc.).

3.2.6. Indicatori de rigiditate / amortizare

Cursa după comanda "STOP"

Se notează ΔL <mm>, și se interpretează pe axe funcție de sarcină și direcția de mișcare.

Acest indicator dă asigurări în privința capacității RI de-a reacționa prompt în cazul în care se impune "înghețarea" RI din rațiuni de protecție a muncii (avarie, pătrundere neautorizată sau periculoasă în spațiul de lucru).

ΔL devine important și în cadrul aplicațiilor de paletizare, montaj unde punctul caracteristic nu trebuie să se abată mult față de poziția impusă pentru extremitatea cursei.

Amplitudinea după comanda STOP

Se notează A_{max} <mm> și ilustrează deplasarea alternativă a punctului caracteristic ce urmează după frânarea mișcării RI-ului. Devine foarte important în cadrul operațiilor de montaj nefiind admisă situarea punctului caracteristic în afara zonei ce permite joncțiunea a două piese aflate în procesul de montaj. Aceiași problemă se pune și în cazul servirii mașinilor unelte sau a conlucrării dintre doi RI.

Indicatorul timpului de stabilizare

Se notează:

$$I_t = \frac{l}{t_s} < sec^{-1} > \quad (3.16)$$

Țiimpul de stabilizare reprezintă perioada scursă de la oprirea RI până la momentul încadrării poziției punctului caracteristic în limitele admise. Cu cât acest timp este mai redus cu atât nivelul calitativ al RI este mai bun, t_s fiind corespondentul temporal al indicatorului A_{max} .

Săgeata statică

Se notează f <mm> și reprezintă abaterea poziției punctului caracteristic de la poziția ideală cu sarcina 0 sub acțiunea sarcinii maxime aflate în dispozitivul de prehensiune al unui RI.

Pentru a ține cont și de efectul extensiei asupra săgeții statice se introduce indicatorul de rigiditate.

Indicatorul de rigiditate

Se notează:

$$I_R = \frac{V_L}{f^3} \quad (3.17)$$

și ilustrează capacitatea RI de-a asigura un volum mare de lucru (ce impune extensie de valoare ridicată) și săgeata statică redusă.

Evoluția în sensuri contrare a celor doi parametri (V_L - crescător) indică o creștere a calității RI-ului în cauză.

3.2.7. Indicatori de forță și energetici

Indicatorul fortei de prehensiune utile

Acest indicator ilustrează forța de prehensiune repartizată pe unitate de greutate a sarcinii manipulate.

Astfel:

$$I_{FP} = \frac{F_p}{gm_{max}} \quad (3.18)$$

Acest indicator exprimă siguranța menținerii obiectului prehensat în condiții statice.

Forța de prehensiune utilă se exprimă astfel:

$$F_p = \mu_e F \quad (3.19)$$

unde F - forța de strângere la bacuri, iar μ_e - coeficientul echivalent de frecare dintre bacuri și obiectul prehensat.

Indicatorul fortei de prehensare

Acest indicator exprimă capacitatea de acoperire prin forță de prehensare a forței de interacțiune cu mediul ce intervine în procesul de operare. Expresia acestui indicator este:

$$I_{Fi} = \frac{F_p}{F_{im}} \quad (3.20)$$

unde F_{im} reprezintă forța de interacțiune cu mediul.

Indicatorul fortei de instruire

Indicatorul ilustrează comoditatea în procesul "teach-in" raportată la operatorul uman în situația programării prin conducere directă.

Formula de exprimare este:

$$I_{Fi} = \frac{gm_{max}}{F_i} \quad (3.21)$$

unde:

$$F_i = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (3.22)$$

este forța de acționare la instruire.

Coeficientul utilizării puterii instalate

Exprimă fracțiunea utilizată efectiv din puterea instalată în cazul încărcării la maxim a robotului industrial.

Formula de calcul propusă este:

$$C_{Pi} = \frac{\max(\bar{F}_u \cdot \bar{V})}{P_i} \quad (3.23)$$

unde F_u este forța utilă dezvoltată de robot pe traiectorie, V - viteza liniară de deplasare de traiectorie, iar :

$$P_i = \sum_{k=1}^L P_{i_k} \quad (3.24)$$

este puterea instalată totală ca sumă a puterilor instalate la cele L motoare.

Observație: coeficientul C_{Pi} depinde de poziția punctului caracteristic.

3.2.8. Indicatori de cost / prețuri specifice

Pentru a facilita accesul la informația tehnică a managerilor, economiștilor etc. se propune convertirea anumitor parametri definatorii pentru robotul industrial în costuri. Astfel se propun următorii indicatori:

a) Costul / prețul unității de masă manipulată

$$C_M = \frac{C}{m_{max}} < \$ / kg > \quad (3.25)$$

unde C este costul / prețul total.

b) Costul / prețul unității de spațiu de lucru

$$C_v = \frac{C}{V_L} \quad \langle \$ / m^3 \rangle \quad (3.26)$$

c) Costul exactității de poziționare-orientare

$$C_E = \mu_{max} \cdot C \quad \langle \$ \cdot mm \rangle \quad (3.27)$$

d) Costul unui grad de libertate

$$C_L = \frac{C}{L} \quad \langle \$ / \rangle \quad (3.28)$$

e) Costul unității de mobilitate

$$C_{L1} = \frac{C}{L_s} \quad \langle \$ \rangle \quad (3.29)$$

Odată cu aceste propuneri s-a intrat pe terenul demn de exploatat în vederea găsirii unei forme globale de exprimare a calității robotului industrial. În urma acestui proces calitatea devine o mărime cuantificabilă facilitând selecționarea eficientă a roboților industriali.

3.3. Determinarea ponderii indicatorilor de calitate în procesul de stabilire a nivelului de calitate al Ri

Așa cum s-a arătat în § 3.1 pentru a obține o apreciere eficientă a nivelului de calitate al Ri, trebuie luată în considerare aplicația concretă a acestuia. În acest mod compararea nivelului de calitate atins nu se face cu valoarea maximă posibil de atins a acestuia ci cu valoarea utilă, deci eficientă economic și tehnic.

Prima etapă în obținerea acestui deziderat o constituie clasificarea aplicațiilor pe categorii și determinarea modului de ponderare a indicatorilor de calitate.

Diferite surse bibliografice [K1], [M2], [W2], [M1] prezintă lista aplicațiilor frecvente ce includ Ri. Se trece la enumerarea acestora în tab.3.3.

Primele încercări de ponderare a indicatorilor de calitate pentru diferite aplicații robotizate au forma unor încadrări (atribuiri) de genul celor prezentate în continuare:

indicatorul are pentru o aplicație dată, importanță:

- majoră
- medie
- mică

sau indicatorul se recomandă pentru aplicația dată, astfel:

- recomandat
- parțial recomandat
- puțin recomandat
- nerecomandat

Aplicații ale RI în conformitate cu diverse surse bibliografice sau autori

Tabelul 3.3.

Sursa / Aplicația robotizată	CETIM Saint- Etienne Franța	H.J. Wamecke Stuttgart Germania	K. Kenchel Hamburg Germania	Ch. Maier München Germania	Progr. IRIS
paletizare	X	X	X		X
alimentare	X	X	X	X	X
sudare în puncte	X	X	X	X	X
sudare cu arc	X	X	X	X	X
forjare	X				
deformare sub presiune	X				
acoperiri de suprafețe	X	X	X	X	X
asamblare - montaj	X		X		X
lipire		X		X	X
tăiere cu laser, cu apă sau convențională	X	X	X	X	X
măsurare				X	
polizare / șlefuire		X	X	X	X

Pe baza analizei surselor de specialitate [B7], [C4], [D7], [K4], [K8], [P5] se pot evidenția indicatorii importanți pentru categorii de aplicații robotizate, după cum urmează:

Tabelul 3.4.

Nr. crt.	Tipul aplicației robotizate	Indicatori de calitate importanți
1	2	3
1	asamblare - montaj	exactitate de situare repetabilitate de situare sarcina maximă manipulată rigiditatea mecanică forța de montaj gama de viteze pasul minim programabil
2	sudare cu arc tăiere cu plasmă tăiere cu laser tăiere cu jet de apă	sarcina maximă manipulabilă rigiditatea mecanică fluctuația vitezei pe traiectorie exactitatea de reproducere a traiectoriei gama de viteze
3	paletizare	sarcina maximă manipulabilă viteza maximă rigiditatea mecanică forța de prehensiune
4	acoperiri de suprafețe	numărul axelor fluctuația vitezei viteza minimă/maximă rigiditatea mecanică spațiul de lucru
5	sudare în puncte	exactitate de situare gama de viteze numărul axelor forța de prehensare rigiditatea mecanică
6	debavurare, polizare, șlefuire	sarcina maximă manipulabilă spațiul de lucru rigiditatea mecanică forța tehnologică amortizarea redundanța sistemelor
7	servire mașini-unelte	exactitate de situare repetabilitate de situare gama de viteze viteza minimă/maximă pasul minim programabil rigiditatea mecanică

1	2	3
8	toate tipurile de aplicații	costul operației puterea instalată puterea consumată nivelul de zgomot masa totală a RI randamentul confortul de utilizare spațiul de lucru

În continuare atribuind note de la 0 la 3 pentru gradul de interes prezentat de anumiți indicatori de calitate în cadrul aplicației robotizate conform surselor bibliografice [B7], [C4], [D7], [K4], [K8], [P5], se obține tabelul 3.5.

Tabelul 3.5.

1.	Curse liniare / unghiulare	3	3	3	3	3	3	3	3
2.	Volumul spațiului de lucru	3	3	2	2	3	3	3	2
3.	Sarcina maximă manipulabilă	3	3	2	3	1	3	3	1
4.	Masa totală a Ri	2	2	2	2	1	3	3	3
5.	Număr de axe	3	2	3	3	2	2	2	3
6.	Exactitatea de poziționare - orientare	3	2	3	3	1	1	3	2
7.	Viteza (accelerația) maximă	2	1	1	1	1	2	1	1
8.	Fluctuația de viteză	0	0	3	0	3	0	0	0
9.	Gama de viteze (accelerații)	3	2	2	3	3	1	0	3
10.	Exactitatea de generare a traiectoriei	0	0	3	0	2	0	0	3
11.	Pasul minim programabil	3	1	1	1	1	0	3	1
12.	Cursa după acționarea comenzii STOP	3	3	2	2	0	0	3	3
13.	Amplitudinea max. a oscil. după c-da STOP	3	1	2	2	0	0	3	1
14.	Săgeata statică	3	2	1	1	1	3	3	1
15.	Timp de stabilizare	3	2	2	3	1	1	2	1
16.	Forța de prehensiune	3	3	0	3	0	0	3	0
17.	Forța de instruire	3	3	3	3	3	3	3	3
18.	Forța de montaj	3	0	0	0	0	0	0	0
19.	Puterea instalată	3	3	3	3	3	3	3	3
Legendă:									
	0 - nu interesează								
	1 - interes redus								
	2 - interes mijlociu								
	3 - interes major								
		RI pentru asamblare montaj							
		RI pentru paletizare							
		RI pentru sudare arc							
		RI pentru sudare în puncte							
		RI pentru acoperiri suprafețe							
		RI pentru polizare-șlefuire							
		RI pentru alimentare							
		RI pentru taiere							

Sistemele de notare ale indicatorilor de calitate folosesc șiruri de la 1 la 10 sau 1 la 100.

S-a propus folosirea șirului de la 0 la 3 pentru a restrânge gradul de subiectivism implicat în atribuiri, acestea efectuându-se pe o scară concentrată.

3.4. Indicatori de calitate globali

Indicatorul global provine de pe filiera - indicatori simpli, indicatori compuși și se utilizează direct la aprecierea nivelului de calitate, având caracter unic.

Fazele în care indicatorul de calitate global intervine sunt:

1. la finalizarea execuției RI
2. periodic, în cadrul programului de monitorizare
3. la recepția efectuată de beneficiar
4. după intervenția solicitată de un defect major.

Pentru obținerea unui indicator global eficient pentru o aplicație dată, se va trece la ponderarea indicatorilor simpli și compuși din alcătuirea acestuia.

Pentru a avea o imagine generală asupra calității indicatorului global, acesta trebuie să fie adimensional. Formula propusă este:

$$I_G = \frac{\sum_{j=1}^n P_j C_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (3.30)$$

unde P_j reprezintă nota (factorul de pondere);

C_j reprezintă indicatorul simplu sau compus normalizat introdus în calcul.

În vederea obținerii indicatorului I_G adimensional și dată fiind formula de calcul, se impune utilizarea unor indicatori compuși adimensionali.

De aceea pentru constituirea indicatorului global se propun următorii indicatori compuși:

Tabelul 3.6.

Nr. crt.	Tipul indicatorului compus	Formula de calcul a indicatorului compus
1	2	3
1.	sarcina specifică	$M_S = \frac{m_{max}}{M_{Ri}} \cdot 100\%$
2.	eficiența volumică	$E_V = \frac{V_L}{V_{Ri} + V_L} \cdot 100\%$
3.	mobilitatea specifică	$L_S = L \cdot M_S = L \cdot \frac{m_{max}}{M_{Ri}} \cdot 100\%$
4.	exactitatea de situare relativă volumică	$i_V = \frac{V_L}{\mu^3}$ sau $i_V = \frac{V_L}{\mu_x \mu_y \mu_z}$
5.	indicatorul de reglare a vitezei	$i_r = \frac{V_{max}}{V_{min}}$
6.	gradul de neuniformitate al vitezei	$\delta_V = \frac{\Delta V}{V}$
7.	indicatorul de rigiditate	$I_R = \frac{V_L}{f^3}$
8.	randamentul	$\eta = \frac{\iint d\vec{F} \cdot d\vec{V}}{P_C}$

unde m_{max} = sarcina maximă manipulabilă (kg)

M_{Ri} = masa totală a robotului (kg)

V_L = volumul spațiului de lucru (m^3)

V_{Ri} = volumul ocupat de Ri (m^3) (pasiv)

L = numărul gradelor de libertate / mobilitate

μ = exactitatea de situare (mm)

v = viteza (m/s) ($^\circ/s$)

Δv = fluctuația vitezei (m/s) ($^\circ/s$)

F = forța de lucru (dezvoltată la efectorul final) (N)

P_C = puterea consumată (W)

Pe baza tabelului de mai sus, indicatorul global devine:

$$i_G = (p_1 \cdot M_S + p_2 \cdot E_V + p_3 \cdot L_S + p_4 \cdot i_V + p_5 \cdot i_r + p_6 \cdot \delta_V + p_7 \cdot i_R + p_8 \cdot \eta) / \sum_{i=1}^8 p_i \quad (3.31)$$

Se observă că aprecierea pozitivă a indicatorilor compuși din formulă se produce pentru valori crescătoare ale acestora.

3.5. Determinarea unor indicatori de calitate pe un eșantion de 190 de Ri

3.5.1. Prezentarea generală a studiului

Pentru a verifica viabilitatea propunerilor prezentate mai sus s-a făcut următorul raționament:

- a) se calculează indicatorii de calitate compuși enunțați anterior pe un lot de Ri selectați în funcție de aplicațiile lor posibile/recomandate de producător
- b) se ordonează, pe baza nivelului de calitate obținut, lotul de Ri
- c) se analizează ierarhizarea obținută.

Validarea constă în concordanța dintre ierarhizarea obținută și situația de pe teren referitoare la:

- 1) importanța firmelor producătoare analizate
- 2) frecvența utilizării tipurilor de roboți analizați.

Pentru studiu s-a ales o bază de date existentă la CETIM Saint-Etienne, Franța cuprinzând informații despre 190 de roboți industriali având producători diferiți [M1].

Pe baza datelor se stabilesc indicatorii:

- a) mobilitatea specifică masică L_M
- b) sarcina specifică M_S
- c) mobilitatea specifică L_S
- d) inexactitatea de poziționare μ .

Se vor izola, în urma prelucrării:

- a) valori maxime
- b) zone de repetare a unor valori
- c) intervale de valori preferate de proiectant / producător
- d) cazuri izolate destinate analizei și eliminării, după caz.

În continuare se prezintă lista roboților studiați prin producătorii acestora.

Tabelul 3.7.

Nr.	Firma producătoare	Nr.	Firma producătoare
1	ABB Robotique Suedia	31	GDA - EKE Germania
2	ABB Robotique Franța	32	GMF Robotics Germania
3	Adept SUA	33	GMF Robotics Japonia
4	AFAG Elveția	34	GRACO Robotics SUA
5	AFMA Robots Franța	35	Hitachi Japonia
6	AKR Franța	36	IBM SUA
7	ALBORA Franța	37	IEF Germania
8	ALMA Robotique Franța	38	IGM Austria
9	ATLAS COPCO Suedia	39	IPR Franța
10	AUROCH AUTOMATISME Franța	40	ISM Suedia
11	AUTOMATIX Suedia	41	JOBS Italia
12	AUTOMELEC Suedia	42	KRAUSE Germania
13	BOSCH Germania	43	KUKA Germania
14	CAMEL RABOT Italia	44	MANUTEC Germania
15	CERMEX Franța	45	MARREL HYDRO Franța
16	CINCINNATI MILACRON SUA	46	MESSMA KELCH Germania
17	CITROEN INDUSTRIE Franța	47	MICROBO Suedia
18	CLOOS Germania	48	MIKRON HAESLER Suedia
19	COMAN Italia	49	MIZUNA Japonia
20	COMMERCY SOUDURE Franța	50	MONTECH Suedia
21	CYBRO SA Suedia	51	NATIONAL PANASONIC Japonia
22	DAINICHI KIKO Japonia	52	NDD Japonia
23	DEA Italia	53	NEFF Germania
24	EBOSA Suedia	54	NORDA Italia
25	EMGEL Austria	55	NORGREN Franța
26	ESAB Suedia	56	OSAKA TRANSFORMER Co Japonia
27	FANUC Japonia	57	PARKER HANNIFIN Franța
28	FIBRO Germania	58	PEI Italia
29	FISA Italia	59	PEIS Germania
30	GAS Germania	60	RENAULT AUTOMATION Franța

Pentru a aprecia apropierea indicatorilor de calitate studiați după valoarea lor descrescătoare, se vor calcula diferențele dintre doi indicatori învecinați. Prin această operație se așteaptă obținerea unei zone de concentrare a indicatorilor unde distanțele dintre aceștia sunt minime. Această zonă ar trebui să se suprapună peste cea a producătorilor de marcă, recunoscuți pe plan mondial.

În continuare se trece la ordonarea rezultatelor (Tabelul 3.8, 3.9, 3.10, 3.11).

Ordonarea după indicatorul "mobilitate specifică masică"

Tabelul 3.8.

Nr.	Tip robot	Val. Ind.	Nr.	Tip robot	Val. Ind.	Nr.	Tip robot	Val. Ind.	Obs
1	NDD	0,427	21	PANASONIC	0,034	41	OSAKA	0,020	
2	GAS	0,238	22	DAINICHI	0,032	42	OSAKA	0,020	
3	DAINICHI	0,089	23	ATLAS	0,030	43	ABB	0,019	
4	DAINICHI	0,083	24	ABB	0,029	44	ESAB	0,019	
5	GMF	0,083	25	BOSCH	0,029	45	FIBRO	0,019	
6	HITACHI	0,080	26	BOSCH	0,029	46	RETS	0,019	
7	ISM	0,074	27	PANASONIC	0,028	47	GMF	0,018	
8	HITACHI	0,073	28	GMF	0,027	48	MANUTEC	0,017	
9	BOSCH	0,071	29	ALBORA	0,024	49	MANUTEC	0,017	
10	BOSCH	0,071	30	DAINICHI	0,024	50	REIS	0,017	
11	DEA	0,067	31	REIS	0,024	51	MANUTEC	0,016	
12	CLOOS	0,056	32	AUTOMATICS	0,022	52	REIS	0,016	
13	HITACHI	0,056	33	CLOOS	0,022	53	HITACHI	0,016	
14	GMF	0,050	34	MANUTEC	0,022	54	REIS	0,015	
15	ABB	0,048	35	OSAKA	0,022	55	MICROBO	0,015	
16	FIBRO	0,048	36	BOSCH	0,021	56	DAINICHI	0,014	
17	HITACHI	0,043	37	HITACHI	0,021	57	HITACHI	0,014	
18	MICROBO	0,040	38	OSAKA	0,021	58	IGM	0,014	
19	ABB	0,037	39	OSAKA	0,021	59	ADEPT	0,013	
20	ABB	0,036	40	AUROK	0,020	60	ADEPT	0,011	

Ordonarea primilor 60 de roboți după indicatorul "sarcina specifică"

Tabelul 3.9.

Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.	Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.
1	2	3	4	5	6
1	GAS	71,4286	15	MICROBO	10,000
2	BOSCH	57,143	16	DAINICHI	9,091
3	FIBRO	47,140	17	GMF	9,091
4	BOSCH	35,714	18	ABB	9,000
5	GMF	33,333	19	GMF	8,333
6	ABB	21,818	20	ABB	8,000
7	MAREL	21,429	21	AUROK	7,500
8	ABB	14,286	22	GMF	7,500
9	ABB	13,889	23	CAMEL	6,667
10	GMF	13,333	24	DAINICHI	6,522
11	MAREL	12,000	25	DAINICHI	6,520
12	DAINICHI	10,398	26	JOBS	6,520
13	ATLAS	10,000	27	REIS	6,000
14	DEA	10,000	28	REIS	6,000

1	2	3	4	5	6
29	CLOOS	5,556	45	GMF	4,167
30	MANUTEC	5,556	46	CLOOS	4,000
31	BOSCH	5,203	47	COMAU	4,000
32	FANUC	5,000	48	DAINICHI	4,000
33	REIS	5,000	49	REIS	3,810
34	CINCINNATIM	4,065	50	DEA	3,571
35	REIS	4,667	51	AUTOMATICS	3,556
36	GMF	4,559	52	PANASONIC	3,546
37	HITACHI	4,545	53	ABB	3,529
38	ABB	4,444	54	OSAKA	3,448
39	DAINICHI	4,444	55	HITACHI	3,429
40	CLOOS	4,348	56	AKR	3,409
41	AUROK	4,286	57	ADEPT	3,385
42	IGM	4,286	58	DAINICHI	3,333
43	REIS	4,286	59	DAINICHI	3,333
44	NDD	4,274	60	JOBS	3,333

**Ordonarea primilor 60 de roboți după
"exactitatea de poziționare relativă"**

Tabelul 3.10.

Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.	Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.
1	2	3	4	5	6
1	ABB	3000	23	REIS	350
2	GAS	3000	24	COMAU	333,33
3	JOBS	3000	25	COMAU	333,33
4	ABB	1500	26	IPR	320
5	FIBRO	1500	27	ABB	300
6	FIBRO	1500	28	AUROK	300
7	ABB	1200	29	AUROK	300
8	FIBRO	1000	30	COMAU	300
9	GAS	1000	31	KRAUSE	300
10	AUROK	800	32	CINCINNATI	272
11	GMF	800	33	ADEPT	260
12	IEF	800	34	MESMA	250
13	AFMA	750	35	ADEPT	240
14	NEFF	750	36	GMF	240
15	CAMEL	600	37	ABB	200
16	FIBRO	500	38	ATLAS	200
17	BOSCH	400	39	COMAU	200
18	MAREL	400	40	CIBRO	200
19	CINCINNATI	360	41	DEA	200
20	CINCINNATI	360	42	DEA	200
21	DAINICHI	350	43	IBM	200
22	EBOSA	350	44	IBM	200

1	2	3	4	5	6
45	JOBS	200	53	NORGREN	180
46	MAREL	200	54	CITROEN	175
47	MICROBO	200	55	JOBS	175
48	NEFF	200	56	MANUTEC	166,66
49	REIS	200	57	COMAU	160
50	ABB	180	58	ABB	150
51	GMF	180	59	DAINICHI	150
52	NORDA	180	60	HITACHI	150

Ordonarea primilor 60 de roboți după
"indicatorul mobilitatea specifică"

Tabelul 3.11.

Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.	Nr. crt.	Tip robot	Val. Ind.
1	CIBRO	14,981	31	CINCINNATI	2.483
2	GRACO	14,451	32	ADEPT	2,407
3	HITACHI	12,371	33	OSAKA	2,400
4	MANUTEC	11,407	34	GMF	2,320
5	ATLAS	9,360	35	PANASONIC	2,320
6	CINCINNATI	6,383	36	AUROK	2,200
7	GMF	5,070	37	HITACHI	2,200
8	COMAU	4,961	38	ISM	2,160
9	MANUTEC	4,598	39	DAINICHI	2,140
10	ESAB	4,484	40	ADEPT	2,000
11	OSAKA	4,167	41	HITACHI	2,000
12	HITACHI	4,051	42	MANUTEC	1,920
13	HITACHI	4,000	43	GMF	1,858
14	ABB	3,922	44	JOBS	1,800
15	ABB	3,901	45	HITACHI	1,750
16	OSAKA	3,834	46	OSAKA	1,740
17	COMERCY	3,666	47	COMAU	1,700
18	AFMA	3,542	48	COMAU	1,600
19	RENAULT	3,151	49	DAINICHI	1,600
20	COMAU	3,120	50	REIS	1,575
21	GMF	2,999	51	DAINICHI	1,550
22	HITACHI	2,80	52	COMAU	1,500
23	GMF	2,787	53	DAINICHI	1,500
24	MICROBO	2,699	54	DAINICHI	1,500
25	CINCINNATI	2,765	55	DAINICHI	1,500
26	COMERCY	2,680	56	AKR	1,467
27	ABB	2,500	57	GMF	1,440
28	AFMA	2,500	58	ABB	1,417
29	HITACHI	2,500	59	AUTOMATIC	1,406
30	OSAKA	2,500	60	KRAUSE	1,400

În continuare pentru a facilita extragerea unor concluzii, se va calcula gradientul de variație al indicatorilor studiați cu relația :

$$\Delta i = i_{j-1} - i_j \quad j = 1, n-1. \quad (3.32)$$

pentru lotul inițial de roboți studiați a căror date sunt conținute în sursa [M1].

unde: n = numărul roboților studiați și se vor determina:

diferența maximă raportată :

$$\Delta i_{\max} = \frac{\Delta i_{\max}}{i_{\max}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.33)$$

diferența minimă raportată :

$$\Delta i_{\min} = \frac{\Delta i_{\min}}{i_{\max}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{unde } \Delta i = 0 \quad (3.34)$$

diferența maximă :

$$\Delta i_{\max} = i_{\max} - i_{\min} \quad (3.35)$$

numărul de identități :

$$\Delta i = 0$$

Rezultatele se prezintă în tabelul:

Tabelul 3.12.

Nr. crt.	Denumirea indicatorului	Simbol	Δi_{\max}	Δi_{\min}	Δi_{\max}	$\Delta i = 0$
1	Mobilitatea specifică masică	L_v	44,26	0,2	0,426	83
2	Sarcina specifică	M_s	91,99	0,006	714,01	27
3	Exactitatea de poziționare	μ	50	0,033	2998,5	108
4	Mobilitatea specifică	L_s	19,87	0,2	14,98	16

Din cele prezentate se pot extrage o serie de concluzii după cum urmează:

- ◆ Se observă că după o variație abruptă la începutul șirului de valori descrescătoare se instalează o zonă de palier în care valorile indicatorilor sunt apropiate. Acest fapt confirmă viabilitatea utilizării acestora pentru selecția RI.
- ◆ Numărul mare de identități din unele șiruri exprimă tendința de uniformizare a criteriilor de asigurare a calității RI și faza de concepție și producție. Acest element confirmă posibilitatea folosirii indicatorilor definiți mai sus pentru aprecierea nivelului calității RI.
- ◆ În final se observă că firmele cu tradiție în calitatea produselor se află printre primele în șirul de valori descrescătoare ale indicatorilor de calitate. În acest mod există certitudinea că indicatorii selectați sunt capabili să reflecte situația reală în sfera aplicațiilor industriale robotizate.

Rezultatele prezentate anterior se regăsesc sub formă grafică în figurile 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8.

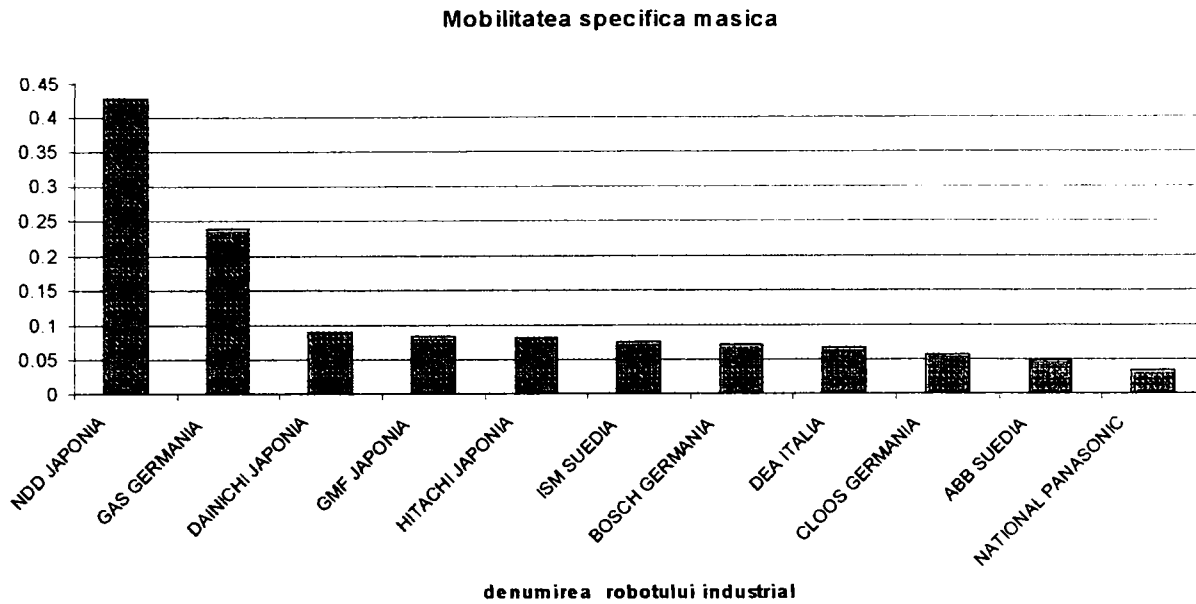


Figura 3.1.

În figura 3.1.se observă că majoritatea firmelor producătoare de RI plasează indicatorul “mobilitate specifică masică” în intervalul $[0,01;0,1]$

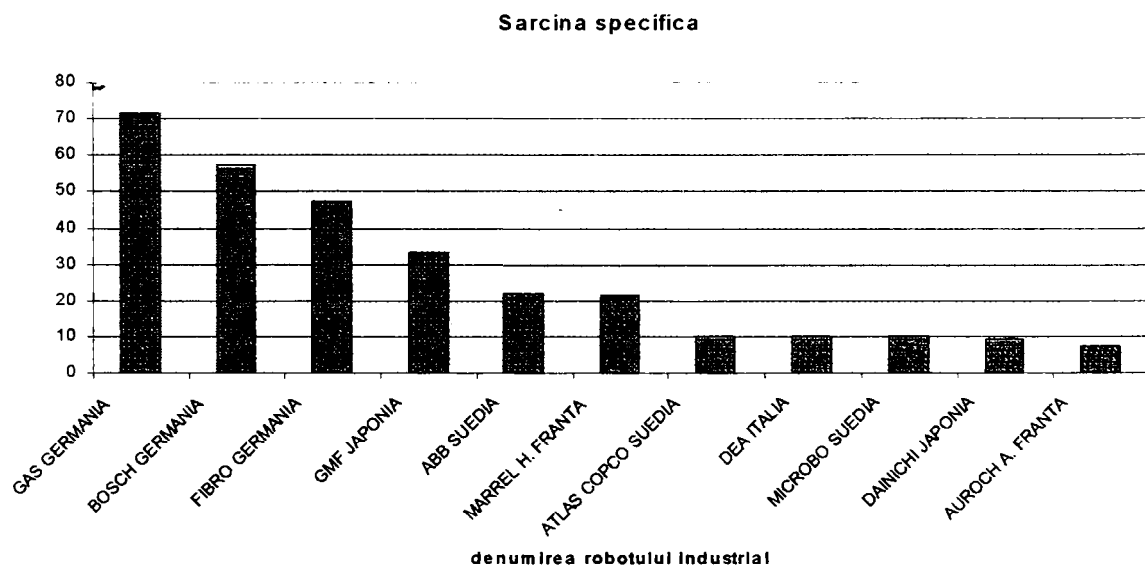


Figura 3.2.

În figura 3.2.se observă că indicatorul “sarcină specifică” se află pentru majoritatea RI studiați în intervalul $[3, 20]$.

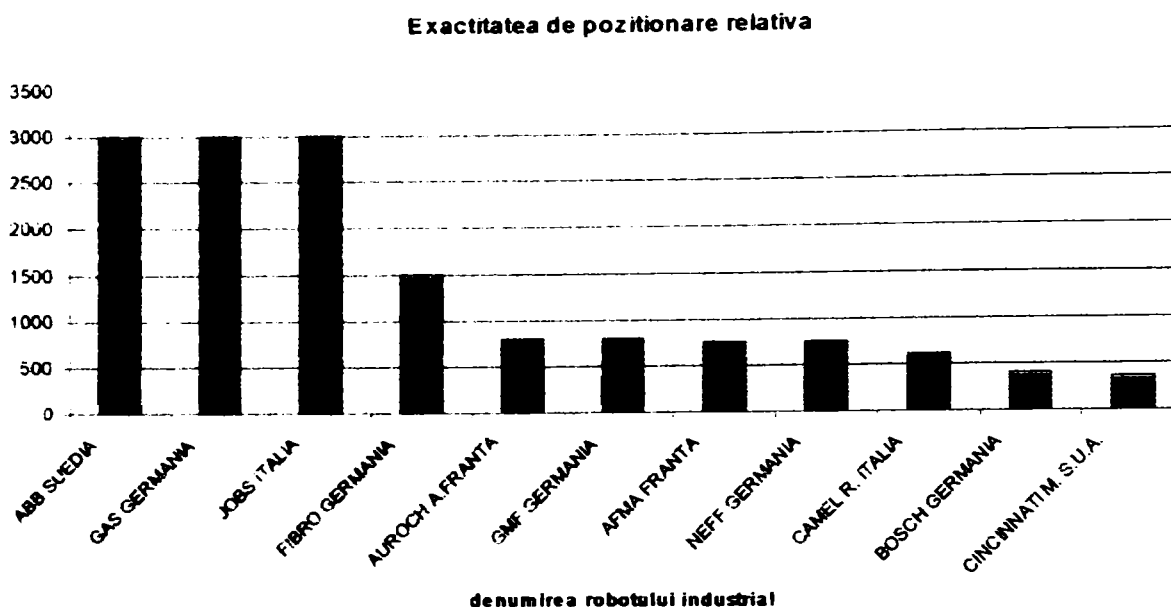


Figura 3.3.

În fig. 3.3. se observă că indicatorul "exactitatea de poziționare relativă" se află în general în intervalul [150, 1000], iar din fig. 3.4 reiese că indicatorul "mobilitatea specifică" se află în majoritatea cazurilor în intervalul [1,4;5].

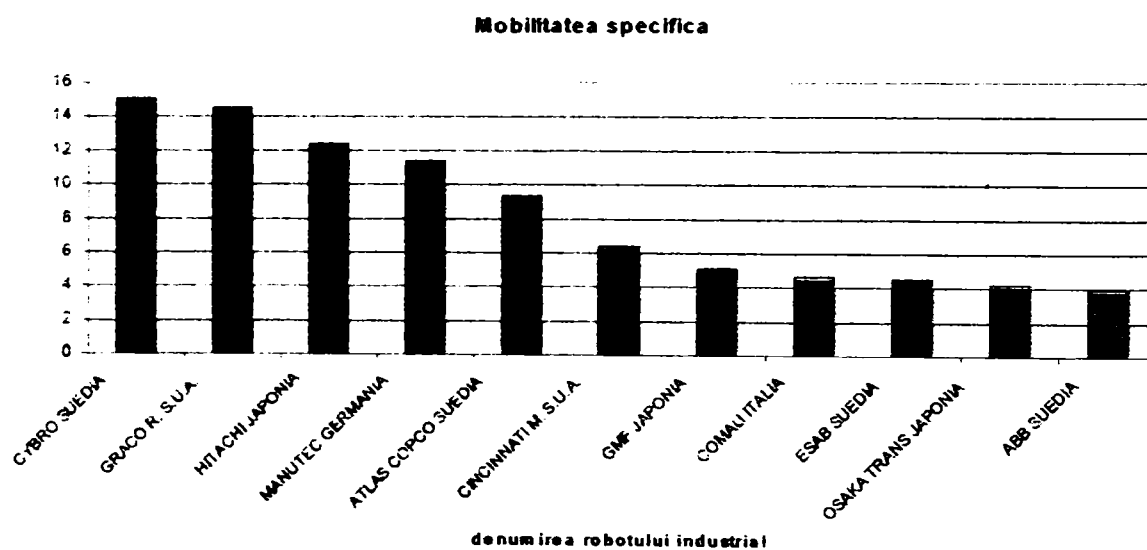


Figura 3.4.

În concluzie, pe baza fig. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 se poate arăta că indicatorii de calitate propuși sunt viabili, ei având variații mici, fapt dictat de rigorile de concepție și utilizare a RI.

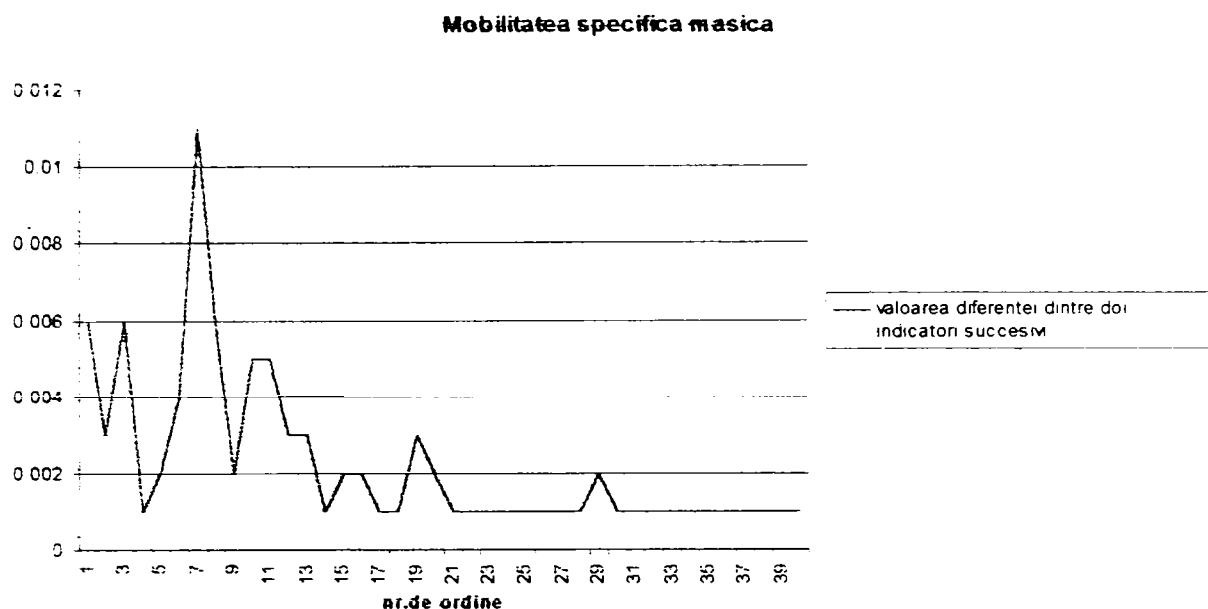


Figura 3.5.

În figurile 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 se evidențiază din nou faptul că după o evoluție bruscă, indicatorii de calitate intră într-o zonă de palier ce denotă că majoritatea producătorilor de roboți industriali au criterii comune de

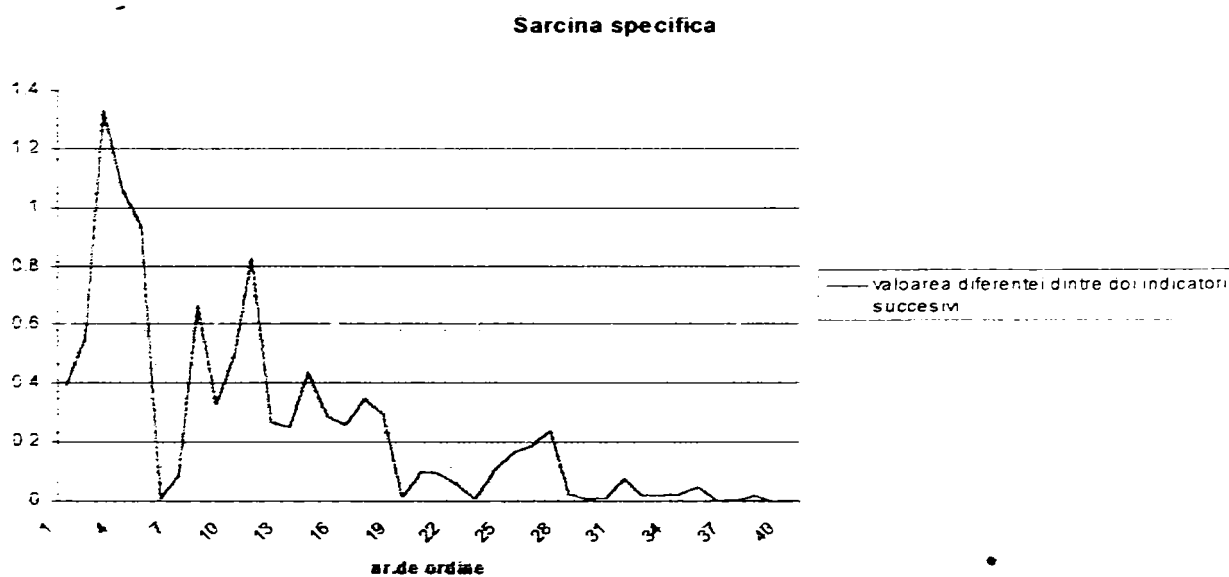


Figura 3.6.

proiectare și execuție. În plus, indicatorii de calitate propuși de autor reflectă fidel această uniformizare.

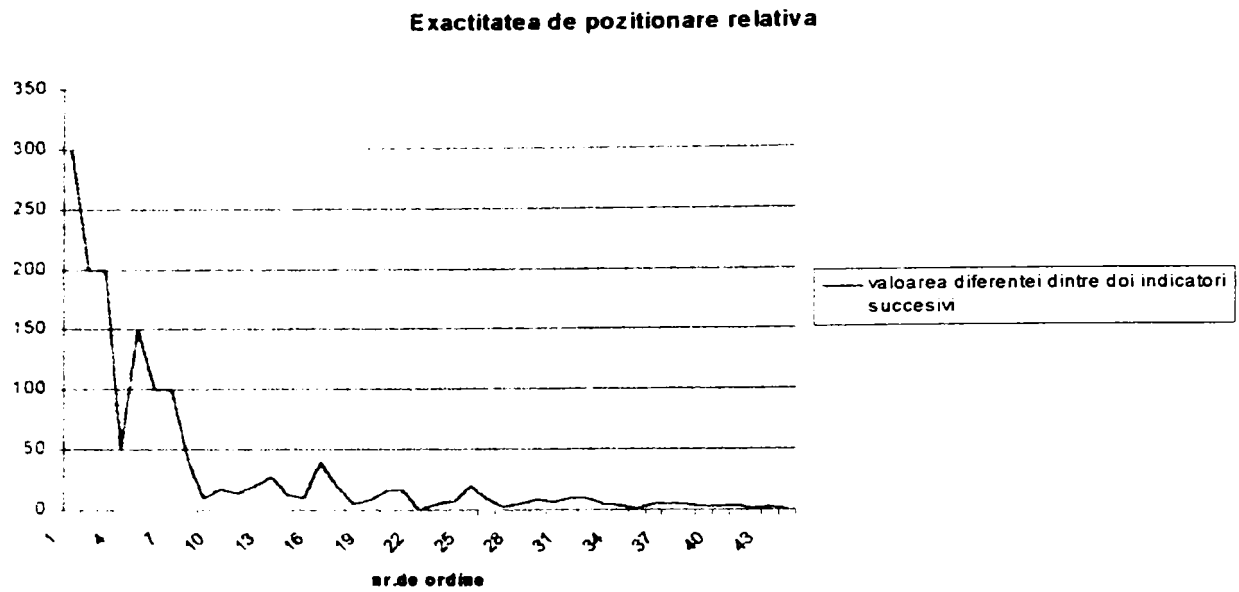


Figura 3.7.

În această situație, este evident că indicatorii propuși pot servi la selecția cu caracter obiectiv a roboților industriali în sensul că operatorul ce utilizează acest mod de selecție va alege roboți industriali din zonele

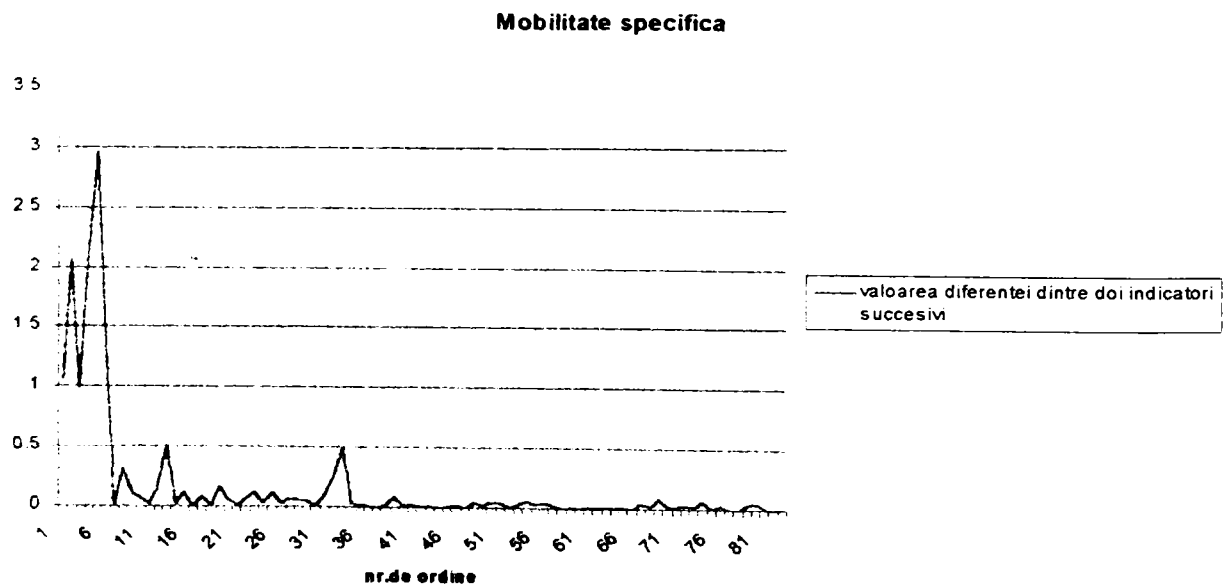


Figura 3.8.

de palier unde se regăsesc concepții de proiectare și execuție corecte și eficiente economic.

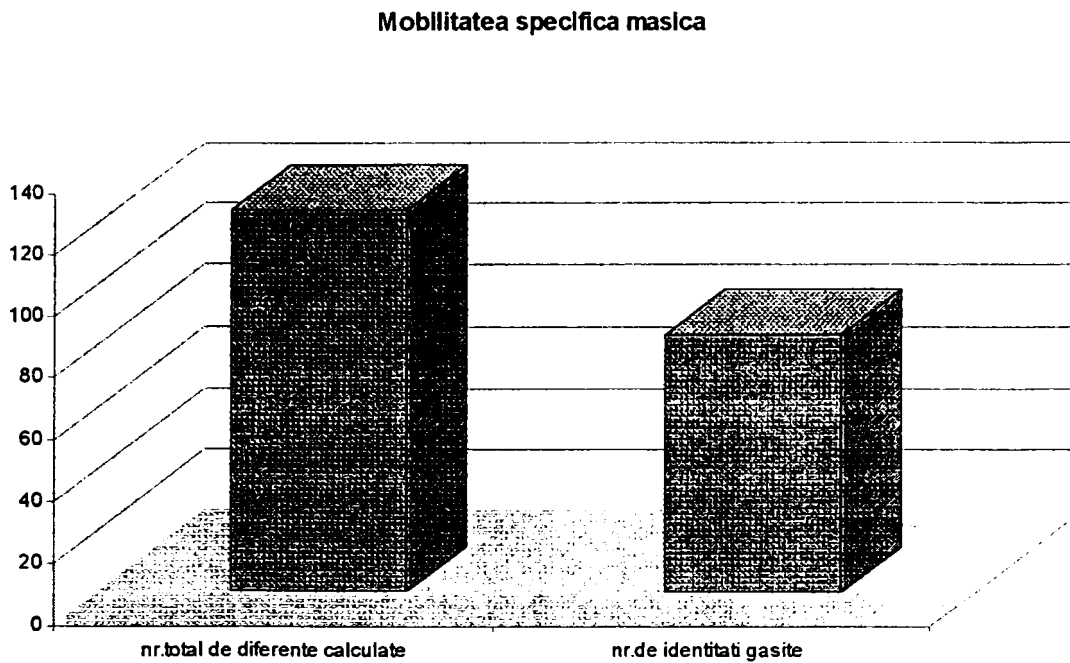


Figura 3.9.

Ducând mai departe analiza efectuată cu ajutorul fig. de la 3.1 la 3.8 se arată în fig. 3.9 și 3.10 ponderea producătorilor de RI ce au realizat produse având indicatori de calitate identici, din totalul de produ-

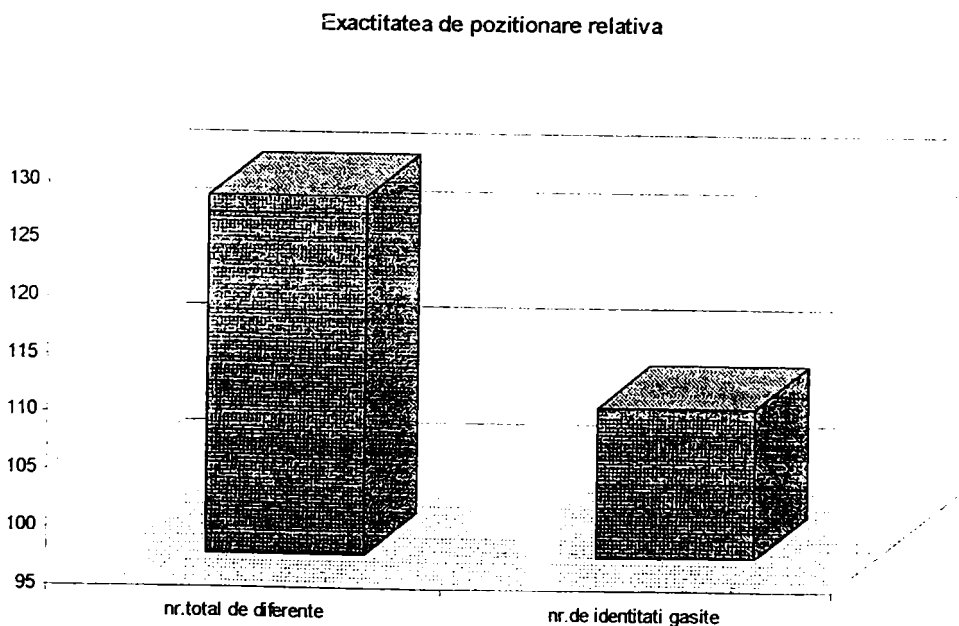


Figura 3.10.

cători de RI analizați. Se observă o prezență masivă a identităților în șirul indicatorilor de calitate studiați.

Investigațiile prezentate anterior legate de determinarea unor indicatori de calitate ai RI trebuie corelate cu elemente ale calității eficiente, noțiune introdusă de autor pentru a defini raportarea calității RI la solicitarea beneficiarului acestuia.

Cu alte cuvinte, nivelul de calitate al RI este apreciat în funcție de modul în care acesta satisface solicitările specifice ale beneficiarului pentru o aplicație dată. În vederea cuantificării nivelului calității eficiente se propune o metodă similară cu cea aplicată în cadrul QFD (Quality Function Deployment) numită Casa Calității (House of Quality). Pentru a pune în practică așa numita Casă a Calității se completează un formular complex ce conține cerințele clienților, caracteristicile tehnice ale produsului studiat, evaluarea percepției pieței și evaluarea tehnică a calității.

Pentru a trece la aplicația concretă se propune ierarhizarea solicitărilor beneficiarului funcție de aplicația RI apoi ierarhizarea diversilor RI în funcție de valorile indicatorilor de calitate nominalizați pentru aplicația dată.

Ierarhizarea solicitărilor se materializează în atribuirea de cifre de la 1 la 4 celor patru indicatori de calitate calculați pentru cei 180 de RI. Pentru a facilita operațiunile se limitează lista roboților la 60 de tipuri și în plus se nominalizează o singură aplicație și anume cea de asamblare - montaj.

Folosind datele obținute în capitolul 3 se poate construi tabelul 3.13.

Tabelul 3.13.

Ierarhizarea pretențiilor cumpărătorului	Locul ocupat în ierarhizarea roboților studiați pentru indicatorii selectați				Producătorul robotului	Punctajul obținut
i_p	i_i				-	N
Exactitatea de poziționare relativă (1)	1	14	15	6	ABB	1,2
	33	32	59	57	ADEPT	0,04
	38	5	23	13	ATLAS	0,15
Mobilitatea specifică (2)	17	-	9	2	BOSCH	0,20
	19	6	-	34	CINCINNATI	0,14
Mobilitatea specifică masică (3)	-	-	12	29	CLOOS	0,08
	24	8	-	47	COMAU	0,11
Sarcina specifică (4)	41	-	11	14	DEA	0,07
	11	7	5	5	GMF	0,27
	56	4	34	30	MANUTEC	0,15
	(1)	(2)	(3)	(4)		

Cu datele din tabel se determină locul obținut de fiecare RI în ierarhia dată de îndeplinirea solicitărilor beneficiarului.

Formula utilizată pentru determinarea ierarhiei se propune a fi:

$$N = \sum_{k=1}^4 \frac{1}{i_{p_k} \cdot i_{i_k}} \quad (3.36)$$

astfel încât un indicator mai puțin important obținut de un robot aflat la partea inferioară a listei calității să furnizeze o notă mică robotului studiat.

Aplicând relația (3.36) datelor din tabelul 3.13, se obține ierarhizarea roboților studiați conform tabelului 3.14.

Tabelul 3.14.

Producătorul RI	Locul obținut
ABB	1
GMF	2
BOSCH	3
MANUTEC	4
ATLAS COPCO.	5
CINCINNATI M.	6
COMAU	7
CLOOS	8
DEA	9
ADEPT	10

Concluzia este următoarea: pentru operația de montaj judecând roboții aflați în discuție după patru indicatori de calitate rezultă că alegerea optimă este reprezentată de către roboții de asamblare - montaj produși de ABB. Urmărind notele primite se observă o clară grupare a unor firme cunoscute la începutul listei de preferințe.

Desigur metoda propusă suportă îmbunătățiri prin includerea unor noi indicatori de calitate și a prețului produsului propus spre analiză.

Capitolul 4

CONTRIBUȚII LA ELABORAREA UNOR MIJLOACE ȘI METODE PENTRU DETERMINAREA INDICATORILOR DE CALITATE AI RI

4.1. Propuneri privind realizarea unor sisteme de măsurare pentru determinarea indicatorilor de calitate geometrici.

4.1.1. Proiectarea unei instalații cu braț telescopic.

4.1.1.1. Generalități.

Indicatorii avuți în vedere în cazul proiectării acestei instalații sunt de natură geometrică și cinematică și se prezintă în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1.

Nr. crt.	Indicatori geometrici
1	exactitatea de poziționare
2	repetabilitatea de poziționare
3	deriva punctului caracteristic
4	compliance statică
5	cursa după comanda STOP
6	pasul minim programabil
7	exactitatea de reproducere a traiectoriei
8	repetabilitatea de traiectorie
9	capacitatea maximă de încărcare
10	spațiul de lucru
Nr. crt.	Indicatori cinematici
1	exactitatea vitezei pe axe
2	exactitatea vitezei pe traiectorie
3	fluctuația vitezei
4	gama de viteze
5	repetabilitatea vitezei pe traiectorie

Această instalație a fost prezentată de autor [M9] în 1989 și a apărut în programul IRIS în urma feed-backului primit din mediul industrial unde s-a aplicat ISO 9283, și unde se impune prezența unor sisteme de măsurare low-cost.

Iată că la un interval de 8 ani se confirmă preocupări locale ale colectivului de cercetare din care făcea parte și autorul și aceasta la nivel de standard internațional.

Denumirea instalației în cadrul programului IRIS - DIS 9283 este BALL - BAR SYSTEM și este executată de KU Leven Belgia.

4.1.1.2. Principiul de funcționare al instalației.

Determinarea indicatorilor de calitate se face prin urmărirea poziției efectorului final cu referire la PC de către un braț telescopic în interiorul căruia se află un fir ideal inextensibil rulat pe un tambur aflat în legătură cu un traductor incremental de rotație opto - electronic. Totodată unghiurile de rotație ale brațului telescopic sunt și ele măsurate. În acest mod poziția PC se determină în coordonate sferice.

Prin interpretarea rezultatelor în punctele măsurate se obțin caracteristici de traiectorie, iar prin interpretarea informațiilor în timp se obțin indicatori cinematici.

Schema de principiu a instalației se prezintă în continuare (vezi Figura 4.1.)

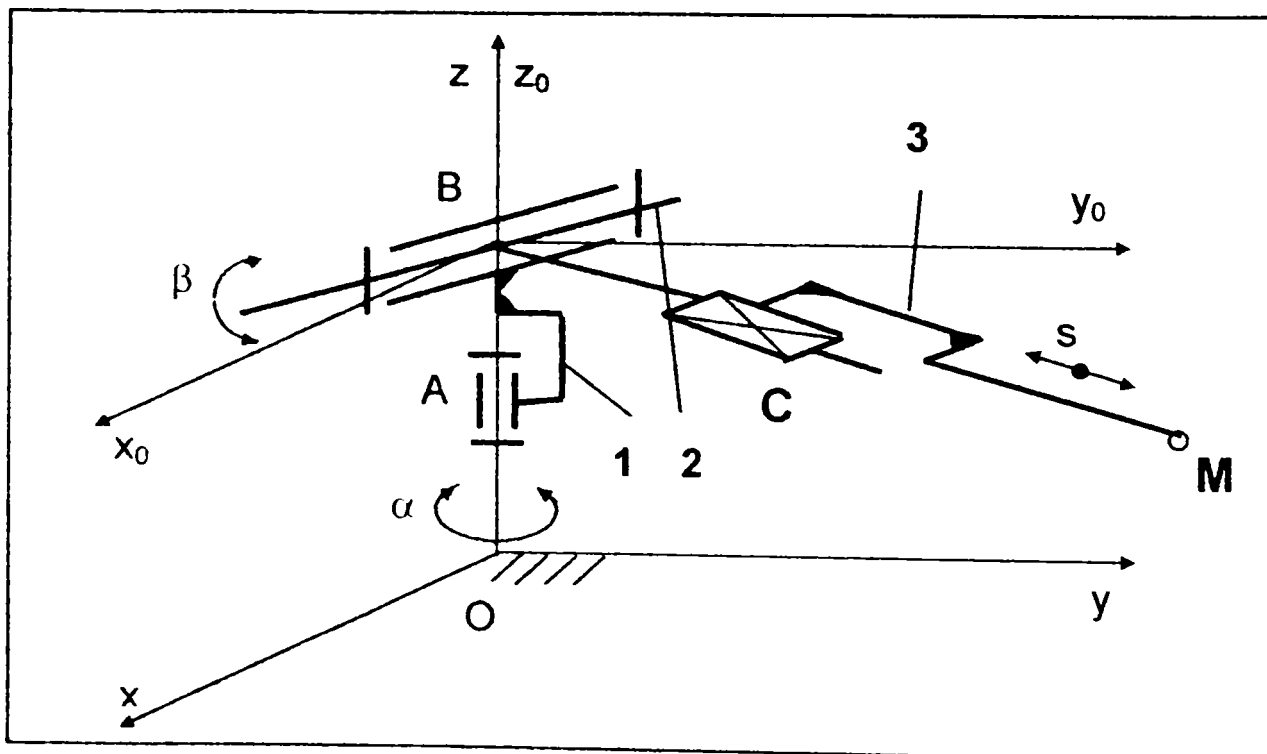
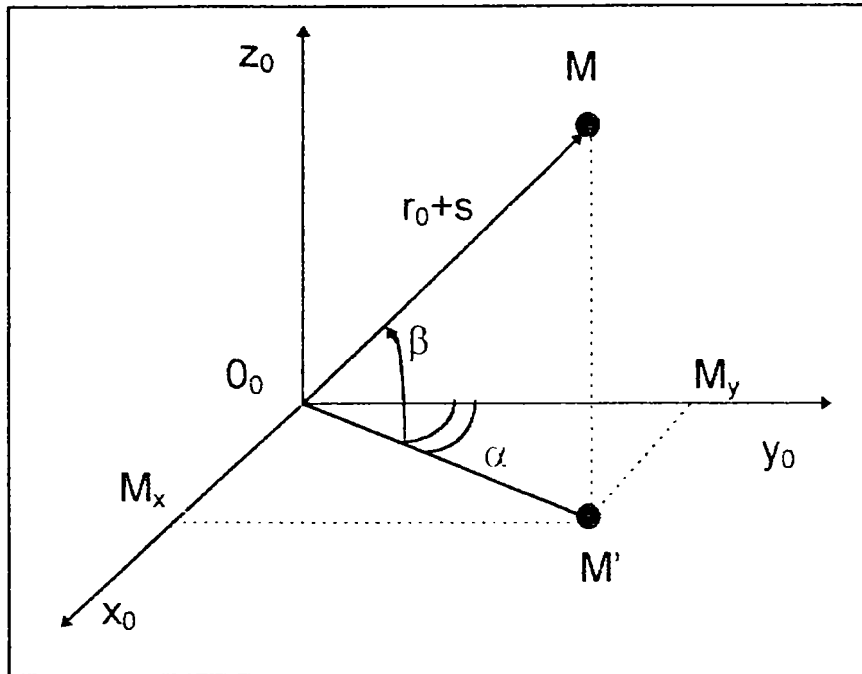


Figura 4.1.
Instalație cu braț telescopic

Schema de mai sus permite realizarea a trei mișcări :

1. rotație în jurul axei z (α -unghi de azimut);
2. rotație în jurul unei axe perpendiculare pe axa z (β -unghi de elevație);
3. translație (cursa s) pornind de la lungimea minimă, constantă r_0 .



Parametrii prelevați se pot observa în figura 4.2.

Relațiile de determinare a coordonatelor punctului curent M_i sunt:

$$\begin{cases} x = r \cos \beta \sin \alpha \\ y = r \cos \beta \cos \alpha \\ z = r \sin \beta \end{cases} \quad (4.1)$$

În procesul de determinare a traiectoriei PC modul de lucru al instalației este (fig.4.3):

Figura 4.2.
Reprezentarea punctului curent M.

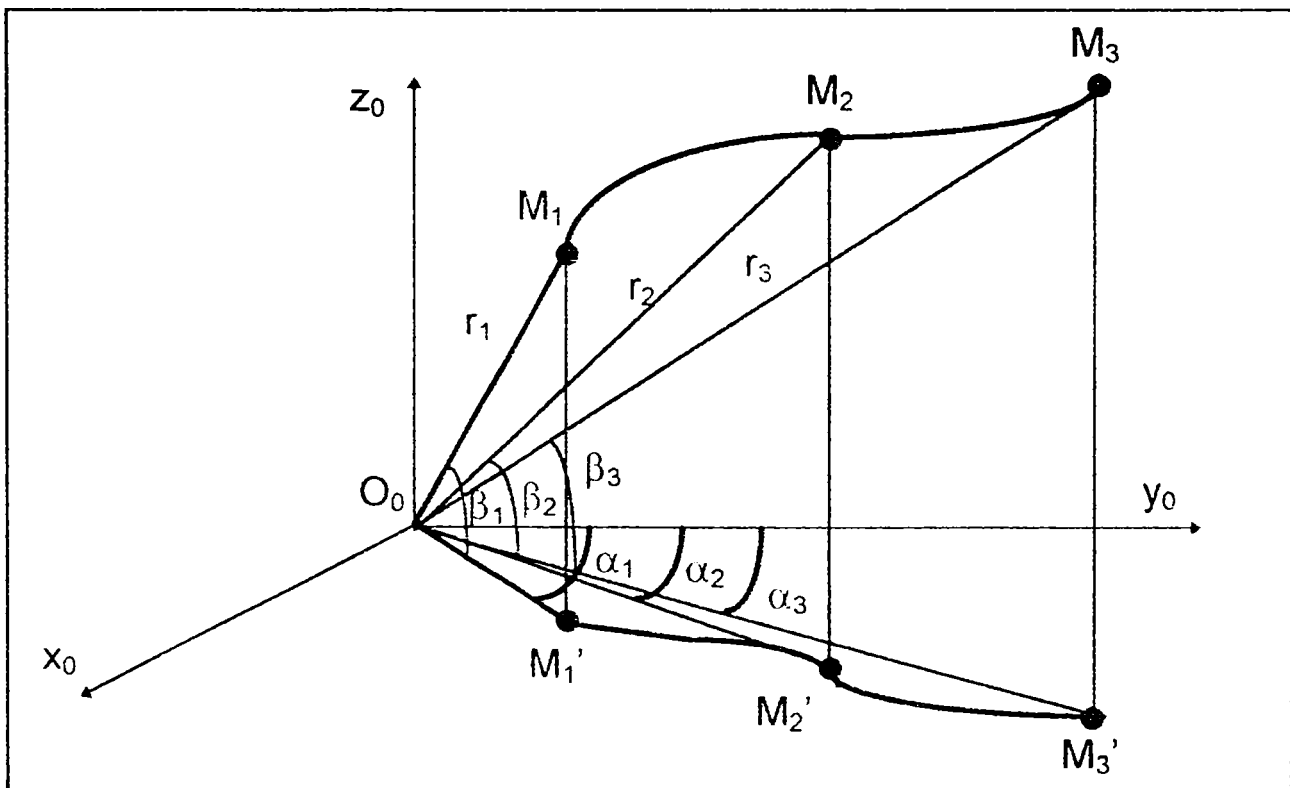


Figura 4.3.
Modul de lucru al instalației.

Un punct M_i al traiectoriei (T) va fi determinat prin citirea cu ajutorul traductoarelor incrementale de rotație opto - electronice a unghiurilor α , β și θ (unde θ este unghiul de desfășurare / înfășurare al tamburului cu fir). Prin conversia unghiului θ în deplasarea s se obțin coordonatele sferice ale punctului curent $M_i(\alpha_i, \beta_i, r)$.

Detaliile constructive vor fi prezentate în Capitolul 6 al acestei lucrări.

4.1.2. Realizarea unei instalații optoelectronice pentru determinarea indicatorilor geometrici și cinematici.

4.1.2.1. Generalități.

După cum s-a arătat în capitolele anterioare, metodele optoelectronice se impun în prezent prin avantajele pe care le oferă și anume:

- a). absența contactului cu interfața mecanică a RI
- b). frecvența mare de lucru
- c). posibilitatea automatizării procesului de măsurare.

În literatura de specialitate se prezintă metode foarte variate, unele extrem de sofisticate, inaccesibile pentru mediul industrial. Din această cauză se justifică realizarea unui sistem opto-electronic cu cost scăzut. Pentru a studia posibilitățile de realizare ale acestuia se cercetează oferta existentă în domeniu.

Aspectul acesteia, relevat de surse bibliografice este prezentat în tabelul 4.2:

Tabelul 4.2.

Nr. crt.	Metoda de măsurare	Observații
1	interferometre laser	eroare de măsurare $0,1\mu\text{m}$
2	scanere laser și urmărire țintă	eroare de măsurare $0,01\text{mm}$
3	triangulație cu teodoliți	eroare de măsurare $0,002\text{mm}$
4	triangulație cu camere CCD	eroare $0,1\%$ din domeniul măsur.
5	sursă - laser și PSD	eroare $0,01\text{ mm}$
6	cu stroboscop și țintă reflex	eroare $0,1\%$ din domeniu
7	sursă laser, fibră optică, PSD	se determină deformații externe
8	sursă laser, fibră optică, prisme, PSD	se determină jocuri în cuple, deformații ale elementelor

Sistemele opto-electronice prezentate pot fi :

- a) . externe sistemului RI
- b) . interne, cuprinse în sistemul mecanic RI.

În continuare se prezintă câteva exemple:

1. Sistem optoelectronic extern cu PSD, laser, interferometru pentru determinarea unor indicatori geometrici și cinematici.[S3]

Schema de principiu se prezintă în figura 4.4:

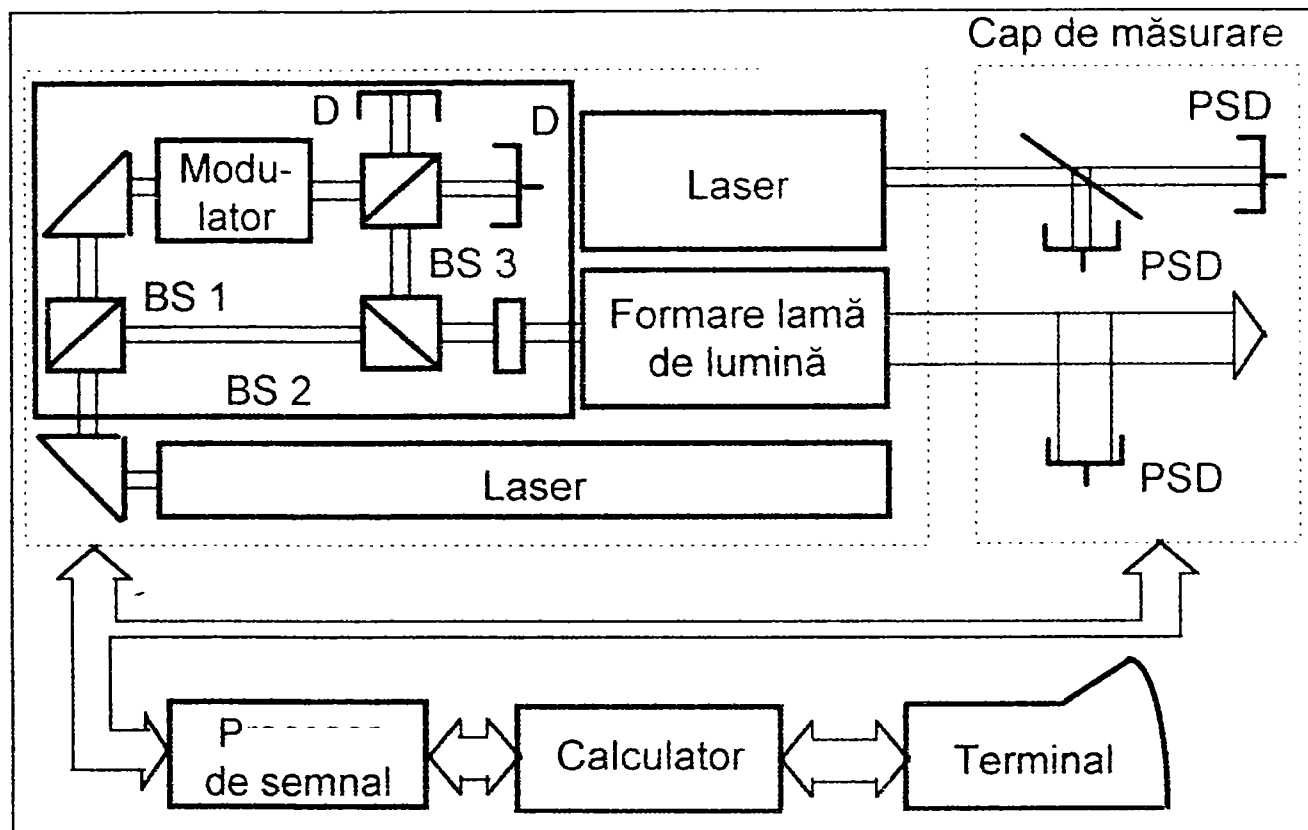


Figura 4.4.

Sistem opto-electronic extern pentru determinarea unor parametri geometrici ai RI.

Pentru determinări, capul de măsurare se fixează pe elementul mobil vizat iar unitatea laser rămâne fixă. Prin utilizarea traductoarelor sensibile la punctul de incidență al spotului laser (PSD) se apreciază deplasarea capului de măsurare relativ la unitatea laser, fixă.

2. Sistem optoelectronic cu interferometru laser (Figura 4.5.).

Pentru a sesiza deplasarea elementului mobil vizat se fixează o oglindă pe acesta. Interferometrul va sesiza deplasarea acesteia în raport cu capul de măsurare.[S3]

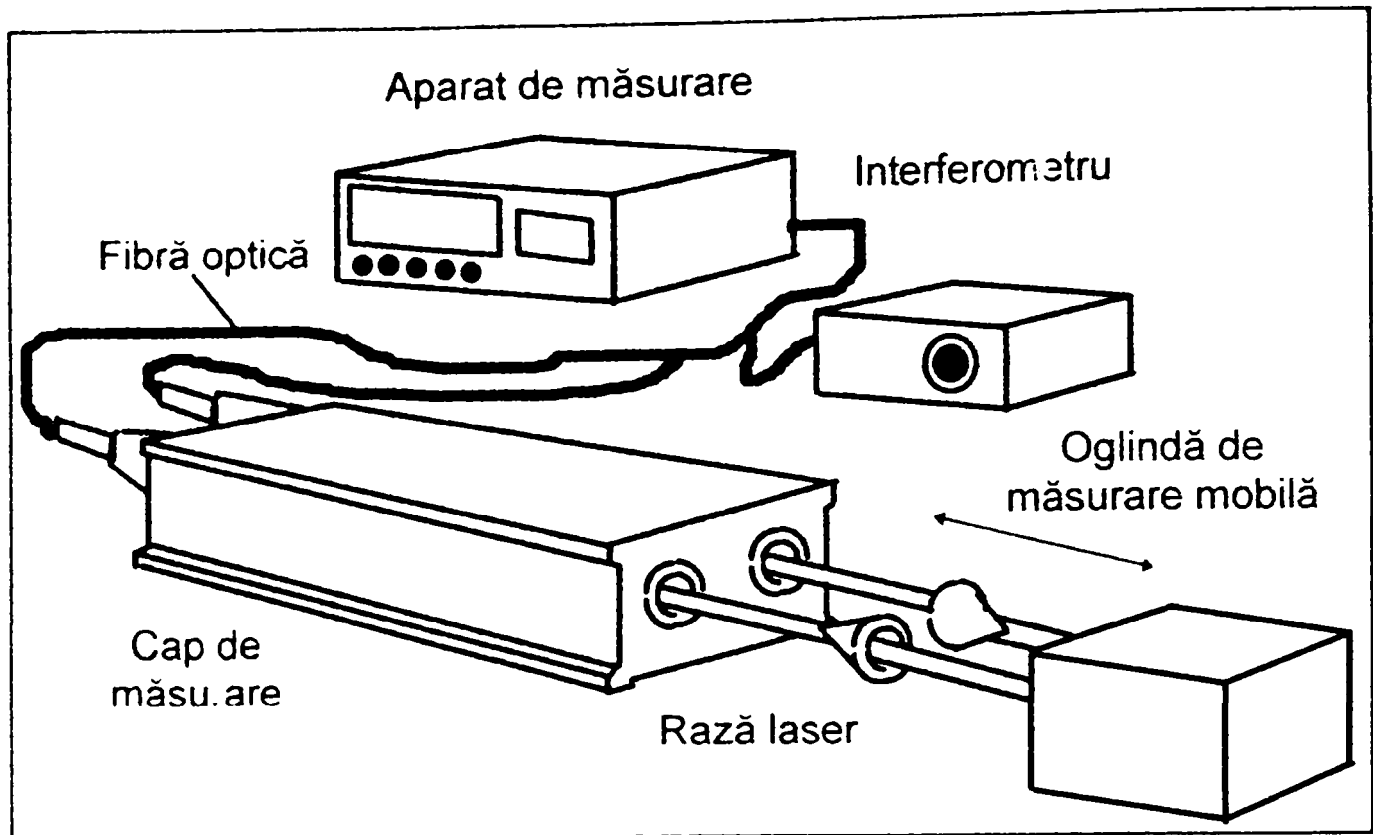


Figura 4.5.
Sistem opto-electronic pentru determinarea unor parametri geometrici ai RI.

Sistem optoelectronic intern pentru determinarea deplasărilor în interiorul sistemului mecanic RI. [S3]

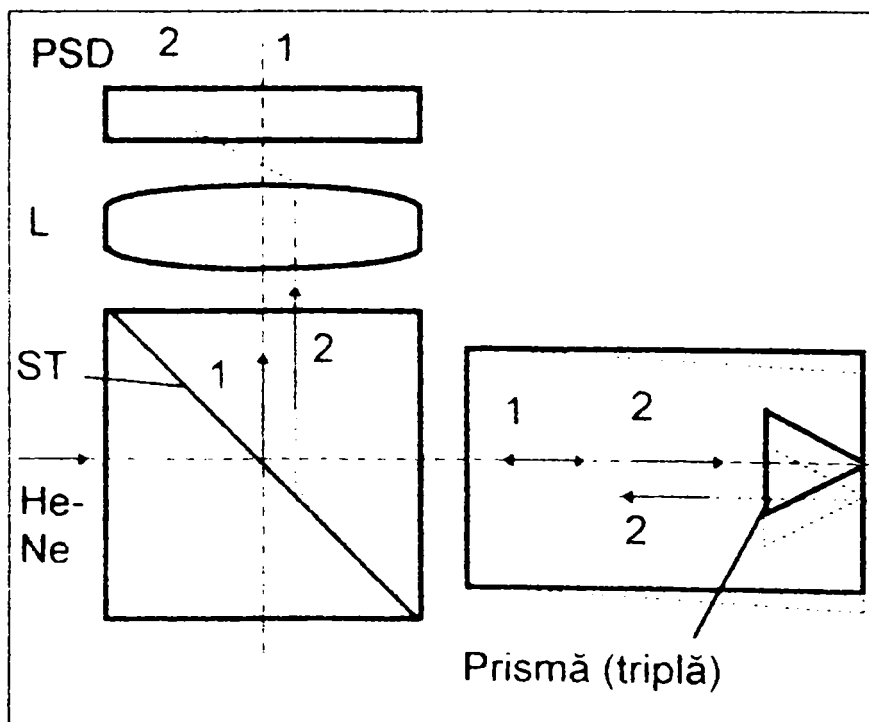


Figura 4.6.
Sistem opto-electronic inclus în sistemul mecanic al RI.

Se plasează în interiorul structurii mecanice sub forma unor unități de măsurare ca în Figura 4.6 și 4.7 și se determină deplasări relative cauzate de comenzi sau / și perturbații externe.

Are avantajul determinării unor deplasări relative cum sunt cele cauzate de prezența jocurilor în cuplurile cinematice ce nu s n de traductoarele RI.

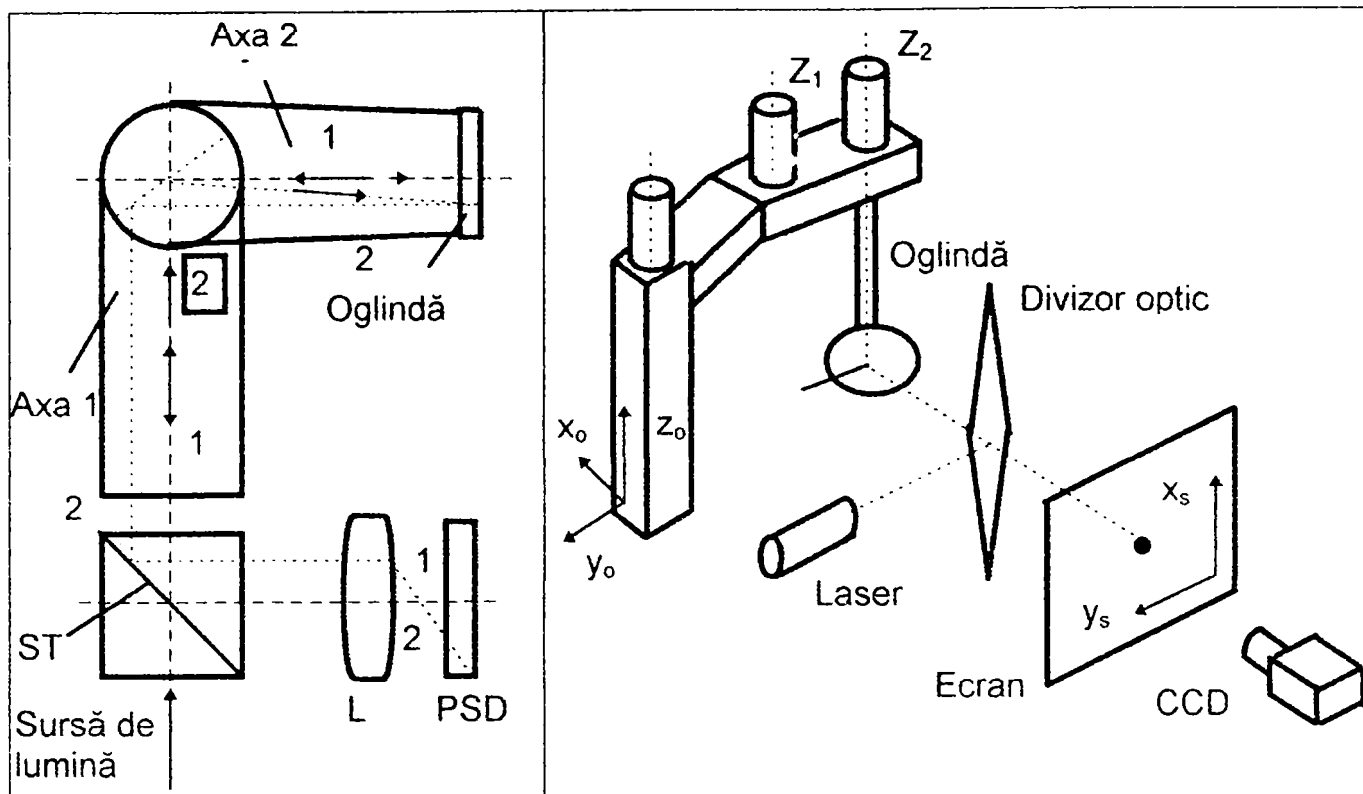


Figura 4.7.
Sistem opto-electronic intern.

Figura 4.8.
Sistem opto-electronic pentru determinarea unghiului de serviciu

4. Sistem opto-electronic cu camera CCD pentru determinarea exactității unghiului de serviciu (Figura 4.8).

Acest sistem implică determinarea situației camerei CCD și a ecranului în raport cu sistemul de referință $X_0 Y_0 Z_0$ al robotului industrial. Prin aprecierea poziției spotului reflectat de oglinda fixată de efectorul final al RI, incident pe ecran, se poate calcula unghiul sub care se află dreapta caracteristică raportat la o orientare comandată sau la orientarea inițială în cadrul unui ciclu de n repetări.

5. Sistem opto-electronic cu scanner laser și PSD. Construcția acestuia se prezintă în figura 4.9. [S3]

Semnificațiile notațiilor sunt:

L = lentilă

M = oglindă fixă

SM = oglindă mobilă

Sistemul funcționează prin trimiterea unei raze laser mobile (de baleiaj) și culegerea acesteia la întoarcere, prin reflexia pe corpul scanat de către un sistem optic ce face dirijarea razei pe un detector matricial CCD.

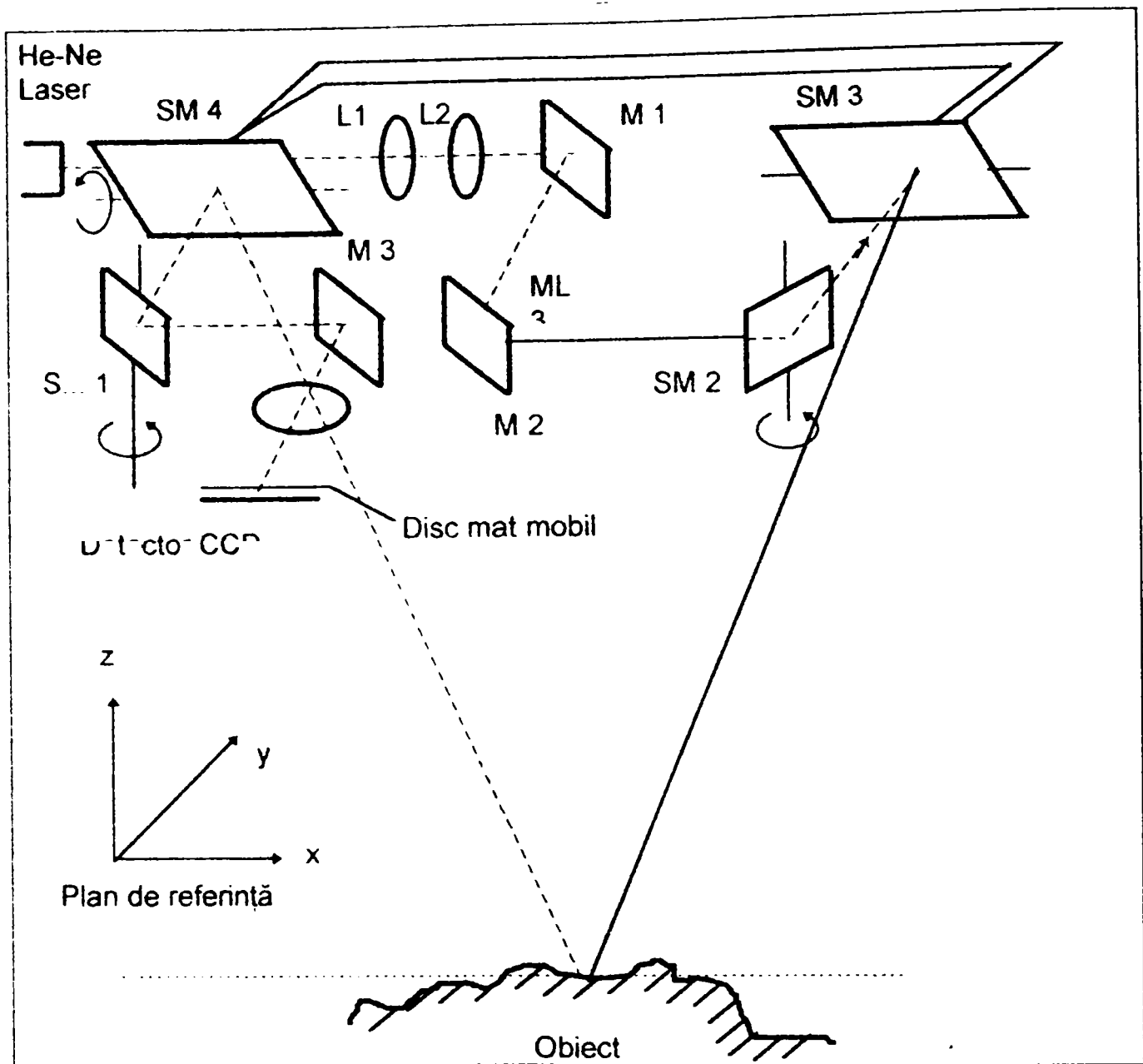


Figura 4.9.
Sistem cu scaner laser și PSD pentru determinarea unor parametri geometrici ai RI.

Prin culegerea continuă a semnalului se poate reconstitui conturul obiectului palpat. Sistemul, pe baza principiului de funcționare este aplicabil și la determinarea unor deplasări minime (liniare și unghiulare) servind la aflarea unor caracteristici de situare ale RI.

Față de cele prezentate mai sus, autorul propune realizarea unui sistem optic de măsurare a indicatorilor geometrici și cinematici situat între metodele topografice (teodoliți) și cele de scanare laser.

Justificarea acestei propuneri este următoarea:

a). Metodele topografice presupun:

- ◆ utilizarea a doi operatori;
- ◆ vizarea punctului țintă de către operatorul uman;

- ◆ utilizarea a două stații de măsurare;
- ◆ urmărirea doar a țintelor cu mișcare lentă.

b). Metodele de scanare și măsurare a drumului parcurs de raza laser până la țintă și înapoi, presupun:

- ◆ costuri mari;
- ◆ personal calificat;
- ◆ aparatură complexă;
- ◆ eliminarea perturbațiilor (vibrații, praf, umiditate).

Ca urmare a celor arătate, se impune obținerea unui sistem de măsurare ce oferă următoarele soluții:

1. Folosirea unei singure stații de măsurare;
2. Folosirea unui singur operator;
3. Eliminarea subiectivismului în vizarea țintei;
4. Capacitate de captare a țintelor rapide.

4.1.2.2. Descrierea instalației opto - electronice propuse.

Principiul de funcționare al instalației se bazează pe vizarea a patru puncte țintă dispuse pe o suprafață plană prin intermediul unei raze laser mobile, cu următoarele caracteristici:

- a). raza laser baleiază corpul țintă în plan vertical și orizontal.
- b). punctele țintă sunt active și confirmă atingerea lor de către rază printr-un semnal electric (fotodetectoare).
- c). punctele țintă sunt așezate câte patru pe fețele de lucru ale unui corp de referință cubic și sunt individualizate prin filtre pe fiecare față.

Schema de principiu a instalației conduce la următorul model geometric prezentat în figura 4.10.

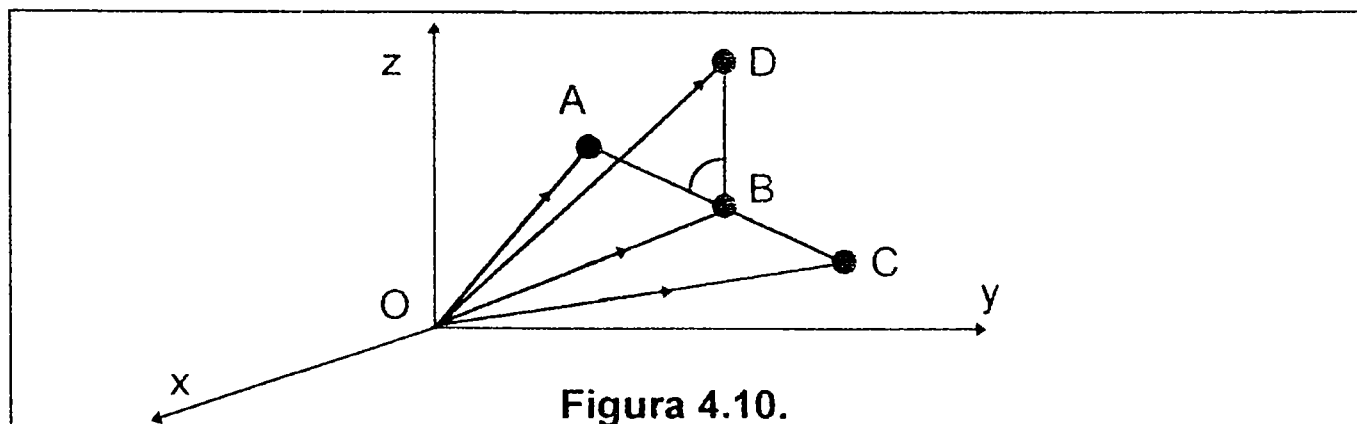


Figura 4.10.

Modelul geometric al metodei celor patru puncte.

În punctul O (originea sistemului de referință) se află sursa laser. Punctele A, B, C, D sunt țintele vizate. Pentru fiecare punct se determină prin măsurare cu ajutorul unor traductoare opto-electronice de rotație, unghiurile de elevație și azimut ale razei inciđente. Distanțele între punctele țintă sunt cunoscute și egale.

Sistemul de măsurare presupune gestionarea datelor specificate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.

Nr. crt.	Date de intrare	Date calculate (intermediare)	Date de ieșire
	$AB = BC = BD = d$ $BD \perp AC$	$A\hat{O}B = \theta_1$ $B\hat{O}C = \theta_2$ $B\hat{O}D = \theta_3$ $A\hat{O}C = \theta = \theta_1 + \theta_2$	X_A, Y_A, Z_A X_B, Y_B, Z_B X_C, Y_C, Z_C X_D, Y_D, Z_D
	$\alpha_A, \beta_A, \alpha_B, \beta_B, \alpha_C,$ $\beta_C, \alpha_D, \beta_D,$	OA, OB, OC, OD	parametri directori ai normalei pe planul țintă $\vec{n} = \overline{AB^0} \times \overline{BD^0}$

Cu aceste date se pot determina următorii indicatori conform tabelului 4.3.

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Indicatori de situare	Indicatori cinematici
1	exactitatea de situare	exactitatea vitezei pe axă
2	repetabilitatea de situare	exactitatea vitezei rezultante
3	exactitatea de traiectorie	fluctuația de viteză
4	repetabilitatea de traiectorie	gama de viteze
5	pasul minim programabil	viteza maximă, minimă
6	deriva punctului caracteristic	țimp de stabilizare
7	capacitatea de încărcare	durata unui ciclu
8	cursa după comanda STOP	țimp de răspuns la comandă
9	volumul spațiului de lucru	

4.1.2.3. Modelul matematic.

În continuare se prezintă modelul matematic al procesului de măsurare.

Raționamentul de calcul pornește de la reprezentarea schematică a vizării celor patru puncte țintă cu ajutorul unei surse laser capabilă să se rotească generând unghiurile α și β definite anterior.

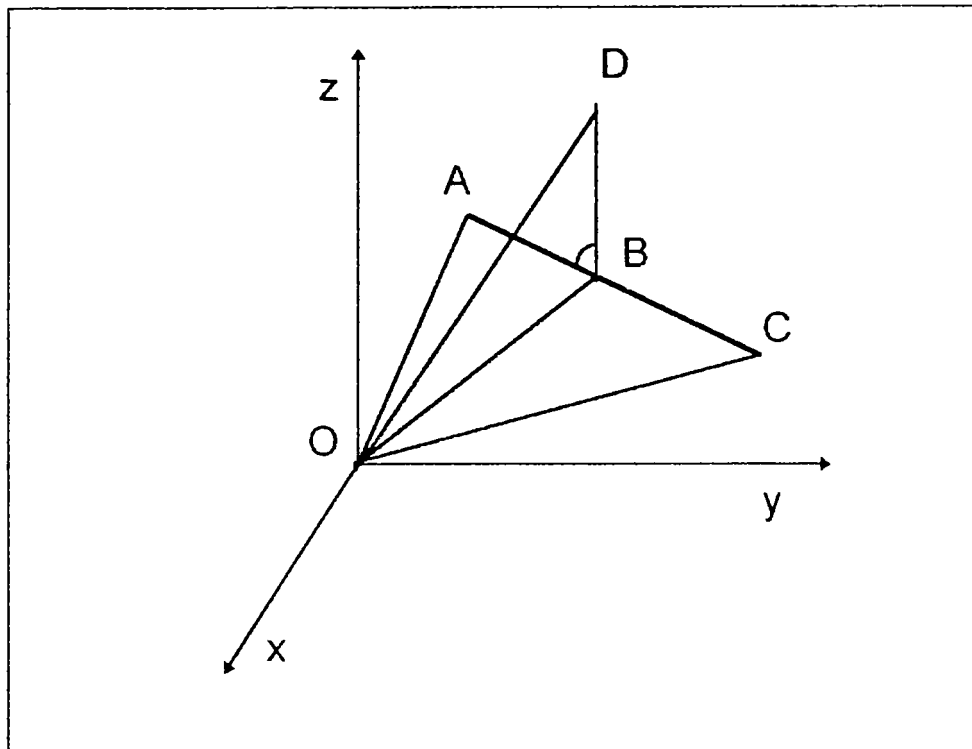
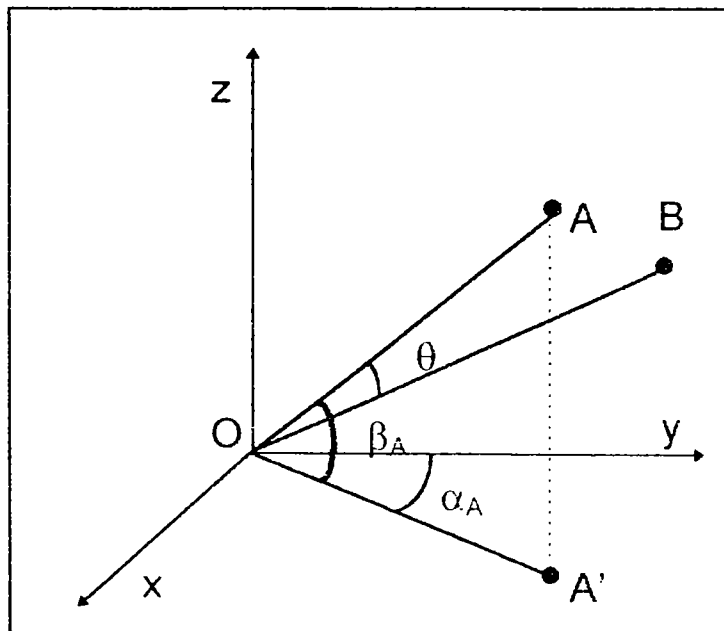


Figura 4.11.
Vizarea celor patru puncte țintă.



Segmentul de dreaptă OA este determinat de punctele O (0,0,0) și A (x_A, y_A, z_A) și are vectorul director \vec{U}_1 .

Proiecțiile pe axe ale vectorului \vec{U}_1 sunt:

$$l_1 = x_A - x_0 = x_A \quad (4.1)$$

$$m_1 = y_A - y_0 = y_A \quad (4.2)$$

$$n_1 = z_A - z_0 = z_A \quad (4.3)$$

Figura 4.12.
Vizarea unui punct țintă A și unghiurile aferente.

Deci:

$$\begin{cases} l_1 = x_A & (4.4) \\ m_1 = y_A & (4.5) \\ n_1 = z_A & (4.6) \end{cases}$$

Segmentul de dreaptă OB este determinat de punctele O și B (x_B, y_B, z_B) și are vectorul director \bar{U}_2 cu proiecțiile:

$$\begin{cases} l_2 = x_B \\ m_2 = y_B \\ n_2 = z_B \end{cases} \quad (4.7)$$

Segmentul de dreaptă OC este determinat de punctele O și C (x_C, y_C, z_C) și are vectorul director \bar{U}_3 cu proiecțiile :

$$\begin{cases} l_3 = x_C \\ m_3 = y_C \\ n_3 = z_C \end{cases} \quad (4.8)$$

Segmentul de dreaptă OD este determinat de punctele O și D (x_D, y_D, z_D) și are vectorul director \bar{U}_4 cu proiecțiile :

$$\begin{cases} l_4 = x_D \\ m_4 = y_D \\ n_4 = z_D \end{cases} \quad (4.9)$$

Cu aceste date unghiul dintre \bar{U}_1 și \bar{U}_2 este dat de relația :

$$\cos \theta_1 = \frac{\bar{U}_1 \cdot \bar{U}_2}{|\bar{U}_1| \cdot |\bar{U}_2|} \quad (4.10)$$

ceea ce conduce la :

$$\cos \theta_1 = \frac{l_1 \cdot l_2 + m_1 \cdot m_2 + n_1 \cdot n_2}{\sqrt{l_1^2 + m_1^2 + n_1^2} \cdot \sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2}} \quad (4.11)$$

La fel se vor determina unghiurile θ_2 și θ_3 între \bar{U}_2 și \bar{U}_3 , respectiv \bar{U}_2 și \bar{U}_4 , conform relațiilor :

$$\cos\theta_2 = \frac{l_2 \cdot l_3 + m_2 \cdot m_3 + n_2 \cdot n_3}{\sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2} \cdot \sqrt{l_3^2 + m_3^2 + n_3^2}} \quad (4.12)$$

și

$$\cos\theta_3 = \frac{l_2 \cdot l_4 + m_2 \cdot m_4 + n_2 \cdot n_4}{\sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2} \cdot \sqrt{l_4^2 + m_4^2 + n_4^2}} \quad (4.13)$$

În continuare se vor exprima coordonatele punctelor A, B, C, D în funcție de lungimile segmentelor notate cu l și a unghiurilor cunoscute de tip α și β .

Din figura 4.13. rezultă pentru A :

$$\begin{cases} x_A = l_A \cdot \cos\beta_A \cdot \sin\alpha_A \\ y_A = l_A \cdot \cos\beta_A \cdot \cos\alpha_A \\ z_A = l_A \cdot \sin\beta_A \end{cases} \quad (4.14)$$

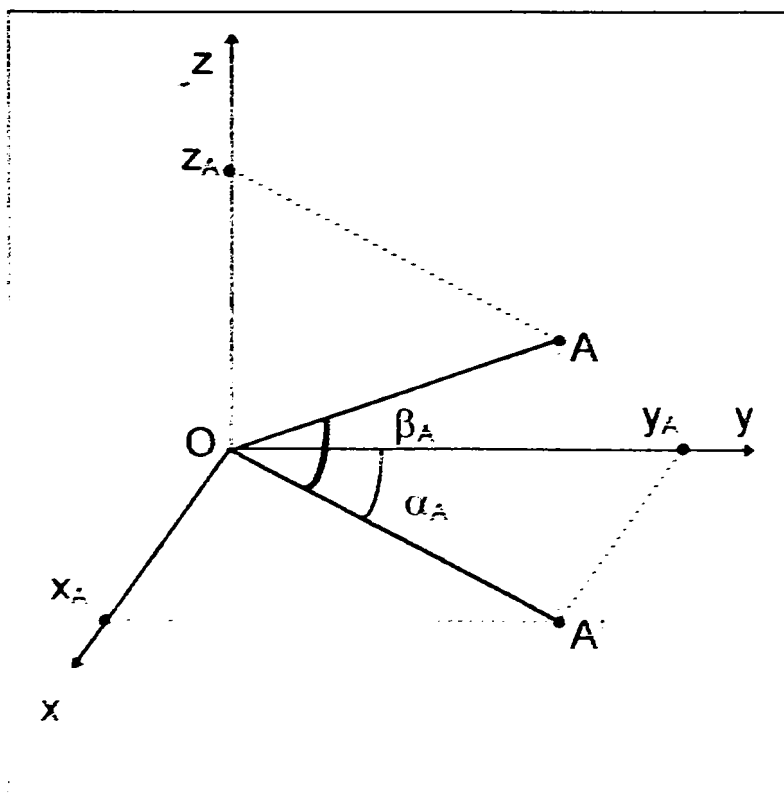


Figura 4.13.
Modelul geometric pentru vizarea punctului țintă A.

Pentru punctul B rezultă:

$$\begin{cases} x_B = l_B \cdot \cos\beta_B \cdot \sin\alpha_B \\ y_B = l_B \cdot \cos\beta_B \cdot \cos\alpha_B \\ z_B = l_B \cdot \sin\beta_B \end{cases} \quad (4.15)$$

Pentru punctul C rezultă:

$$\begin{cases} x_C = l_C \cdot \cos\beta_C \cdot \sin\alpha_C \\ y_C = l_C \cdot \cos\beta_C \cdot \cos\alpha_C \\ z_C = l_C \cdot \sin\beta_C \end{cases} \quad (4.16)$$

Pentru punctul D rezultă:

$$\begin{cases} x_D = l_D \cdot \cos\beta_D \cdot \sin\alpha_D \\ y_D = l_D \cdot \cos\beta_D \cdot \cos\alpha_D \\ z_D = l_D \cdot \sin\beta_D \end{cases} \quad (4.17)$$

Cu relațiile (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) și (4.11) unghiurile θ_1 se exprimă astfel :

$$\begin{aligned} \cos \theta_1 = & (l_A l_B \cos \beta_A \cos \alpha_A \cos \beta_B \cos \alpha_B + l_A l_B \cos \beta_A \sin \alpha_A \cos \beta_B \sin \alpha_B + \\ & + l_A l_B \sin \beta_A \sin \beta_B) / \left(\sqrt{l_A^2 \cos^2 \beta_A \cdot \cos^2 \alpha_A + l_A^2 \cos^2 \beta_A \sin^2 \alpha_A + l_A^2 \sin^2 \beta_A} \cdot \right. \\ & \left. \cdot \sqrt{l_B^2 \cos^2 \beta_B \cos^2 \alpha_B + l_B^2 \cos^2 \beta_B \sin^2 \alpha_B + l_B^2 \sin^2 \beta_B} \right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

rezultând relația:

$$\cos \theta_1 = \frac{\cos \beta_A \cos \alpha_A \cos \beta_B \cos \alpha_B + \cos \beta_A \sin \alpha_A \cos \beta_B \sin \alpha_B + \sin \beta_A \sin \beta_B}{\sqrt{\cos^2 \beta_A \cos^2 \alpha_A + \cos^2 \beta_A \sin^2 \alpha_A + \sin^2 \beta_A} \sqrt{\cos^2 \beta_B \cos^2 \alpha_B + \cos^2 \beta_B \sin^2 \alpha_B + \sin^2 \beta_B}} \quad (4.19)$$

În continuare se determină în același mod unghiurile θ_2 și θ_3 cu relațiile:

$$\cos \theta_2 = \frac{\cos \beta_B \cos \alpha_B \cos \beta_C \cos \alpha_C + \cos \beta_B \sin \alpha_B \cos \beta_C \sin \alpha_C + \sin \beta_B \sin \beta_C}{\sqrt{\cos^2 \beta_B \cos^2 \alpha_B + \cos^2 \beta_B \sin^2 \alpha_B + \sin^2 \beta_B} \sqrt{\cos^2 \beta_C \cos^2 \alpha_C + \cos^2 \beta_C \sin^2 \alpha_C + \sin^2 \beta_C}} \quad (4.20)$$

$$\cos \theta_3 = \frac{\cos \beta_B \cos \alpha_B \cos \beta_D \cos \alpha_D + \cos \beta_B \sin \alpha_B \cos \beta_D \sin \alpha_D + \sin \beta_B \sin \beta_D}{\sqrt{\cos^2 \beta_B \cos^2 \alpha_B + \cos^2 \beta_B \sin^2 \alpha_B + \sin^2 \beta_B} \sqrt{\cos^2 \beta_D \cos^2 \alpha_D + \cos^2 \beta_D \sin^2 \alpha_D + \sin^2 \beta_D}} \quad (4.21)$$

În etapa următoare cunoscând unghiurile $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ se determină lungimile segmentelor OA, OB, OC, OD conform figurii 4.14:

Pentru unghiurile α, β, γ și θ se pot scrie relațiile :

$$\beta_1 + \beta_2 = \pi \quad (4.22)$$

$$\alpha + \gamma + \theta_1 + \theta_2 = \pi \quad (4.23)$$

Aplicând teorema sinusurilor în triunghiul AOB și OBC se pot scrie relațiile :

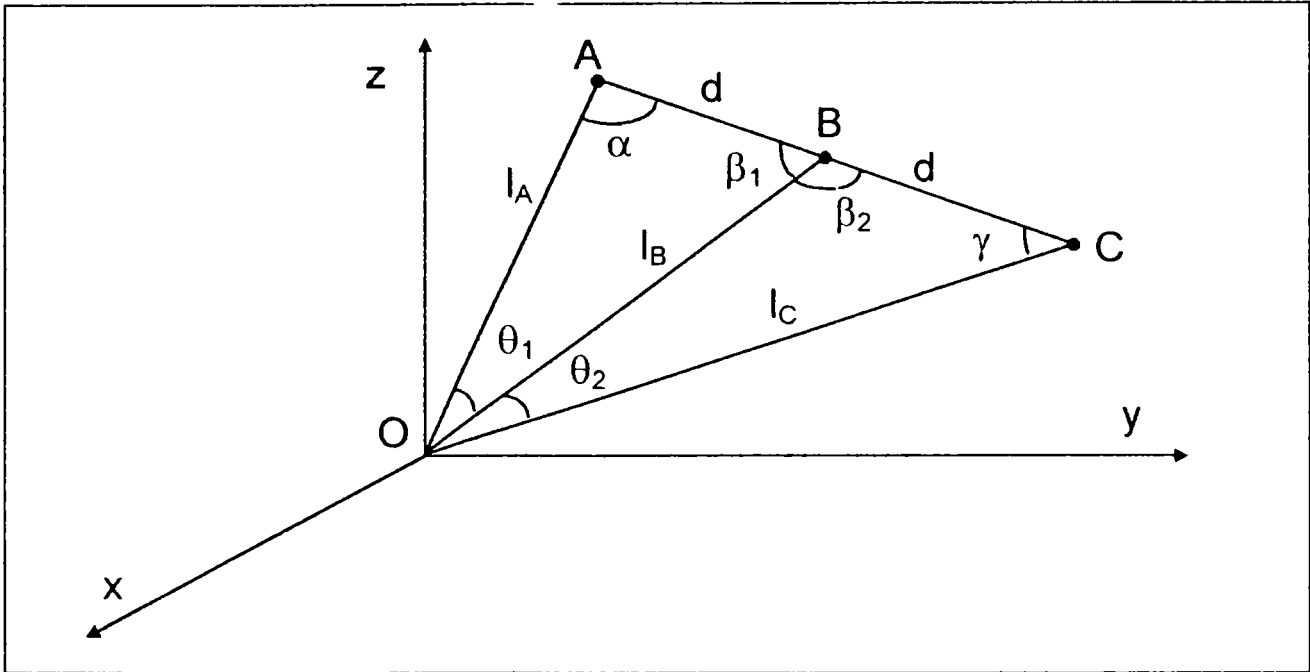


Figura 4.14.
Modelul geometric atașat celor trei puncte țintă.

$$\frac{l_A}{\sin \beta_1} = \frac{l_B}{\sin \alpha} = \frac{d}{\sin \theta_1} \quad (4.24)$$

$$\frac{l_C}{\sin \beta_2} = \frac{l_B}{\sin \gamma} = \frac{d}{\sin \theta_2} \quad (4.25)$$

$$\frac{l_A}{\sin \gamma} = \frac{l_C}{\sin \alpha} = \frac{2d}{\sin \theta} \quad (4.26)$$

Grupând relațiile obținute în mod convenabil se izolează lungimile l_B și l_C . Astfel, din :

$$\frac{l_B}{\sin \alpha} = \frac{d}{\sin \theta_1} \quad (4.27)$$

$$\frac{l_C}{\sin \alpha} = \frac{2d}{\sin \theta} \quad (4.28)$$

rezultă:

$$\frac{l_B}{l_C} = \frac{\sin \theta}{2 \sin \theta_1} = \frac{1}{p_1} \quad (4.29)$$

cu notația (4.29) și scriind teorema cosinusurilor în triunghiul OBC :

$$l_B^2 + l_C^2 - 2l_B l_C \cos \theta_2 = d^2 \quad (4.30)$$

se obține prin înlocuire, izolarea lungimii l_B

$$l_B^2 + p_1^2 l_B^2 - 2p_1 l_B^2 \cos \theta_2 = d^2 \quad (4.31)$$

Rezolvând această ecuație și reținând soluția pozitivă , se obține:

$$l_B = \sqrt{\frac{d^2}{p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1}} = \frac{d}{\sqrt{p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1}} \quad (4.32)$$

cu condiția $p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1 > 0$

Dar $l_C = p_1 \cdot l_B$ și deci se obține relația :

$$l_C = \frac{p_1 d}{\sqrt{p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1}} \quad (4.33)$$

Din relațiile (4.25) și (4.26) și se obține :

$$l_A = 2 \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} \cdot l_B = 2 \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} \cdot \frac{d}{\sqrt{p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1}} \quad (4.34)$$

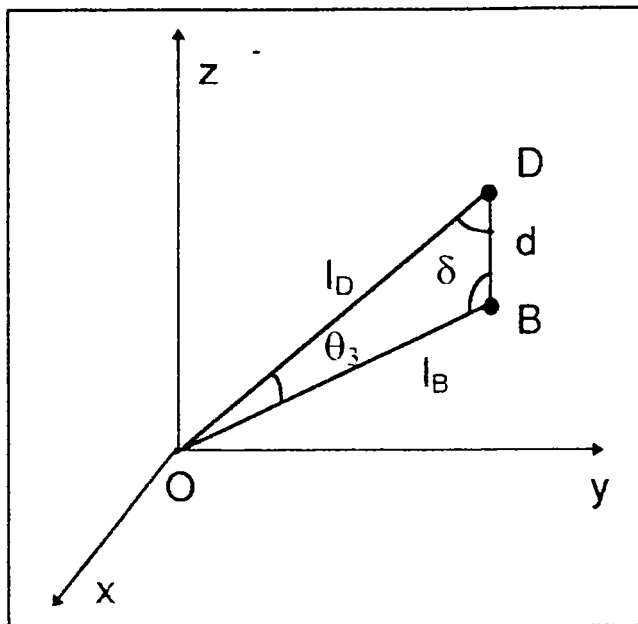
se notează

$$2 \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta} = p_2$$

și deci

$$l_A = \frac{dp_2}{\sqrt{p_1^2 - 2p_1 \cos \theta_2 + 1}} \quad (4.35)$$

Pentru determinarea lungimii l_D se aplică teorema sinusurilor în triunghiul BOD conform figurii:



$$\frac{d}{\sin\theta_3} = \frac{l_B}{\sin\delta} = \frac{l_D}{\sin[\pi - (\theta_3 + \delta)]} \quad (4.36)$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{l_B \cdot \sin\theta_3}{d}\right) \quad (4.37)$$

din relația (4.36) rezultă:

$$l_D = \frac{d \sin(\theta_3 + \delta)}{\sin\theta_3} = d \cos\delta + d \sin\delta \operatorname{ctg}\theta_3 \quad (4.38)$$

Figura 4.15.

Determinarea lungimii segmentului OD.

dar din relația (4.37) rezultă pentru $\cos\delta$ și $\sin\delta$:

$$\sin\delta = \frac{l_B \cdot \sin\theta_3}{d} \quad (4.39)$$

$$\cos\delta = \sqrt{1 - \sin^2\delta} = \sqrt{\frac{d^2 - l_B^2 \sin^2\theta_3}{d^2}} \quad (4.40)$$

și deci

$$l_D = \sqrt{d^2 - l_B^2 \sin^2\theta_3} + l_B \cos\theta_3 \quad (4.41)$$

În această etapă se cunosc l_A, l_B, l_C, l_D , iar cu acestea se vor determina coordonatele punctelor A, B, C și D cu relațiile (4.14), (4.15), (4.16) și (4.17).

Cu aceste coordonate se poate determina poziția în 3 D a figurii plane determinată de punctele A, B, C și D. În continuare se scrie ecuația planului definit de punctele A, B, D și care conține figura ABCD conform relației:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_A & y_A & z_A & 1 \\ x_B & y_B & z_B & 1 \\ x_D & y_D & z_D & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.42)$$

Pentru acest plan se determină parametrii directori ai normalei la acesta după cum urmează:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{A^*}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}} \\ \cos \beta &= \frac{B^*}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}} \\ \cos \gamma &= \frac{C^*}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}} \end{aligned} \quad (4.43)$$

unde:

$$A^* = \begin{vmatrix} y_A & z_A & 1 \\ y_B & z_B & 1 \\ y_D & z_D & 1 \end{vmatrix} \quad B^* = \begin{vmatrix} x_A & z_A & 1 \\ x_B & z_B & 1 \\ x_D & z_D & 1 \end{vmatrix} \quad (4.44)$$

$$C^* = \begin{vmatrix} x_A & y_A & 1 \\ x_B & y_B & 1 \\ x_D & y_D & 1 \end{vmatrix}$$

ecuația planului considerat fiind:

$$A^* \cdot X - B^* \cdot Y + C^* \cdot Z - D^* = 0 \quad (4.45)$$

În acest mod s-au determinat coordonatele punctelor țintă A, B, C, D prin relațiile 4.14 la 4.17 și direcția normalei la planul format de aceste puncte și deci poziția și orientarea corpului de referință în raport cu sistemul de referință atașat instalației de măsurare.

4.1.2.4. Soluția constructivă de principiu a sistemului de măsurare.

În construcția sistemului de măsurare se disting două subsisteme tratabile separat (v. fig.4.16) după cum urmează:

1. Unitatea de scanare alcătuită din:
 - 1.1. Sursă laser fixă (1).
 - 1.2. Oglinzi metalice rotitoare în raport cu 2 direcții perpendiculare (2, 2') (baleaj H, V).
 - 1.3. Motoare pas cu pas pentru acționarea oglinzilor (3, 3').
 - 1.4. Traductoare de rotație opto - electronice.
2. Corpul țintă format din:
 - 2.1. Corp de susținere cubic (5).

2.2. Placă cu diafragme de 0,1 mm.

2.3. Fotodiode (4).

2.4. Unitate cu culegere a semnalului.

2.5. Unitate de legătură cu baza fixă de receptare a semnalului de la fotodiode prin transmisie radio (6).

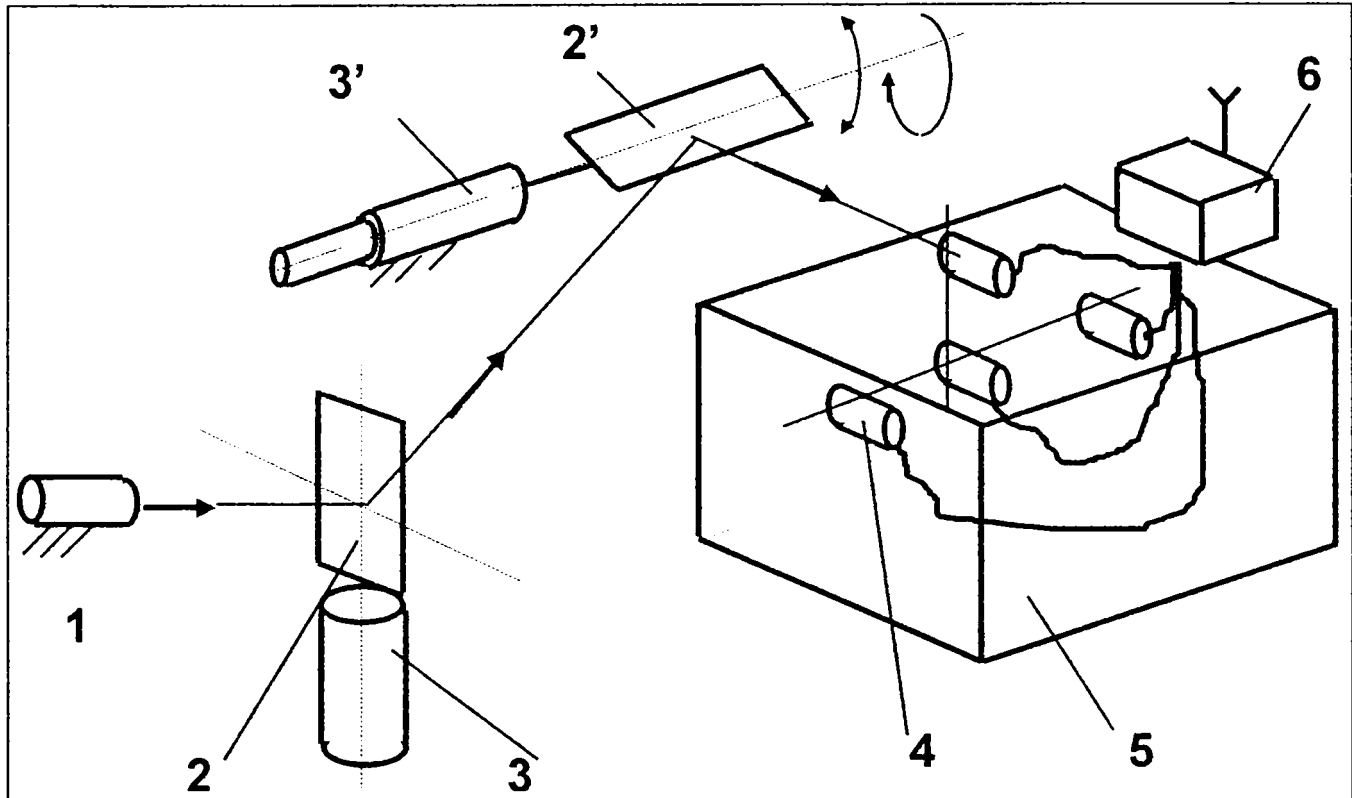


Figura 4.16.

Sistem de scanare laser al corpului cu ținte active.

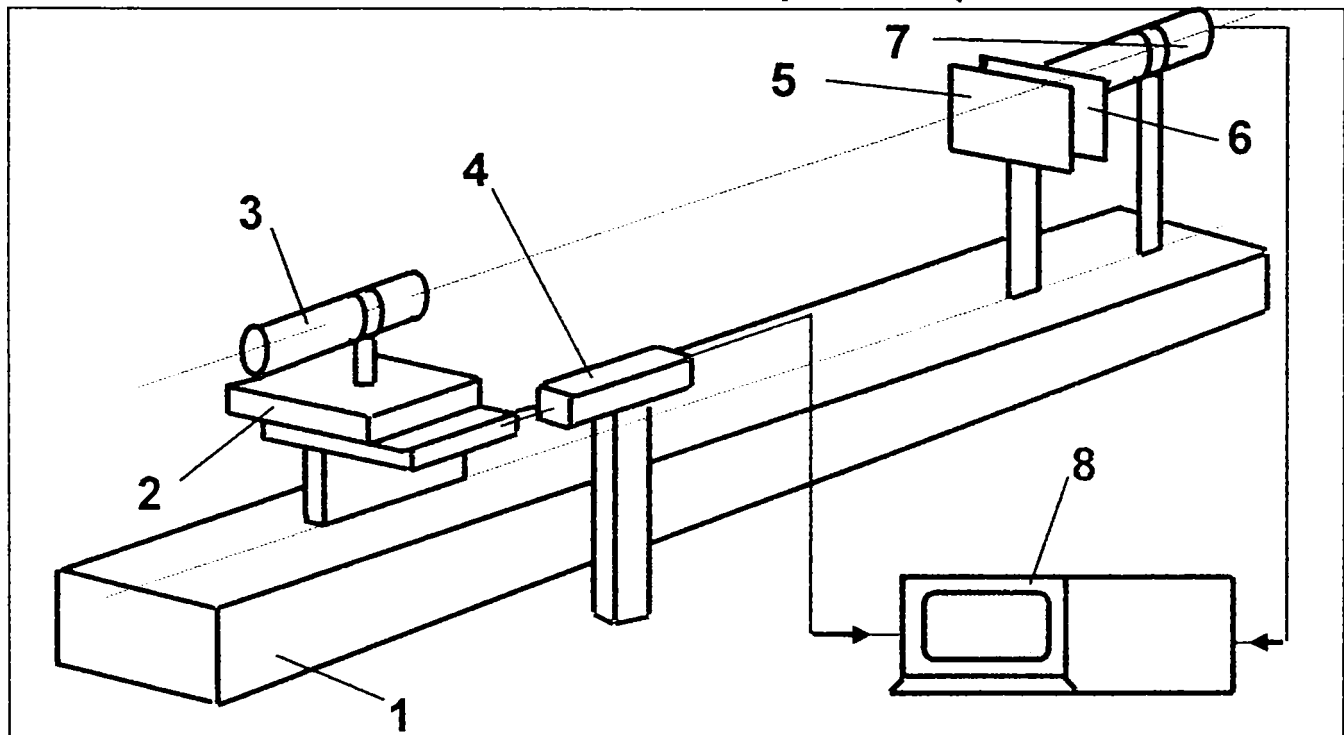


Figura 4.17.

Stand pentru verificarea comportării celei fotovoltaice diafragmate la incidența razei laser.

Pentru confirmarea soluției propuse s-au efectuat determinări cu o diafragmă de 0,1 mm, sursa laser executând la distanță de 1000 mm un baleiaj transversal cu pas de 0,01 mm. Montajul a fost realizat pe un banc optic. Schema de principiu a montajului este reprezentată în figura 4.17.

Legendă:

- 1- banc optic;
- 2- masă de poziționare cu șurub micrometric;
- 3- sursă laser;
- 4- traductor inductiv de deplasare;
- 5- diafragmă;
- 6- filtru;
- 7- fotodectoare în regim fotovoltaic;
- 8- bloc de prelucrare a informației.

4.1.2.5. Determinări experimentale cu privire la funcționarea unei unități receptoare cu fotodiodă.

Pe standul prezentat în fig. 4.17 s-a trecut la verificarea modului de răspuns al țintei la incidența radiației laser pe aceasta.

S-a urmărit dacă se obține sau nu un răspuns net pentru situarea spotului laser cu centrul cât mai aproape de centrul diafragmei.

Deasemenea s-au studiat modalități de filtrare pentru eliminarea semnalului provocat de variația intensității luminii în mediul ambiant și pentru protejarea receptorului.

Rezultatele obținute au condus la concluzia că rezoluția de 0,01 mm a deplasării mesei de poziționare are corespondent în răspuns al fotodiodei. În plus vârful semnalului de răspuns a fost repetabil atât în situare cât și ca valoare.

Iată o prezentare simplificată a modului de răspuns al fotodiodei țintă.

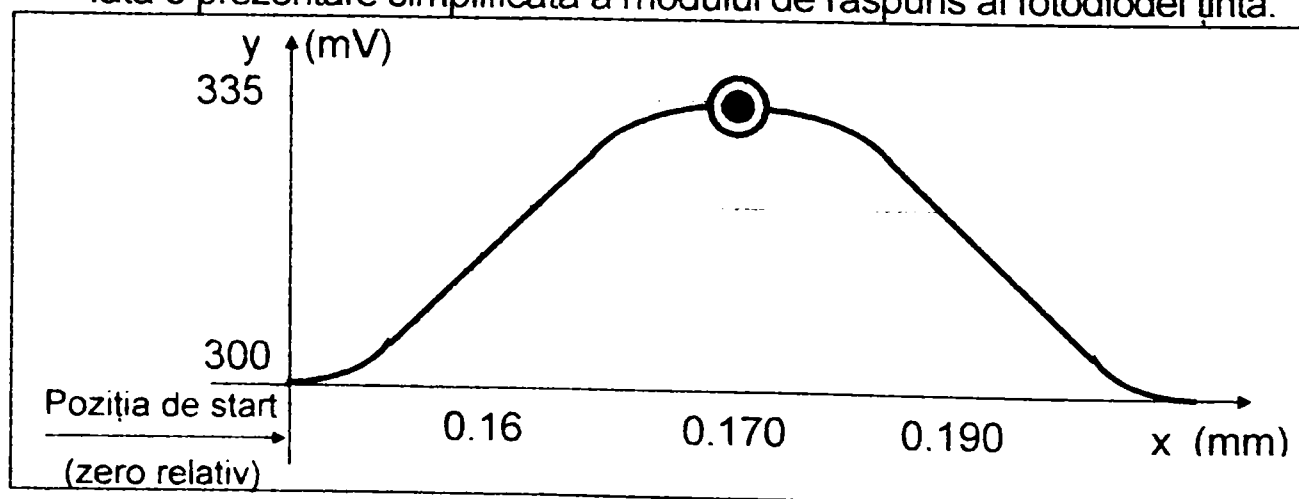


Figura 4.18.

Prezentarea modului de răspuns al celulei fotovoltalice la incidența radiației laser.

Pentru că în acest experiment este important gradul de rezoluție al receptorului la deplasarea sursei și prezența unui maxim net repetabil, se arată în continuare modul de variație al semnalului în jurul poziției cu cota 17×10^{-2} mm de la start.

Tabelul 4.4.

Nr. Cota $\times 10^{-2}$ mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	307	305	305	303	305	307	307	305	305	307	305	305	302	305	305
17	334	334	335	335	335	332	335	334	334	335	335	335	335	334	334
18	309	312	312	311	312	311	311	320	311	312	312	309	313	312	312
\exists_{\max}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabelul 4.4.(continuare)

Nr. Cota $\times 10^{-2}$ mm	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
16	307	307	307	304	304	307	307	307	306	307	306	307	307	307	307
17	334	335	334	334	335	332	332	335	335	334	335	335	335	335	334
18	311	312	312	311	311	309	309	308	311	321	312	320	312	309	311
\exists_{\max}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Trebuie subliniat că evoluția semnalului nu interesează, se cere însă ca între valorile rezultate în urma deplasării sursei cu 10^{-2} mm să existe diferență, iar maximul semnalului de răspuns să se regăsească întotdeauna pe aceleași coordonate.

În urma experimentelor efectuate se concluzionează următoarele:

1. maximul semnalului de răspuns este repetabil pentru aceeași coordonată (100% pentru 30 de încercări);
2. rezoluția decelării deplasării sursei de către fotodiodă este de 10^{-2} mm;
3. nu există valori de palier.

Aceste elemente justifică folosirea montajului cu fotodiode pentru a sesiza incidența exactă a radiației laser pe țintă.

4.1.2.6. Considerații privind domeniul de utilizare al sistemului de măsurare propus.

Pentru a determina limitele sistemului de măsurare propus trebuie impuse condiții de funcționare.

Pentru a stabili parametrii geometrici și cinematici ai sistemului, se enunță următoarea condiție:

În vederea asigurării rezoluției de 0,01 mm este necesar ca în intervalul de timp necesar baleierii punctelor A, B, C, D, deplasarea acestora față de poziția inițială să nu depășească 0,01 mm.

Punctul de pornire îl constituie parametrii de funcționare ai unui robot industrial, după cum rezultă din analiza unor surse bibliografice. Astfel, pentru o axă a RI se consideră valabile valorile:

- ◆ exactitatea de poziționare 0,10 - 0,5 mm;
- ◆ viteza de translație 900 - 1000 mm/s;
- ◆ viteza unghiulară 60 - 90 °/s.

iar datele constructive ale corpului țintă și ale spațiului de operare apreciază după cum urmează:

- ◆ $d = 40$ mm (distanța dintre punctele țintă);
- ◆ $l = 2000$ mm (distanța de citire).

Pe baza acestor informații se stabilește viteza unghiulară de rotație a oglinzilor de baleiaj.

Conform celor enunțate mai sus deplasarea unui punct țintă cu $\Delta d = 10^{-2}$ mm trebuie să se producă după ce raza a atins prima țintă și a ieșit de pe ultima, conform figurii 4.19.

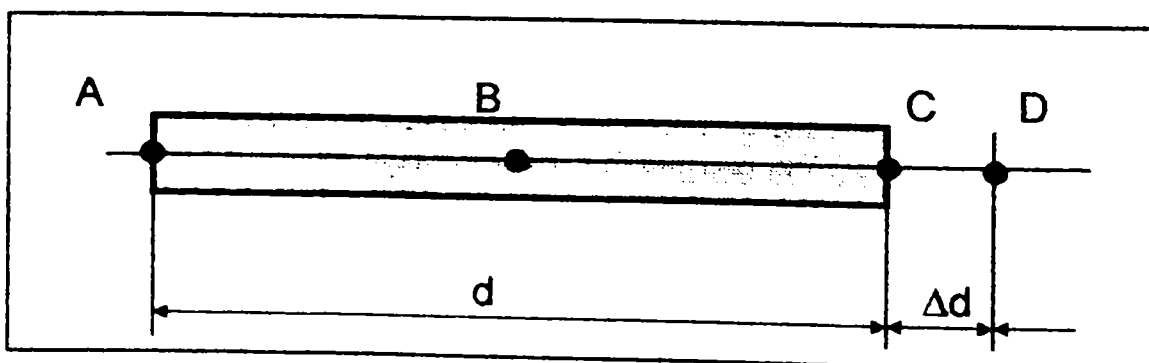


Figura 4.19.

Reprezentarea zonei de baleiaj a instalației cu laser în plan orizontal.

Spotul laser parcurge distanța d în intervalul Δt .

$$\Delta t = \frac{\alpha}{\omega_{nec}} \quad (4.46)$$

unde: α este unghiul de baleiaj [rad].

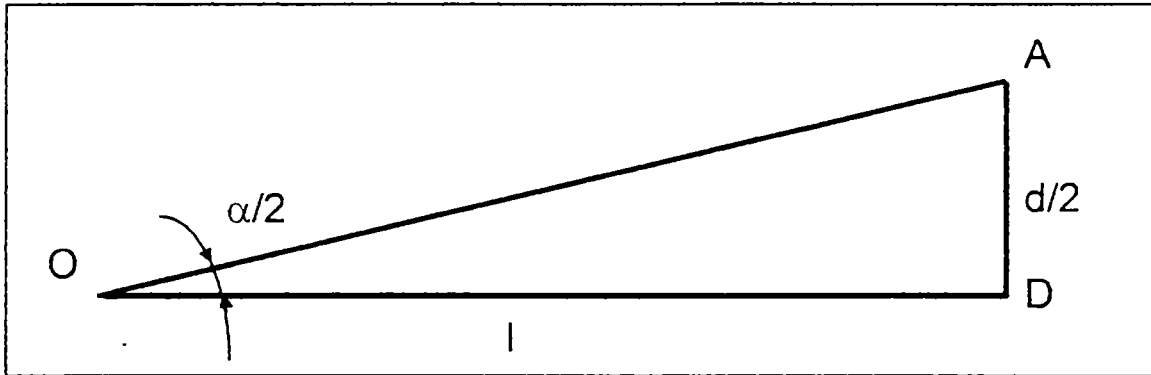


Figura 4.20.
Modelul geometric al baleierii segmentului AD.

Tot în acest timp, presupunând că robotul translatează pe o axă în direcția AC cu viteza V , punctul C va aluneca cu distanța maximă $\Delta d = 10^{-2}$ mm.

$$\Delta t = \frac{\Delta d}{V} \quad (4.47)$$

de unde:

$$\Delta t = 10^{-5} \text{ s} \quad (4.48)$$

$$\frac{1}{2}\alpha = \arctg \frac{d}{2l} = \frac{d}{2l} \quad (4.49)$$

deci

$$\omega_{nec} = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{d}{l} \quad (4.50)$$

Înlocuind, se obține valoarea vitezei unghiulare necesare:

$$\omega_{nec} = 2 \cdot 10^3 \text{ rad / s}$$

$$n_{nec} = 19098,59 \text{ rpm}$$

Utilizând o oglindă poligonală cu 6 fețe, turația necesară n_{nec} devine 3183,09rpm ceea ce facilitează obținerea acesteia.

În situația în care corpul țintă se rotește, se consideră cazul în care un unghi minim provoacă alunecarea maximă a țintei adică rotație în jurul primei ținte cu alunecarea celei de-a doua pe un cerc cu rază egală cu d , după cum se vede în figura 4.21:

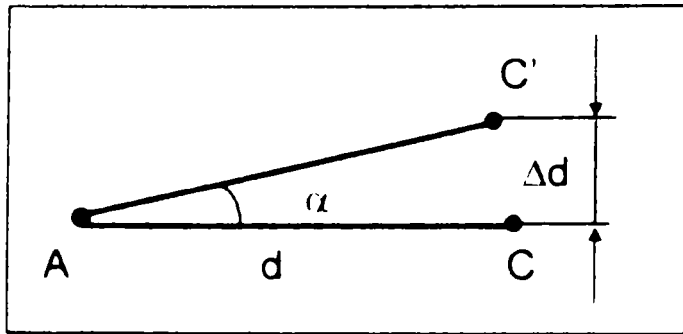


Figura 4.21.
Modelul geometric al baleierii pe distanța CC'.

Și în acest caz, a eajul se încheie pe segmentul AC înainte de consumarea distanței $CC' < 10^{-2}$ mm.

Se știe din fig.4.47 că baleierea segmentului AC solicită $\Delta t = 10^{-5}$ s. La o viteză unghiulară medie $\omega_{med} = 300$ °/s, de rotație în jurul țintei A (ce reprezintă o viteză unghiulară uzuală pentru axele de rotație ale roboților industriali), în intervalul $\Delta t = 10^{-5}$ s se va parcurge distanța .

efectivă Δd_{ef} .

Condiția este ca $\Delta d_{ef} \leq \Delta d$
La limită $\Delta d_{ef} = 10^{-2}$ mm.

Din figura 4.21 rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha_{ef} = \frac{\Delta d_{ef}}{d} \Rightarrow \alpha_{ef} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta d_{ef}}{d} \quad (4.51)$$

$$\Delta t_{ef} = \frac{\alpha_{ef}}{\omega_{med}} = \frac{\operatorname{arctg} \frac{\Delta d_{ef}}{d}}{\omega_{med}} \quad (4.52)$$

$$\Delta t_{ef} = 4,77 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Deci pentru depășirea valorii impuse pentru alunecarea țintei cu $\Delta d = 10^{-2}$ mm este necesar un timp Δt_{ef} mai lung decât cel de baleiere a segmentului AC.

După cum s-a arătat, sistemul de măsurare are caracteristicile:

- a) distanța medie de operare $l = 2000$ mm;
- b) pragul de sensibilitate, teoretic $\Delta d = 10^{-2}$ mm;
- c) turația minimă necesară la scanare $n_{nec} = 3183$ rpm.

Testarea s-a făcut cu o diodă laser cu caracteristicile:

- ◆ cls. III A
- ◆ putere maximă < 5 mW
- ◆ lungime de undă $\lambda = 650$ nm.

iar ca fotoreceptor s-a utilizat o fotodiodă de tip BPW 21 R 627.

4.1.3. Propuneri privind realizarea unei instalații optoelectronice pentru determinarea în regim static a indicatorilor geometrici.

4.1.3.1. Generalități.

În preocuparea autorului a intrat și elaborarea unei soluții care să avanseze pe baza observațiilor efectuate de producătorii de sisteme ce lucrează prin triangulație, folosind vizarea punctului țintă de către operatori umani.

Aceste observații au făcut referiri la următoarele aspecte:

- a) triangulația clasică folosind teodoliți, necesită două stații și doi operatori;
- b) la un număr mare de puncte țintă, 10^3 , urmărirea simultană de către cei doi operatori devine dificilă;
- c) confirmarea situației pe țintă din partea celor doi operatori necesită concentrare maximă și astfel după un număr de puncte, (10^3), exactitatea se reduce și intervine subiectivismul operatorilor, ce confirmă ținta fără însă să se afle pe aceasta.

Pentru a elimina aceste neajunsuri și pentru a permite operarea în spațiu restrâns se propune instalația de măsurare prezentată în figura 4.22).

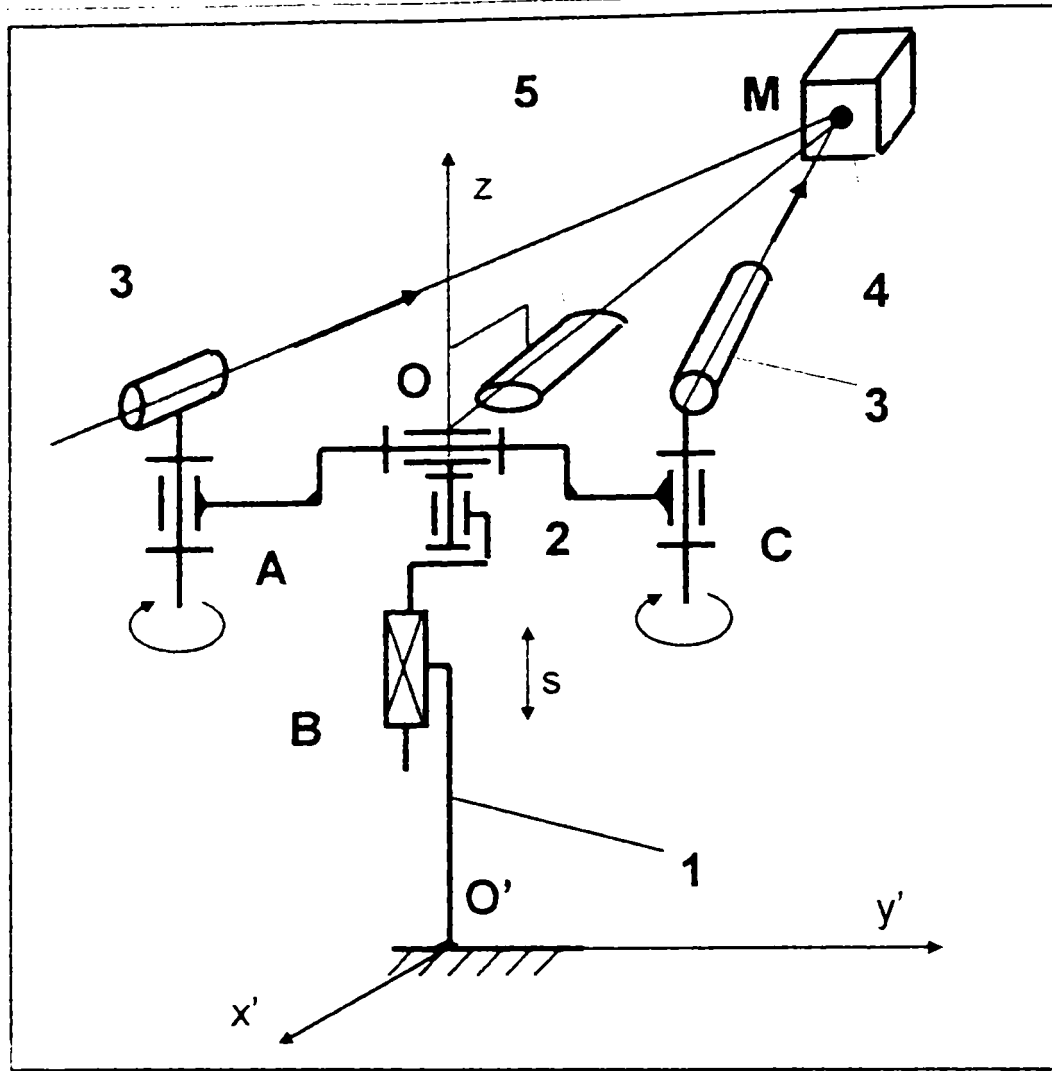


Figura 4.22.

Modul de vizare a unui punct țintă cu ajutorul instalației cu două surse laser și lunetă.

- unde:
- 1-suport reglabil în înălțime;
 - 2-consolă rotativă cu doi pivoti;
 - 3-surse laser rotative;
 - 4-corp de referință cu diafragmă și fotodiodă de confirmare a situației pe țintă.
 - 5-lunetă de vizare.

Modul de lucru cu instalația este următorul:

Corpul țintă aflat în repaus este amplasat în spațiul de lucru al instalației.

Operatorul produce modificarea unghiului de azimut și a celui de elevație prin comenzi manuale și urmărește printr-o lunetă cu reticul, aducerea în coincidență a celor două spoturi laser pe ținta punctiformă. În momentul în care primul spot s-a centrat pe țintă (diafragmă și fotodiodă) apare un semnal în curent, net diferit prin valoare față de semnalele anterioare (primul maxim). În urma

operației de căutare, cel de-al doilea spot se centrează pe țintă obținând de la fotodiodă cea de-a doua confirmare (al doilea maxim suprapus cu primul = max. maximorum).

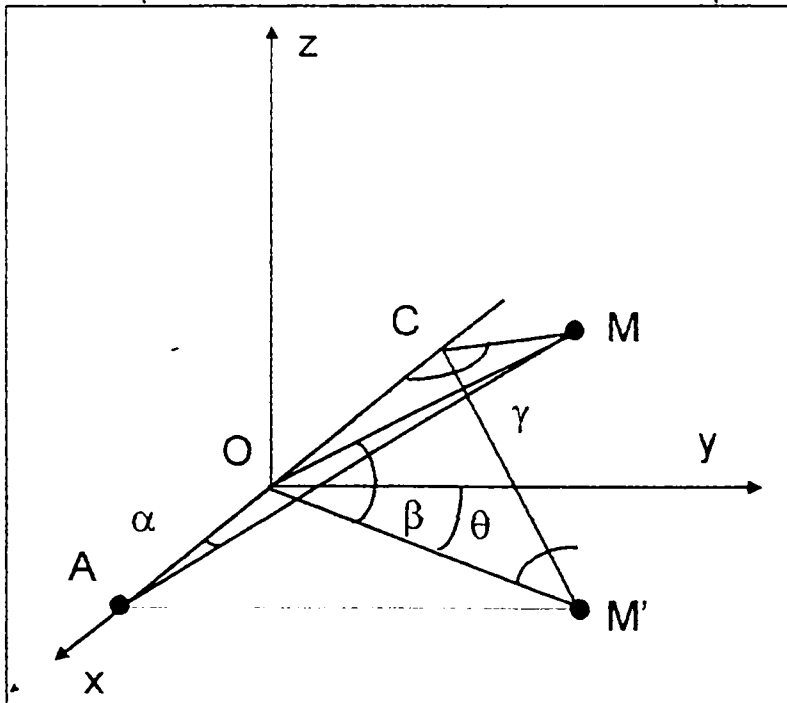
Având cele două confirmări se poate executa citirea unghiurilor de azimut și elevație, precum și a deplasării pe verticală .

În acest mod se pot calcula coordonatele sferice ale punctului țintă în sistemul de referință al instalației după cum se va arăta în continuare.

Pentru a trece în alte sisteme de referință se utilizează repere ale acestora față de care instalația de măsurare se va raporta.

4.1.3.2. Modelul matematic al procesului de măsurare cu instalația propusă.

Prin schematizarea instalației se obține figura 4.23 pe baza căreia se va prezenta modelul matematic al procesului de măsurare.



Datele de intrare sunt:

$$AO = OC = d$$

$$\widehat{OAM} = \alpha$$

$$\widehat{MOM}' = \beta$$

$$\widehat{OCM} = \gamma$$

Figura 4.23.

Modelul geometric al vizării punctului țintă M cu instalația cu două surse laser.

Se vor determina x, y, z sau (OM, β, θ) .

În triunghiul AMC teorema sinusurilor permite scrierea relației:

$$\frac{AC}{\sin \widehat{AMC}} = \frac{MC}{\sin \alpha} = \frac{AM}{\sin \gamma} \quad (4.53)$$

deci

$$MC = \frac{AC \sin \alpha}{\sin \hat{A}MC} \quad (4.54)$$

$$AM = \frac{AC \sin \gamma}{\sin \hat{A}MC} = \frac{d \sin \gamma}{\sin(\pi - \alpha - \gamma)} \quad (4.55)$$

În triunghiul AMO, teorema cosinusurilor permite scrierea relației:

$$MO^2 = AO^2 + AM^2 - 2AO \cdot AM \cos \alpha \quad (4.56)$$

deci

$$MO = \sqrt{d^2 + \frac{d^2 \sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - \frac{2d^2 \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2(\alpha + \gamma)}} \quad (4.57)$$

În triunghiul MOM', unghiul MM'O = 90° deci

$$MM' = MO \cdot \sin \beta \quad (4.58)$$

mai departe

$$MM' = z_v = d \sin \beta \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - \frac{2 \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2(\alpha + \gamma)}} \quad (4.59)$$

Mai departe în triunghiul AMM', prin teorema lui Pitagora se determină:

$$AM' = \sqrt{AM^2 - MM'^2} \quad (4.60)$$

$$AM' = \sqrt{\frac{d^2 \sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - d^2 \sin^2 \beta \left\{ 1 + \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - \frac{2 \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2(\alpha + \gamma)} \right\}} \quad (4.61)$$

În triunghiul AOM', teorema cosinusurilor se scrie pentru determinarea unghiului AOM':

$$AM'^2 = AO^2 + OM'^2 - 2AO \cdot OM' \cdot \cos \hat{A}OM' \quad (4.62)$$

$$\cos \hat{A}OM' = \frac{-AM'^2 + AO^2 + OM'^2}{2AO \cdot OM'} \quad (4.63)$$

dar :

$$x_M = OM' \cdot \cos \hat{A}OM' \quad (4.64)$$

și deci:

$$x_v = d \cos \beta \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - \frac{2 \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2(\alpha + \gamma)}} \cdot \cos \hat{A}OM' \quad (4.65)$$

iar.

$$y_M = OM' \sin A\hat{O}M' = OM' \sqrt{1 - \sin^2 A\hat{O}M'} \quad (4.66)$$

adică:

$$y_M = d \cos \beta \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2(\alpha + \gamma)} - \frac{2 \sin \alpha \cos \alpha}{\sin^2(\alpha + \gamma)}} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 A\hat{O}M'} \quad (4.67)$$

În acest mod s-au determinat coordonatele punctului țintă în sistemul de referință al instalației de măsurare.

Datorită faptului că soluția constructivă aleasă și mai apoi execuția acesteia trebuie să asigure o serie de parametri cum sunt:

- ◆ unghiul AOC = 180°
- ◆ AO = OC = d

precum și prelevarea corectă a trei unghiuri de la trei traductoare incrementale de rotație, se va propune aplicarea unei căi de mijloc între metoda celor patru puncte și cea prezentată anterior în sensul realizării vizării cu un singur element de suport al sursei laser capabil să execute două rotații cu axele reciproc perpendiculare și concurente. În acest mod distanțele AO și OC greu de realizat și controlat se mută pe planul punctelor țintă iar semnalele se vor prelua de la două traductoare (două semnale de la două traductoare față de trei semnale de la trei traductoare).

Această nouă soluție se va prezenta în detaliu în capitolul 6.

Față de cele arătate anterior relativ la instalația de măsurare cu două surse laser se poate interveni printr-un proces de simplificare obținând reducerea unui traductor de rotație. Acest fapt devine posibil dacă se realizează rotirea simetrică a surselor în sensuri contrare cu ajutorul unui mecanism comun. Unghiul de rotație al celor două surse se va preleva de la axul comun de intrare în mecanismul ce generează mișcarea acestora. Noua situație se prezintă schematic în figura 4.24.

Pentru vizarea unui punct țintă M în vederea determinării coordonatelor acestuia se efectuează rotația de căutare α_{zb} din bază prin vizarea punctului țintă cu o lunetă cu reticul. Apoi rotația de căutare în plan vertical α_y și rotațiile simultane simetrice α_{zs} ale sursei. În momentul în care cele două raze emise de sursele din punctele A și C sunt pe țintă, situație confirmată prin valoarea semnalului electric prelevat de la o celulă fotovoltaică cu diafragmă, se efectuează citirea unghiurilor α_{zb} , α_y și α_{zs} . În continuare, cunoscând distanța d dintre surse și înălțimea

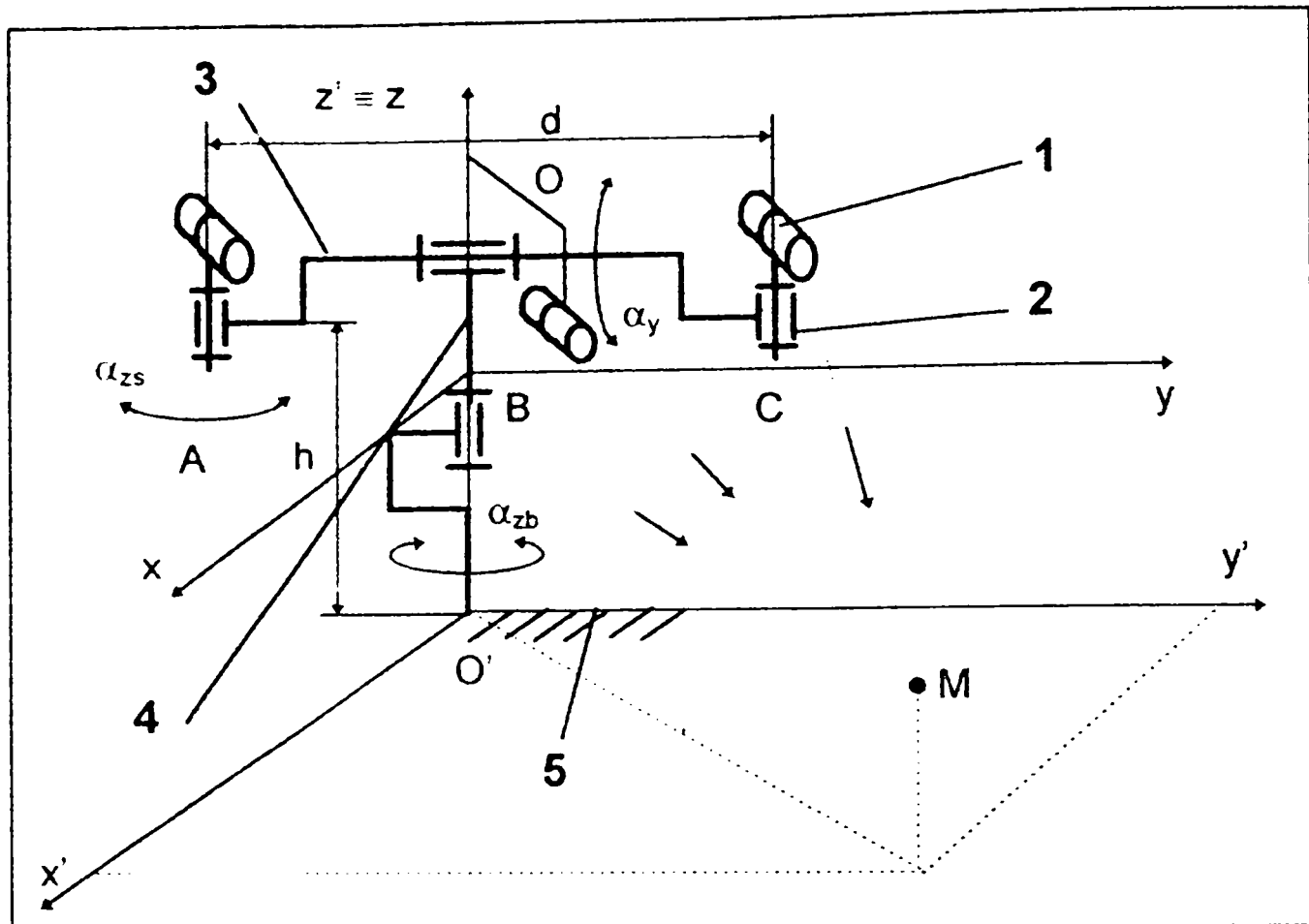


Figura 4.24.

Schema de principiu a instalației cu două surse laser și lunetă.

surselor (h) față de planul de așezare se poate calcula poziția punctului M în coordonate sferice sau carteziene (vezi § 4.1.3.2).

Dacă se dorește determinarea orientării unui corp țintă, se vizează trei puncte necoliniare ale acestuia cu ajutorul lunetei din O repetând procedeul descris anterior.

Ca variantă de lucru, se poate renunța la cuplele cinematice A și C , mișcarea acestora fiind preluată de cupla cinematică O , urmând ca aducerea în coincidență a razei pe țintă să se facă cu ajutorul cuplei O rămase și a cuplei B .

Pornind de la modelul geometric atribuit instalației și având datele inițiale :

- ◆ unghiul α_{zb} - unghi rotație bază
- ◆ unghiul α_{zs} - unghi rotație sursă
- ◆ unghiul α_y - unghi de elevație
- ◆ h - înălțimea consolei surselor față de planul orizontal de așezare.
- ◆ d - distanța dintre surse.

se vor determina coordonatele x, y, z ale punctelor țintă M după cum urmează :

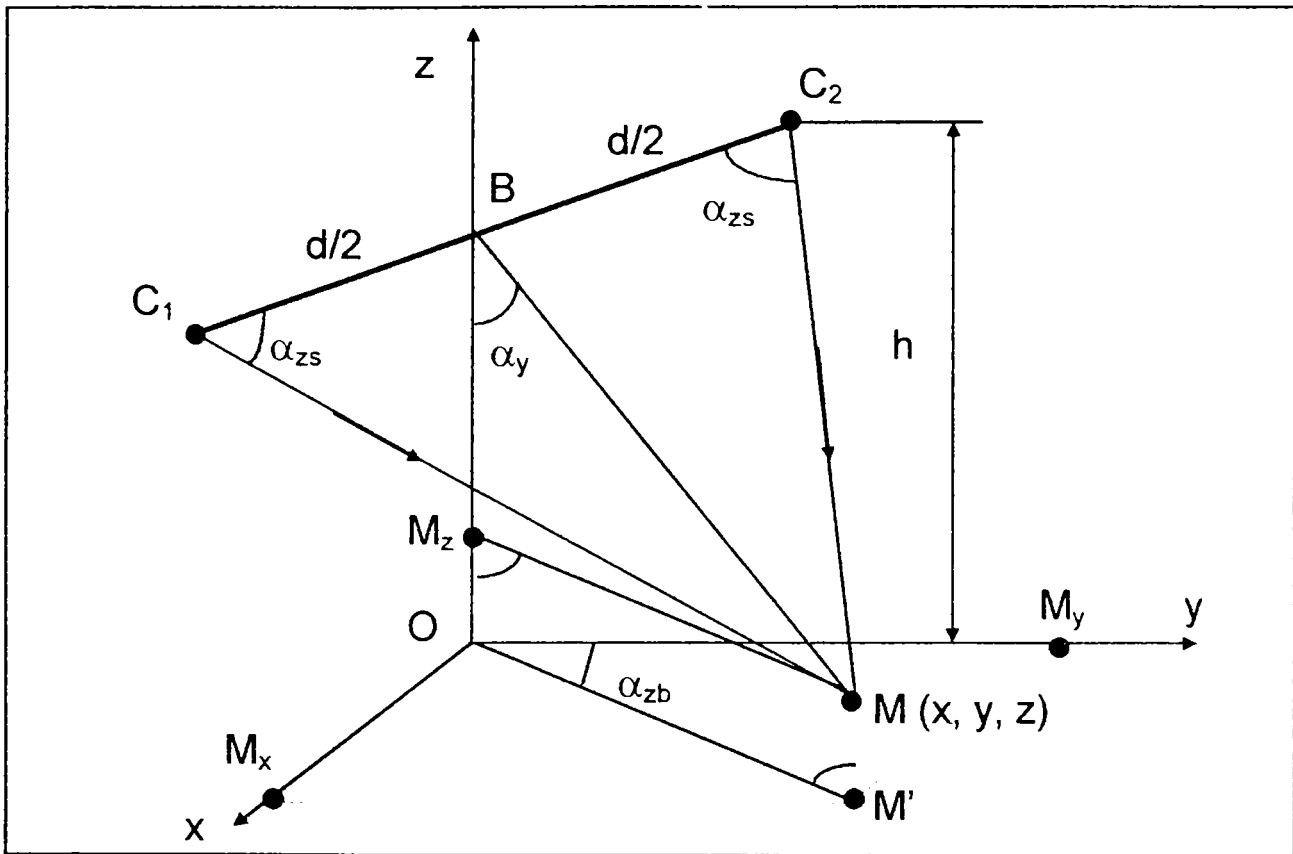


Figura 4.25.

Modelul geometric al instalației cu două surse laser având rotații simetrice.

Se alege sistemul de referință al instalației cu axa z trecând prin coloana verticală, iar planul de așezare devine xOy .

Astfel în triunghiul BC_1M se obține valoarea segmentului BM aplicând relația :

$$\frac{BM}{BC_1} = \operatorname{tg} \alpha_{zs} \quad (4.68)$$

din care rezultă :

$$BM = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_{zs} \quad (4.69)$$

La fel în triunghiul BMM_z se obține relația :

$$\frac{BM_z}{BM} = \cos \alpha_y \quad (4.70)$$

de unde rezultă :

$$BM_z = BM \cdot \cos \alpha_y = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \cdot \cos \alpha_y, \quad (4.71)$$

$$MM' = M_z O = BO - BM_z = h - \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \cos \alpha_y, \quad (4.72)$$

dar : $MM' = z$ deci $z = h - \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \cos \alpha_y, \quad (4.73)$

În continuare, în triunghiul BM_zM se obține relația :

$$\frac{MM_z}{BM} = \sin \alpha_y, \quad (4.74)$$

de unde rezultă :

$$MM_z = BM \sin \alpha_y = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \sin \alpha_y, \quad (4.75)$$

iar în triunghiul $M'OM_y$ se obține relația :

$$\frac{OM_y}{OM'} = \cos \alpha_{xy}, \quad (4.76)$$

de unde rezultă :

$$y = OM_y = OM' \cos \alpha_{xy}, \quad (4.77)$$

dar:

$$OM' = MM_z$$

și deci :

$$y = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \sin \alpha_y \cos \alpha_{xy}, \quad (4.78)$$

În triunghiul $M'OM_y$ se poate scrie relația :

$$x = M'M_y = OM' \sin \alpha_{xy} = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_x \sin \alpha_y \sin \alpha_{xy}, \quad (4.79)$$

și deci :

$$\bar{x} = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha_{zs} \sin \alpha_y \sin \alpha_{zh} \quad (4.80)$$

Dacă se dorește determinarea orientării unui corp de referință, se vor viza trei puncte țintă M_1, M_2, M_3 ale acestuia aflate pe una din fețele plane după cum reiese din figura 4.26.

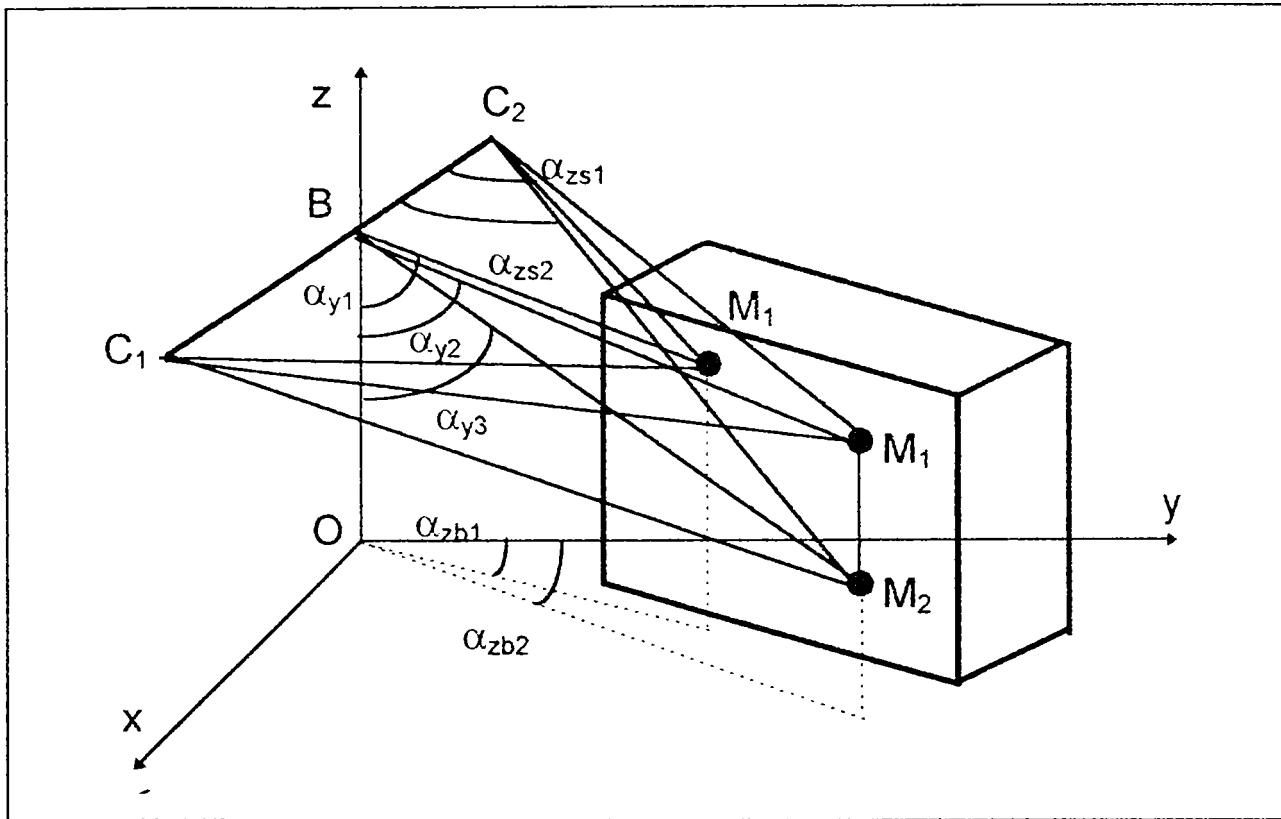


Figura 4.26.

Modelul geometric al determinării situării unui corp de probă cubic.

Cu formulele generate pentru x, y, z obținute anterior se poate determina poziția și orientarea corpului de probă în raport cu sistemul de referință al instalației scriind ecuația planului ce conține punctele M_1, M_2, M_3 și apoi direcția normalei la acest plan conform relației 4.43.

Având în vedere că realizarea fizică a instalației obligă la asigurarea unor toleranțe de formă, poziție și dimensionale extrem de riguroase și implică soluții tehnologice costisitoare, se justifică orientarea către o variantă constructivă simplificată.

Capitolul 5

CONTRIBUȚII LA ELABORAREA UNOR MIJLOACE ȘI METODE DE MONITORIZARE A NIVELULUI DE CALITATE AL ROBOTULUI INDUSTRIAL ÎN EXPLOATARE

5.1. Necesitatea monitorizării nivelului de calitate al robotului industrial în exploatare.

5.1.1. Factorii ce influențează nivelul de calitate al RI.

Pornind de la faptul că robotul industrial este un hipersistem, rezultă că factorii ce acționează în sensul alterării indicatorilor de calitate sunt numeroși. Schematic situația este prezentată în continuare (vezi fig.5.1):

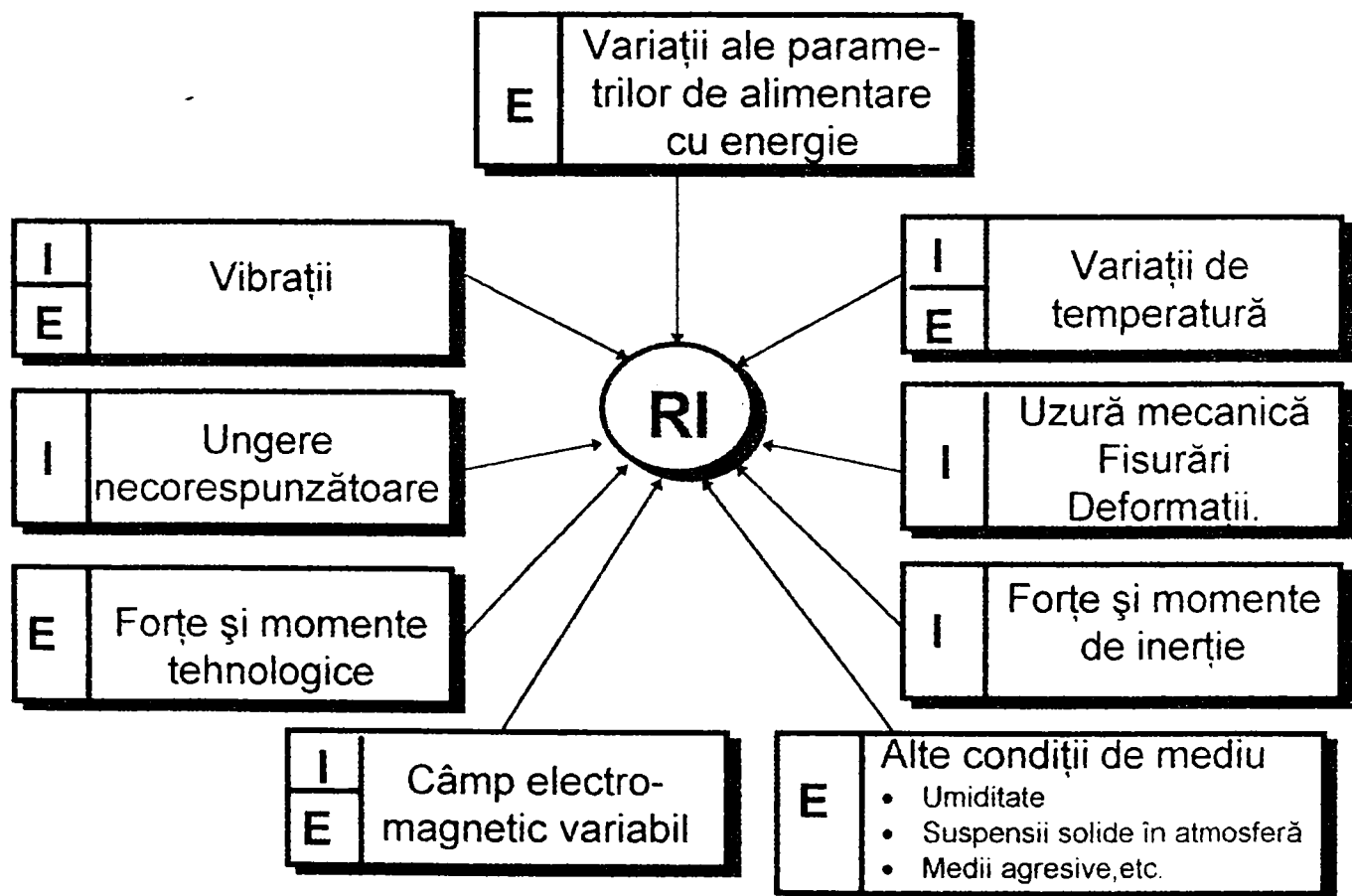


Figura 5.1.
Influența factorilor interni și externi asupra RI.

În schemă, s-au simbolizat acțiunile externe cu E și cele interne cu I. Se pune problema limitării efectelor nefavorabile ale acestora.

După cum se vede în schema anterioară este dificil să se urmărească evoluția fiecărui factor perturbator. Este eficient, în schimb, să se monitorizeze indicatorii de calitate și să se intervină doar în situația în care gradientul de alterare al acestora devine important.

Este deasemenea de interes, să nu fie necesară oprirea robotului pentru verificări, mai ales în situația în care unii din factorii perturbatori dispar în starea de repaus a RI.

Ca principiu de lucru se acceptă să se efectueze monitorizarea indicatorilor de calitate importanți, pentru aplicația dată, restul de indicatori nefiind urmăriți.

5.1.2. Efectul monitorizării indicatorilor de calitate ai RI în exploatare.

Efectul monitorizării indicatorilor de calitate se manifestă în plan tehnic și economic.

Prin informațiile complexe pe care le relevă, monitorizarea informează proiectantul și executantul de RI asupra punctelor ce trebuie reconsiderate sau evitate. Deasemenea furnizează informații și beneficiarului asupra regimului de exploatare, asupra mediului de amplasament, asupra răspunderilor specifice ale RI în cadrul procesului tehnologic prin determinarea gradului de încredere conferit acestuia.

Schema din figura 5.2. prezintă aceste aspecte.

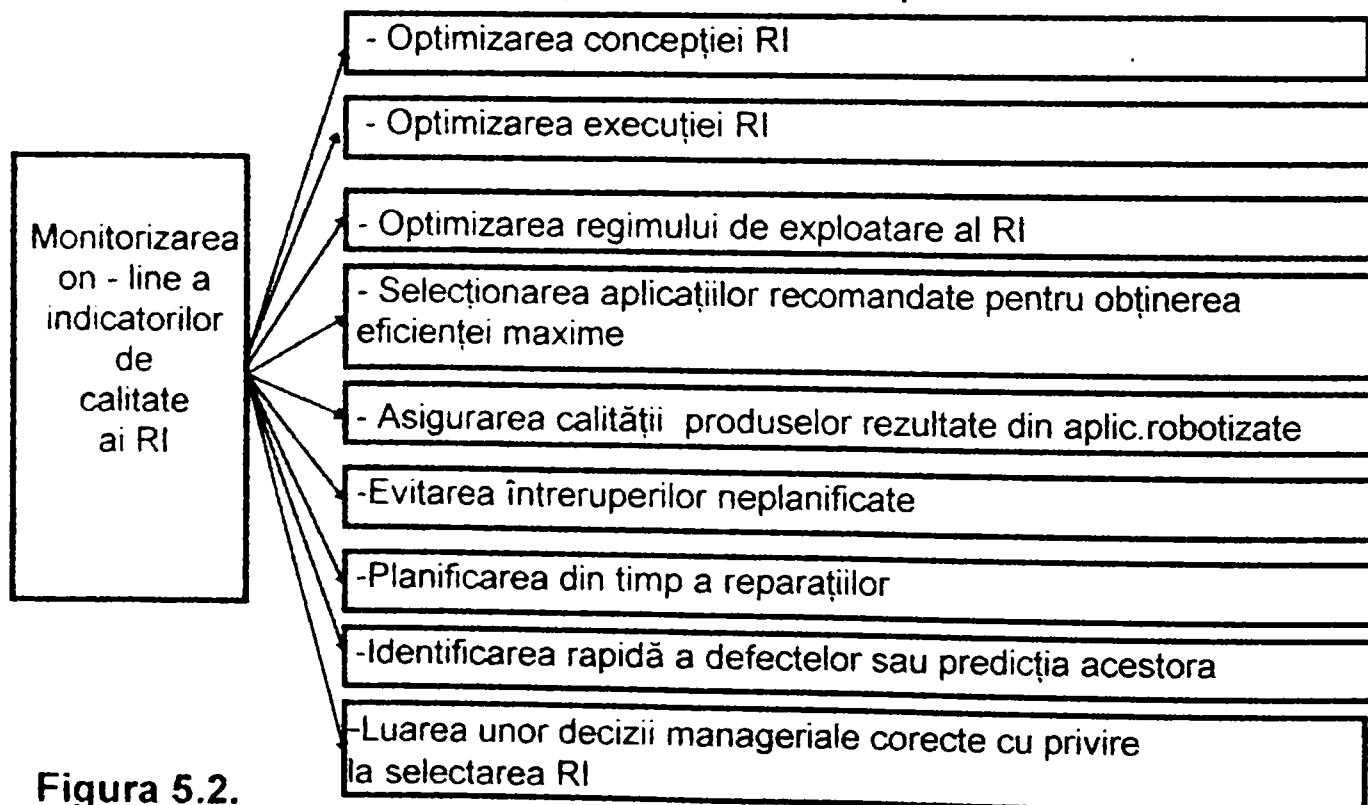


Figura 5.2.
Efectul monitorizării RI.

5.2. Efectul mediului asupra unor indicatori de calitate.

Indicatorii de calitate determinați în faza de concepție a RI, pe cale analitică, trebuie actualizați în momentul introducerii RI în mediul de lucru. Această operație este parțial îndeplinită de calibrarea RI.

Totuși, trebuie avut în vedere că după efectuarea calibrării și pe parcursul exploatării își fac apariția gradual o serie de factori perturbatori ce trebuie cunoscuți și corectați pentru a menține RI în stare de bună funcționare.

Pentru a ierarhiza schimbările ce apar la introducerea RI în mediul de lucru trebuie clasificate modalitățile de acțiune și sursele parametrilor cu efect perturbator, cum sunt:

- ◇ atmosfera ambiantă
- ◇ câmpuri electromagnetice variabile
- ◇ vibrații
- ◇ surse de alimentare, etc.

Acțiunea perturbatoare poate fi:

- ◇ reversibilă
- ◇ ireversibilă.

Caracterul reversibil se manifestă la reapropierea de nivelul de referință pentru temperatură, presiune atmosferică, umiditate.

Caracterul ireversibil este legat în general de fenomene evolutive cum este coroziunea, uzura etc.

Modul de acțiune al perturbațiilor este divers și poate fi structurat în funcție de sursa acestora. Astfel, se pot evidenția următoarele surse:

- ◇ câmpul magnetic
- ◇ câmpul electromagnetic variabil
- ◇ câmpul electrostatic
- ◇ câmpul termic.

Faptul că mulți cercetători și autori țin cont de perturbațiile prezentate mai sus este relevat de parametrizarea testelor recomandate de aceștia pentru încadrarea RI. În acest sens ei recomandă:

- ◇ variația sarcinii manipulate
- ◇ măsurarea temperaturii mediului și a elementelor

- ◇ măsurarea nivelului vibrațiilor în mediul ambiant.

Determinând sursele de perturbații, acestea sunt eliminate sau se ține seama prin corecții de prezența acestora.

5.3. Supravegherea menținerii indicatorilor de calitate în timpul aplicației robotizate.

5.3.1. Generalități.

Pornind de la faptul că majoritatea aplicațiilor presupun menținerea indicatorilor geometrici în limitele prescrise, se justifică determinarea unor metode de monitorizare a acestora.

Această acțiune este justificată și de prezența unor manifestări ce realizează diferențierea dintre indicatorii geometrici calculați și cei efectiv realizați, cum sunt:

- ◇ îmbinarea incorectă axială sau radială a cuplelor cinematice;
- ◇ jocul axial sau / și radial în cuple;
- ◇ jocul în transmisia mecanică motor - cuplă motoare;
- ◇ deformări statice și dinamice ale elementelor;
- ◇ determinarea incorectă a lungimii elementelor.

Toate aceste elemente pledează pentru utilizarea unui sistem de măsurare extern, capabil să analizeze rapid și local starea indicatorilor geometrici de calitate. Asupra acestui sistem exterior structurii mecanice nu acționează elemente ale listei prezentate anterior.

Se presupune ca sistemul de măsurare extern să acționeze în punctele critice (puncte de precizie) unde nivelul indicatorilor de calitate este impus.

În afara determinărilor curente în punctele de precizie este necesar să se extindă aria monitorizării ori de câte ori se modifică următorii parametri:

- ◇ sarcina manipulată;
- ◇ regimul de viteze și accelerații;
- ◇ configurația sistemului mecanic;
- ◇ temperatura mediului ambiant cu peste 10°C.

Toate acțiunile de monitorizare trebuie să asigure continuitatea procesului tehnologic și să nu perturbe parametrii acestuia. În continuare pentru a trece la elaborarea mijloacelor și metodelor de monitorizare este necesară stabilirea obiectivelor și a principiului de lucru, după cum urmează:

a). obiective:

- ◇ determinarea situației efectorului final în zonele de control stabilite
- ◇ determinarea regimului de viteze
- ◇ determinarea nivelului de vibrații la efectorul final
- ◇ determinarea termogramei sistemului mecanic
- ◇ determinarea deformării elementelor

b). principiul de lucru recomandat:

- ◇ metode de măsurare non - contact
- ◇ metode cu prelevare și prelucrare în timp real
- ◇ metode statistice, cu prelevare prin sondaj

5.3.2. Mijloace și metode de monitorizare on - line ale indicatorilor geometrici.

5.3.2.1. Mijloace și metode de monitorizare on - line a situației efectorului final al RI.

Pentru a cunoaște situația efectorului final este necesară localizarea poziției și orientării a două segmente de dreaptă, reciproc perpendiculare și a punctului de intersecție al acestora într-un sistem de referință dat . (figura 5.3.)

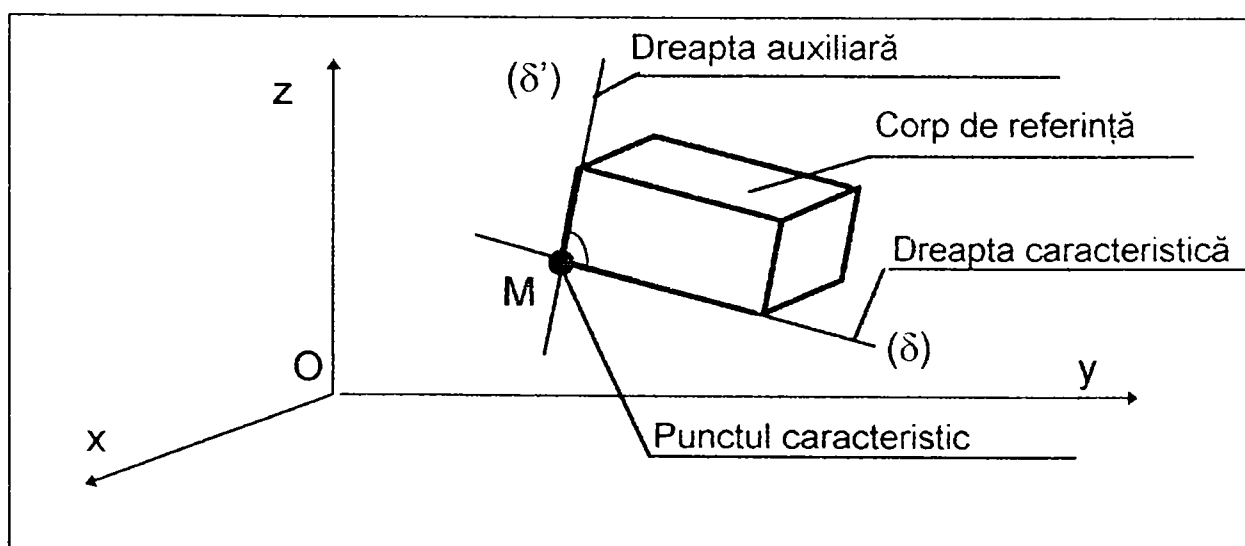


Figura 5.3.
Reprezentarea corpului de referință atașat efectorului final.

După cum se vede în figura 5.3, se apelează la materializarea celor două drepte δ și δ' cu ajutorul unui cub rigidizat de efectul final.

În continuare, pentru stabilirea metodei de monitorizare se prezintă lista procedurilor de măsurare destinate acestui scop.

Tabelul 5.1.

Nr. crt.	Metoda de măsurare pentru determinarea situației în 3D a unui corp	Mijloace folosite
1	2	3
1	Cu contact mecanic, în regim static	cap de măsurare cu traductoare capacitive sau inductive (2+2+2 sau 1+2+3)
2	Cu contact mecanic, în regim dinamic "Peugeot"	cu 3 fire, traductoare potențiometrice
3	Cu contact mecanic, în regim dinamic (propusă de autor)	cu 2 fire, traductoare potențiometrice
4	Cu contact mecanic, în regim dinamic "Snake"	cu braț articulată și traductoare optoelectronice de rotație în cuple
5	Fără contact, în regim dinamic "Universitatea Surrey"	cu scanner optic, cu două surse laser și corp țintă
6	Fără contact, în regim dinamic "National Bureau of Standards"	interferometru laser și corp țintă
7	Fără contact, în regim dinamic "Robot - Check"	două camere CCD și corp cu punct țintă
8	Fără contact, în regim dinamic "LNE"	două camere CCD, iluminare stroboscopică și corp țintă
9	Fără contact, în regim dinamic Bucșan - Băcescu, Univ. "Politehnica" București	corp, sursă lumină, sistem optic (obiectiv - ocular) PSD-uri liniare(2), traductoare incrementale de translație (2)
10	Fără contact, în regim dinamic Rizescu - Rizescu, Univ. "Politehnica" București (determină orientarea corpului de referință)	corp, 3 surse de lumină, matrice CCD + sistem optic
11	Fără contact, în regim dinamic Nițu-Trufașu, Univ. "Politehnica" București	sursă lumină, cameră CCD color, corp de referință

1	2	3
12	Fără contact, în regim dinamic, Mateaș, Facultatea de Mecanică, Timișoara	corp de referință, 4 ținte pe corp (fotodiode cu diafragmă), sursă laser, două oglinzi mobile, două traductoare incrementale de rotație
13	Fără contact, în regim dinamic, Mateaș, Facultatea de Mecanică, Timișoara	corp de referință (4 ținte), camera CCD alb - negru și prelucrarea imaginii

Din analiza tabelului rezultă următoarele:

- ◇ metodele incipiente (1980 - 1990) presupun contact mecanic și deci nu sunt compatibile cu monitorizarea on - line.
- ◇ metodele bazate pe interferometrie sunt complexe și sensibile la perturbații.
- ◇ metodele ce folosesc PSD - uri liniare (Bucșan - Băcescu) au o zonă de lucru restrânsă.
- ◇ metodele ce folosesc două surse laser sau două camere CCD sunt excluse de metodele ce folosesc doar unul din aceste elemente.
- ◇ metodele ce folosesc iluminare intermitentă pot fi perturbate de intensitatea iluminării ambientului.

Pe listă rămân metodele ce folosesc o sursă laser sau o cameră CCD (10, 11, 12, 13).

Dintre acestea, metoda ce implică minim de efort financiar impus de achiziția de aparatură, modificarea și adaptarea zonei de lucru este a 13-a din lista propusă de autor.

5.3.2.2. Aplicarea metodei celor patru puncte la monitorizarea RI.

Conform acestei metode determinarea situației celor două segmente de dreaptă δ și δ' și a punctului M deci a cubului de referință se realizează utilizând patru puncte țintă plasate pe acesta și o cameră CCD alb - negru.

Determinând, prin calibrare, distanța de la planul detector la centrul optic al camerei CCD se pot determina unghiurile direcțiilor ce unesc punctele țintă cu centrul optic, cu axele sistemului de referință atașat camerei CCD (vezi Figura 5.4.).

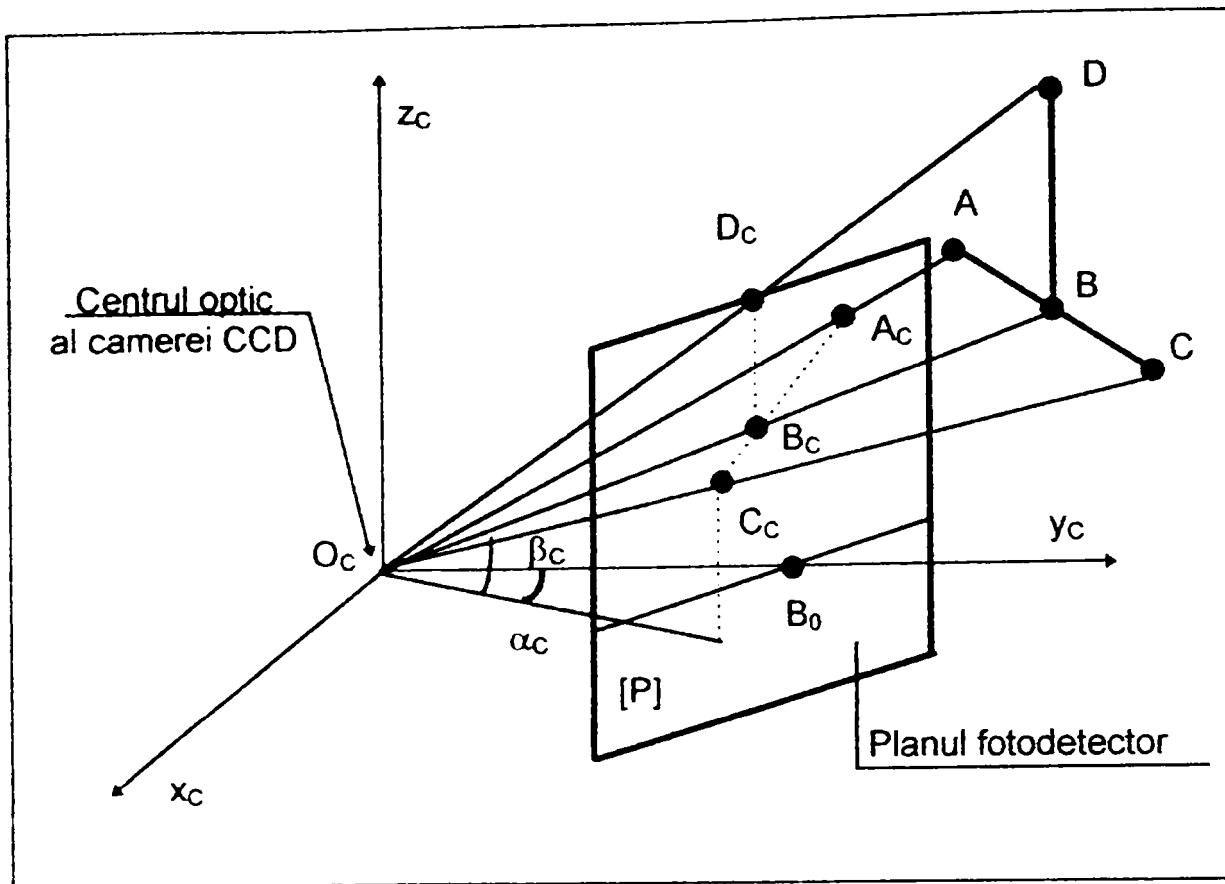


Figura 5.4.

Modelul geometric atașat camerei CCD ce vizează patru puncte țintă pe un corp de referință cubic.

Cunoscând lungimile segmentelor $AB = BC = BD$ și unghiurile $\alpha_A, \beta_A, \alpha_B, \beta_B, \alpha_C, \beta_C, \alpha_D, \beta_D$ se determină cu algoritmul prezentat în § 4.1.2.3 coordonatele punctelor A, B, C, D și deci situarea corpului de referință ce conține punctele țintă în raport cu sistemul de referință al camerei CCD. Printr-o metodă similară camera CCD se raportează la sistemul de referință comun (sistemul de referință al incintei) astfel încât prin intermediul matricilor de transformare să se determine coordonatele punctelor țintă în raport cu acesta.

5.3.2.3. Metodă de calibrare a camerei CCD pentru determinarea parametrilor interni ai acesteia.

Pentru a determina coordonatele punctelor țintă A, B, C, D este necesară cunoașterea distanței planului imagine față de centrul optic al camerei CCD.

În acest sens se propune următoarea metodă de lucru: pe un banc optic prevăzut cu o masă de poziționare cu rezoluție de 0,01 mm se plasează camera CCD, respectiv corpul de referință cu un punct țintă A.

Montajul utilizat se prezintă în continuare printr-o schemă de principiu (vezi Figura 5.5.) unde:

1. Banc optic;
2. Masă de poziționare;
3. Câmp țintă;
4. Masă de poziționare X, Y;
5. Cameră CCD.

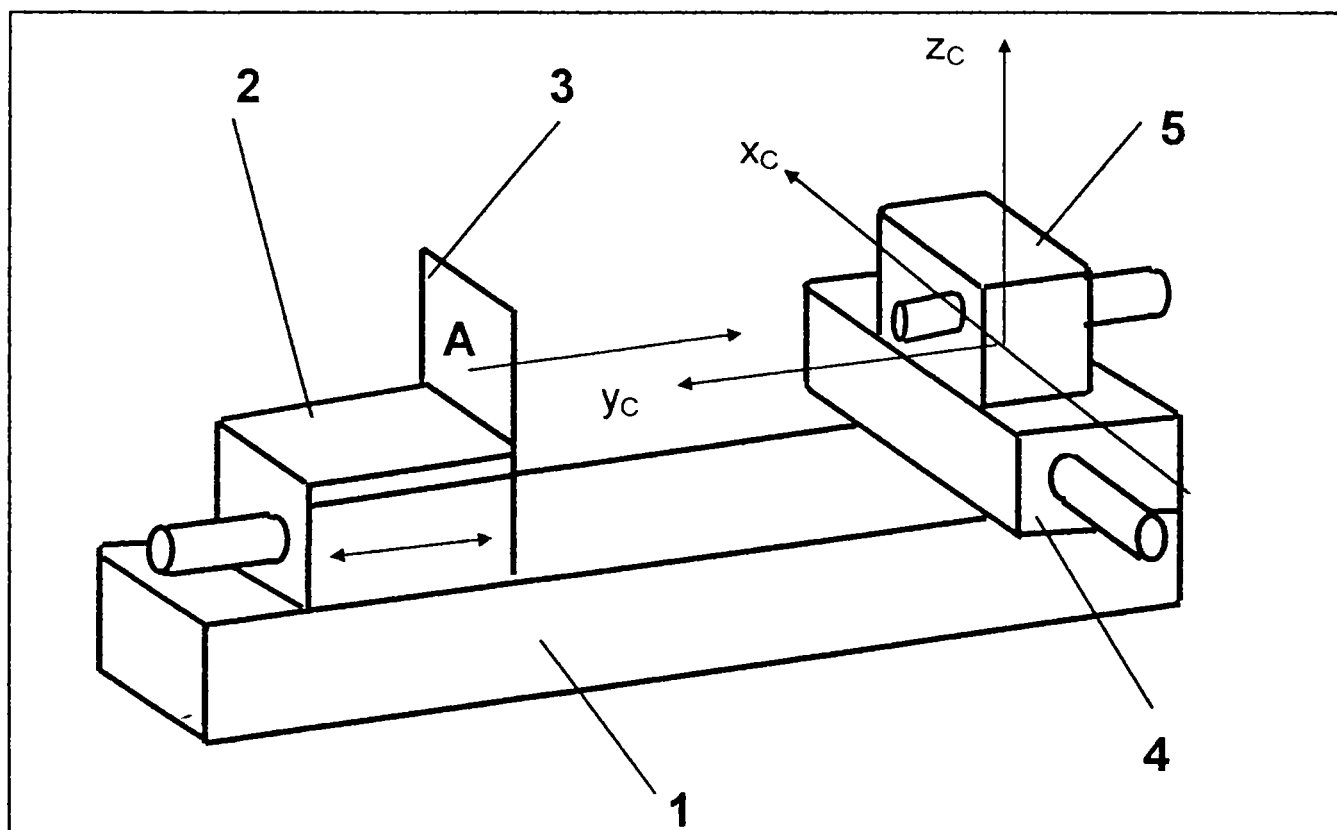


Figura 5.5.
Stand pentru calibrarea camerei CCD.

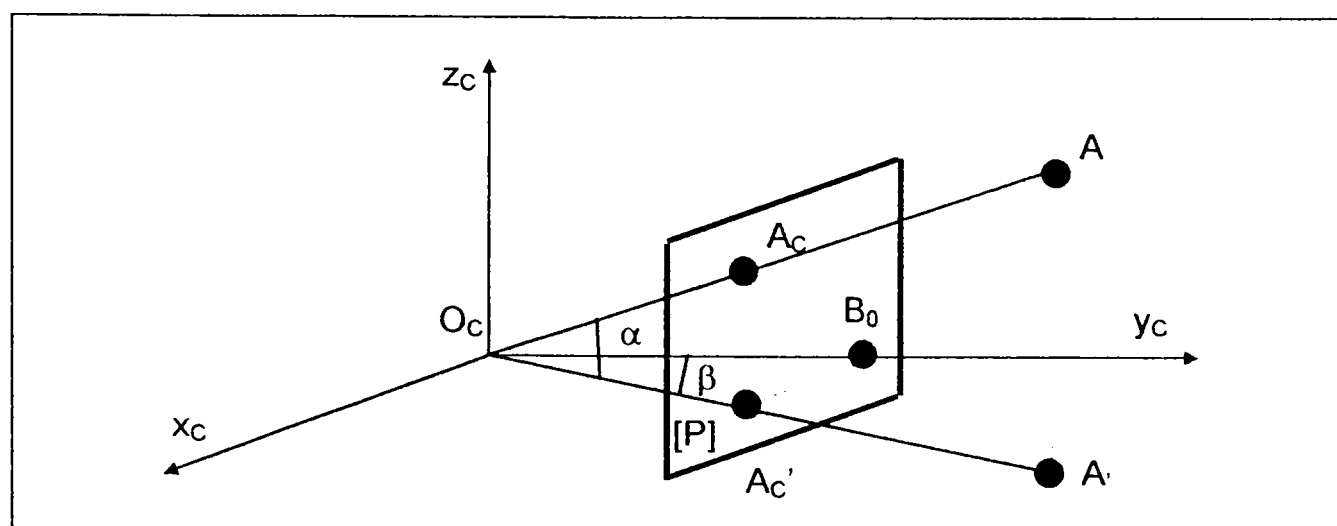


Figura 5.6.
Modelul geometric atașat camerei CCD în situația vizării
unui punct țintă.

În sistemul de referință al camerei CCD se formează imaginea punctului țintă, A_C după cum se vede în figura 5.6. unde se prezintă sistemul de referință atașat camerei CCD, planul fotodetector [P], punctul țintă A și punctul imagine A_C .

Se urmărește determinarea segmentului $\overline{O_C B_0}$.

Pentru aceasta se va opera cu proiecțiile punctelor A și A_C pe planul $X_C O_C Y_C$, rezultând imaginea din figura 5.7. unde $X_F O_F Y_F$ este sistemul de axe atașat planului de fotodetector.

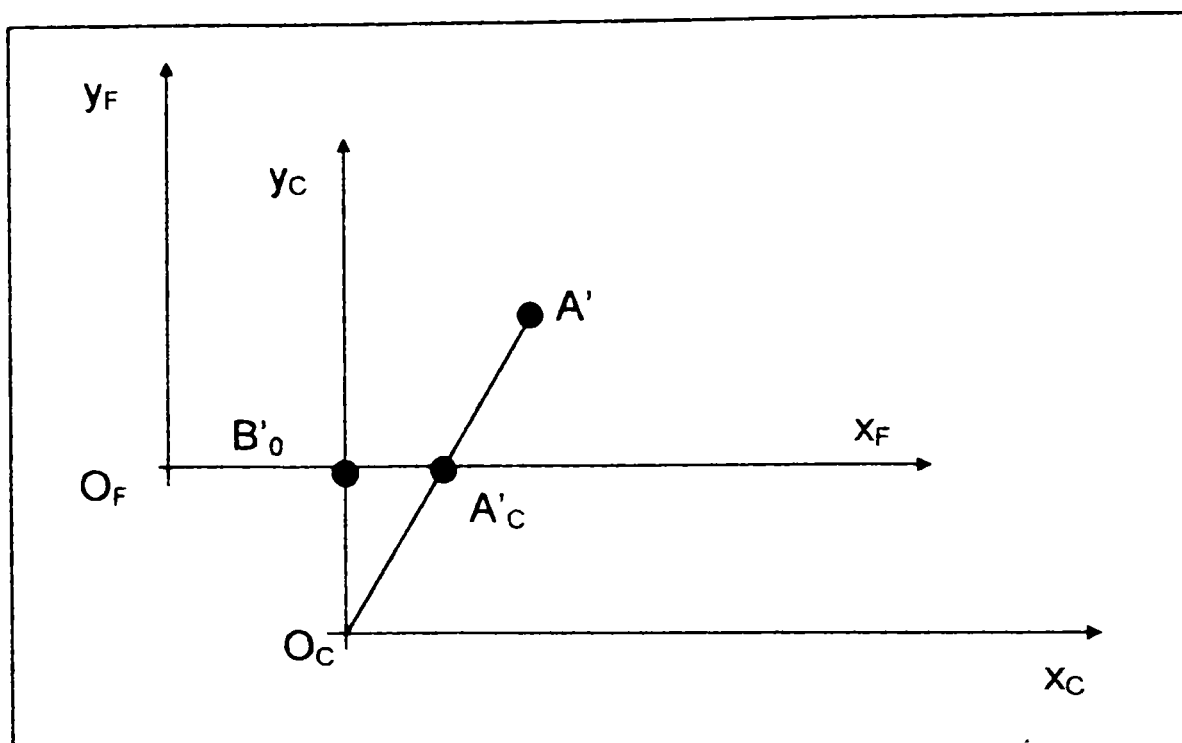


Figura 5.7.

Proiecția punctului țintă în planul XOY al sistemului de referință atașat camerei CCD în urma deplasării acesteia după axa x respectiv y.

Punctele A_C' , B_0' din planul de fotodetector sunt localizate prin numărul de pixeli pe direcția x și z notat cu n (n_x , n_z).

Pentru a determina numărul de pixeli pe axa x_F corespunzător punctului B_0 , se deplasează camera în direcție xx' și yy' până în momentul în care deplasarea pe yy' nu mai produce modificarea numărului de pixeli pentru punctul A. În acest moment $n_{x'} = n_{x_0}$.

În continuare se execută o deplasare în direcția x și apoi o singură deplasare în direcția cunoscută \bar{y} . Se obține configurația din figura 5.8.

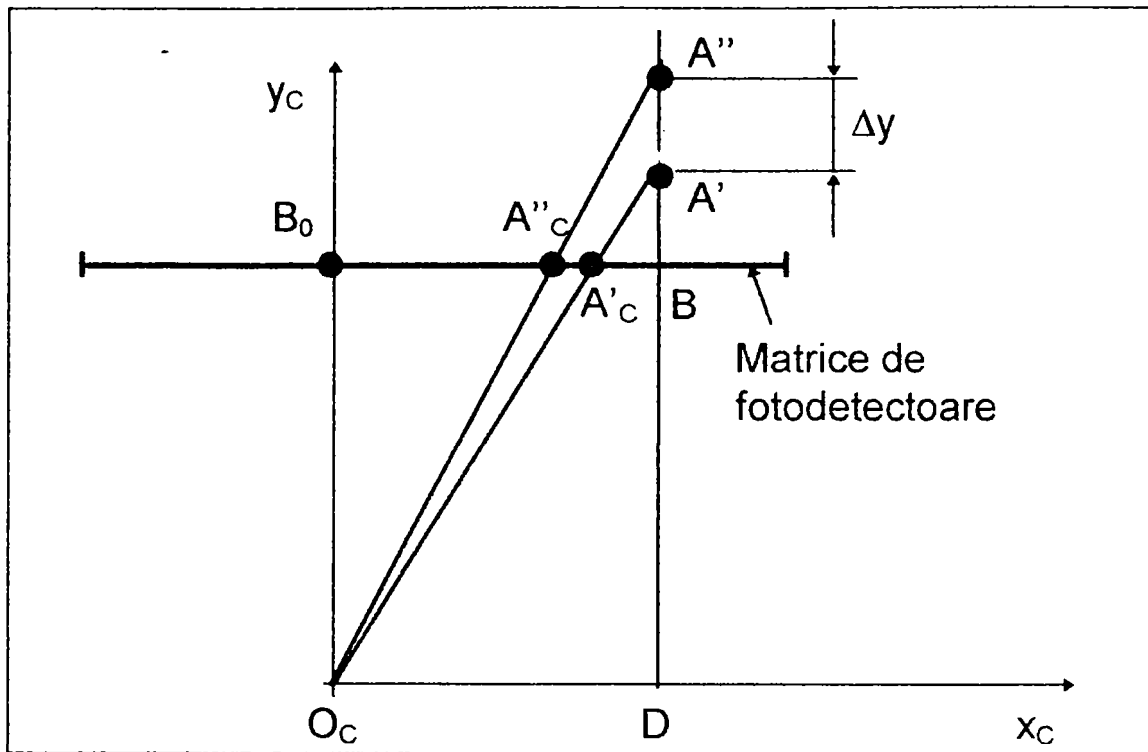


Figura 5.8.
Modelul geometric atașat camerei CCD în cazul deplasării țintei cu distanța Δy .

Pentru figura 5.8. se cunosc:

$n_{x_L}, n_{x_{A'_C}}, n_{x_{A''_C}}$ - număr de pixeli corespunzător punctelor $B_0,$

A''_C și A'_C .

$O_C D$ - realizat cu masa de poziționare.

$A' A''$ - realizat cu masa de poziționare.

Aplicând în triunghiul $A'' O_C D$ teorema asemănării :

$$\frac{\Delta y + A' B}{\Delta y + A' B + B D} = \frac{A'' B}{O_C D} \quad (5.1)$$

și în triunghiul $A' A'_C B$, deasemenea teorema asemănării:

$$\frac{A' B}{A' B + B D} = \frac{A'_C B}{O_C D} \quad (5.2)$$

cu notațiile :

$$A'_C B = x_1; \quad A''_C B = x_2; \quad A' B = a; \quad B D = b; \quad O_C D = c.$$

se obține în final sistemul de ecuații :

$$\begin{cases} \frac{\Delta y + a}{\Delta y + a + b} = \frac{x_2}{c} \\ \frac{a}{a + b} = \frac{x_1}{c} \end{cases} \quad (5.3)$$

din care rezultă:

$$a = \frac{\Delta y \cdot x_1 (c - x_2)}{c(x_2 - x_1)} \quad (5.4)$$

$$b = \frac{\Delta y \cdot x_1 (c - x_2)}{c(x_2 - x_1)} \cdot \frac{c - x_1}{x_1} = \Delta y \frac{(c - x_1)(c - x_2)}{c(x_2 - x_1)}$$

Convertirea numărului de pixeli în milimetri se face prin cunoașterea dimensiunilor unei celule fotodetectoare; de exemplu pentru camera CCD tip 43 C celula are dimensiunile $9,6 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \times 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$.

Prin urmare coordonatele x_1 și x_2 exprimate ca număr de pixeli se transformă în lungimi prin înmulțirea cu l_H , dimensiunea unui pixel pe orizontală. În final, se obține relația pentru b de forma :

$$b = \Delta y \cdot \frac{(c - l_H \cdot x_1)(c - l_H \cdot x_2)}{l_H(x_2 - x_1) \cdot c} \quad (5.5)$$

În continuare se va trece la determinarea unghiului razei vectoriale a punctului țintă în raport cu axa z respectiv planul $x_c O_c y_c$ figura 5.9.

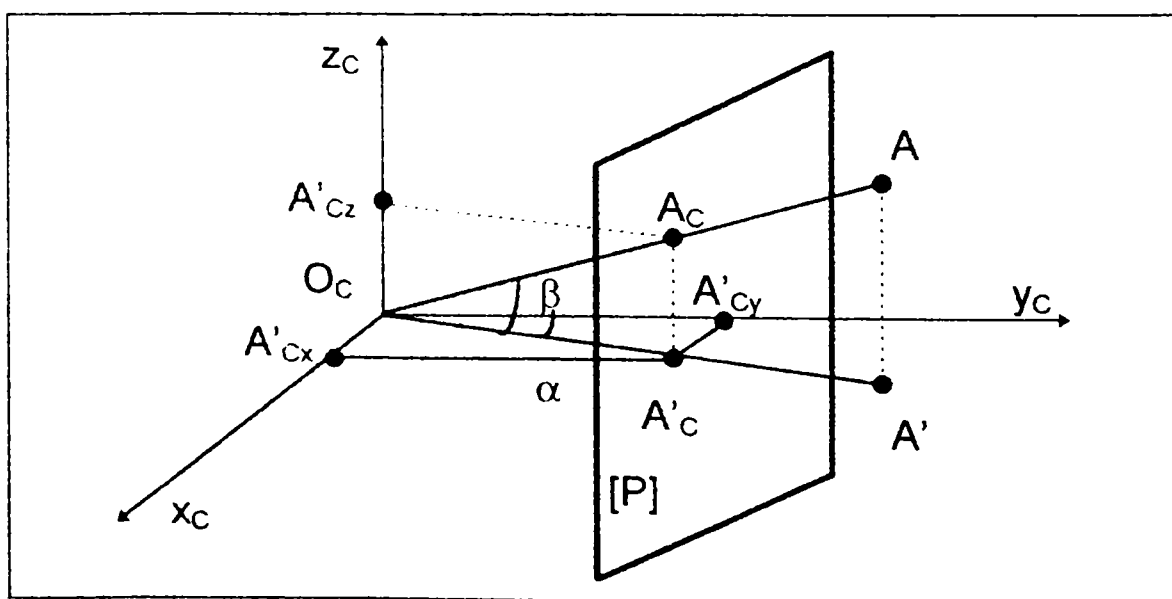


Figura 5.9.

Determinarea unghiurilor formate de raza vectoriale a punctului țintă A în raport cu axa z și planul $x_c O_c y_c$.

Astfel, punctul A are corespondentul A_C în planul fotodetectorilor camerei CCD.

Punctul A_C va avea coordonatele x_C, y_C, z_C după cum urmează :

x_C - numărul de pixeli pe orizontală;

y_C - distanța planului de fotodetector la centrul optic, b ;

z_C - numărul de pixeli pe verticală.

Cu ajutorul coordonatelor x_C, y_C, z_C se determină unghiurile de azimut și elevație (α și β) ale razei vectoriale a punctului țintă cu relațiile:

$$\alpha = \arctg \frac{x_C}{y_C} \quad (5.6)$$

$$\beta = \arctg \frac{z_C}{\sqrt{x_C^2 + y_C^2}} \quad (5.7)$$

Folosind corpul de referință cu cele patru puncte având distanțele cunoscute între ele și determinând unghiurile α și β corespunzătoare se pot determina în final coordonatele punctelor țintă în raport cu sistemul de referință al camerei CCD folosind algoritmul prezentat în § 4.1.2.3.

De la acest sistem de referință se trece la orice alt sistem de referință util (al robotului, al "lumii").

5.3.3. Mijloace și metode de monitorizare a nivelului de menținere a vitezei programate.

Robotul industrial este dotat cu traductoare de deplasare în cuplele motoare și deci este capabil să măsoare viteza deplasărilor relative produse la nivelul acestora. Prin intermediul analizei cinematice se obține viteza unui punct al efectorului final.

Totuși, datorită unor factori cum sunt :

- ◇ jocurile în cuple
- ◇ deformațiile mecanice și termice
- ◇ determinarea aproximativă a dimensiunilor schemei cinematice

este necesară prezența unui sistem de monitorizare a vitezei din exterior în raport cu care parametri arătați mai sus nu acționează.

În general metodele fără contact prezentate în paragraful 5.3.2.1. se pretează la determinarea vitezei punctului caracteristic.

Astfel, obținând poziția punctului caracteristic în funcție de timp, prin derivare în raport cu acesta se obține evoluția vitezei punctului.

Pornind de la ideea acceptării unui procedeu indirect, pe lista soluțiilor posibile pătrunde și monitorizarea accelerației iar apoi prin integrare, determinarea regimului de viteze.

Analizând informațiile provenite din exploatare, se constată necesitatea determinării cu preponderență a gradului de menținere a vitezei medii programate. Pentru aceasta este suficient să se sesizeze trecerea efectorului final prin două puncte de control aflate la distanță riguros cunoscută.

Din acest moment problema se reduce la realizarea unui senzor cu câmp de acțiune extrem de îngust. Considerând viteza medie uzuală pentru translație de 1000 mm/s rezultă că un câmp de acțiune al senzorului sub 1mm determină o rezoluție în timp de 10^{-3} s ceea ce este suficient pentru majoritatea aplicațiilor obișnuite.

Tipurile de sesizoare aplicabile în acest caz pot fi studiate în tabelul 5.2. Din analiza tabelului reiese că un sistem optic este net avantajos în raport cu celelalte posibilități prezentate.

Tabelul 5.2.

Nr.crt.	Tipul senzorului	Observații legate de aplicația dată
1	Microîntrerupător	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Necesită forță de acționare ◇ Apare uzura
2	Inductiv	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Răspunsul depedent de natura materialului și frecvența de lucru
3	Capacitiv	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Răspunsul dependent de construcția condensatorului
4	Magnetorezistiv	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Sensibil la temperatură
5	Optic <ul style="list-style-type: none"> ◇ tip barieră ◇ tip reflector 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Fără contact mecanic ◇ Precis ◇ Rapid ◇ Stabil
6	Instalație cu fir	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Cu contact mecanic ◇ aplicabilă numai pentru axe de translație
7	Piezometric (accelerometru)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Amplasat pe efectorul final ◇ Necesită instalație complexă și integrarea rezultatelor pentru obținerea profilului de viteze
8	Detector cu "lamă" de lumină	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Fără contact ◇ Răspuns în timp real ◇ Rezoluție adecvată

Un astfel de sistem include :

- a) sursa de radiație în spectrul vizibil sau IR;
- b) subansamblul de poziționare a receptoarelor;
- c) două sau mai multe receptoare;
- d) diafragme.

Receptoarele utilizate sunt :

- a) fotorezistoare;
- b) fototranzistoare;
- c) fotodiode singulare sau în matrice.

Schema de principiu a unui astfel de sistem este prezentată în figura 5.10.

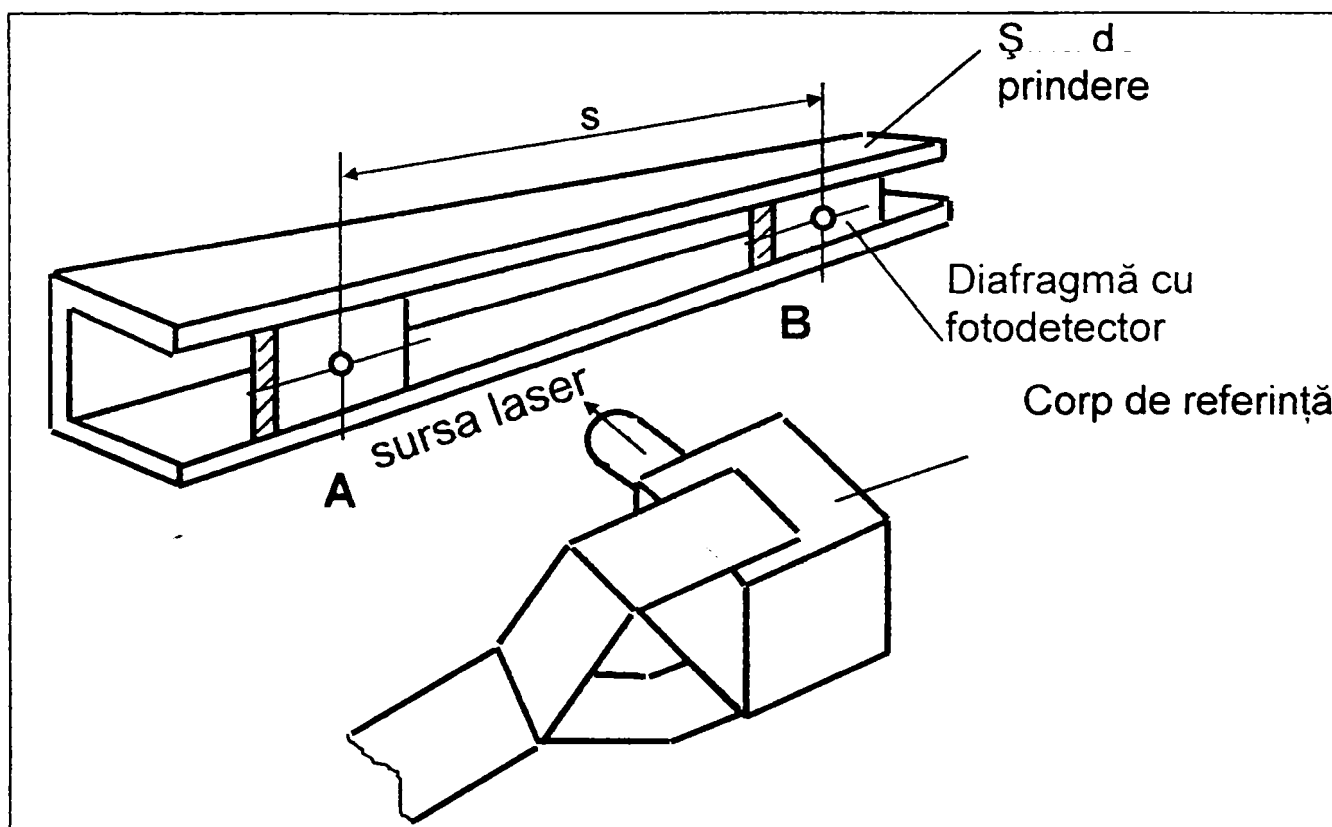


Figura 5.10.

Sistem opto-electronic de determinare a vitezei efectorului final de-a lungul unei traiectorii rectilinii.

Rigla cu țintele receptoare A și B se plasează fie în lungul unei porțiuni de traiectorie rectilinie fie astfel încât punctele A și B să se afle pe o traiectorie oarecare.

Prin cronometrarea timpului consumat de la atingerea țintei A până la atingerea țintei B se poate determina viteza medie și timpul mediu necesar efectuării unui ciclu de lucru prin cunoașterea spațiului parcurs (s).

Dacă se cere determinarea continuă a vitezei pe traiectorie, se va utiliza metoda celor patru puncte prin care se va calcula situarea efectorului final cu un anumit tact, trecându-se apoi la evaluarea vitezei prin cunoașterea spațiului parcurs în intervalul aferent unui tact, Δt .

5.3.4. Mijloace și metode de monitorizare a nivelului de vibrații la efectorul final.

5.3.4.1. Importanța monitorizării nivelului de vibrații al RI.

Pentru a determina importanța monitorizării nivelului de vibrații trebuie evidențiată legătura dintre următoarele elemente (noțiuni) în cadrul procesului de monitorizare :

- ◇ defectarea și modul de manifestare;
- ◇ depistarea defectului;
- ◇ înlăturarea defectului;
- ◇ supravegherea eliminării defectului.

În majoritatea situațiilor, apariția unui defect la nivelul sistemului mecanic are ca efect modificarea parametrilor vibrațiilor la efectorul final al robotului.

Dacă se stabilește că modificarea apărută în prezența unui anumit defect este repetabilă și cuantificabilă, ea devine element de diagnosticare. Efectele tehnice și economice ale diagnosticării au fost prezentate în Capitolul 2.

Deci, monitorizarea nivelului de vibrații devine importantă prin posibilitățile pe care le oferă, cum sunt :

- a) evidențierea și localizarea defectului,
- b) acțiunea de diagnosticare prin vibrații.

Din măsurarea vibrației la efectorul final se obțin informații despre :

- a) complianța structurii mecanice
- b) jocurile existente în cuplele cinematice ale sistemului mecanic
- c) nivelul presiunii acustice
- d) forțe ce solicită sistemul mecanic.

Pentru a obține date despre noțiunile de mai sus se determină următorii parametri ai vibrației :

- | | | |
|--|--|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> a) amplitudinea b) viteza c) accelerația | | <p>derivare</p> |
|--|--|-----------------|

Accesul la informația despre vibrație se poate face cu oricare dintre traductoarele de :

- ◇ deplasare - vibrometru
- ◇ viteză - traductoare de viteză
- ◇ accelerație - traductoare de accelerație

Majoritatea traductoarelor utilizate pentru determinarea accelerației vibrației sunt de tip piezoelectric.

5.3.4.2. Tipuri de traductoare utilizate la determinarea nivelului de vibrații.

Traductoarele de deplasare sunt de tip non - contact realizate ca oscilator de frecvență. Câteva exemple se pot vedea în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3.

Firma HOTTINGER & BALDWIN

Tip	Deplasare max Deplasare min [mm]	Tensiune [V] Frecvență [kHz]	Inductivitate [mH] Rezistivitate [Ω]	Domenii de temperatură [°C]
Tr 4	0,45	2....6	2.5	-160...+120
	$2 \cdot 10^{-4}$	5	2 . 90	
Tr 8	0,6	2....6	2 .3,5	-160...+120
	$1 \cdot 10^{-3}$	5	2 .26	
Tr 10	0,6	2....6	2 .8	-160...+120
	$2 \cdot 10^{-4}$	5	2 .33	
Tr 20	0,7	2....6	2 .5	-160...+120
	$1 \cdot 10^{-4}$	5	2 .50	

În tehnică se preferă măsurarea accelerației obținând prin integrare viteza și amplitudinea și evitând amplificarea perturbațiilor de înaltă frecvență introduse de derivare.

Traductoarele de deplasare utilizate la măsurarea vibrațiilor au următoarele caracteristici :

- a) măsoară deplasări relative
- b) semnalul de ieșire asigură aproximativ 8mV / μ m
- c) sensibilitatea depinde de distanță, urme, amprente pe corpul testat.

Ca urmare, aria de aplicare a acestora este restrânsă și utilizarea lor nu se recomandă în unele situații.

Traductoarele pentru viteze sunt alcătuite din bobine cu miez magnetic (bobina fixată pe corpul investigat).

Aceste traductoare sunt caracterizate prin :

- a) domeniu de frecvență 8Hz - 2kHz.
- b) instalare simplă
- c) sensibilitate la uzura elementelor aflate în contact
- d) sensibilitate la temperatură.

Ca urmare, și aceste traductoare trebuie utilizate selectiv.

Traductoarele pentru accelerație sunt cele mai des utilizate și au următoarele caracteristici :

- a) nerecomandate la frecvențe joase (dacă prelevarea se face piezoelectric)
- b) sensibile la condițiile de fixare
- c) prin dispozitive de integrare pot furniza în valoare absolută viteze și deplasări.

Unele din caracteristicile numerice ale acestora se pot observa în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4.

BRÜEL & KJAER

Tip	Sensibilitate pC / ms ⁻² mV / ms ⁻²	Domeniul de frecvență [Hz]	Rezonanță [kHz]	Temperatură max. [°C]	Obs.
8308	1 ~ 0,9	1...9000	30	180...400	
8310 5848	1 ~ 0,55	1...9000	30	400	Cablu integrat
8315	10 ~ 2,5	0,1...8400	28	250	
8317	3,16	0,2...7800	26	125	Cu preampl
5674 5704	10 ~ 2,5	1...10000	30	250 125	Cu prot de cablu
4384	1 ~ 0,8	0,1...12600	42	250	

În vederea alegerii corecte a traductorului folosit trebuie avute în vedere câteva criterii, după cum urmează :

- a) parametrii de măsurat - deplasare, viteză, accelerație
- b) impedanța mecanică
- c) sensibilitatea și exactitatea determinărilor
- d) frecvența de lucru
- e) condiții de mediu

Pentru monitorizarea nivelului vibrațiilor la robotul PUMA 600, pe baza criteriilor enunțate, s-a ales un traductor accelerometric KD 23 fabricat de firma MMF recomandat pentru obiecte cu masă mare.

Acest traductor are următoarele caracteristici tehnice:

a)sensibilitatea	10 mV/ms ⁻² ;
b)capacitatea internă	2500 pF;
c)frecvența de rezonanță	15kHz;
d)frecvența de lucru	2,5...3000Hz;
e)accelerația minimă	0,004 ms ⁻² ;
f)accelerația maximă	3000 ms ⁻² ;
g)masa totală	70g.

Rezultatele determinărilor efectuate cu acest traductor se vor prezenta în Capitolul 7.

5.3.4.3. Modul de exploatare a informațiilor provenite din măsurarea vibrațiilor la RI.

Informațiile despre nivelul vibrațiilor se preiau în următoarele cazuri:

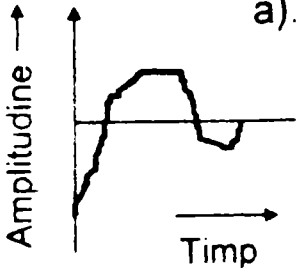
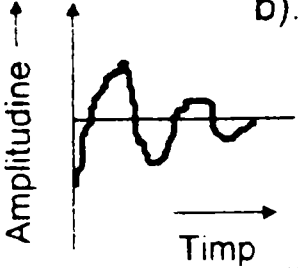
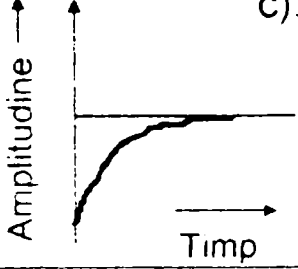
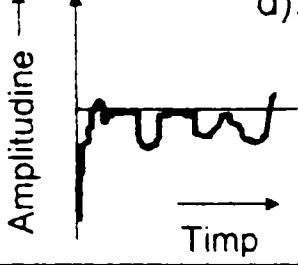
1. în faza de regim (deplasări cu viteză constantă);
2. la opriri, porniri, schimbări de direcție sau viteză;
3. în prezența unei surse de vibrații externe controlată.

Cazul 1 este recomandat atunci când se urmărește determinarea vitezei minime pentru evitarea fenomenului de stick - slip evidențiat prin aspectul vibrațiilor măsurate la efectorul final.

Rezultatele experimentale în legătură cu acest aspect vor fi prezentate în Capitolul 7.

Cazul 2: prof. H.J.Warnecke [W2] a studiat modul tipic de comportare al RI în situația producerii unor modificări bruște de traiectorie sau viteză. Acesta este evidențiat în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5.

Forma vibrației	Direcția	Factori de influență	Cauze
 <p>a).</p>	X, Y, Z	Amplitudine și frecvență	◇ deformații
 <p>b).</p>	X, Y, Z	Amplitudine și frecvență	◇ absența excitației externe ◇ absența reglării
 <p>c).</p>	Numai pe direcția de mișcare	Caracteristici de reglare	◇ reglarea vitezelor și pozițiilor
 <p>d).</p>	Numai pe verticală	Sarcină manipulată	◇ amortizare gravitațională ◇ corecția poziției

Cazul 3 este utilizat pentru determinarea comportării dinamice a RI, stabilirea gradului de amortizare și a valorii frecvenței de rezonanță a sistemului. Pentru aceasta se utilizează un vibrator electrodinamic amplasat pe robotul industrial sau în mediul ambiant și traductoare accelerometrice cu amplificatoare și înregistratoare atât pentru robot cât și pentru sursa de vibrații. Schema utilizată este prezentată în continuare în figura 5.11.

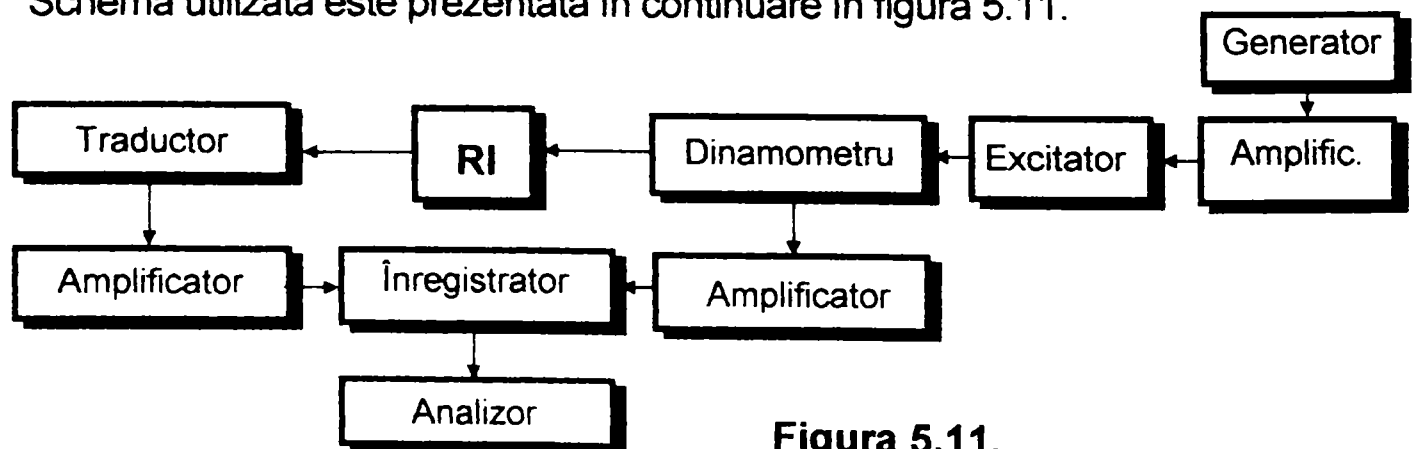


Figura 5.11.

Instalație pentru determinarea comportării dinamice a RI.

5.3.5. Monitorizarea temperaturii elementelor sistemului mecanic și de acționare al RI.

5.3.5.1. Importanța monitorizării termice a RI.

Ca și în cazul vibrațiilor, monitorizarea temperaturii conduce la depistarea și izolarea unor defecte și la efectuarea diagnosticării.

Analizând sursele de creștere a temperaturii în cadrul sistemului mecanic și de acționare al RI, se evidențiază suma fenomenelor depistabile prin intermediul termografierii.

Aceste fenomene sunt :

- ◇ de natură mecanică
 - frecări nepermise
 - ungere insuficientă
 - suprasolicitări
 - deformații prin fenomenul de oboseală
 - fisuri
 - corpuri abrazive
- ◇ de natură electrică
 - contacte imperfecte
 - răcire insuficientă
 - depășirea numărului de anclanșări / h
 - supraîncărcare
- ◇ de natură hidro-pneumatică
 - neetanșeități
 - strangulări

Este evidențiată importanța economică a cunoașterii din timp a acestor fenomene, evitarea și înlăturarea lor pe baza monitorizării termice predictive.

Pe lângă acest aspect este subliniat și faptul că pentru buna funcționare a RI trebuie cunoscut momentul atingerii regimului termic stabil precum și nivelul termic global ce acționează cu un procent de 10 - 20% asupra constituirii inexactității de situare a efectorului final.

Monitorizarea termică poate fi executată în regim:

- a) monopunct
- b) multipunct
- c) global (termografiere)

Metodele monopunct și multipunct acceptă traductoare de tip :

- a) rezistiv
- b) semiconductor / termistor

- c) termocuplă (generator)
- d) cu cuarț

și presupune realizarea contactului mecanic cu măsurandul.

Metoda globală este servită de :

- Pirometria de radiație totală
 de bandă îngustă

și nu presupune contact mecanic cu măsurandul.

Din cele prezentate mai sus se rețin traductoarele cu contact mecanic tip termocuplu și pirometria în IR.

Ca exemplu pentru monitorizarea cu termocuplă se prezintă instalația realizată de firma DATA PAQ din Wilmington cu următoarele caracteristici (TPAQ) (figura 5.12) :

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| a) număr de canale | 8 |
| b) domeniul de temperaturi | 0 - 1370 ⁰ C |
| c) memorie | 16.000 puncte |
| d) eșantionare | 5 s |
| e) exactitate | 0,1 ⁰ C |

Pentru monitorizarea în IR se prezintă realizarea firmei AGEMA privind termografierea unor lagăre de mare importanță (vezi Figura 5.13).

Ca alternativă la utilizarea traductoarelor tip termocuplă se prezintă schema de monitorizare în 16 puncte utilizând traductoare rezistive, (RTD) concepută de National Instruments Corporation (vezi Figura 5.14).

În alcătuirea schemei intră următoarele elemente:

- a) 16 traductoare rezistive de 100 Ω
- b) 4 module SCXI 1121
- c) 1 șasiu SCXI 1000
- d) 1 placă PC DAQ AT - MIO -16 F - 5
- e) cabluri ecranate SCXI - 1345
- f) 4 blocuri terminale SCXI 1320
- g) 1 calculator IBM PC / XT / AT

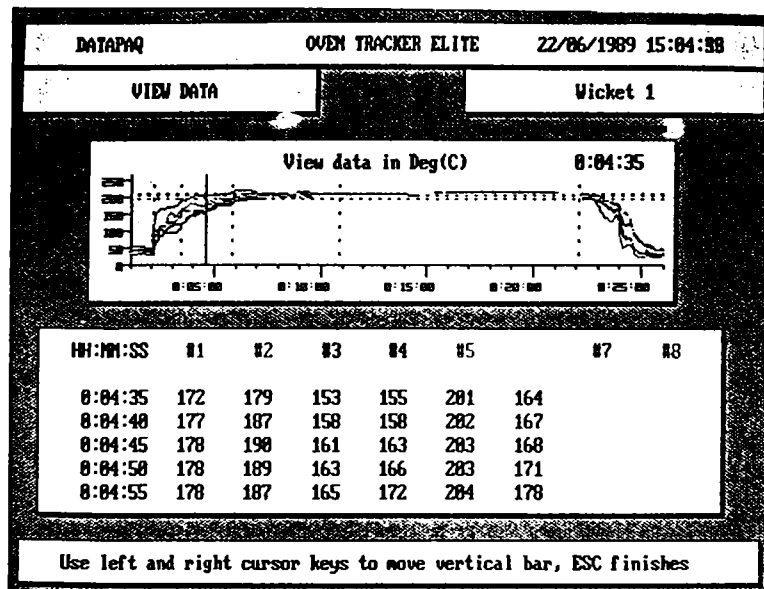


Figura 5.12.

Rezultate obținute prin monitorizare termică cu instalație DATAPAQ.

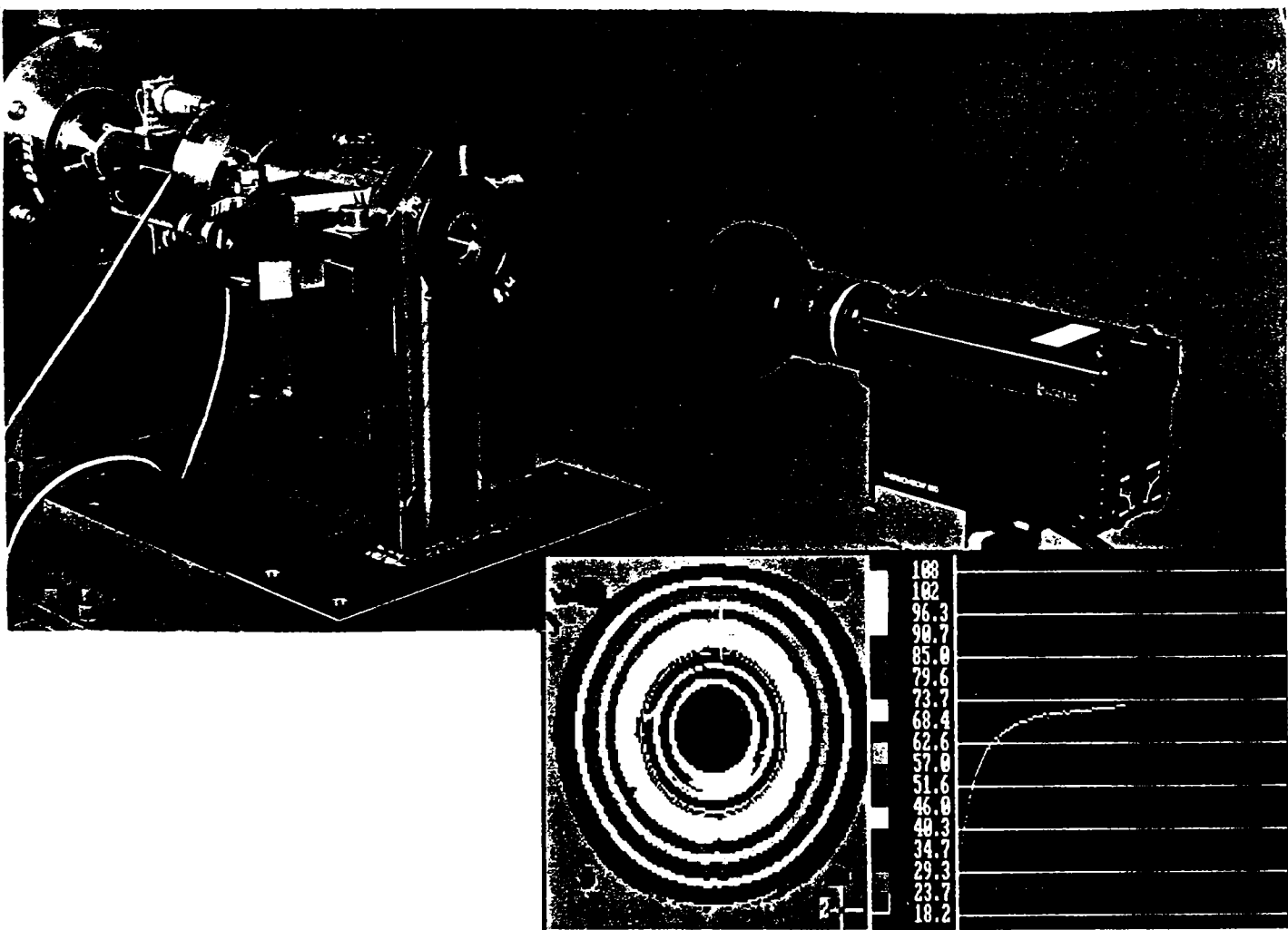


Figura 5.13.

Stand pentru termografierie conceput de firma AGEMA.

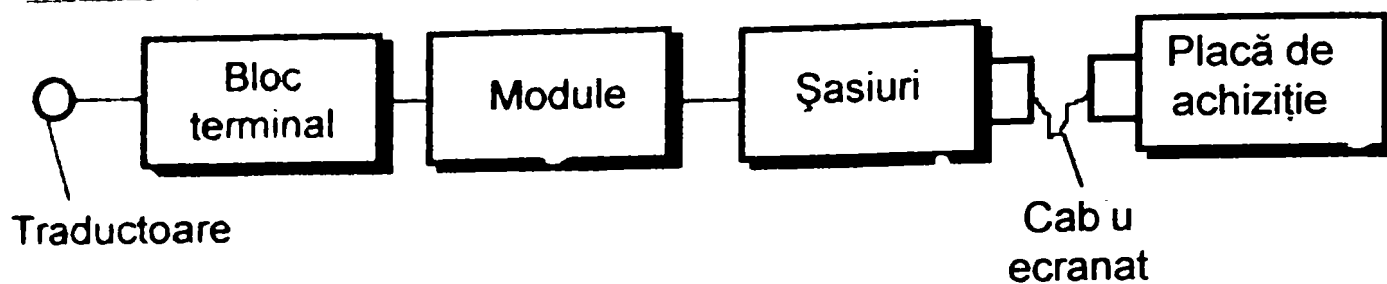


Figura 5.14.

Instalație de monitorizare termică concepută de firma "National Instruments Co".

Sistemul prezentat are avantajul unei precizii ridicate pe un domeniu larg de temperaturi, dar nu trebuie neglijat faptul că RTD au rezistență electrică mică și deci necesită precauție la cablare. Totodată este necesară alimentarea RTD - urilor și amplificarea semnalului cules.

Testele efectuate cu acest tip de montaj vor fi prezentate în Capitolul 7.

5.3.5.2. Propuneri privind monitorizarea și diagnosticarea termică a RI.

Justificarea interesului pentru determinarea efectului termic asupra indicatorilor de calitate ai robotului industrial și deci a monitorizării prin termografieră constă în rezultatele obținute de grupuri de cercetători în acest domeniu. Alterarea indicatorilor de calitate provocată de variația temperaturii mediului și a elementelor sistemului mecanic este evidentă și se impune cuantificarea acestui fenomen

În sursa bibliografică [W2] prof. H.J.Warnecke recomandă determinarea temperaturii elementelor și a zonelor de contact după cum rezultă din tabelul 5.6.

Tabelul 5.6.

Para- metrul	Indicator	Mod prelevare	Elemente variabile			Scopul
			cursa	sarcina	viteza	
Temperatura elementelor și a zonelor de contact	Evoluția tempe- raturii	înregis- trare	50%	100%	50% 100%	Evoluția tempera- turii medii și a elem- telor în timp

În același timp la Institutul de mașini - unelte Stuttgart se studiază influența termică asupra mașinilor - unelte de precizie și a RI.

Rezultatele obținute aici au contribuit la determinarea următoarelor elemente:

- a) temperatura medie normală de lucru;
- b) participarea efectului termic cu 10% în constituirea incertitudinii de situație;
- c) timpul necesar pentru atingerea regimului termic stabil când se pot face determinări geometrice, calibrare etc.
- d) necesitatea corelării determinărilor geometrice și cinematice cu cele termice.

În același domeniu de activitate lucrează cercetători de la Institutul de Teorie a Controlului și Robotică din cadrul Academiei Slovace de Științe unde se studiază sisteme de monitorizare a RI având la bază scanarea cu IR în scopul asigurării mentenanței predictive [P1].

Bögelsack G. în sursa bibliografică [B6] avertizează asupra necesității cunoașterii timpului de stabilizare termică t_0 în care PC nu mai înregistrează abateri de la poziția atinsă provenind de la variații termice.

H. Nakamura în sursa bibliografică [N1] arată că în procesul de corecție al erorilor mecanice, cunoașterea comportării termice a RI este esențială.

În acest sens, în urma experimentelor efectuate la Toyota Technological Institute în Nagoya, Japonia pe un robot KUKA cu sarcina nominală de 100 kg Nakamura determină o deviație a poziției punctului caracteristic a RI de 2 mm la o temperatură de 60°C.

Din studierea activității de cercetare în acest domeniu se pot prezenta câteva mijloace și metode industriale de acces la temperatura medie și cea a elementelor sistemului mecanic a robotului industrial, conform tabelului 5.7.

Tabelul 5.7.

Nr. crt.	Mijlocul de măsurare	Metoda de măsurare	Rezultat
1	termocuple și sistem de achiziție de date cu soft adecvat pentru prelucrare (ex: Data paq Tracker System)	multipunct cu contact în 8 puncte	evoluția temperaturii în punctele măsurate - valori maxime/minime

Nr. crt.	Mijlocul de măsurare	Metoda de măsurare	Rezultat
2	termorezistențe și sistem de achiziție de date cu 16 canale format din module SCXI placă AT - MIO - 16F -5 DAQ și PC - IBM.	multipunct cu contact în 16 puncte	evoluția temperaturii valori maxime/minime
3	modul optoelectronic cu detector piro-electric	zonală fără contact	termogramă
4	cameră video cu matrice de detectoare în IR	zonală fără contact	termogramă
5	strat cu cristale lichide	pe zona aplicată cu contact mecanic	termogramă locală
6	strat de acoperire termosensibil	pe zona aplicată	termogramă locală

După cum relevă sursele bibliografice, există câteva direcții de cercetare în domeniul indicatorilor termici ai robotului industrial cu finalitate distinctă, după cum reiese în continuare din tabelul 5.8.

Tabelul 5.8.

Nr.crt.	Direcția de cercetare	Scop
1	2	3
1	Determinarea influenței termice asupra indicatorilor geometrici, cinematici și dinamici ai RI prin măsurări locale cu contact mecanic.	Efectuarea unor corecții, evitarea încălzirii unor subansambluri.
2	Determinarea temperaturii unor subansambluri pentru stabilirea duratei de atingere a regimului termic stabil și durata ieșirii din acesta.	Evitarea efectuării unor operații de precizie pe durata de tranziție către regimul termic stabil și la părăsirea acestuia.

1	2	3
3	Determinarea termogramei unor subansambluri critice în vederea monitorizării predictive a acestora.	Depistarea timpurie a defectărilor posibile, modificarea, corectarea parametrilor de funcționare-alimentare, ungere, regim de lucru.
4	Provocarea voită a creșterii temperaturii unor subansambluri și efectuarea termogramei acestora.	Determinarea unui model de comportare a subansamblurilor pentru întocmirea unei bănci de diagnostice.
5	Provocarea unor defecte voite și efectuarea termogramei la locul de apariție al acestora.	Determinarea transpu-nerii în temperaturi a unor defecte posibile pentru efectuarea diagnosticării pe baza termogramei.

Pornind de la rolul temperaturii în aprecierea nivelului de calitate al unui RI și anume:

- a) alegerea indicatorilor de calitate
- b) realizarea mentenanței.

se propune introducerea scanării în IR ca metodă de mentenanță și diagnosticare a sistemului mecanic și de acționare a RI.

Această propunere este susținută de masiva utilizare a termografiei în IR în industrie și cercetare. Câteva exemple sunt date în tabelul 5.9:

Tabelul 5.9.

Nr.crt.	Scopul termografierii în RI	Firma
1	Monitorizarea rulmenților la instalația de derulat sârmă.	Messerschmidt - Bölkow - Blohm
2	Monitorizarea și diagnosticarea rotoarelor de elicopter.	Messerschmidt - Bölkow - Blohm
3	Monitorizarea și diagnosticarea paletelor de elicopter.	Westland Helicopters
4	Diagnosticarea lămpilor cu halogen HQI TS 70.	OSRAM
5	Diagnosticarea componentelor electromecanice auto.	MAONETI - MARELLI
6	Diagnosticarea chiulaselor de motor.	BMW - München
7	Diagnosticarea componentelor electronice.	Digital Equipment Co.
8	Studiul oboselii materialelor plastice.	PGI - Sundvall

Principalele direcții de acțiune ale monitorizării termice sunt :

a). **Mentenanță electrică**

- ◆ depistarea punctelor fierbinți - ventilație necorespunzătoare.
- ◆ depistarea arcului electric, foc, stricăciuni la izolatori
- ◆ protecție motoare electrice și trafo.

b) **Mentenanță hidraulică**

- ◆ depistează defecte de curgere (strangulări, obturări)
- ◆ apreciază nivelul de conservare a energiei (monitorizând disipările pe cale termică).

c). **Mentenanță mecanică**

- ◆ depistarea deficiențelor de ungere
- ◆ depistarea deficiențelor la montare, reglaj prin încălziri locale
- ◆ depistarea zonelor de rupere prin oboseală
- ◆ apariția uzurii nefirești, accelerate.

La baza acestei acțiuni stă măsurarea non contact a radiațiilor în infraroșu - metodă prohibită până în prezent datorită prețului foarte ridicat al aparaturii.

a). Mentenanță electrică:

- majoritatea firmelor de siguranță în exploatare recomandă utilizatorilor scanarea în infraroșu a componentelor.

Principiul metodei constă în depistarea căldurii generate pe orice traseu străbătut de curent electric (efectul termic al curentului electric).

Astfel, pentru două cabluri de aceeași secțiune, același material, străbătute de același curent, în aceleași condiții de mediu, cel cu contactul mai slab va genera căldură mai mare în zonă, datorită rezistenței crescute. Sarcinile și condițiile de mediu produc încălziri puternice ale motoarelor electrice, trafo și generatoare scurtând durata de viață.

Elementele ce se rețin la verificări sunt :

- ◆ diferențele de temperatură între componente
- ◆ gradele peste temperatura ambientală
- ◆ temperatura absolută a echipamentului.

Principalele componente verificate sunt :

1. Conectoarele.

Apariția jocurilor suprafețelor de contact graduale la conectoare, este un fenomen specific datorat trecerii de la sarcină la zero și variațiilor

de mediu. În momentul instalării jocului, rezistența electrică devine mai mare și apare o disipare de căldură mai importantă.

Alte cauze sunt: depozite de cărbune, impurități, coroziune. În cazul unei diferențe importante între temperatura mediului și între temperaturile unor conectoare similare, se asigură intervenția. Diferența de aprox. 10°C indică un contact slab, masă în circuit iar diferența peste 30°C necesită acțiune de remediere imediată.

2. Fazele la alimentarea cu curent electric trifazic

- Măsurarea fazelor la curentul trifazic se execută la alimentarea motoarelor cu inducție, calculatoare puternice, alte echipamente. La verificarea fazelor o diferență de 5°C indică apariția unor defecte.

3. Transformatoarele electrice

- Verificare trafo : se scanează carcasa, răcirea, conexiunile.

4. Motoarele electrice

- Verificarea motoarelor electrice: suprafața externă a motoarelor este în general cu 10°C mai rece decât la interior. Se verifică : frânele (dacă există), aripioarele de răcire, conexiunile, izolația.

S-a stabilit că depășirea cu :

- ◆ 10°C duce la reducerea vieții izolației la 1/2
- ◆ 20°C duce la reducerea vieții izolației la 1/4
- ◆ 30°C duce la reducerea vieții izolației la 1/8

b). Mentenanța hidraulică :

Diafragmele restrictoare sau neetanșevitate vor duce prin variații de presiune la variații de temperatură. Astfel orice neuniformitate de temperatură la o zonă omogenă indică probleme ca cele arătate mai sus.

Elementele supuse monitorizării sunt prezentate în tabelul 5.10.

Urmărirea proceselor termice se face cu camere de luat vederi în infraroșu, Thermovision 470, cu următoarele caracteristici:

- ◆ domeniul de temperatură $-20 +500^{\circ}\text{C}$
- ◆ prag de sensibilitate $0,1^{\circ}\text{C}$ la 30°C
- ◆ temperatura de lucru $-15^{\circ}, +50^{\circ}\text{C}$
- ◆ câmp de vedere $7^{\circ} \times 7^{\circ} / 1,1\text{m}$
 $12^{\circ} \times 12^{\circ} / 0,65\text{m}$
 $20^{\circ} \times 20^{\circ} / 0,38\text{m}$
 $40^{\circ} \times 40^{\circ} / 0,19\text{m}$
- ◆ tipul detectorului MCT - SPRITE (HgCdTe)

- ◆ frecvența de baleiaj 4000Hz
- ◆ decelarea tonurilor 5, 10, 128.

Tabelul 5.10.

Nr. crt.	Componente ale sistemului mecanic	Se determină
1	rulmenți	fisuri spargeri de corpuri de rostogolire ungere inadecvată aliniere incorectă uzura
2	ghidaje	
3	lanțuri	
4	curele	
5	pinioane, roți dințate	
6	compresoare	
7	pompe	
	Componente ale sistemului de acționare	Se determină
9	contacte	imperfecțiuni (zone de contact reduse, impurități) uzură fisuri randament scăzut
10	perii	
11	izolatori	
12	corpuri de răcire	
13	neetanșeități	
14	strangulări	

Pentru fiecare din elementele supravegheate este necesară alcătuirea unei biblioteci de termograme tipice, pentru diverse defecte posibile, astfel încât pe baza unui model să se poată identifica malfuncția.

Cu datele obținute din monitorizare se evidențiază un circuit al informației ca în figura 5.15.

Susținerea practică a celor prezentate mai sus se va face în Capitolul 7 "Determinări experimentale".

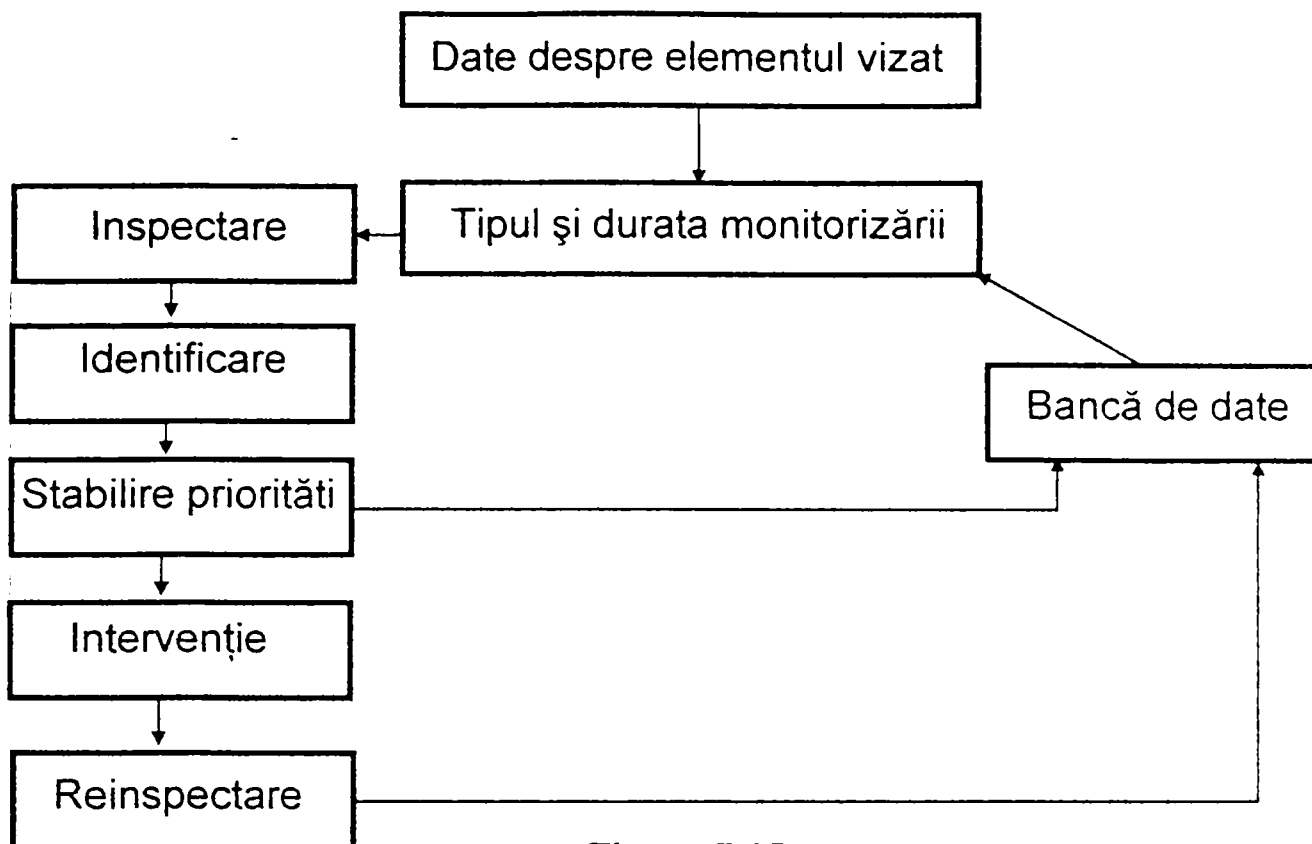


Figura 5.15.
Circuitul informației în procesul de monitorizarea.

5.3.5.3. Propuneri privind determinarea pe cale experimentală a unor modele de comportare termică a elementelor RI în vederea diagnosticării on-line a acestora.

Diagnosticarea se poate efectua în două moduri :

- a). analitic : exactă, profundă
- b). euristic : vagă, superficială.

Clasificarea metodelor de supraveghere și diagnosticarea se poate urmări în tabelul 5.11.

Tabelul 5.11.

	Metoda euristică	Metoda analitică
Activitatea	- subiectivă - calitativă	- obiectivă - cantitativă
Detectarea erorilor - stabilirea indicatorilor de defectare - cunoașterea simptomelor	Pe baza experienței operatorului se extrag informații despre simptome	Prelucrarea algoritmică a informațiilor provenite de la senzori
Diagnosticarea - apicierea indicatorilor de defectare - interpretarea simptomelor	Prelucrarea unor simptome disponibile pe baza unor reprezentări stabilite	Prelucrarea matematică stohastică sau statistică a indicatorilor

Clasificarea diagnosticării / supravegherii în timp:

- ◆ continuă (cu procesul) - on line
- ◆ intermitentă - on line
- ◆ de lungă durată (teste, revizii, inspecții) off line
- ◆ la solicitare (la defectare) - off line.

Soluția analitică (cunoașterea erorilor) :

- ◆ culegerea și prelucrarea datelor de măsurare
- ◆ evaluarea parametrilor de proces
- ◆ calcularea coeficienților interpretabili
- ◆ cunoașterea modificărilor importante.

Soluția euristică :

- ◆ interpretarea simptomelor, ordonare, evidență
- ◆ construirea arborelui de erori
- ◆ localizarea erorilor prin procedee iterative
- ◆ evaluarea erorilor

Modul actual de efectuare al diagnosticării se prezintă în fig. 5.16.

Roboții avansați sunt prevăzuți la această oră cu elemente de autocontrol ale zonelor critice din punct de vedere al fiabilității.

Câteva exemple vor fi date în continuare.

a). Determinarea slăbirii unor șuruburi prin utilizarea traductoarelor de forță moment și a analizei spectrale.

b). Determinarea cu ajutorul laserului a poziției corecte a punctului caracteristic al RI.

c). Analiza semnalelor la antrenarea axelor cu motoare electrice.

d). Determinarea erorilor pe baza unui procedeu opto - electronic în ceea ce privește axele sistemului mecanic.

e). Monitorizarea pe cale termică a stării de tensiune în axele de antrenare ale sistemului mecanic.

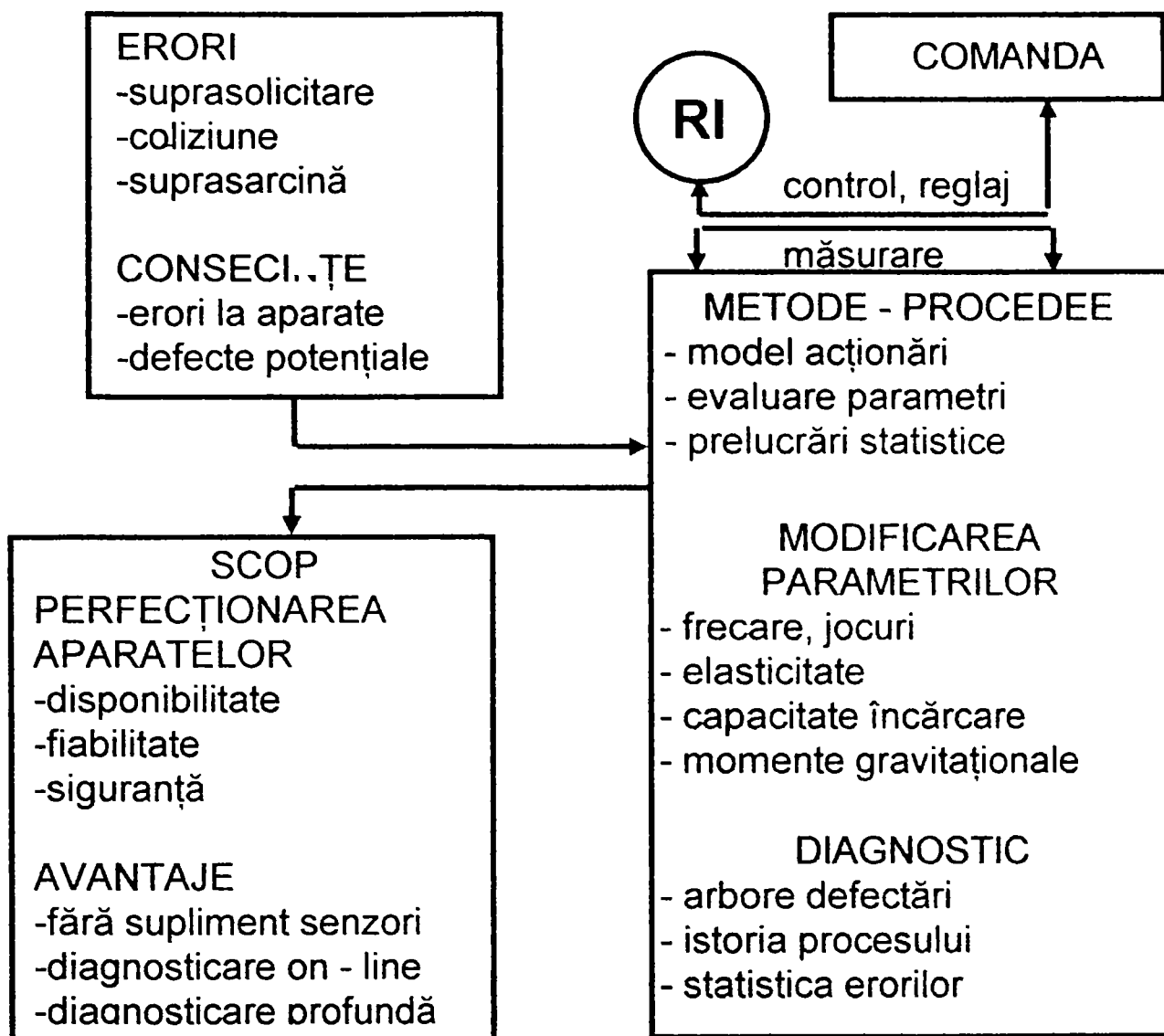


Figura 5.16.

Conceptul actual al diagnosticării erorilor la RI.

Diagnosticarea în regim automat devine din ce în ce mai utilizată. Ea are la bază o bancă de date numită bibliotecă de diagnostice.

Preocuparea în acest paragraf constă în a provoca în mod controlat elemente (informații) pentru dotarea acestei bănci de date.

Se cunosc câteva metode de a introduce informații în această bancă de date și anume :

- a). Modelarea analitică a unor fenomene ce scot din funcționare RI;
- b). Sinteza unor date provenite de la personalul implicat în cercetare, concepție, fabricație și utilizarea RI pe baza experienței personale.
- c). Producerea în mod voit a unor defectări și înregistrarea / prelucrarea și interpretarea parametrilor fenomenelor ce însoțesc defectarea și sunt reproductibile și ușor accesibile.

Dat fiind faptul că RI este un hipersistem, metoda (a) este mare consumatoare de timp și are grad mare de eroare.

De aceea se propune aplicarea metodei (c) în modul următor:

Se identifică subansamblul sau reperul supus unei rate mari de defectare. Se intervine asupra acestuia modificându-i parametrii de bună funcționare. Se ridică termograma zonei respective și se stochează ca model martor. De îndată ce apare, în timpul monitorizării o comportare termică similară cu modelul memorat se apreciază prezența defectului respectiv.

Pentru un robot industrial se propun următoarele subansambluri și reperi ca elemente - test (vezi Tabelul 5.12)

Tabelul 5.12.

Nr.crt	Subans /reper	Defectarea produsă	Semnalul prelevat
1	Cuplă cinematică motoare de rotație Cuplă cinematică de translație	-mărirea jocului -eliminarea ungerii -corpuri abrazive	-temperatura, vibrații
2	Motor electric	-suprasarcină -număr mare anclanșări -distugere lagăre -contacte imperfecte -izolare necoresp.	-Temperatura în lagăre, pe carcasă în zona periiilor, la conectorii de alimentare.
3	Rulmenți	-suprasarcină -ungere necoresp. -corp de rostogolire fisurat -montare necoresp.	-temperatură
4	Lanțuri și curele	-modificarea tensiunii -eliminarea ungerii(lanț) -corpuri abrazive -fisurare	-temperatură
5	Roți dințate	-montaj necorespunzător -eliminarea ungerii -substanțe abrazive -suprasarcină -compromiterea danturii	-temperatură -vibrații
6	Elemente ale structurii mecanice	-deformații dinamice și statice nepermise -fisuri, goluri interioare -izolare precară	-temperatură

Nr.crt	Subans./reper	Defectarea produsă	Semnalul prelevat
7	Cabluri	-izolare precară	-temperatură
8	Contacte electrice	-micșorarea suprafeței de contact	-temperatură
9	Conducte cu agent hidraulic	-strangulări -neetanșeități	-temperatură

Pentru a verifica metodele propuse în sensul monitorizării și diagnosticării termice a RI s-au efectuat prelevări de temperatură de pe ghidajele robotului REMT - 1 în condiții normale de funcționare respectiv după alterarea unor factori ce asigură buna funcționare. Rezultatele experimentale și evaluarea acestora se vor prezenta în Capitolul 7.

5.4. Studiul posibilității de monitorizare a unor indicatori de calitate ai RI acționat electric prin urmărirea variației intensității curentului electric de alimentare al motoarelor.

5.4.1. Determinarea indicatorilor de calitate ce pot fi monitorizați prin măsurarea intensității curentului electric absorbit de motoare.

Pentru determinarea indicatorilor de calitate ce pot fi monitorizați prin urmărirea variației curentului electric de alimentare al motoarelor de acționare se pleacă de la calculul dinamic aproximativ ce ia în considerare o singură axă a RI neglijând influențele reciproce ale axelor mecanismului dispozitivului de ghidare. În această situație fiecare axă se tratează separat ca un sistem mecanic izolat compus din motor, transmisie mecanică și un consumator.

Pentru cazul unei cuple cinematice conducătoare acționată cu un motor electric rotativ se impune ca la nivelul arborelui motor să se dezvolte o putere capabilă să învingă puterea momentelor rezistente (gravitaționale, de frecare, de inerție și tehnologice).

Condiția se exprimă sub forma:

$$P_m \geq P_{red} \quad (5.8)$$

sau la aceeași viteză unghiulară a arborelui motor ω_m relația devine:

$$M_m \geq M_{red} \quad (5.9)$$

unde M_{red} se exprimă cu relația:

$$M_{red} = M_{red_g} + M_{red_f} + M_{red_{in}} + M_{red_{tech}} \quad (5.10)$$

unde:

M_{red_g} este momentul rezistent redus al forțelor gravitaționale;

M_{red_f} este momentul rezistent redus al forțelor de frecare;

$M_{red_{in}}$ este momentul rezistent redus al forțelor de inerție;

$M_{red_{tech}}$ este momentul rezistent redus al forțelor tehnologice.

După cum se vede, momentul motor este dependent de valoarea momentelor rezistente reduse.

În cadrul momentului rezistent se regăsesc o serie de factori perturbatori a căror participare se accentuează la apariția alterării indicatorilor de calitate.

Momentul rezistent poate avea caracter potențial prin componenta gravitațională și cea elastică de deformare sau reactiv prin forțele de frecare uscată sau vâscoasă. Momentul rezistent al forțelor tehnologice are caracter specific pentru fiecare aplicație în parte și anomaliile acestuia sunt previzibile.

Momentele și forțele de inerție generează și ele momente rezistente ce trebuie echilibrate.

Reluând și aprofundând cele arătate mai sus, se pot identifica linii de influență ce conduc la indicatorii de calitate "via" momente rezistente, după cum urmează (vezi Figura 5.17).

Informațiile provenind de la indicatorii de calitate alterați se transmit prin intermediul momentului rezistent printr-un singur canal fiind accesibile cu ajutorul măsurării curentului electric absorbit de motorul electric de acționare. În această situație, când informația este globală, se produce alarmarea despre prezența unei modificări a nivelului de calitate iar decelarea și evaluarea cauzei se face pe două căi :

a). prin crearea unui model de reacție repetabil specific fiecărui tip de malfuncție ce poate să apară.

b) prin trecerea la verificarea individuală a stării indicatorilor de calitate, ca urmare a alarmării produse de variația curentului de alimentare în afara comportării normale estimate analitic și confirmată experimental - statistic.

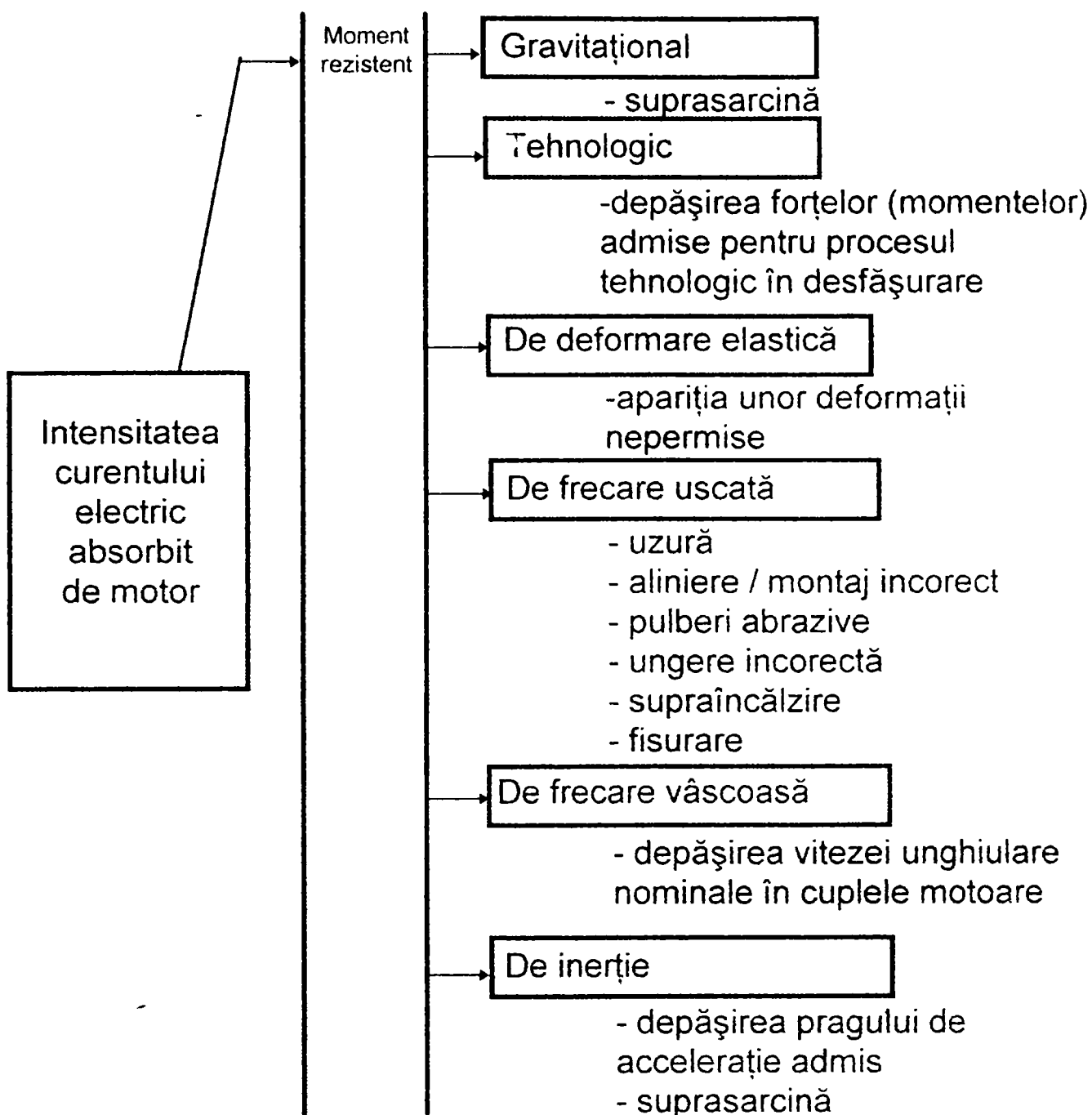


Figura 5.17.

Legătura dintre curentul electric de alimentare și momentele rezistente reduse.

Metoda (b) este extrem de laborioasă și deci în continuare se fac propuneri în legătură cu metoda (a).

5.4.2. Propuneri privind determinarea unor modele de reacție în vederea identificării unor defecte posibile.

Analizând lista indicatorilor de calitate și a unor factori ce îi influențează, prezentată în paragraful 5.4.1. se identifică posibilități de

alterare voită a acestora, astfel încât, dat fiind un anumit regim de lucru, să poată fi depistate direct defectele prin manifestările prelevate din circuitul de alimentare al motoarelor electrice de acționare.

Lista indicatorilor de calitate avuți în vedere se prezintă în tab. 5.13.

Tabelul 5.13.

Nr.crt.	Indicatori de calitate	Modul de alterare al acestora
1	Sarcina manipulată	dispunerea unei sarcini mai mari decât cea admisibilă
2	Nivelul forțelor / momentelor tehnologice	generarea de forțe/momente după direcție, sens cunoscut peste valorile admisibile
3	Frecarea în cuplele cinematice	<ul style="list-style-type: none"> ◇ introducerea de pulberi abrazive ◇ încălzirea peste normal a cuplelor cinematice prin suflare de aer cald ◇ eliminarea sau diminuarea ungerii
4	Accelerația maximă	<ul style="list-style-type: none"> ◇ producerea unor accelerații peste valoarea maximă admisă ◇ suprasarcină

În continuare, pentru depistarea unor modele de comportament (reacție) în prezența alterării indicatorilor de calitate, se propune o listă de intervenții voite și modul în care se pot preleva efectele produse de acestea (vezi Tabelul 5.14).

Tabelul 5.14.

Nr.crt.	Felul intervenției voite	Indicatorii de calitate afectați (preponderent)
1	2	3
1	Suprasarcină la nivelul efectorului final	<ul style="list-style-type: none"> ◆ caracteristici de situare ◆ regim de viteze ◆ regim de accelerație ◆ regim termic
		<ul style="list-style-type: none"> ◆ se măsoară deformații ◆ se efectuează termograma ◆ se măsoară curentul de alim.

1	2	3
2	Forță cu direcție și sens determinat, la nivelul efectorului final	<ul style="list-style-type: none"> ◆ caracteristici de situare ◆ se măsoară deformații ◆ se măsoară curenții de alim. ai motoarelor de acționare
3	Depuneri de pulberi abrazive în zone cu mișcare relativă Eliminarea / reducerea ungerii în zonele de contact	<ul style="list-style-type: none"> ◆ regim de viteze și accelerații ◆ regim termic ◆ se măsoară curenții de alim. ◆ se măsoară niv. de zgomot ◆ se efectuează termograma
4	Supraîncălzirea cuplelor cinematice	<ul style="list-style-type: none"> ◆ caracteristici de situare ◆ regim de viteze și accelerații ◆ se măsoară curenții de alim. ◆ se efectuează termograma
5	Amplasarea unei surse de vibrații cu parametri cunoscuți pe sistem sau în vecinătatea acestuia	<ul style="list-style-type: none"> ◆ caracteristici de situare ◆ se măsoară nivelul vibrațiilor în mai multe puncte
6	Modificarea unor parametri de reglaj pentru transmisiile mecanice (tensionarea curelelor, distanțe între axe, deteriorarea unor părți de dantură)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ caracteristici de situare ◆ nivelul vibrațiilor ◆ temperatura elementelor ◆ se măsoară niv. vibrațiilor ◆ se efectuează termograma
7	Modificarea diametrelor nominale ale traseelor de alimentare hidro-pneumatică (strângulare, obturare)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ forțe/momente de deplasare ◆ regim de viteze și accelerații ◆ încărcarea sursei de alim. a unității de preparare a energiei H / P ◆ se efectuează termograma ◆ se măsoară niv. de zgomot
8	Modificarea unor parametri pentru componentele electrice și electronice (contacte, izolații, dispozitive de răcire)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ forțe/momente de deplasare ◆ regim de viteze și accelerații ◆ regimul termic ◆ se efectuează termograma IR ◆ se determină compoziția aerului în zona echipamentelor electrice

Capitolul 6

CONTRIBUȚII LA ELABORAREA UNOR SOLUȚII CONSTRUCTIVE DE INSTALAȚII PENTRU DETERMINAREA INDICATORILOR DE CALITATE AI ROBOȚILOR INDUSTRIALI

6.1. Instalație fără contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare.

6.1.1. Generalități.

Anterior acestui paragraf s-au prezentat mijloacele ce servesc la determinarea caracteristicilor de poziționare și orientare ale efectorului final al unui RI.

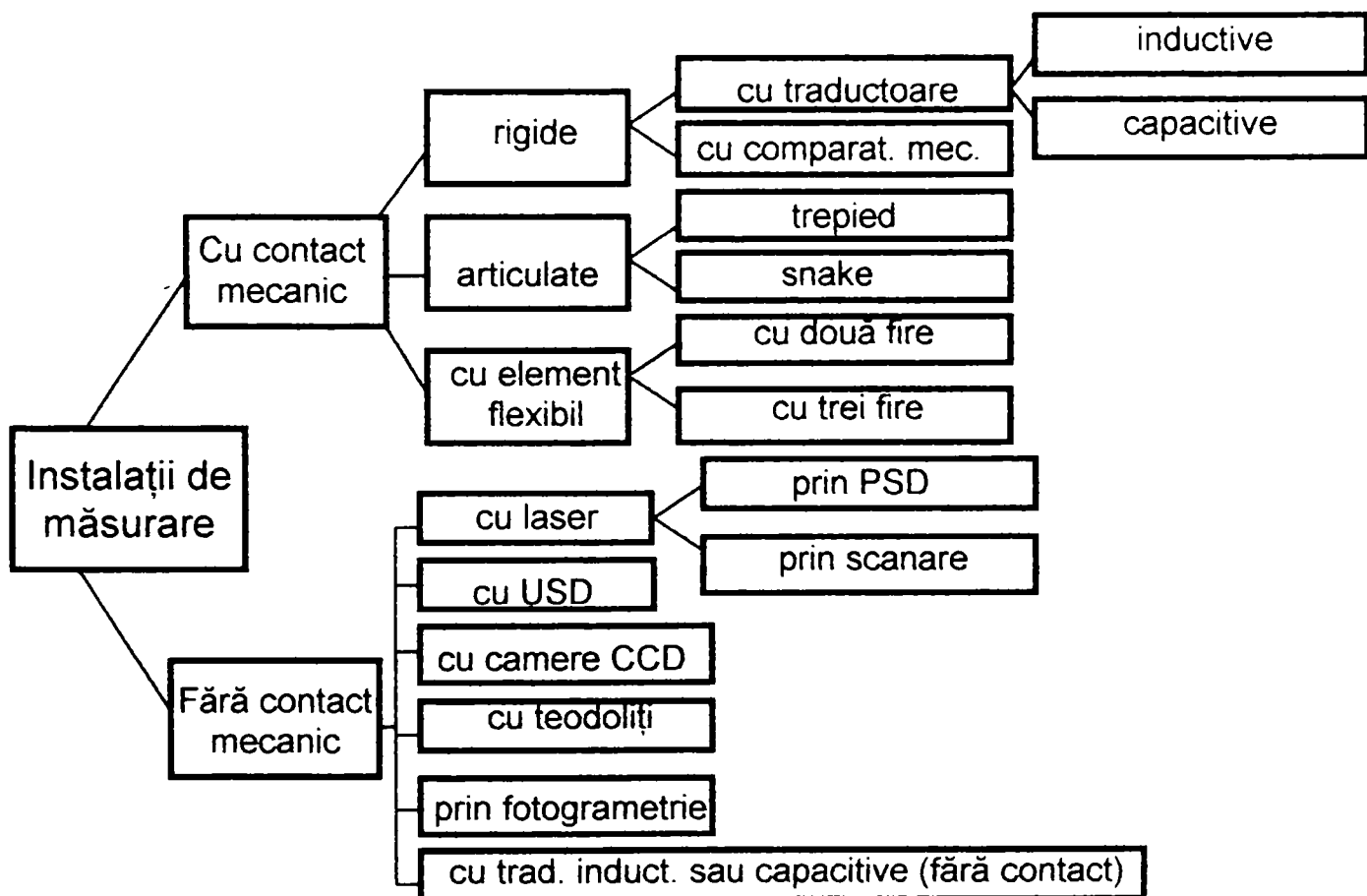


Figura 6.1.

Clasificarea instalațiilor de măsurare a caracteristicilor de situare ale RI.

Rezumând prezentarea, se poate realiza o clasificare a acestor metode cu scopul încadrării prezentei propunerii de realizare a unei instalații pentru determinarea caracteristicilor de situație.

Clasificarea propusă este prezentată în figura 6.1.

În cadrul acestei prezentări, metodele cu contact mecanic constituie rezultatul fazei incipiente a cercetării în domeniu.

O parte din acestea au fost totuși reținute pentru faptul că asigură cheltuieli reduse, pentru firme cu putere economică medie. Pentru a conjuga avantajele din zona de cost mediu și zona de performanță se propune o instalație de tip non-contact, cu laser, ce execută determinări în regim static.

Această instalație constituie o variantă pentru procedeul de măsurare cu teodoliți, oferind prin comparație o serie de avantaje.

Acestea sunt prezentate în tabelul 6.1:

Tabelul 6.1

Nr. crt.	Elemente supuse comparării	Procedeul cu teodoliți	Procedeul cu instalația propusă
1	Numărul de operatori	2	1
2	Numărul de traductoare de rotație de la care se preia semnalul	4	3
3	Confirmarea situației pe țintă	Data de 2 operatori implică subiectivism	Data de o fotodiodă prevăzută cu diafragmă
4	Spațiul de amplasare al instalației	Dictat de distanța între teodoliți	Redus la distanța dintre cele 2 surse laser(max.1000mm)

Analizând propunerea ce urmează a fi făcută, ea se poate încadra astfel :

- ◆ instalație non - contact
- ◆ cu zona de lucru extinsă
- ◆ cu confirmare obiectivă a vizării corecte
- ◆ cu gabarit redus
- ◆ realizabilă și utilizabilă cu costuri medii (conform tendinței actuale de implementare a operațiunilor low - cost)

Schema de principiu rezultată în urma modificărilor propuse se prezintă în figura 6.2

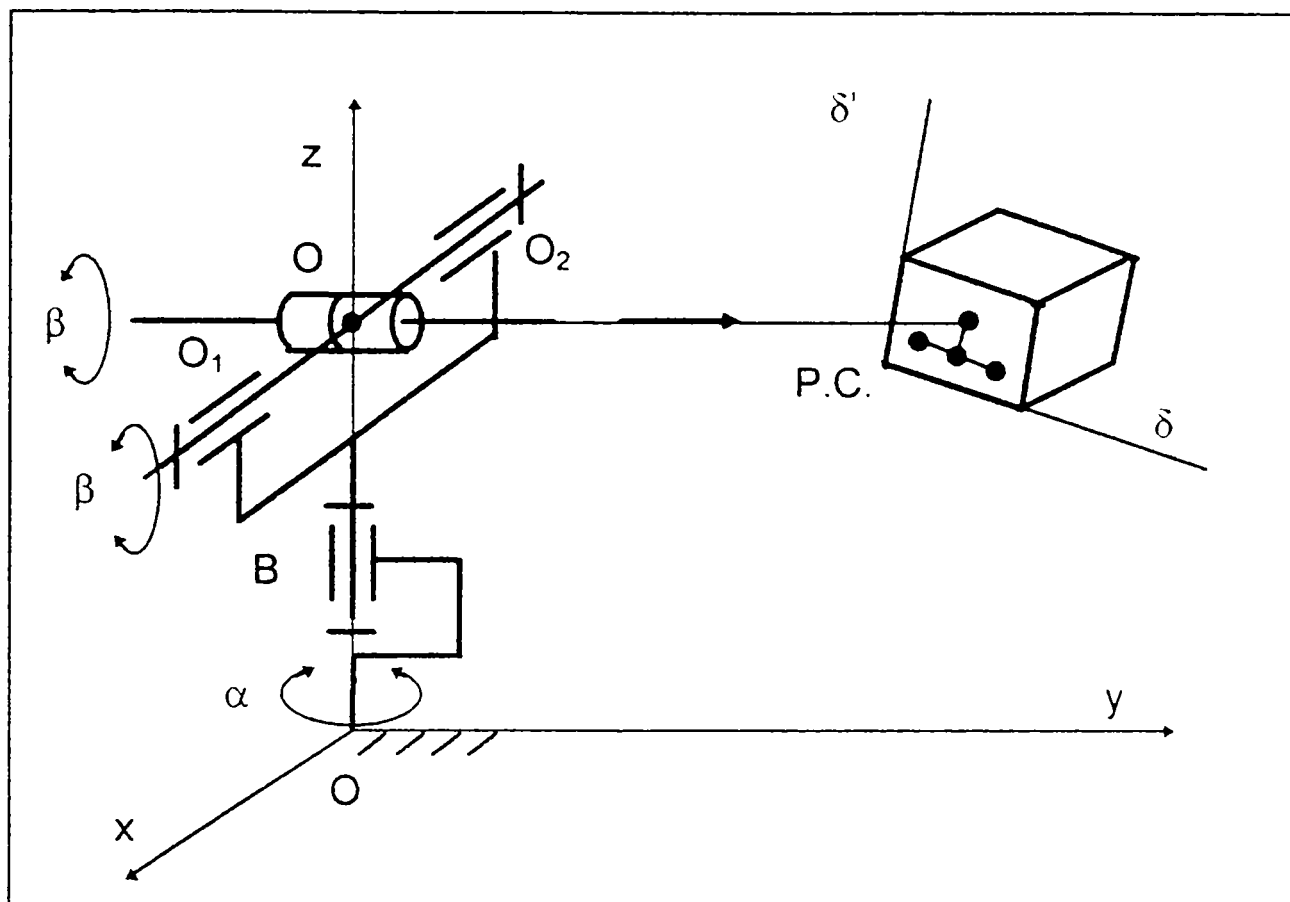


Figura 6.2.
Schema de principiu a IDCS.

Simplificarea a fost posibilă prin elaborarea de către autor a metodei celor patru puncte, cu ajutorul căreia se determină situarea unui corp de referință în 3D. Rezultatul constă în reducerea numărului traductoarelor, a canalelor de informație, a surselor de erori provenite din construcție, măsurare, utilizare. Cu această metodă citirea se face prin orientarea controlată a sursei laser astfel încât spotul razei laser să atingă cele patru ținte receptoare. În momentul atingerii țintelor se execută citirea a două unghiuri α , β provenite de la traductoarele montate pe axe.

6.1.2. Prezentarea soluției constructive adoptate pentru instalația de determinare a caracteristicilor de situare (a I.D.C.S.).

La proiectarea instalației s-a urmărit materializarea elementelor și zonelor de contact din schema cinematică anterior prezentată.

Deasemenea s-a avut în vedere realizarea celor două funcții importante ale instalației, acestea fiind :

- generarea unei mișcări de rotație a sursei laser după două axe (verticală și orizontală);
- măsurarea unghiurilor de rotație a sursei laser față de axele de coordonate atribuite instalației

Soluția constructivă adoptată se prezintă în figurile 6.3. și 6.4.

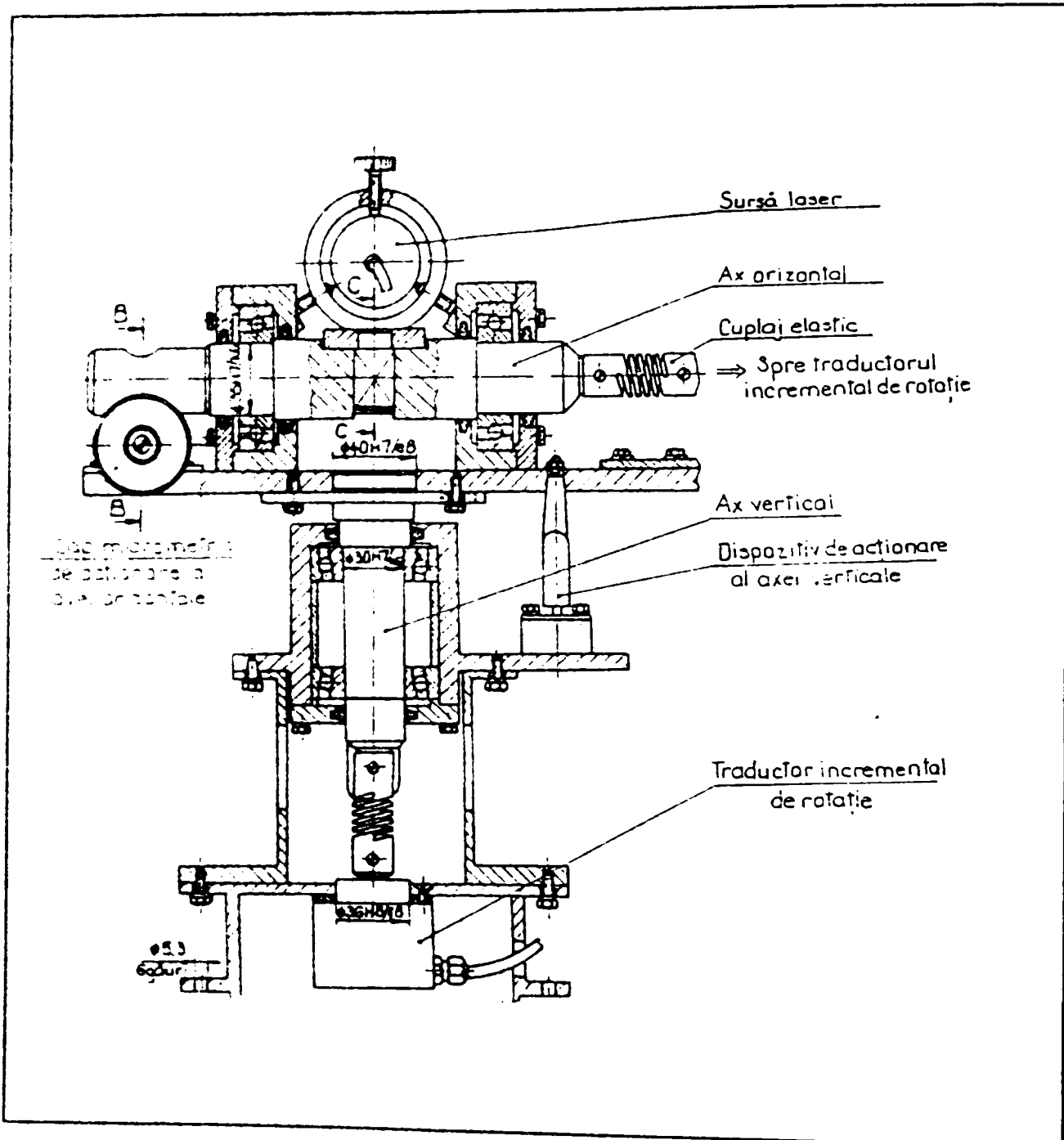


Figura 6.3.

Soluția constructivă a instalației cu sursă laser pentru determinarea unor parametri geometrici ai RI.

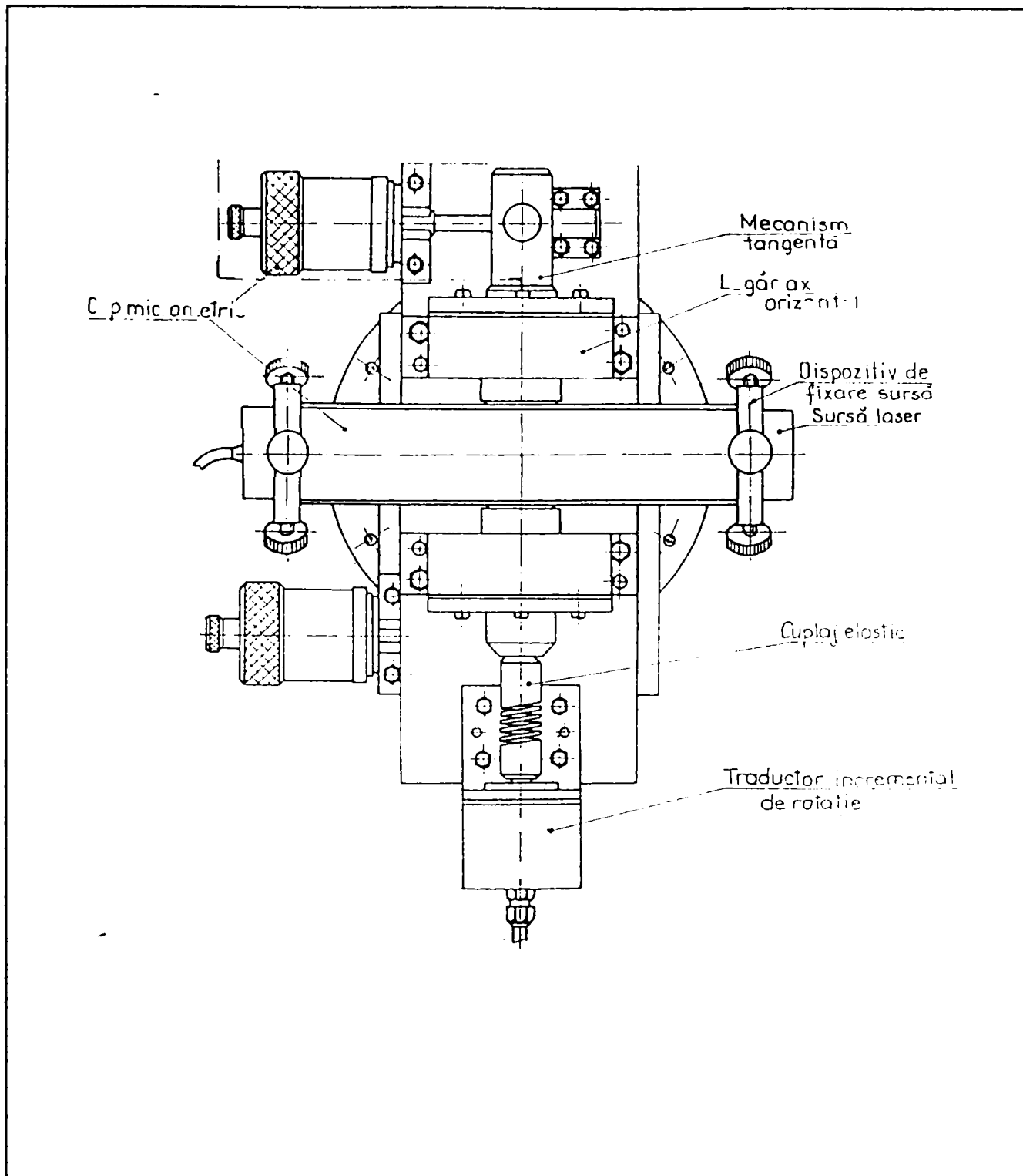


Figura 6.4.

Soluția constructivă a instalației cu sursă laser pentru determinarea unor parametri geometrici ai RI.

După cum reiese din figurile 6.3 și 6.4 construcția instalației conține două module, unul pentru rotația verticală, cel de-al doilea pentru rotația orizontală. Axele sunt lăgăruite pe rulmenți radial axiali 7206 B și 7207 S - STAS 7416/1-92. Pe axul orizontal se află fixată sursa laser, prin intermediul unui montaj cu trei șuruburi cu terminație sferică (pentru

asigurarea unui contact punctiform) dispuse simetric la 120° , realizându-se astfel centrarea.

Acționarea axelor pentru generarea unghiurilor α și β (azimut și elevație) se face cu ajutorul unor mecanisme de tip tangentă unde mișcarea de translație este produsă cu ajutorul unor șuruburi micrometrice acționate manual.

Citirea deplasărilor unghiulare α și β se face cu traductoare incrementale de rotație de tip ROD 450 puse în legătură cu axele prin cuplaje elastice, fapt ce asigură evitarea încărcării cu solicitări radiale a axelor traductoarelor ce ar putea proveni de la calitatea redusă a coaxialității.

Modulele de rotație după cele două direcții, echipate cu traductoare și sursă laser se montează pe un suport telescopic prevăzut cu placă mobilă pentru aducerea la orizontală a flanșei de fixare.

Erorile provenite din imperfecțiuni la execuție și montaj se depistează și se înlătură prin calibrarea instalației pe o mașină de măsurat în coordonate.

6.2. Instalație cu contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare.

6.2.1. Necesitatea proiectării și experimentării unor instalații cu contact mecanic pentru determinarea caracteristicilor de situare în regim dinamic.

Față de prezentarea făcută în paragraful 6.1.1, autorul propune o instalație cu contact mecanic, destinată determinărilor în regim dinamic a caracteristicilor de situare.

Avantajele acestei instalații rezultă din comparația cu alte tipuri de instalații de aceeași factură, având următoarele caracteristici:

- ◆ cu contact mecanic
- ◆ măsurare în regim dinamic luând în considerare "efectul de încărcare" al RI de către instalația de măsurare
- ◆ cu spațiu de lucru mediu (dimensiunea maximă 2000 mm)

prezentate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

Nr. crt.	Tipul instalației	Nr. de traduct.	Comple-xitate	Efect de încărcare asupra RI	Grad de exactitate
1	Cu trei fire	6	mare	mediu	mediu
2	Trepied articulată	6	mare	mare	mediu
3	Lanț cinematic deschis "Snake"	6	mare	mare	mediu
4	Cu braț telescopic (propusă de autor)	6	mică	reduc	mediu

Justețea proiectării acestei instalații a fost demonstrată prin includerea acestui tip în recomandările IRIS de corectare a ISO 9283.

Trebuie subliniat că în acest mod autorul a primit confirmarea preocupării sale prezentată și susținută pentru prima dată în anul 1991.

Deși instalația prezentată este depășită tehnologic, ea are valoare ca element de reper atât în activitatea autorului cât și pentru aplicații cu cost scăzut.

6.2.2. Stabilirea domeniului de lucru al instalației și a limitelor acesteia.

Pentru a determina caracteristicile instalației, se pleacă de la schema cinematică, prezentată în figura 6.5.

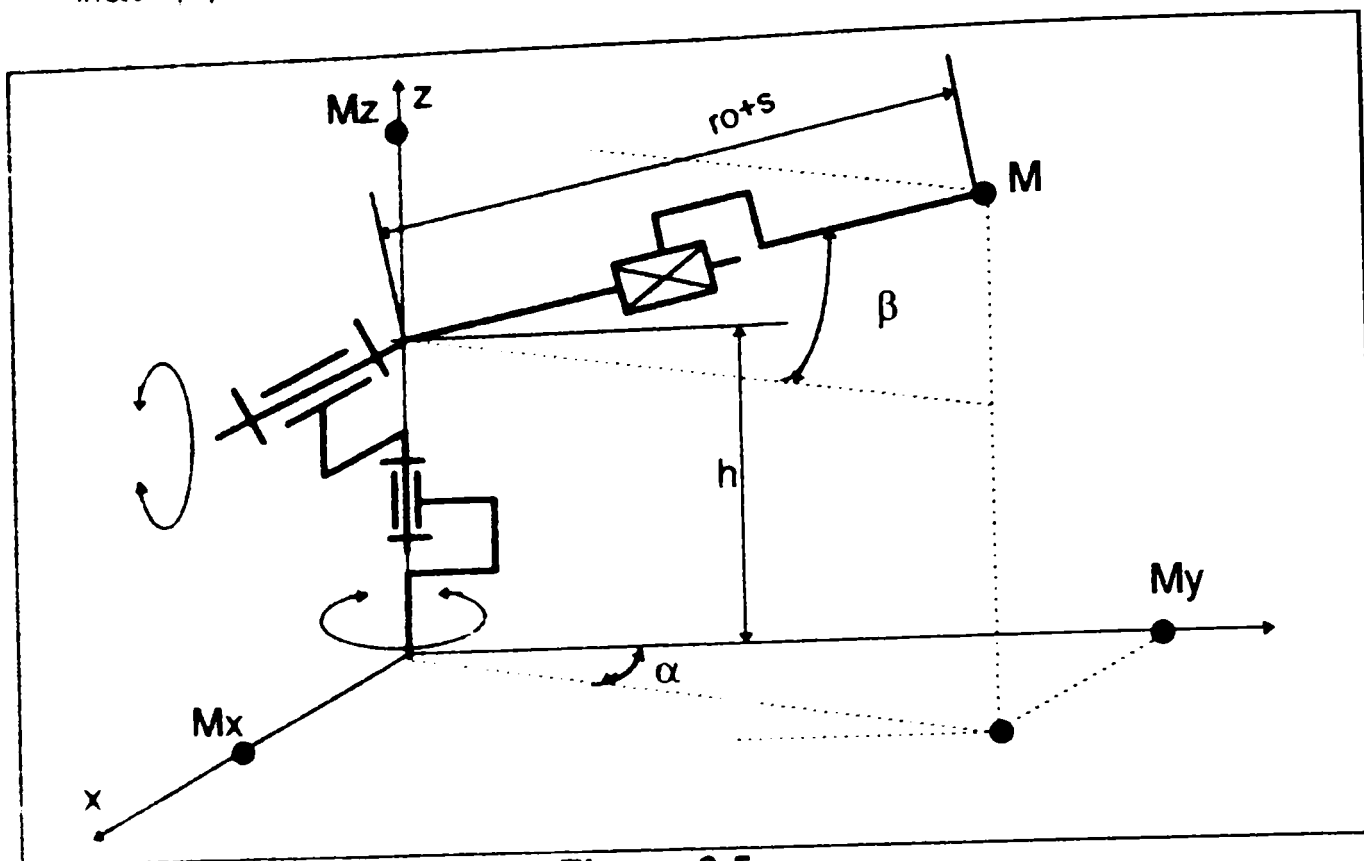
Coordonatele punctului țintă M sunt determinate prin intermediul relațiilor următoare:

$$x_M = [r_o + s(t)] \cos \beta \cdot \sin \alpha \quad (6.1)$$

$$y_M = [r_o + s(t)] \cos \beta \cdot \cos \alpha \quad (6.2)$$

$$z_M = h + [r_o + s(t)] \sin \beta \quad (6.3)$$

unde : r_o - este lungimea constantă (în stare pliată) a brațului telescopic.
 $s(t)$ - este variația de lungime a părții mobile a brațului telescopic.
 α - unghiul de azimut al razei vectoriale sau unghiul de longitudine;
 β - unghiul de elevație al razei vectoriale sau unghiul de latitudine.
 h - distanța axei orizontale de la planul de așezare .



Fi 6.5.

Schema cinematică a instalației cu braț telescopic.

Forma spațiului de lucru este o semicoroană sferică, după cum rezultă și din figura 6.6, având $R_{max} = r_0 + s_{max}$ și $R_{min} = r_0$.

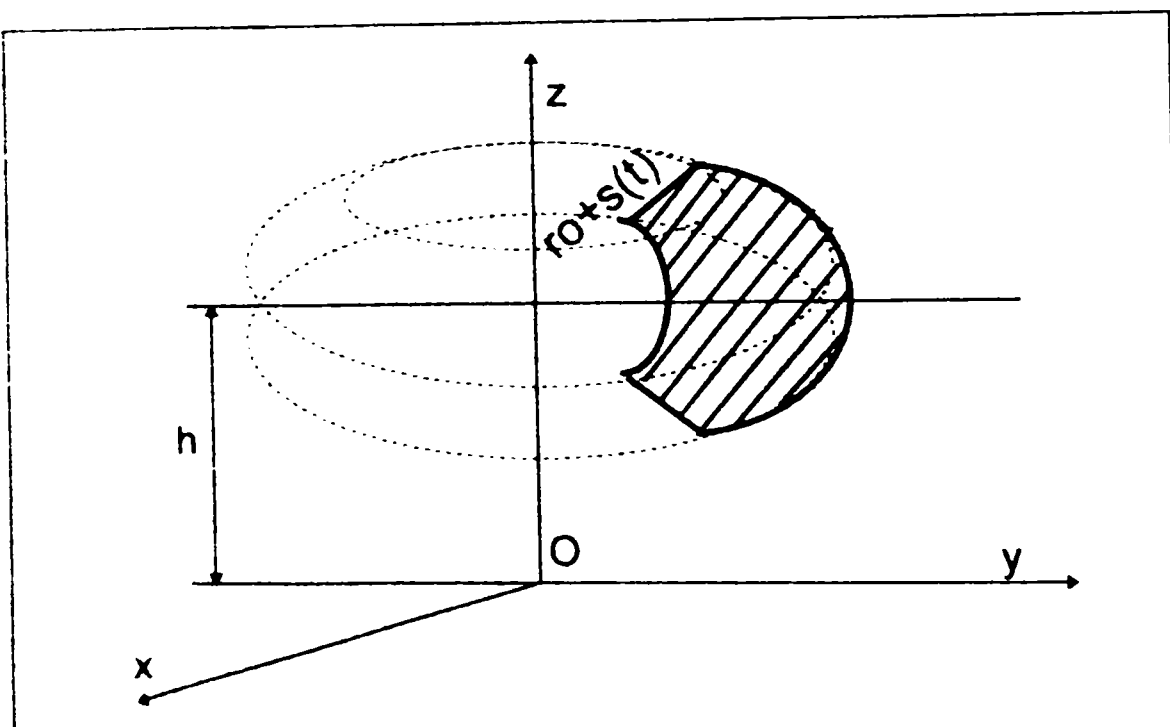


Figura 6.6.

Spațiul de lucru al instalației cu braț telescopic.

Soluția constructivă adoptată conferă unghiurilor α și β și înălțimii h următoarele valori:

(La acestea se adaugă extensia maximă a brațului $s(t)$ și lungimea fixă r_0 a acestuia.

$$\begin{aligned}\alpha_{\max} &= 360^{\circ} \\ \beta_{\max} &= 180^{\circ} \\ h &= 1500 \text{ mm} \\ s(t)_{\max} &= 800 \text{ mm} \\ r_0 &= 800 \text{ mm}.\end{aligned}$$

Valorile atribuite sunt prezentate schematic în figura 6.7:

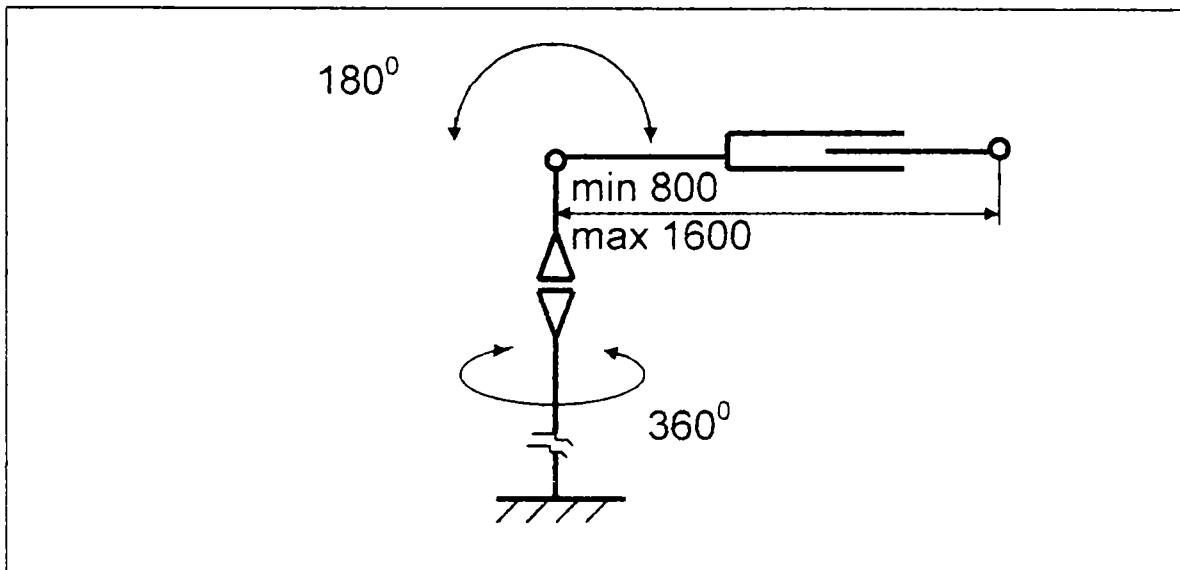


Figura 6.7.

Reprezentarea deplasărilor relative ale elementelor instalației cu braț telescopic.

6.2.3. Considerații privind exactitatea de măsurare a instalației.

În cadrul operației de măsurare apare eroarea de măsurare definită ca diferența dintre valorile coordonatelor punctului măsurat indicate de instalație și cele reale.

Diferența ce apare se datorește :

- execuției necorespunzătoare a elementelor constructive ale instalației de măsurare.
- condițiilor de măsurare diferite de cele ideale.

Eroarea de măsurare are două componente majore :

- componenta sistematică
- componenta aleatorie

În plus mai pot interveni erori generate de :

- c) strategia de măsurare
- d) obiectul măsurat
- e) algoritmul de prelucrare al rezultatului măsurării
- f) modul de operare.

În cadrul erorii sistematice acționează (în cazul instalației prezentate)

1. erori de poziție
2. erori de rectiliniaritate
3. erori de perpendicularitate
4. erori datorate deformațiilor statice
5. erori datorate influenței mediului.

În cadrul erorii aleatorii acționează mărimi stohastice sau periodice ce se modifică de la un punct măsurat la altul. Iată câteva exemple :

1. abateri de formă ale lagărelor (jocuri în cuplele cinematice)
2. vibrații
3. impunități
4. erori de digitizare / citire
5. forțe de frecare.

Pentru analiza teoretică, ele se consideră grupat. Astfel, unui punct în plan, i se atribuie o elipsă a erorilor iar în spațiu, un elipsoid al erorilor. Domeniul astfel delimitat este denumit domeniu de confidentă.

Pentru a determina erorile de măsurare în spațiul de lucru al instalației, indiferent de sursa lor, se utilizează metoda de calibrare globală.

Pentru calibrare trebuie considerată o rețea de puncte în spațiul de lucru, pentru care se măsoară abaterile de poziție :

$$\Delta \vec{r} = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i) \quad (6.4)$$

unde

$\Delta \vec{r}$ reprezintă vectorul erorii de măsurare.

Dacă se consideră o funcție de interpolare liniară, abaterile de poziție ale unui punct oarecare $M(x_M, y_M, z_M)$ diferit de nodurile rețelei de

calibrare vor putea fi calculate funcție de abaterile a opt noduri vecine reprezentând colțurile unui cub după cum se vede în figura 6.8.

$$\Delta x_M = f(x, y, z, \Delta x_1, \dots, \Delta x_8) \quad (6.5)$$

$$\Delta y_M = f(x, y, z, \Delta y_1, \dots, \Delta y_8) \quad (6.6)$$

$$\Delta z_M = f(x, y, z, \Delta z_1, \dots, \Delta z_8) \quad (6.7)$$

unde x_M, y_M, z_M sunt coordonatele punctului M iar $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ sunt abaterile în nodurile rețelei, determinate prin calibrare.

În acest mod coordonatele corectate ale punctului M devin :

$$x_k = x - \Delta x_M \quad (6.8)$$

$$y_k = y - \Delta y_M \quad (6.9)$$

$$z_k = z - \Delta z_M \quad (6.10)$$

Pentru această metodă se recomandă o rețea de $n \cdot 10^3$ puncte. Cu cât numărul nodurilor rețelei de calibrare este mai mare cu atât eroarea reziduală (necorectată) este mai mică.

Operația de calibrare a instalației cu braț telescopic se face pe o mașină de măsurat în coordonate, dispunerea fiind conformă cu figura următoare (vezi Figura 6.8).

Pentru a justifica aplicarea metodei de calibrare globală se vor evidenția posibilele surse de erori sistematice în construcția instalației de măsurare după cum se vede și în figura 6.9.

În figură se pot observa :

1. θ_1 - abaterea de la perpendicularitate a axei cuplei A față de planul XOY
2. $\Delta\theta_2, \delta_1$ - necoaxialitatea în cupla A și bătaia radială
3. $\Delta\theta_3, \delta_2$ - axa brațului telescopic nu intersectează axa cuplei B
4. $\Delta\theta_4$ - necoaxialitate în cupla C
5. Δl_i ($i = 1, 4$) - abateri și variația lungimii elementelor $\overline{1,4}$.

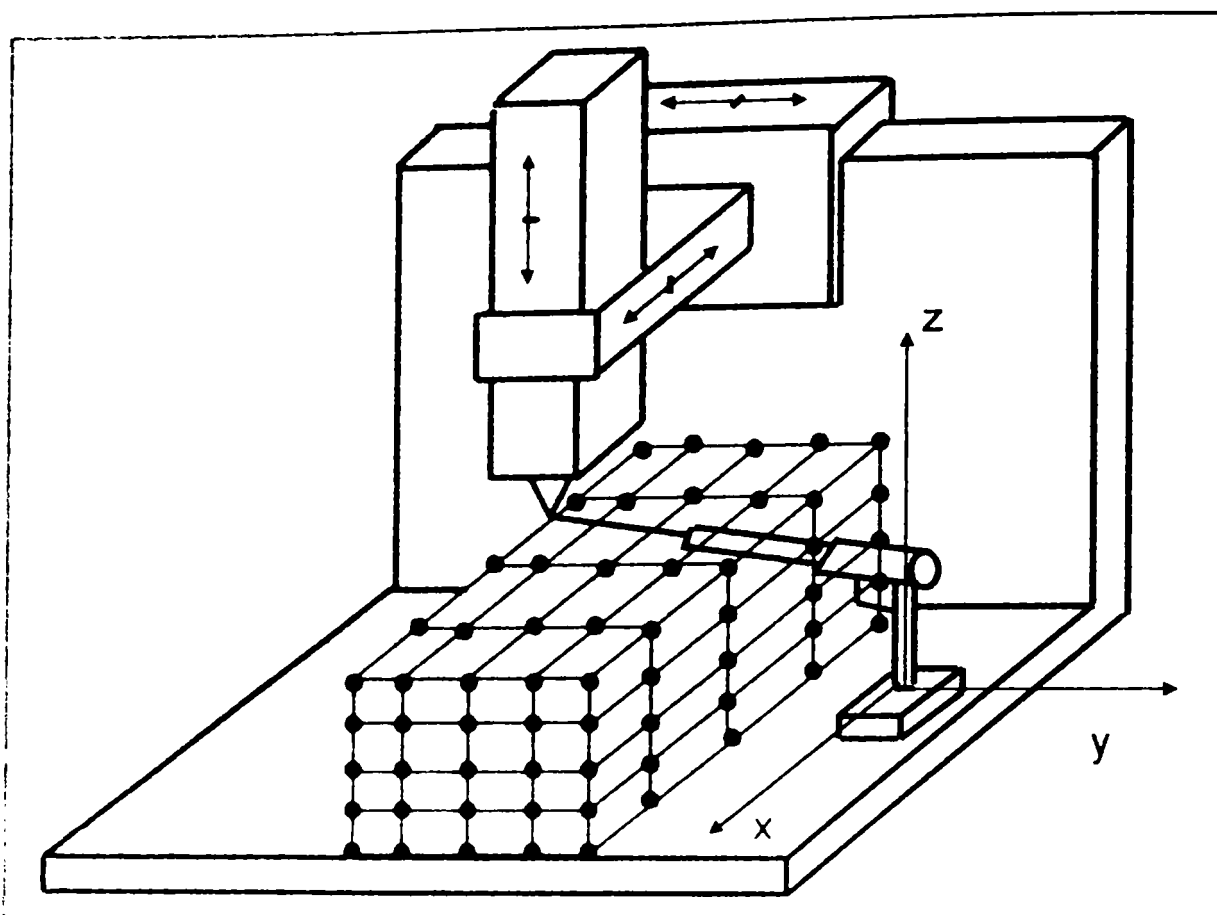


Figura 6.8.
Stand pentru calibrarea instalației cu braț telescopic.

După cum se observă în figura 6.9, odată cu instalarea abaterilor de tip $\Delta\delta_i$, $\Delta\theta_i$, Δl_i , sistemul de referință XYZ în care se determină coordonatele sferice ale punctului M se mută într-o nouă poziție, devenind X'Y'Z'. Aplicarea calibrării va sesiza această modificare și o va include împreună cu erorile sistematice în softul de corecție a citirilor. De aici rezultă că este mai avantajoasă calibrarea prin metoda globală decât estimarea analitică a erorilor și aceasta doar parțial, cu referire la erorile sistematice.

În plus, aprecierea numerică la proiectare a factorilor de perturbare de tip $\Delta\delta_i$, $\Delta\theta_i$, Δl_i nu se poate face decât aproximativ.

De observat că unele surse de erori cum sunt absența alinierii axelor elementelor 3 și 4 în cupla cinematică de translație C, precum și apariția săgeții statice sau dinamice pot fi corectate prin alegerea unor soluții constructive. Una din acestea se prezintă în continuare.

Având în vedere că prin interiorul brațului telescopic trece un fir tensionat, ce realizează decelarea mișcării relative în cupla C se prevede un diametru interior de trecere astfel încât la apariția factorilor mai sus menționați, firul să nu fie implicat, rămânând rectiliniu și asigurând o măsurare corectă pe acest segment.

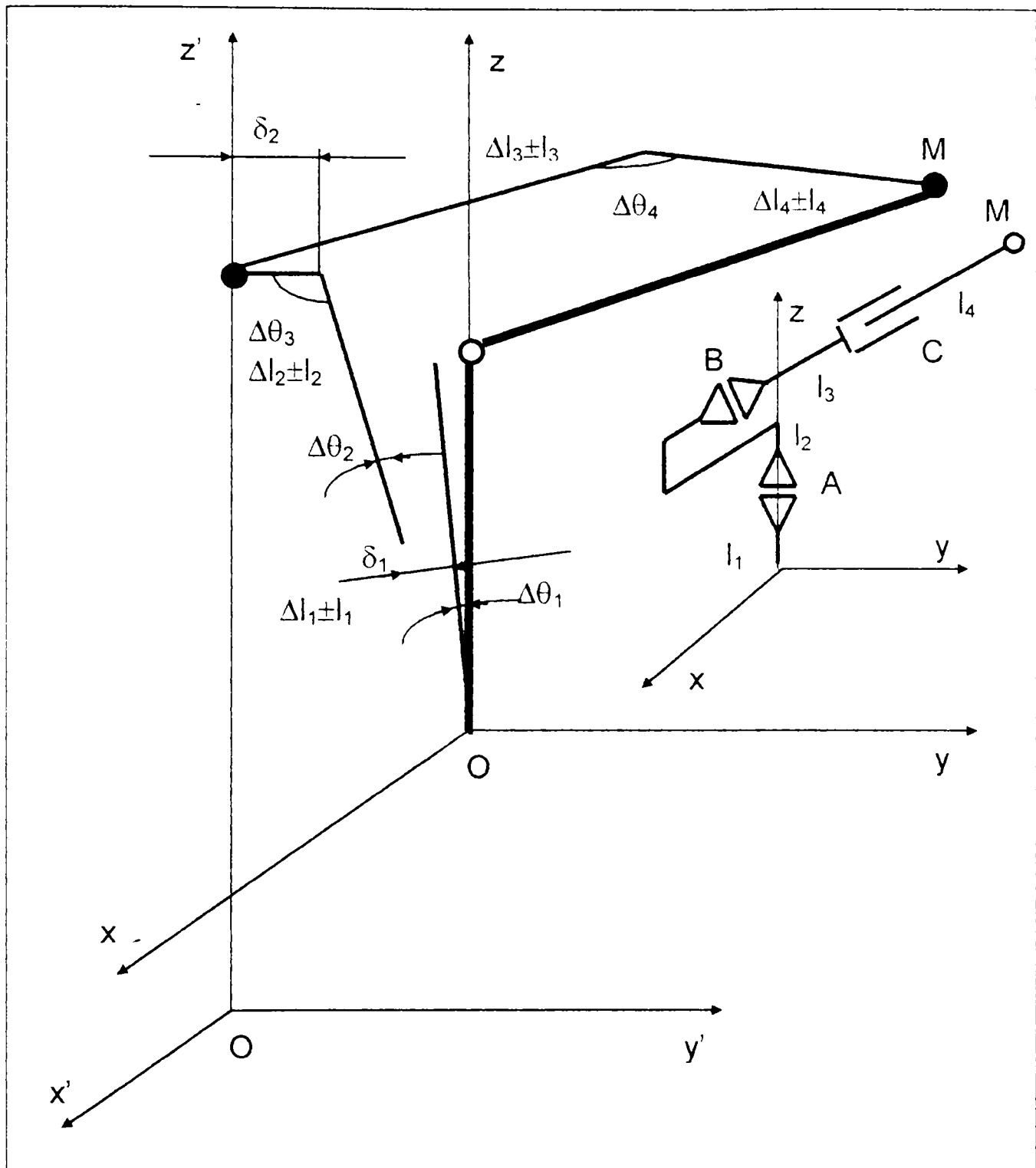


Figura 6.9.
Reprezentarea unor posibile surse de erori în cazul
instalației cu braț telescopic.

6.2.4. Soluția constructivă adoptată pentru instalația de măsurare cu fir și braț telescopic.

Pentru alegerea soluției constructive se au în vedere următoarele cerințe :

- 1 asigurarea rotației în jurul a două axe concurente (orizontală respectiv verticală);
- 2 asigurarea variației de lungime a brațului mobil,
- 3 asigurarea derulării și înfășurării unui fir inextensibil tensionat;
- 4 citirea deplasărilor unghiulare utile precum și a variației de lungime a brațului de palpate.

Pentru asigurarea rotațiilor se prevăd două axe, una pe orizontală ce poartă și brațul telescopic iar cealaltă verticală, ce susține modulul de rotație orizontal. Lăgăruirile sunt făcute pe rulmenți radial - axiali. Legătura axelor la tractoare se face prin cuplaje elastice cu canal elicoidal. Pe brațul telescopic se montează caseta de înmagazinare a firului considerat inextensibil. Tensionarea acestuia se face prin intermediul unui arc spiral. Ghidarea firului se realizează prin inele de safir.

Pentru o racordare corectă a brațului telescopic la efectorul final, acesta este prevăzut cu o terminație sferică ce permite realizarea unei articulații tip "nucă" în raport cu interfața mecanică a RI.

Cele prezentate mai sus se pot vedea în figurile ce urmează, obținute prin extragerea din desenul de ansamblu general al instalației (IBT) (vezi Figurile 6.11, 6.12 și 6.13).

Ca variantă de utilizare a instalației se propune folosirea casetei de înmagazinare - derulare a firului pentru determinarea indicatorilor de viteză pentru orice tip de deplasare liniară executată de robot. Prin prelevarea unghiului de înfășurare sau desfășurare a tamburului cu fir și pe baza unei eșantionări riguroase în timp, având intervalul de eșantionare de ordinul a 10^{-2} secunde se poate determina viteza punctului caracteristic în situația în care acesta are o traiectorie rectilinie.

Determinarea indicatorilor de viteză din exterior, folosind caseta cu fir, a cărei construcție a fost descrisă anterior, permite reducerea efectului jocurilor, dilatațiilor, asupra citirilor efectuate.

Schema de utilizare a casetei se prezintă în continuare în figurile 6.10.a și 6.10.b.

- unde :
1. - robot industrial
 2. - racord fir
 3. - fir tensionat
 4. - caseta cu derulator
 5. suport casetă

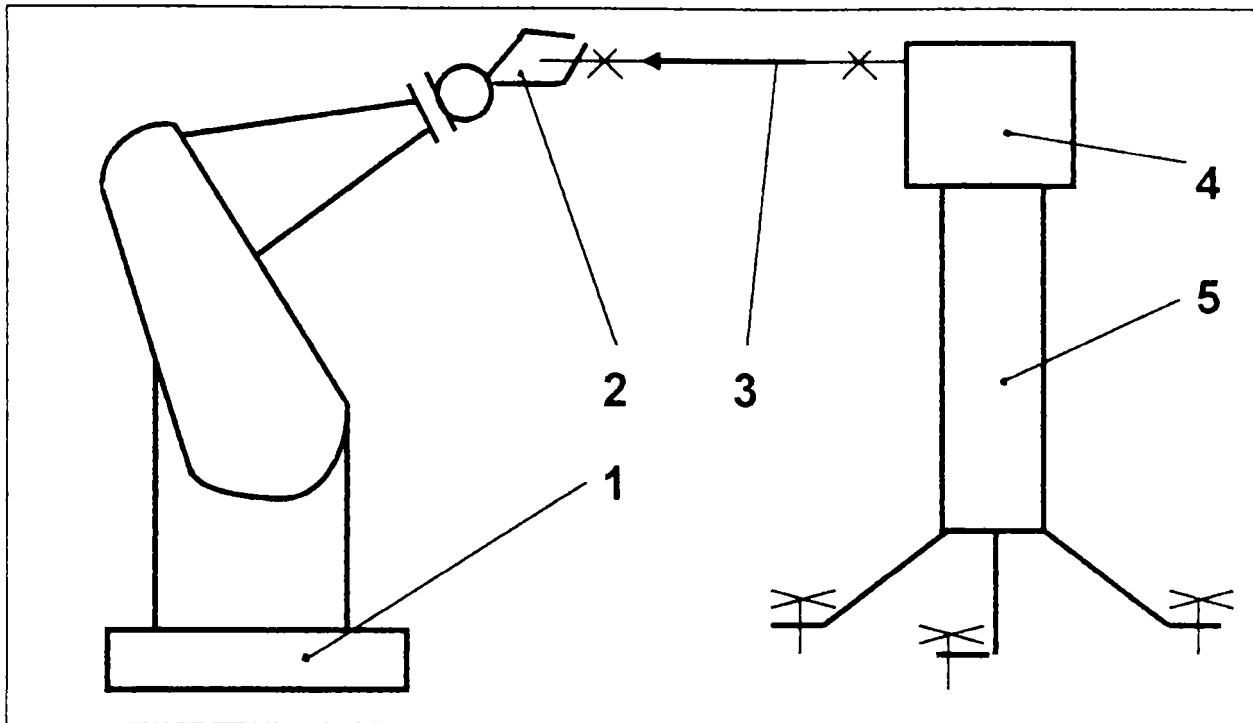


Figura 6.10.a

Determinarea vitezei pe o traiectorie rectilinie oarecare cu ajutorul instalației cu fir.

O altă posibilitate de utilizare se prezintă în figura 6.11.

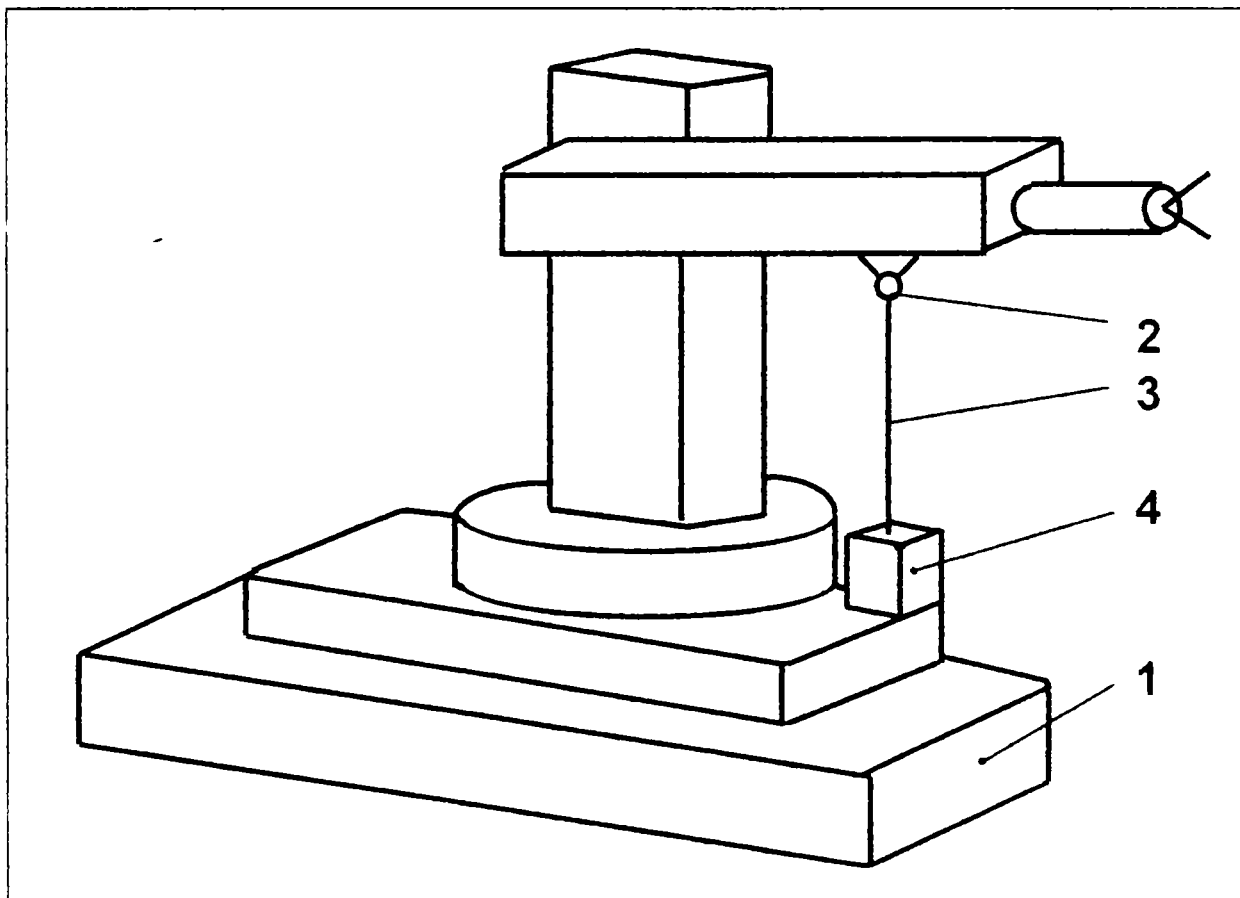


Figura 6.10.b

Determinarea vitezei pe o axă cu ajutorul instalației cu fir.

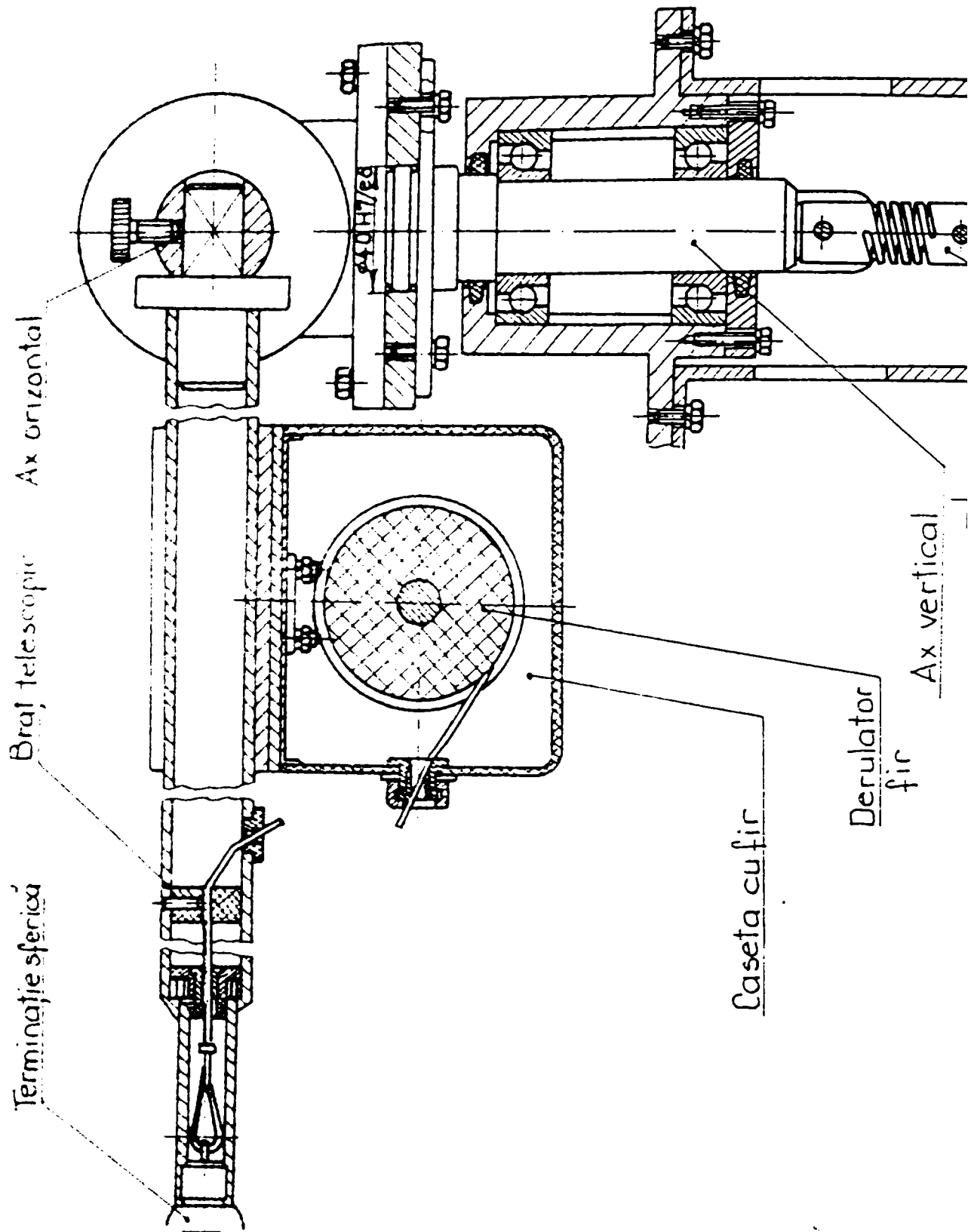


Figura 6.11.
Soluția constructivă
a instalației cu braț telescopic.

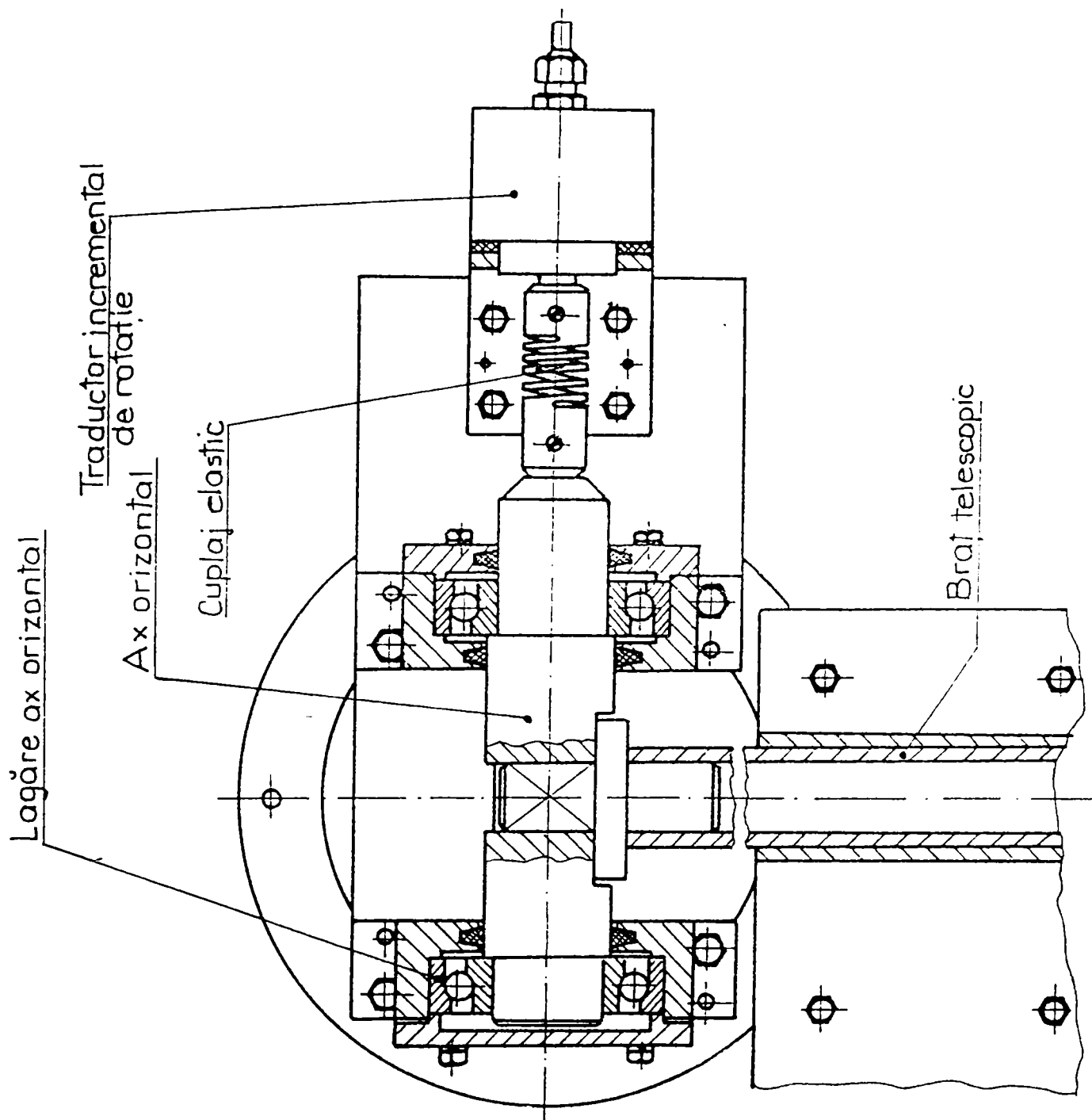


Figura 6.12.
Soluția constructivă
a instalației cu braț telescopic și fir.

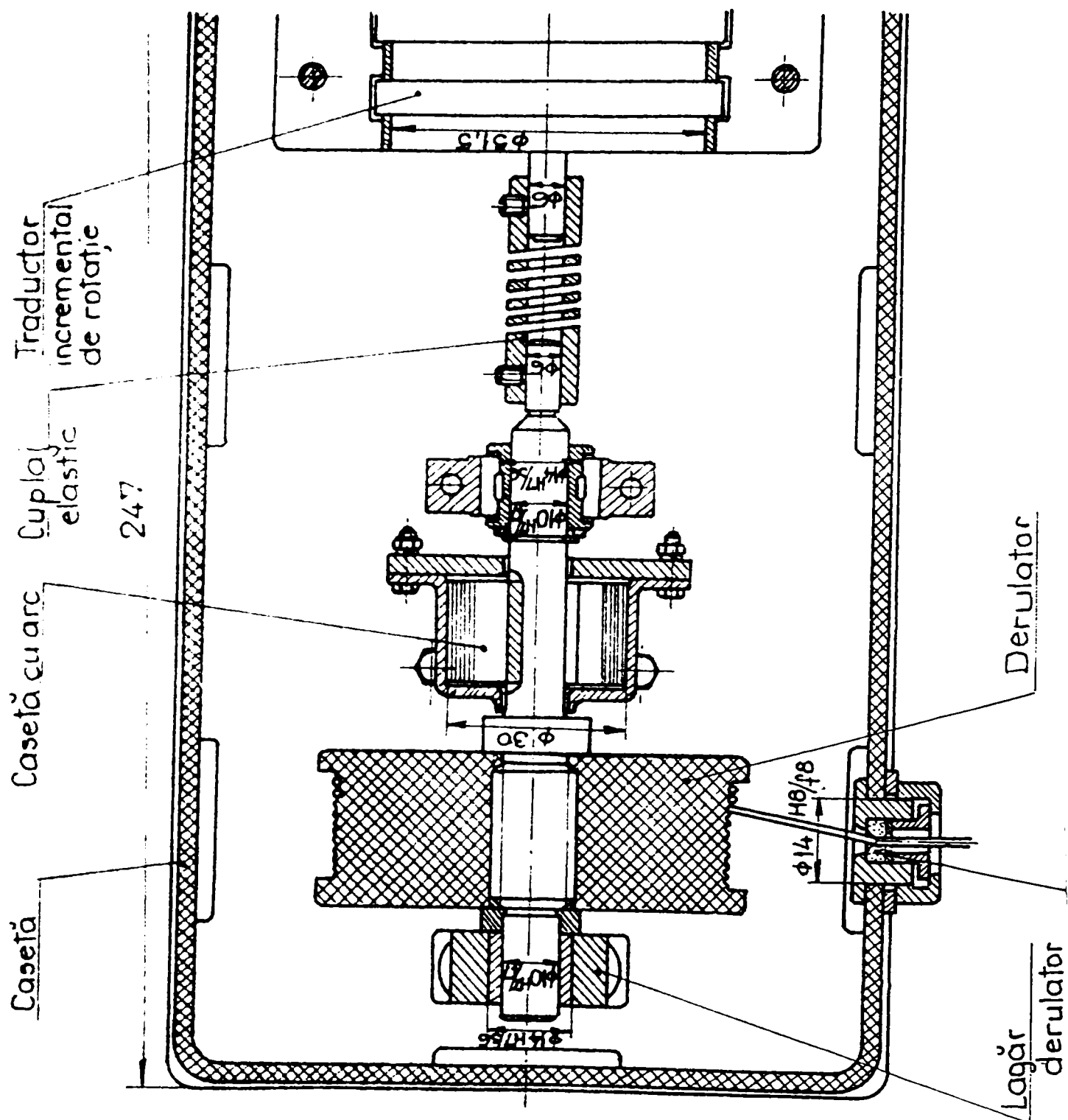


Figura 6.13.
Casetă cu fir.

Capitolul 7

DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

7.1. Prezentare generală.

Determinările experimentale au urmărit câteva aspecte legate de conținutul tezei, după cum urmează :

- a) stabilirea indicatorilor de calitate ai unor RI
- b) verificarea unor metode și mijloace de măsurare
- c) determinarea posibilității de monitorizare a RI
- d) determinarea unor modele de comportament ale RI în situația alterării indicatorilor de calitate.

Determinările au fost susținute cu aparatură de măsurare de complexitate diversă și metodele corespunzătoare.

Prezentarea de mai jos pune în evidență ierarhizarea acestora :

1. Mijloace pentru măsurarea lungimilor :

- 1.1. mecanice - comparatoare mecanice
- 1.2. opto-electronice - camera CCD
- 1.3. electrice - transductoare inductive
- transductoare potențiometrice

2. Mijloace pentru măsurarea temperaturilor :

- 2.1. transductoare tip termocuplă
- 2.2. transductoare rezistive
- 2.3. semiconductoare

3. Mijloace pentru măsurarea parametrilor vibrațiilor :

- transductoare seismice piezoelectrice

4. Mijloace pentru măsurarea forțelor :

- arc elicoidal calibrat prevăzut cu traductor potențiomtric de deplasare

5 Alte mijloace de preluare ale unor indicatori de calitate :

- sursă laser și fotodetectoare.

Modul de preluare al informației de măsurare a fost realizat :

- ◆ prin afișaj analogic
- ◆ prin afișaj digital
- ◆ automatizat, cu CMMC (Complet multicanal pentru măsurare computerizată)

Pe lângă metodele convenționale pentru evaluări cantitative s-au folosit și metode de identificare a nivelului calității fără a avea o imagine numerică a acestuia. Rolul acestui tip de metodă este acela de-a localiza zonele ce se pretează la investigațiile cu metode convenționale eliminând baleierea unor zone extinse "sănătoase" ce nu sunt relevante pentru alterarea indicatorilor de calitate.

7.2. Întocmirea programului de experimentări

7.2.1. Determinarea indicatorilor de calitate geometrici.

S-au avut în vedere următorii indicatori geometrici ai calității :

- a) deriva punctului caracteristic;
- b) pasul minim programabil;
- c) cursa după comanda STOP;
- d) exactitatea pe traiectorie;
- e) eroarea de colț, depășirea la colț și lungimea de stabilizare pe traiectorie în cadrul testului "CORNER"

Unele determinări ale indicatorilor de calitate geometrici s-au efectuat în corelație cu măsurarea temperaturii elementelor și cuplelor cinematice pentru a stabili dependența existentă.

Pentru indicatorii geometrici enunțați se prezintă metodele de determinare uzuale și cele propuse de autor.

Tabelul 7.1.

Nr. crt.	Indicatorul geometric studiat	Metode și echipamente utilizate
1	Deriva punctului caracteristic	<ul style="list-style-type: none"> ◆ corp de referință și cap de măsurare ◆ instalație cu fir ◆ instalație cu braț telescopic ◆ sursa laser și PSD ◆ instalație cu două surse laser ◆ instalație trepied ◆ instalație Snake ◆ triangulație cu teodoliți
2	Pasul minim programabil	<ul style="list-style-type: none"> ◆ corp de referință și cap de măsurare ◆ sursă laser și fotodiodă ◆ instalație cu fir ◆ instalație cu braț telescopic ◆ sursa laser și PSD
3	Cursa după comanda STOP	<ul style="list-style-type: none"> ◆ corp de referință și cap de măsurare ◆ sursă laser și fotodiodă ◆ instalație cu fir ◆ instalație cu braț telescopic ◆ sursa laser și PSD
4	Exactitatea pe traiectorie	<ul style="list-style-type: none"> ◆ sursă laser și fotodetector
5	Test "corner"	<ul style="list-style-type: none"> ◆ fotogrametrie ◆ prelucrarea imaginii de la camera CCD ◆ inscripționare pe panou

7.2.1.1. Determinarea derivei punctului caracteristic. Generalități.

Pentru a clarifica obiectul determinărilor trebuie definită deriva punctului caracteristic.

Deriva punctului caracteristic reprezintă variația poziției acestuia într-un interval de timp dat.

Dat fiind faptul că noțiunea de derivă este legată atât de orientare cât și de poziție, se propune modificarea denumirii indicatorului de calitate din deriva punctului caracteristic în **deriva situării**.

Asocierea celor doi termeni în denumirea nouă semnifică în mod clar faptul că poziția și orientarea punctului și dreptei caracteristice se modifică lent în timp.

Variația în timp a situații se repercutează asupra celor doi principali indicatori ai acesteia și anume :

- a) exactitatea de situație
- b) repetabilitatea de situație

Se are în vedere modificarea celor doi indicatori a) și b) în timp, literatura de specialitate [V5] introducând termeni precum deriva exactității respectiv a repetabilității de situație.

Relațiile de calcul recomandate sunt :

- a). pentru deriva exactității de situație:
 - pentru componenta - poziționare

$$\Delta P = (AP_{t_0} - AP_{t_1}) \quad (7.1)$$

unde: $T = 0,5 \text{ h.}$

- respectiv pentru componenta - orientare:

$$\Delta P_a = |AP_{a,t_0} - AP_{a,t_1}| \quad (7.2)$$

$$\Delta P_b = |AP_{b,t_0} - AP_{b,t_1}| \quad (7.3)$$

$$\Delta P_c = |AP_{c,t_0} - AP_{c,t_1}| \quad (7.4)$$

- b). pentru deriva repetabilității de situație :
 - pentru repetabilitatea de poziționare

$$\Delta P = |RP_{t_0} - RP_{t_1}| \quad (7.5)$$

- respectiv pentru repetabilitatea de orientare:

$$\Delta P_a = |RP_{a,t_0} - RP_{a,t_1}| \quad (7.6)$$

$$\Delta P_b = |RP_{b,t_0} - RP_{b,t_1}| \quad (7.7)$$

$$\Delta P_c = |RP_{c,t} - RP_{c,t}| \quad (7.8)$$

unde AP și RP sunt exactitatea și repetabilitatea de situaie (la momentul $t = 0$ și $t = T$).

În aceste condiții, determinarea derivei situației se reduce la aflarea poziției unui punct și a orientării unei drepte în spațiu.

Condițiile în care se fac măsurările sunt variabile în sensul modificării :

- ◆ curselor liniare / unghiulare
- ◆ sarcinii manipulate
- ◆ temperaturii elementelor

Având în vedere că ulterior acestor determinări vor fi prelucrate concluzii legate de modelul de comportament al robotului după încălzirea cuplelor cinematice și de posibilități de monitorizare, măsurarea derivei situației s-a efectuat pentru componenta referitoare la deplasarea pe axa Z a punctului caracteristic la temperatura mediului ambiant respectiv după ridicarea temperaturii cuplelor cinematice la aproximativ 40°C prin suflarea unui curent de aer cald în zonele de contact.

Mod de lucru și rezultate.

Pentru a evidenția migrarea punctului caracteristic în stare de repaus pe un interval de timp dat precum și influența temperaturii zonelor de contact (cuplele cinematice) asupra derivei poziției punctului caracteristic, s-a conceput instalația de măsurare prezentată în figura 7.1) :

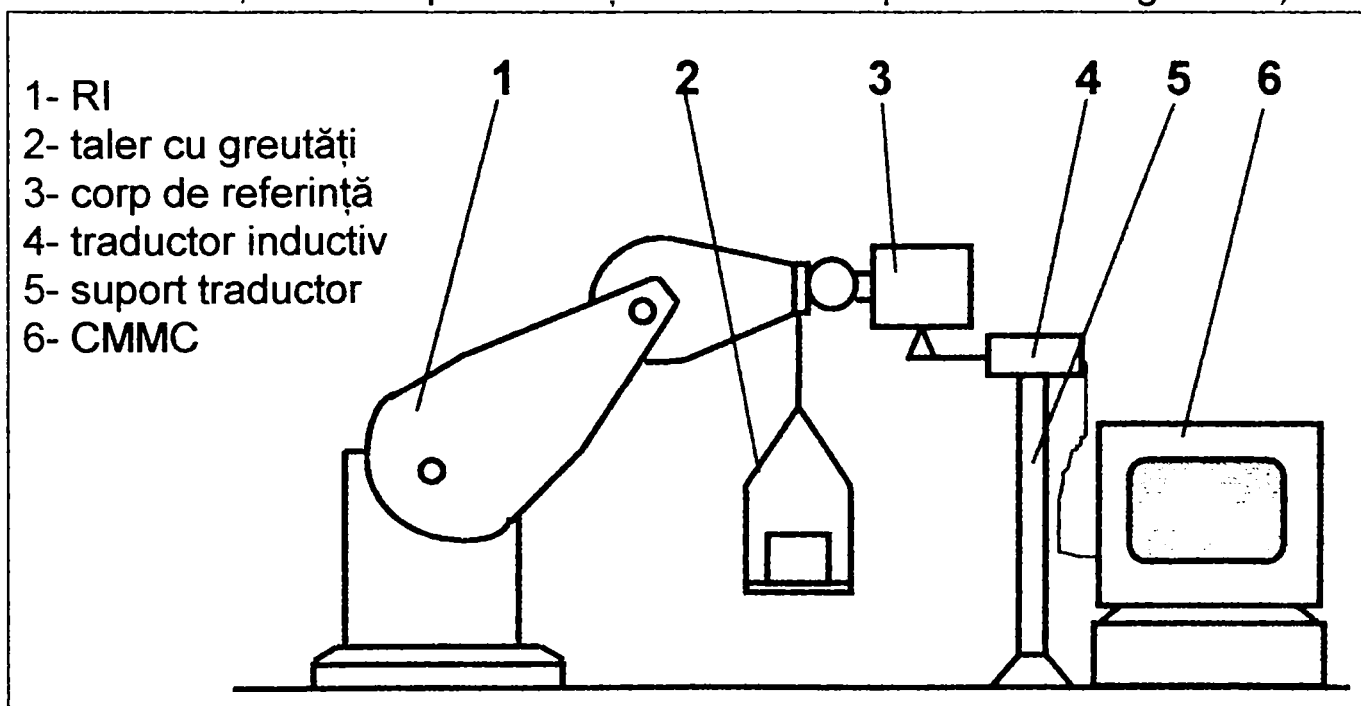


Figura 7.1.
Instalație de măsurare a derivei P.C. după axa z.

Parametri modificați pe parcursul programului de măsurare au fost:

- a) temperatura zonelor de contact, prin suflare de aer cald
- b) sarcina manipulată
- c) configurația sistemului mecanic (unghiul dintre elementele schemei cinematice).

Astfel temperatura a fost adusă în zona de contact la valoarea de 40°C. sarcina manipulată a variat crescător de la 10N la 50N cu un increment de 10N iar configurația sistemului mecanic a suferit patru modificări prezentate în continuare.

În prima etapă s-au selectat componentele instalației de măsurare, după cum urmează :

- ◆ Pentru a materializa punctul caracteristic s-a utilizat un corp de probă cubic cu latura de 100 mm.
- ◆ Pentru sesizarea deplasărilor s-a ales un traductor de deplasare inductiv tip MICROLIMIT cu rezoluția de 10^{-3} mm.
- ◆ Pentru preluarea informației furnizate de la traductor s-a ales un voltmetru digital respectiv un calculator IBM - PC - AT echipat cu placă de achiziție de date și soft adecvat (VIRTUAL BENCH).
- ◆ Pentru realizarea creșterii de temperatură în zonele de contact s-a folosit o suflantă de aer cald cu două trepte de viteză ale curentului de aer.
- ◆ Pentru modelarea sarcinii manipulate s-au folosit mase de 1 kg fiecare, în număr de cinci.

Pentru a fi utilizat, traductorul inductiv a fost cuplat la unitatea sa originală de tip MICROLIMIT EE. De la aceasta s-au extras cele două cabluri ce poartă semnalul prelucrat primar și au fost conectate la interfața de măsurare a CMMC - ului pentru a furniza semnalul final.

După această operație s-a trecut la calibrarea traductorului convertind semnalul cules (tensiune a curentului electric) în deplasare liniară a palpatorului. Pentru aceasta a fost conceput standul de calibrare din figura 7.2 (vezi anexa A9):

- unde:
- 1- unitatea de măsurare MICROLIMIT
 - 2- traductor inductiv MICROLIMIT
 - 3- masă de poziționare cu șurub micrometric
 - 4- CMMC
 - 5- placă de bază.

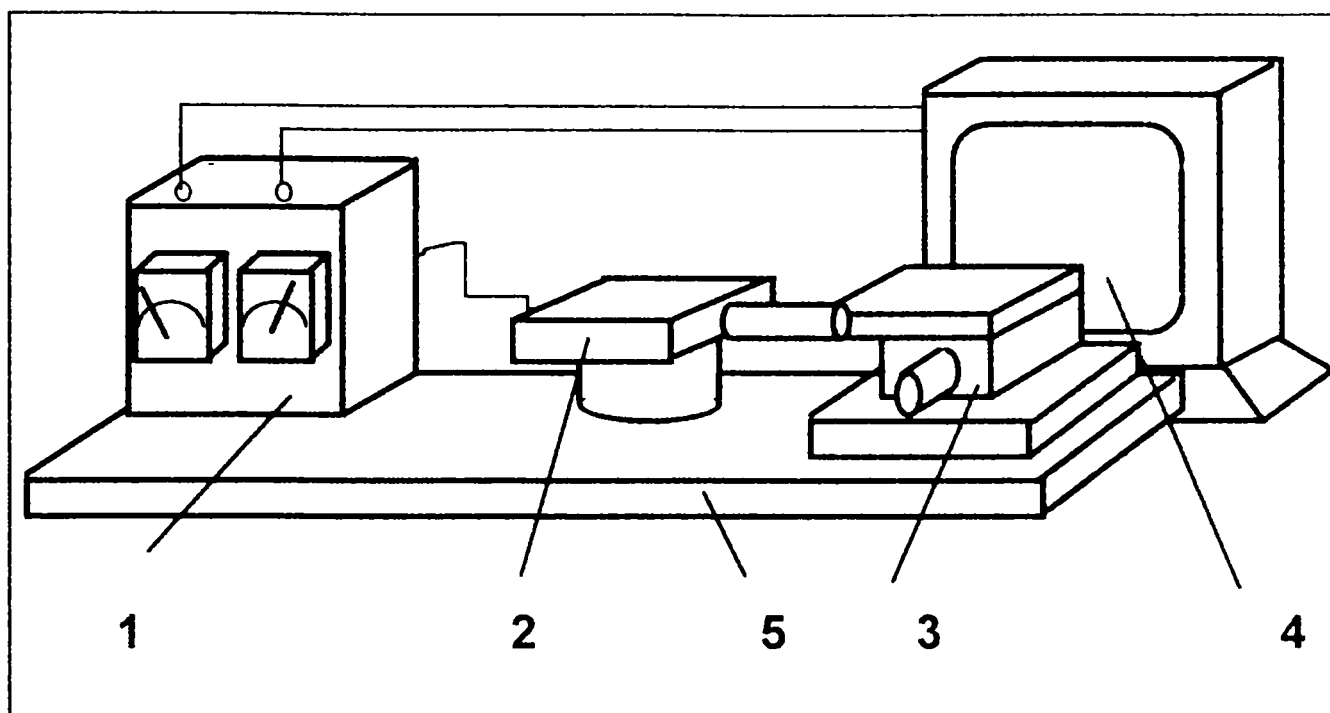


Figura 7.2.

Stand de calibrare a traductorului inductiv MICROLIMIT.

Rezultatele obținute în urma testelor efectuate se prezintă sub formă grafică în figurile 7.3.a, 7.3.b, 7.3.c, 7.3.d. pe baza datelor din anexa A1. Rezultatele confirmă buna funcționare a instalației propuse fiind în limitele previzionate.

7.2.1.2. Determinarea pasului minim programabil. Generalități.

Pasul minim programabil determină numărul minim de impulsuri transmise acționării unei cuple motoare pentru care există răspuns de tip deplasare la nivelul efectorului final.

Pentru a determina pasul minim programabil se impune sesizarea prezenței mișcării la nivelul efectorului final în direcția și sensul programat de operator. Acest scop este atins prin dispunerea unui corp de referință cubic cu latura de 100 mm în flanșa efectorului final și a unui traductor de deplasare liniară pe direcția mișcării probabile, aflat în contact cu corpul de referință.

În continuare se comandă cupla motoare investigată cu un număr de impulsuri crescător până în momentul în care traductorul de deplasare liniară confirmă inițierea mișcării la efectorul final. Numărul de impulsuri la care s-a produs mișcarea reprezintă pasul minim programabil. În condițiile determinării prezentate citirea numărului de impulsuri s-a făcut de la traductoarele de rotație opto-electronice ale robotului industrial.

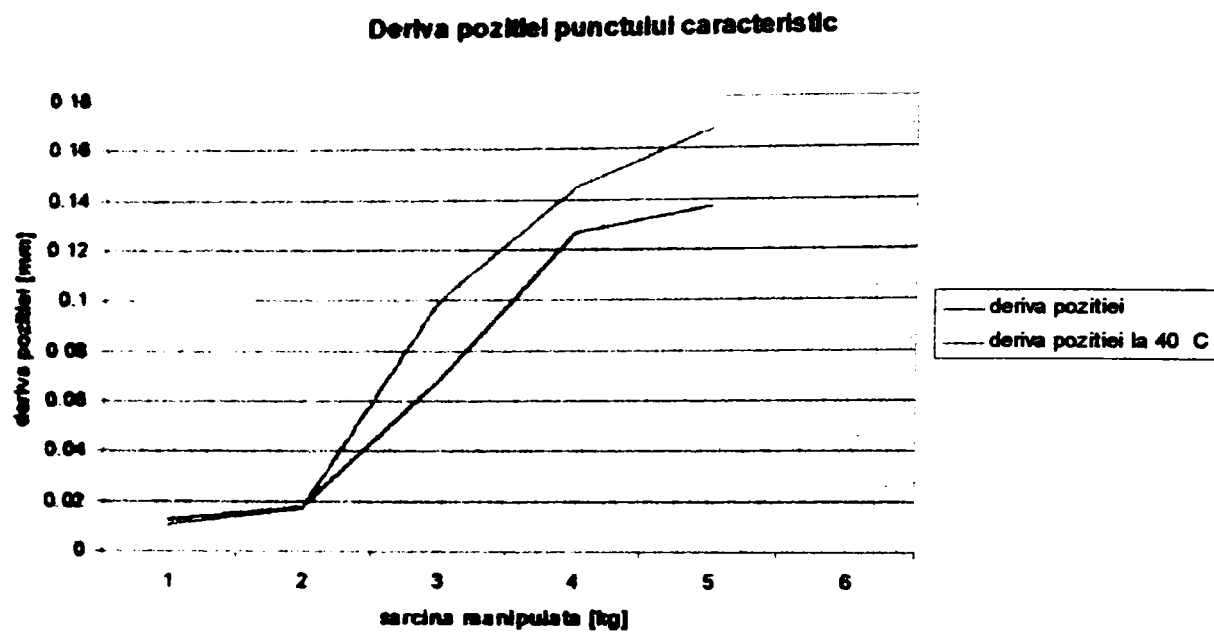


Figura 7.3.a

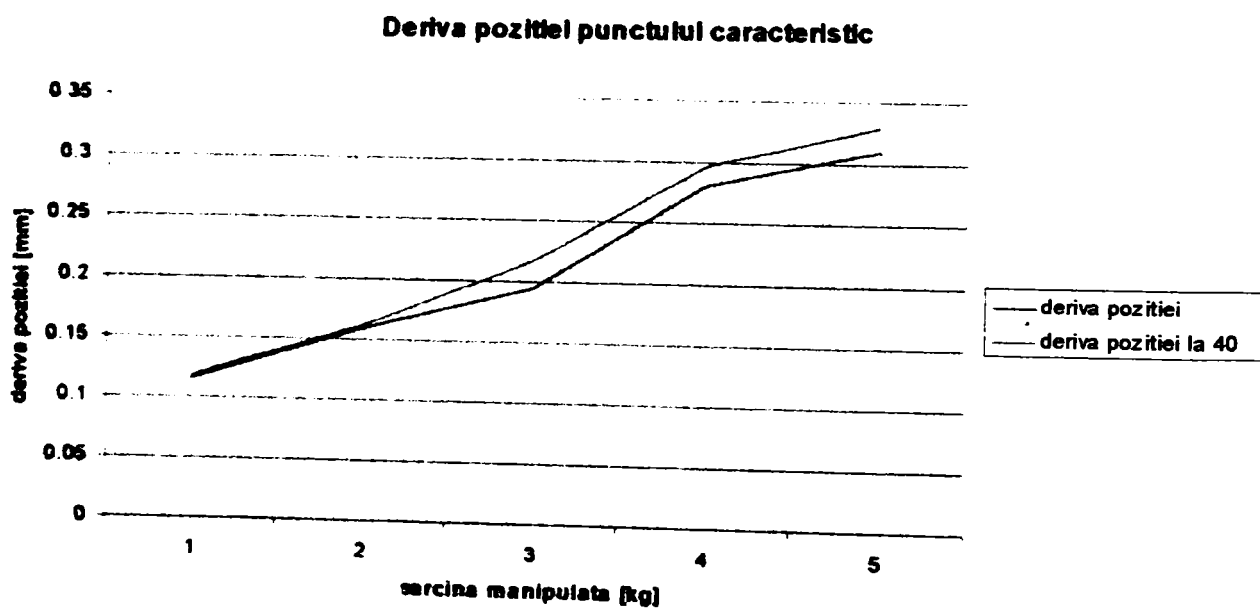


Figura 7.3.b

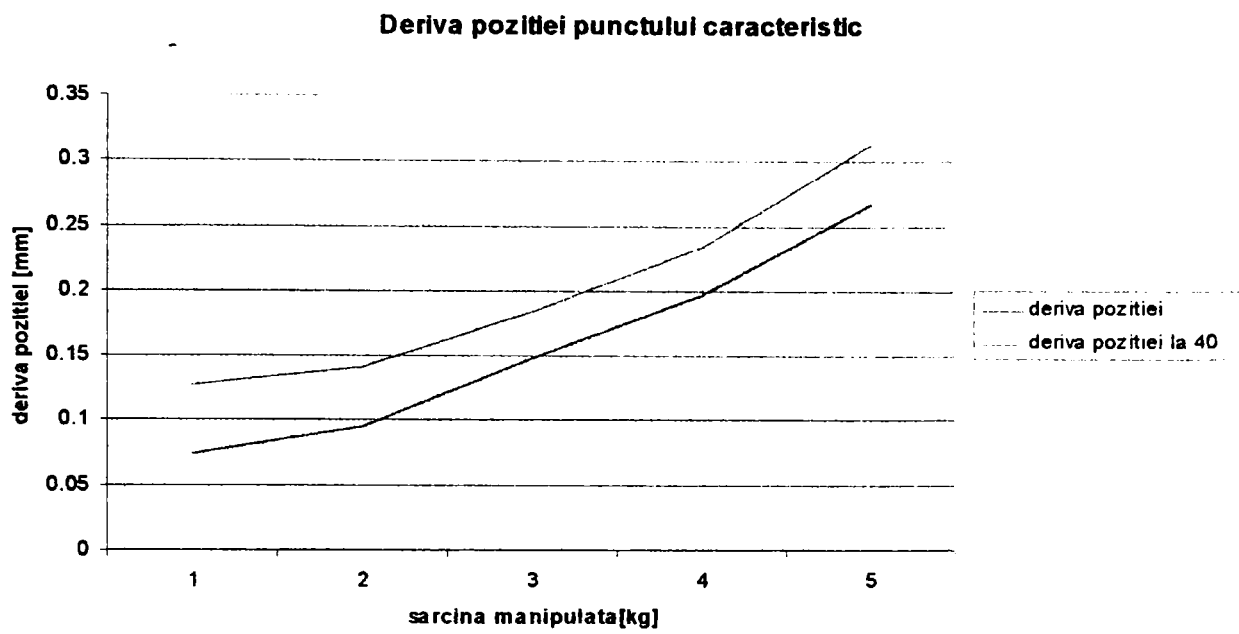


Figura 7.3.c

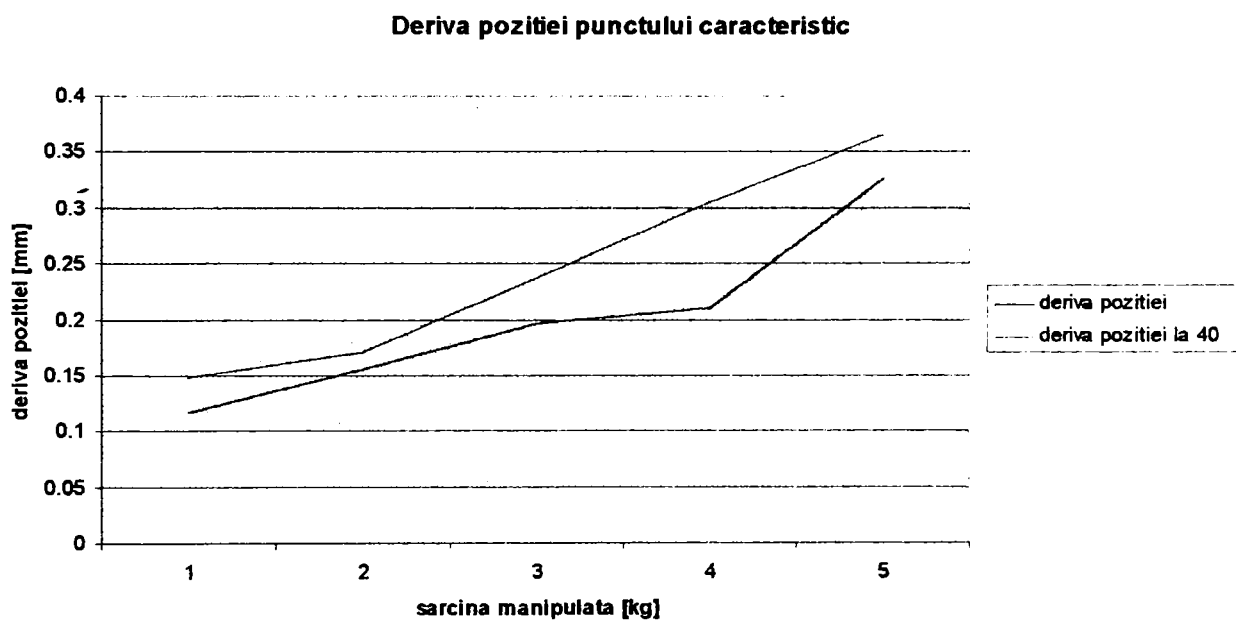


Figura 7.3.d

Mod de lucru și rezultate.

Aplicarea metodei de determinare a pasului minim programabil s-a făcut pe robotul REMT - 1.

Instalația de măsurare pentru această determinare se prezintă în figura 7.4.

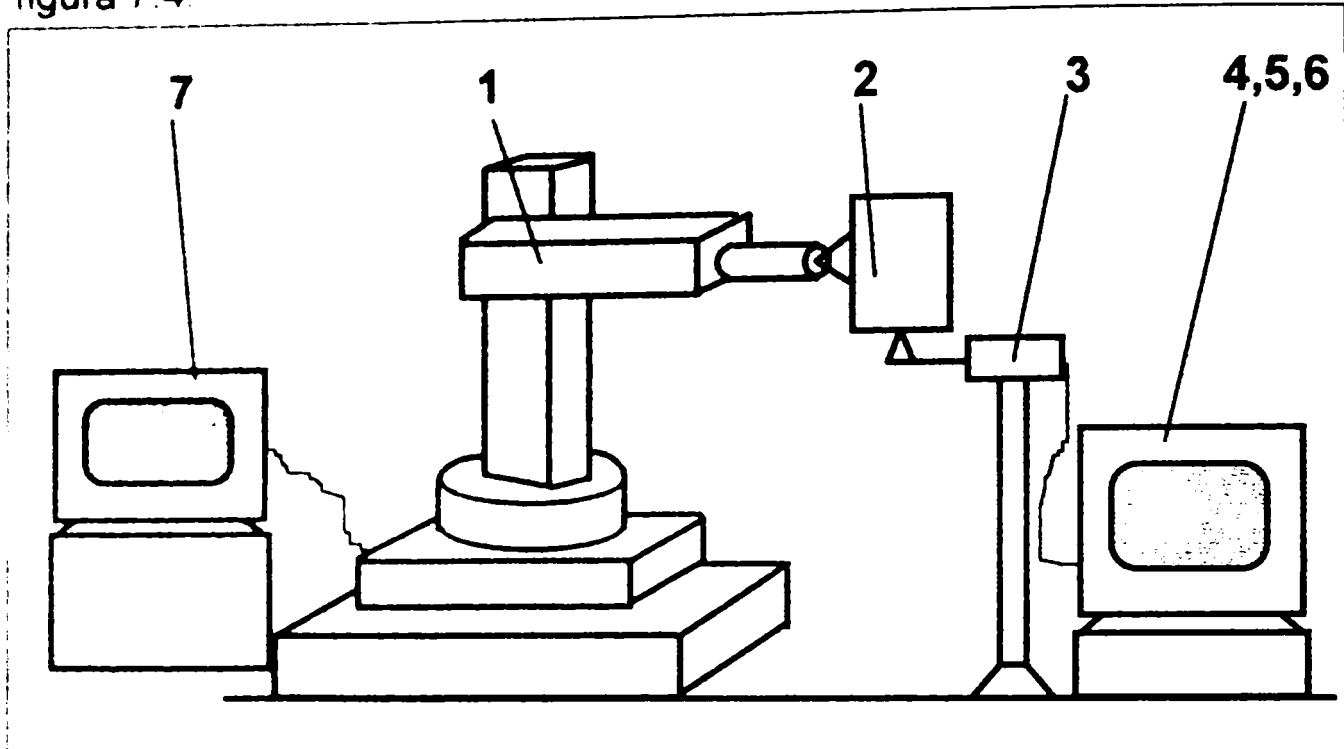


Figura 7.4.

Stand pentru determinarea pasului minim programabil.

- unde
1. Robot industrial tip REMT - 1
 2. Corp de referință cubic
 3. Traductor inductiv MICROLIMIT
 4. Unitate de afișaj analogic MICROLIMIT
 5. Interfață
 6. CMMC
 7. Unitate de comandă a RI, REMT - 1.

Pentru a determina pasul minim programabil s-au utilizat două canale informaționale, astfel :

- ◆ pe primul canal se preia informația privind numărul de impulsuri furnizate de traductorul de deplasare al axei robotului ce a fost pusă în mișcare.
- ◆ pe al doilea canal se preia informația de la traductorul extern, Microlimit, privind prezența deplasării corpului de referință atașat efectorului final al RI.

Ceea ce se obține este o listă de valori pe două coloane conținând numărul de impulsuri programate și valoarea deplasării efectorului final pe axa comandată. Prin analiza celor două valori se identifică numărul de impulsuri pentru care s-a inițiat mișcarea pe axa comandată, sesizabilă la efectorul final al RI.

Convertirea numărului de impulsuri în valoare a deplasării în lungul axei acționate se face cunoscând caracteristicile geometrice ale acționării și transmisiei. Testul fiind executat pentru translație bază, axa 1 a robotului REMT, iar traductorul de rotație fiind plasat în axa motorului electric rotativ, convertirea impuls - deplasare are loc după schema din figura 7.5.

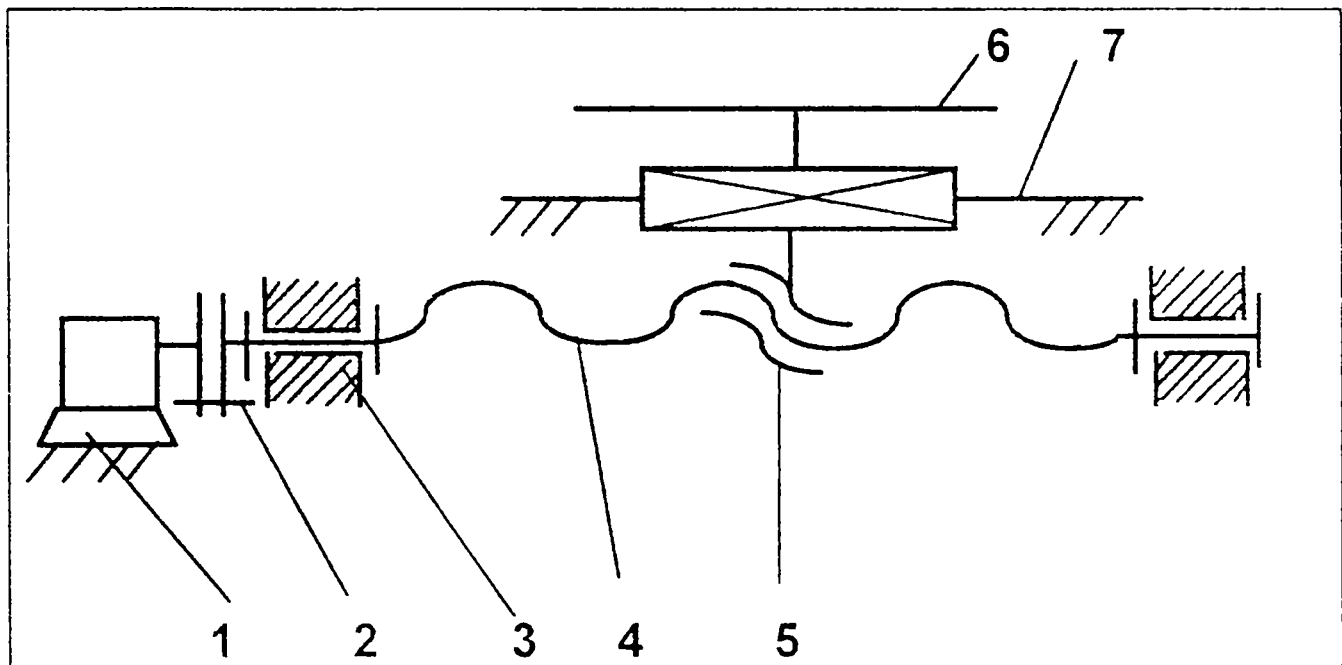


Figura 7.5.

Schema cinematică a axei translație de bază a robotului industrial REMT-1.

- unde :
1. Traductor de rotație opto-electronic(TIRO)
 2. Cuplaj
 3. Lagăr de rotație
 4. Șurub cu bile
 5. Piulița șurubului cu bile
 6. Modul de translație
 7. Ghidaje translație bază.

Dacă n este numărul de impulsuri furnizate de traductorul TIRO pentru 360° , iar p pasul șurubului cu bile, rezultă că pentru un impuls corespunde o deplasare a modului de translație pe axa comandată. Δx exprimată cu relația :

$$\Delta x = \frac{p}{n} \quad (7.9)$$

Pentru a se obține informații cu caracter complex, s-au modificat câțiva parametri considerați semnificativi pentru funcționarea RI-ului.

Astfel cuplele cinematice ale axei 1 au fost încălzite artificial, prin suflare cu aer cald, până la temperatura de 40°C. Ghidajele axei 1 au functionat în stare de ungere normală cât și degresate. În plus, sarcina manipulată a fost modificată din 10 în 10 kg până la valoarea maximă de 50 kg

Rezultatele obținute în aceste condiții se prezintă grafic în figura 7.6 pe baza datelor din anexa A2.

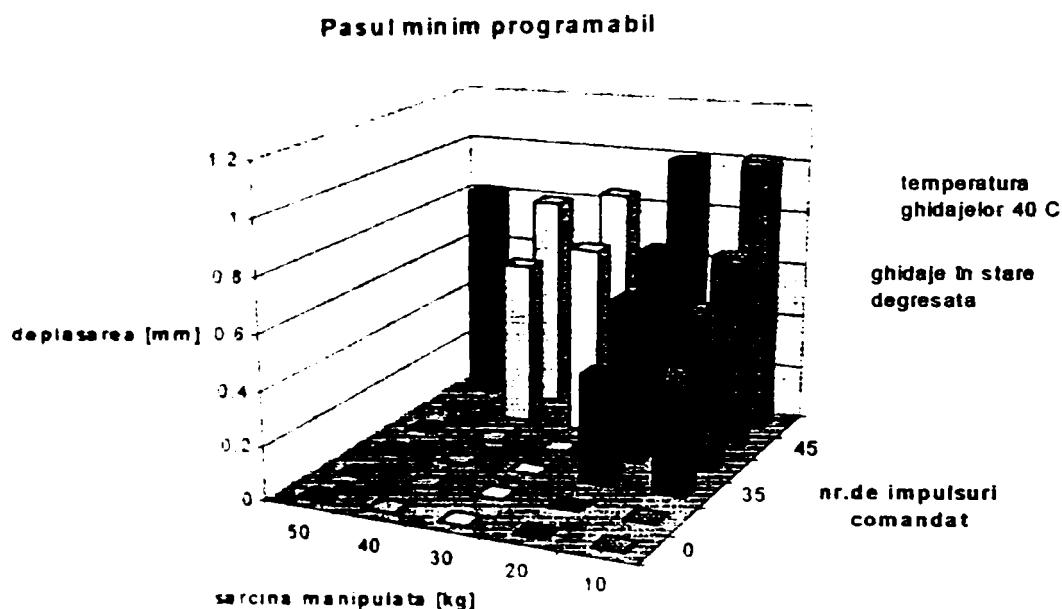


Figura 7.6.

În urma prelucrării rezultatelor se pot face următoarele observații:

- ◆ în condițiile modificării temperaturii cuplelor cinematice a sarcinii manipulate și a stării de ungere a ghidajelor, pasul minim programabil pentru axa 1 este cuprins între 30 și 50 de impulsuri ce corespund unei deplasări a efectorului final cuprinsă între 0,3 și 0,5mm.
- ◆ influența stării de ungere a ghidajelor asupra pasului minim programabil este hotărâtoare, absența acesteia deplasând valoarea pasului minim de la 30 la 45 impulsuri.
- ◆ influența temperaturii cuplelor cinematice devine decisivă în absența ungerii, creșterea acesteia deplasând pasul minim programabil de la 45 la 50 de impulsuri datorită creșterii

forțelor și momentelor rezistente și a apariției fenomenelor de stick-slip.

7.2.1.3. Determinarea cursei după comanda STOP. Generalități.

Cursa după comanda STOP reprezintă mărimea deplasării efectuate de robotul industrial începând din momentul primirii comenzii, deplasare măsurată la nivelul punctului caracteristic. În general valoarea acestei curse este submilimetrică și de aceea pentru sesizarea ei se poate folosi o gamă largă de traductoare de deplasare liniară.

În cazul de față s-a folosit un traductor inductiv MICROLIMIT aflat în contact cu un corp de referință cubic fixat pe flanșa efectorului final al robotului PUMA 600.

Mod de lucru și rezultate.

Pentru aceste determinări s-a conceput o instalație similară cu cea prezentată în cazul determinării derivei punctului caracteristic după cum se vede în figura 7.7.

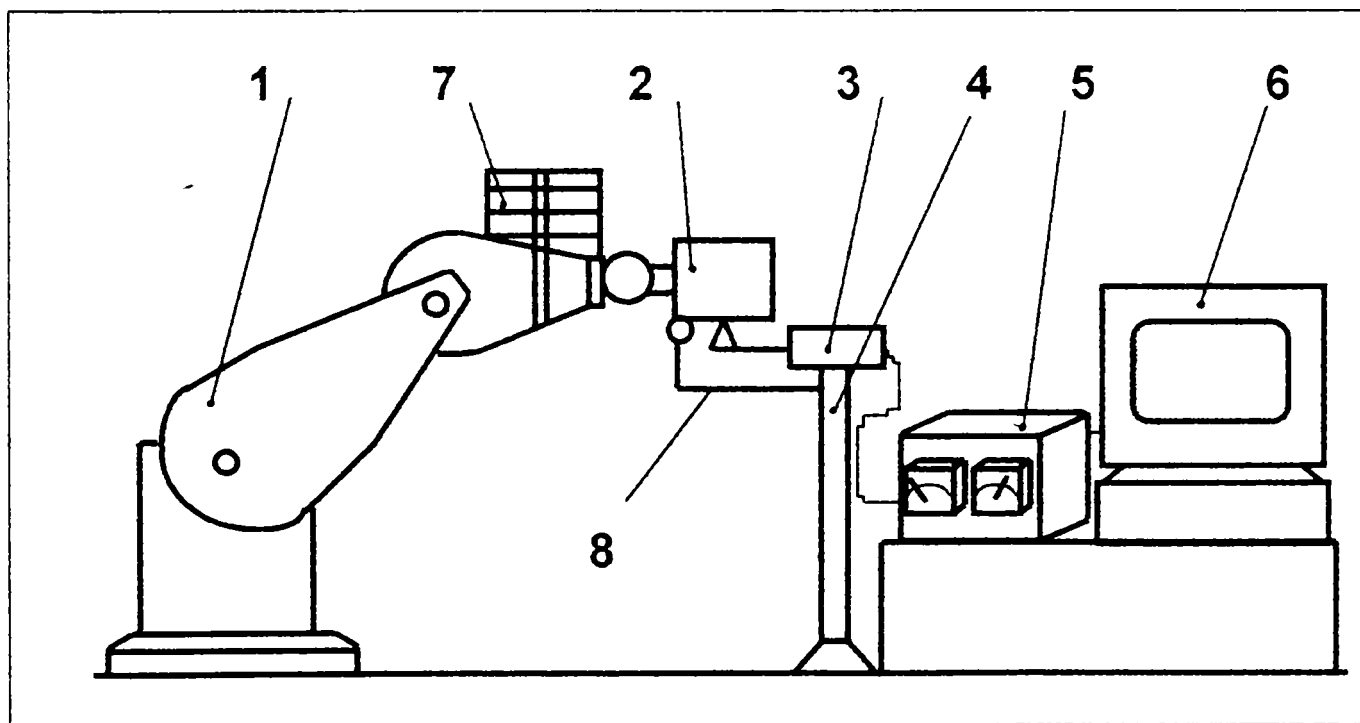


Figura 7.7.

Stand pentru determinarea cursei după comanda STOP.

unde : 1. Robot industrial UNIMATE 600
 2. Corp de referință cubic

- 3 Traductor inductiv MICROLIMIT
- 4 Suport traductor
- 5 Unitate MICROLIMIT
- 6 CMMC
- 7 Greutăți pentru simularea sarcinii manipulate
- 8 Microcontact pentru realizarea comenzii STOP și începerea măsurării.

Parametrii avuți în vedere sunt :

- ◆ temperatura mediului ambiant
- ◆ temperatura medie a elementelor și cuplelor cinematice
- ◆ sarcina manipulată 1kg - 4 kg
- ◆ viteza pe traiectorie 30%; 100% din valoarea maximă.

Sarcina manipulată s-a modificat cu increment de 1 kg.

Pentru a măni eficiența determinărilor s-au ales diferite tipuri de traiectorii acționând individual câte o axă. Situațiile considerate se pot vedea în tabelul 7.2

Tabelul 7.2.

Axa 2 Simbol C_1	Axa 2 Simbol C_2	Axa 3 Simbol C_3	Axa 1 Simbol C_4

Interpretarea grafică a rezultatelor se prezintă în figurile 7.8.a, b, c, d, pe baza datelor din anexa A3.

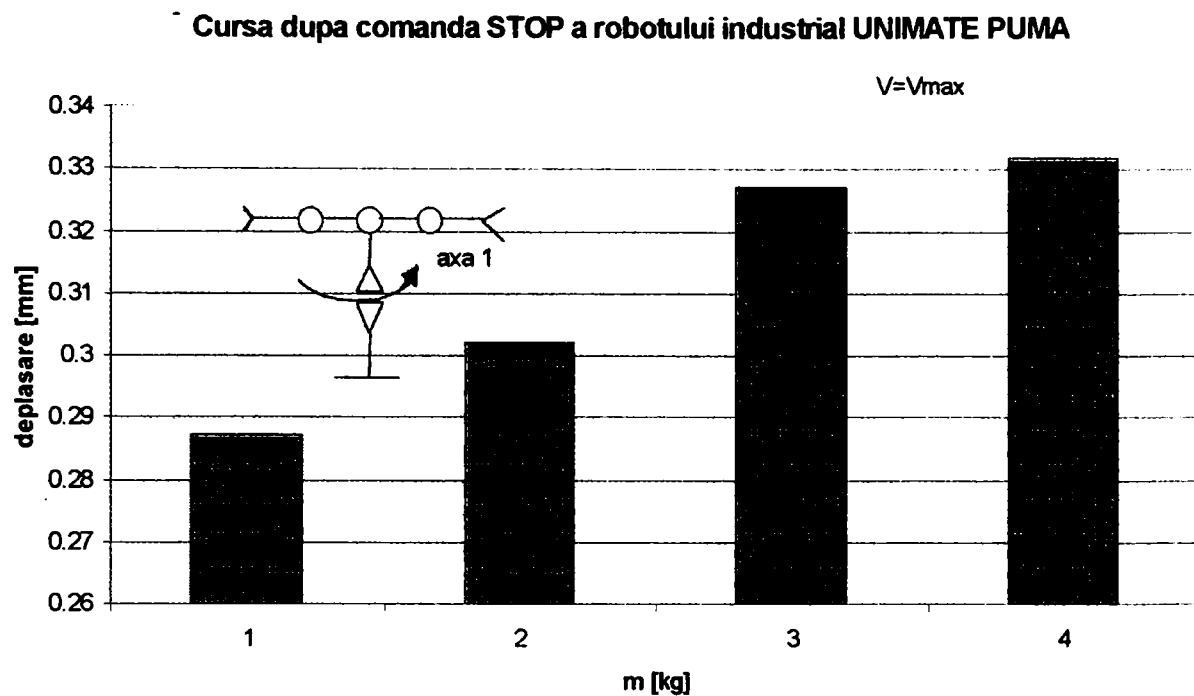


Figura 7.8.a

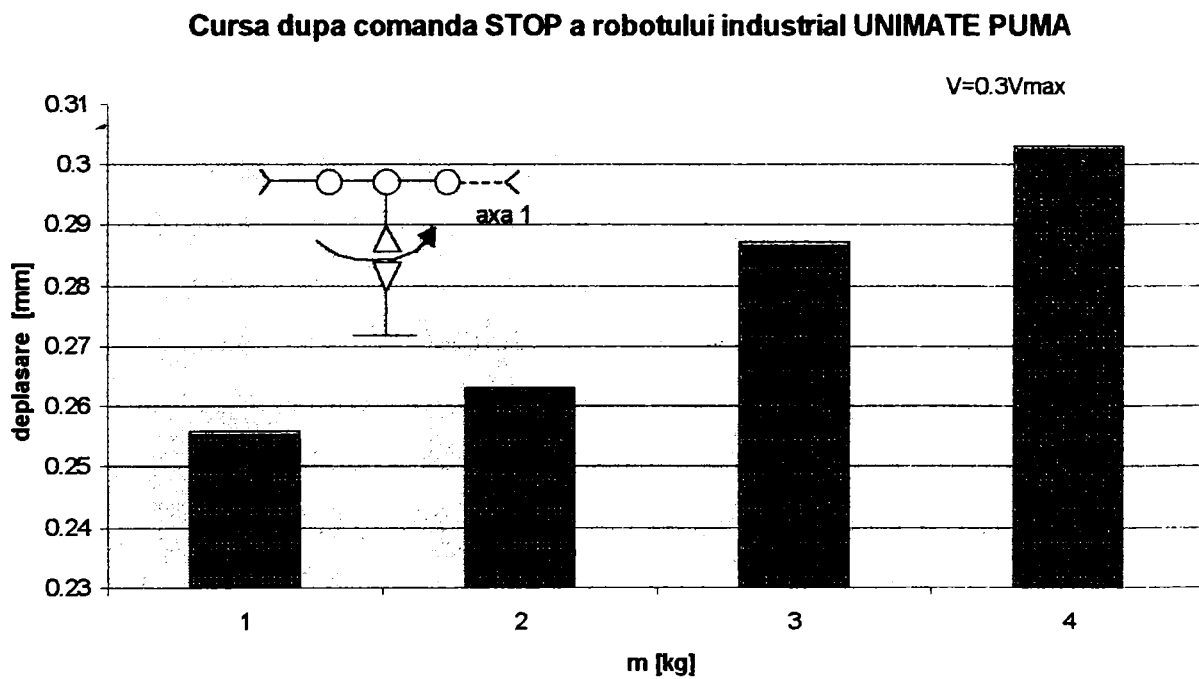


Figura 7.8.b

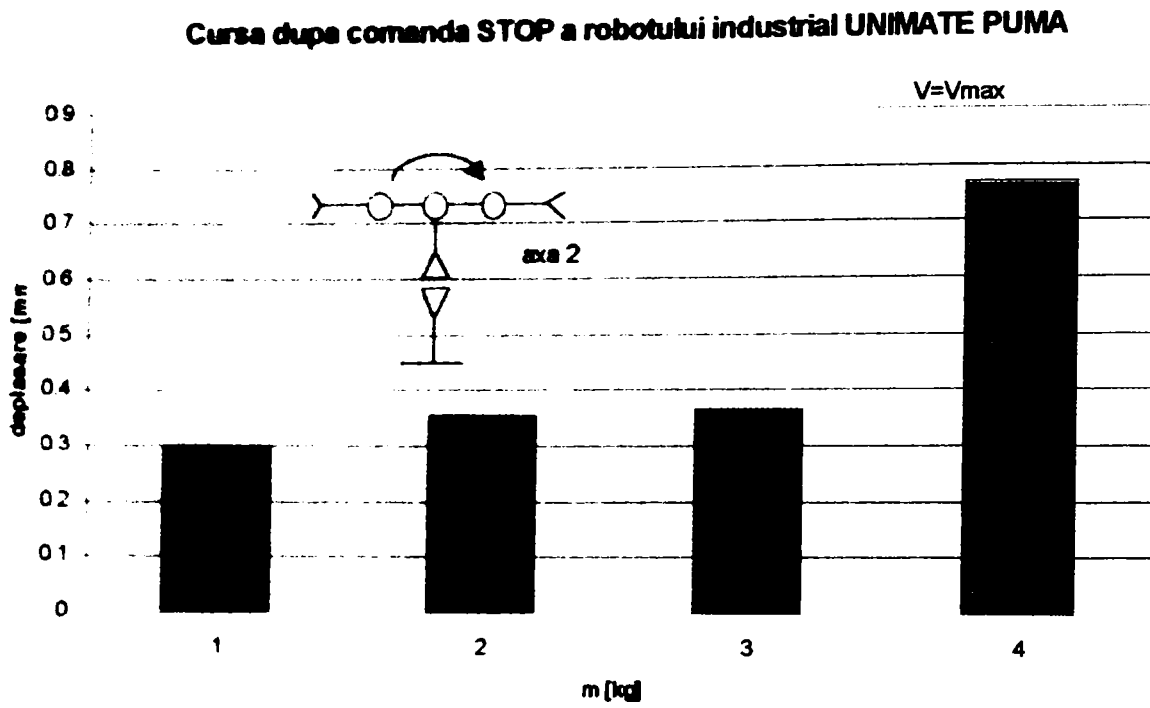


Figura 7.8.c

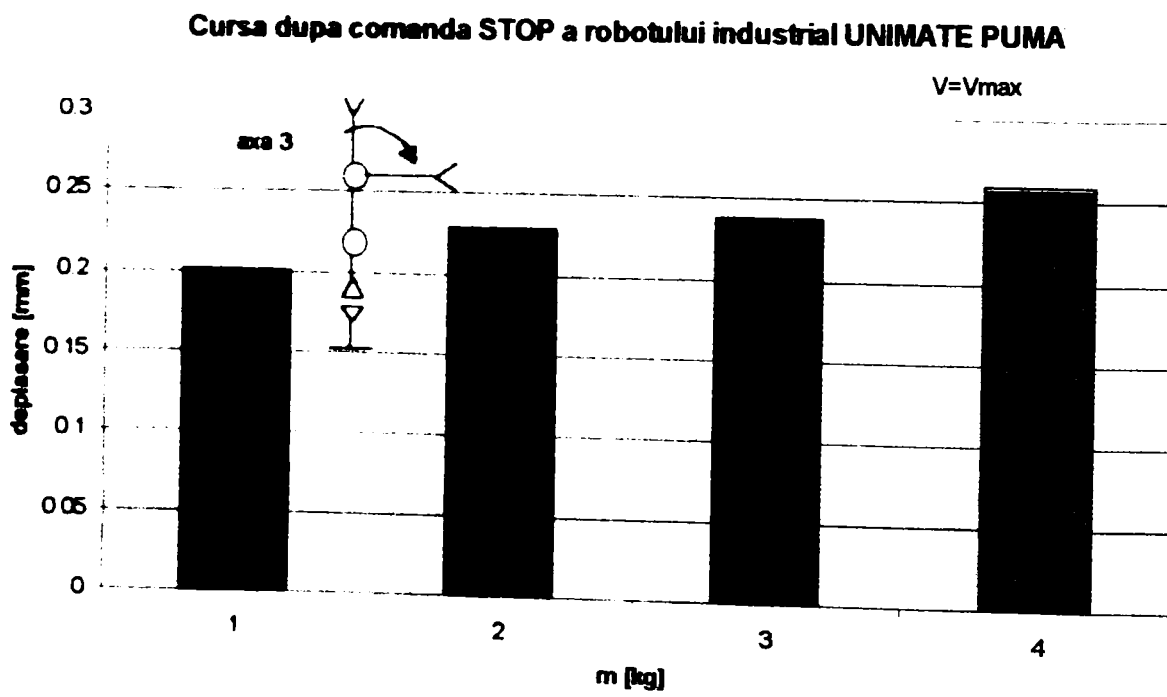


Figura 7.8.d

7.2.1.4. Unele aspecte privind determinarea exactității de traiectorie.

Deși metodele concepute pentru determinarea caracteristicilor de traiectorie asigură măsurarea următorilor indicatori de calitate:

- a) exactitatea de poziționare a traiectoriei (AT)
- b) exactitatea de orientare a traiectoriei
- c) repetabilitatea de poziționare a traiectoriei (RP)
- d) repetabilitatea de orientare a traiectoriei

În cadrul testelor s-au efectuat determinări pe bază de fotogrametrie și experimente incipiente pentru aplicarea monitorizării menținerii pe traiectorie utilizând metode optice.

Pentru efectuarea fotogramei s-a procedat în modul următor; în efectorul final s-a plasat pentru început o sursă luminoasă (LED) iar la o anumită distanță de robotul industrial s-a plasat o cameră fotografică cu obturatorul deschis pe durata efectuării cursei. Prin două puncte s-a materializat o lungime cunoscută, pentru aprecierea scării de reprezentare.

Disponerea în teren se poate vedea în schema de principiu din figura 7.9:

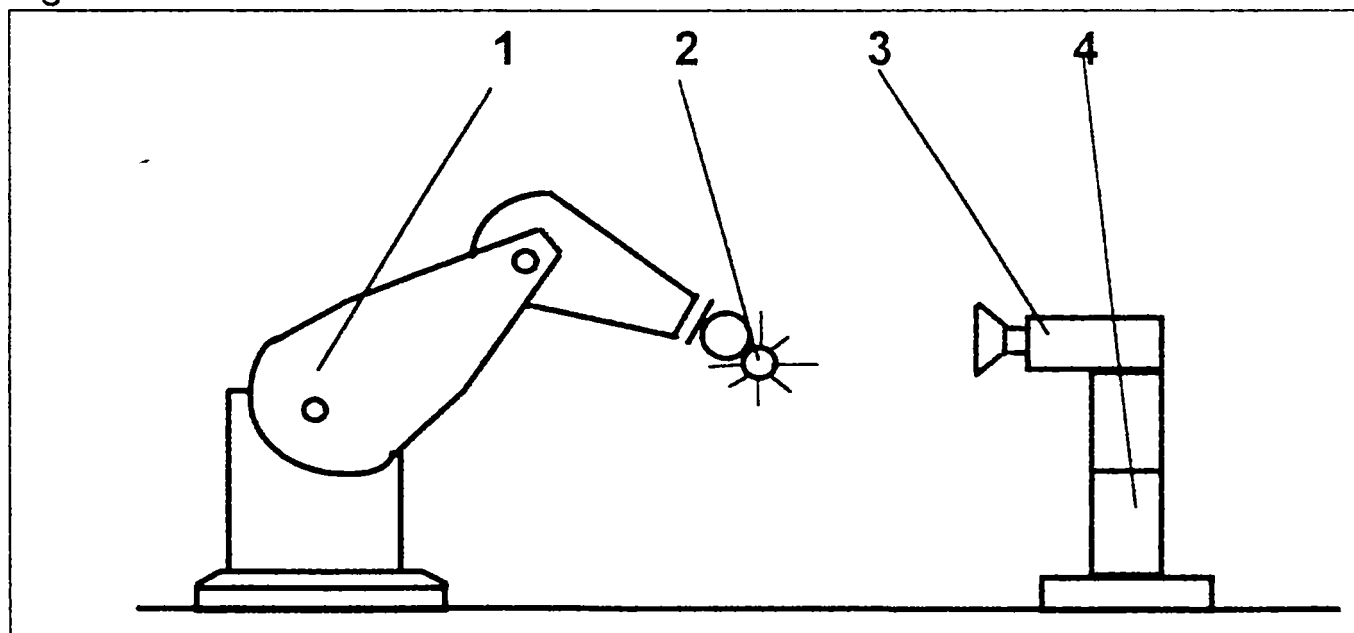


Figura 7.9.

Instalație de urmărire a traiectoriei P.C. al RI.

- unde :
- 1. Robot industrial
 - 2. Sursă de lumină (LED)
 - 3. Cameră foto
 - 4. Suport cameră foto.

În etapa a două a testului, în efectorul final s-a plasat o sursă laser de 5 mW cu lungime de undă $\lambda=670$ nm, iar la distanță de acesta s-au amplasat succesiv un ecran opac și o cameră fotografică.

Prin deplasarea sursei pe o traiectorie aflată într-un plan paralel cu ecranul s-a obținut redarea formei acesteia captată pe suportul fotosensibil conform figurii 7.9.

Dispunerea în teren s-a făcut conform figurii 7.10:

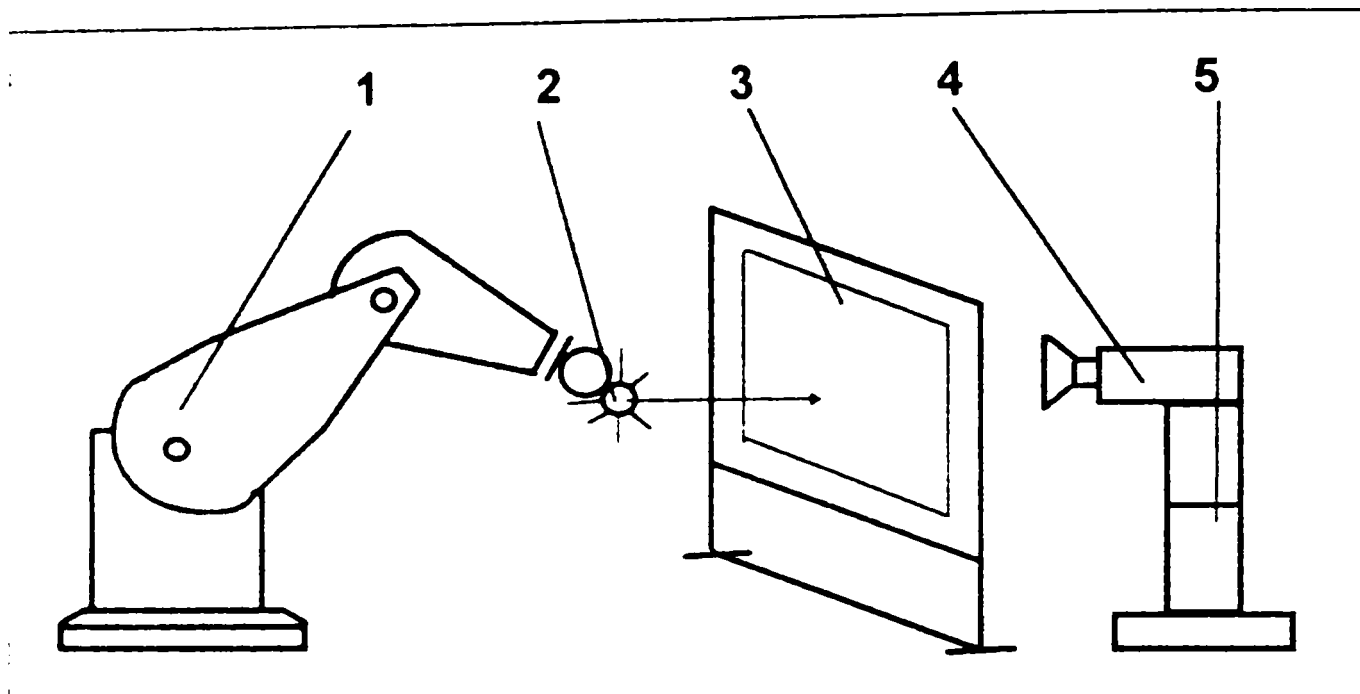


Figura 7.10.

Instalație cu ecran pentru urmărirea traiectoriei P.C. al RI.

În etapa a 3-a s-a conceput o instalație de monitorizare a menținerii punctului caracteristic pe o traiectorie rectilinie. Astfel, sursa laser s-a fixat pe flanșa robotului iar un fotodetector prevăzut cu ecran de filtrare și diafragmă, s-a fixat pe un suport exterior. La start s-au adus în coincidență raza laser și fotodetectorul obținând semnal electric maxim de la aceasta (aprox. 300 mV).

S-a constatat menținerea continuă sau intermitentă a acestui nivel de semnal ca o măsură a rămânerii punctului caracteristic pe traiectoria comandată în condițiile absenței modificării orientării drepte caracteristice.

Dispunerea s-a făcut conform schemei din figura 7.11 :

- unde
1. Robot industrial
 2. Sursă laser
 3. Fotodetector
 4. Suport fotodetector
 5. CMMC

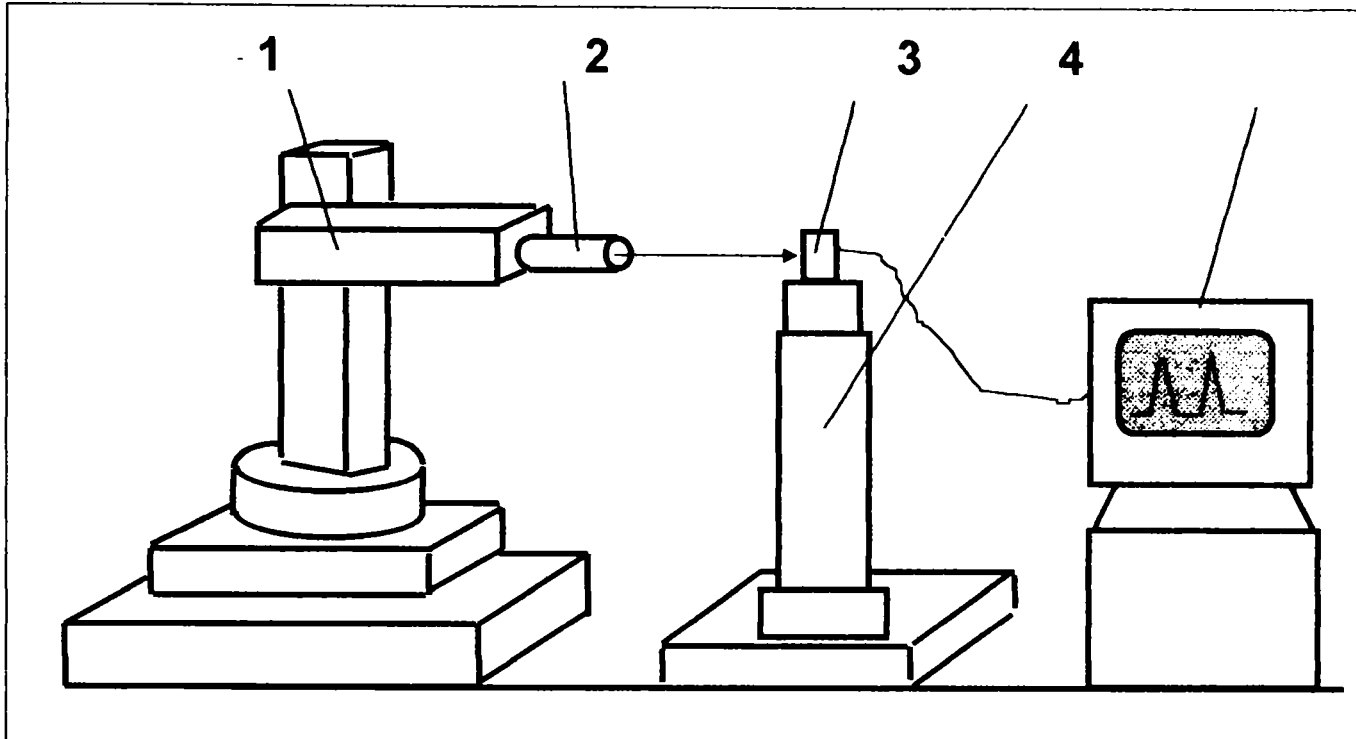


Figura 7.11.
Stand pentru urmărirea menținerii P.C. pe o traiectorie rectilinie.

Rezultatul obținut în urma monitorizării menținerii pe traiectorie pentru robotul UNIMATE se prezintă în figura 7.12.

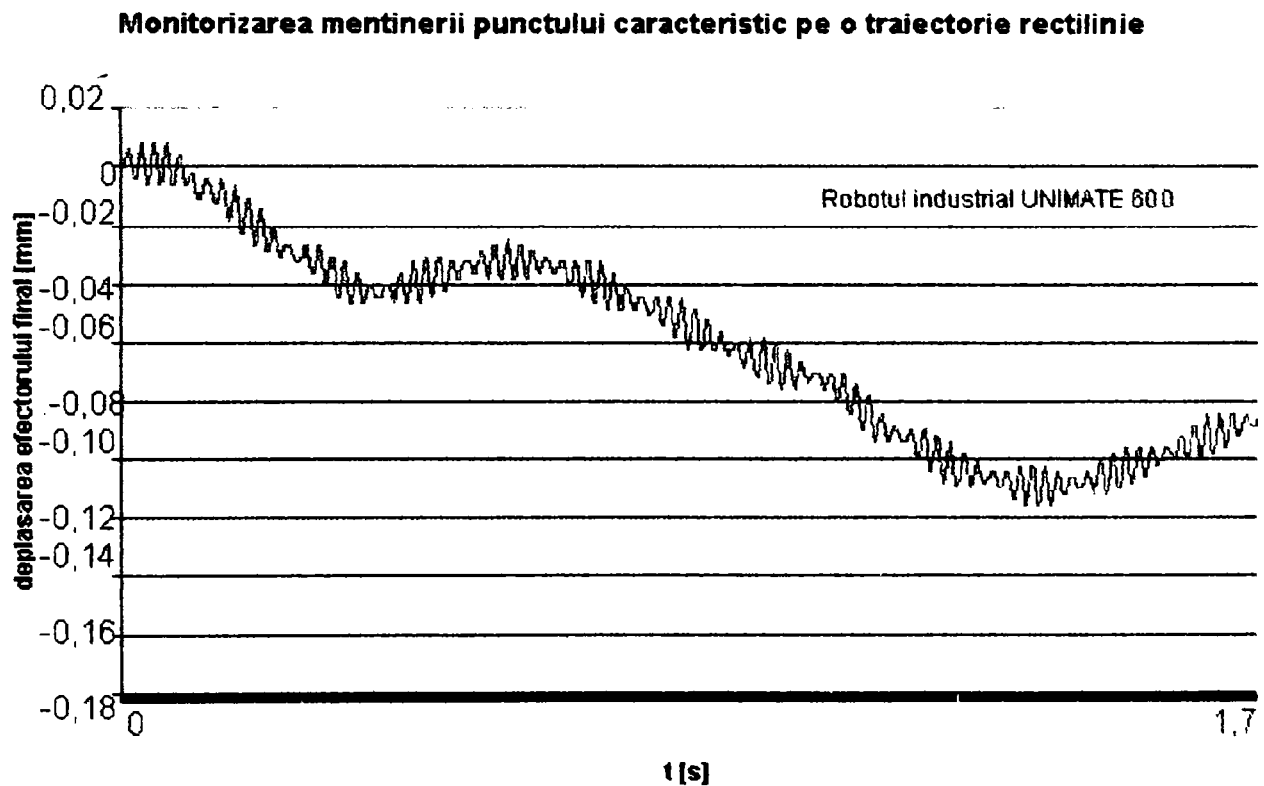


Figura 7.12.

În figura 7.12 se distinge comportarea efectorului final prin raportarea la punctul și dreapta caracteristică, de-a lungul unei traiectorii rectilinii impuse. Considerând că în poziția de start sursa laser este aliniată cu axa detectorului, nivelul semnalului obținut de la detector este maxim.

Atunci când această aliniere dispare, semnalul scade în intensitate și devine o măsură a părăsirii traiectoriei impuse. În situația prezentată nu se fac aprecieri cantitative ci doar calitative, semnalând dacă RI urmărește sau nu traiectoria impusă.

Totuși în urma unei calibrări efectuate la locul faptei se poate determina și valoarea abaterii spotului laser de la centrul diafragmei dispuse pe detector.

În continuare în urma efectuării prelevărilor din etapa I și II s-au obținut imaginile de mai jos.

Pentru robotul industrial CLOOS ROMAT 76

- ♦ **Figura 7.13** reprezintă o traiectorie verticală efectuată cu viteză redusă și sarcină 0 kg.

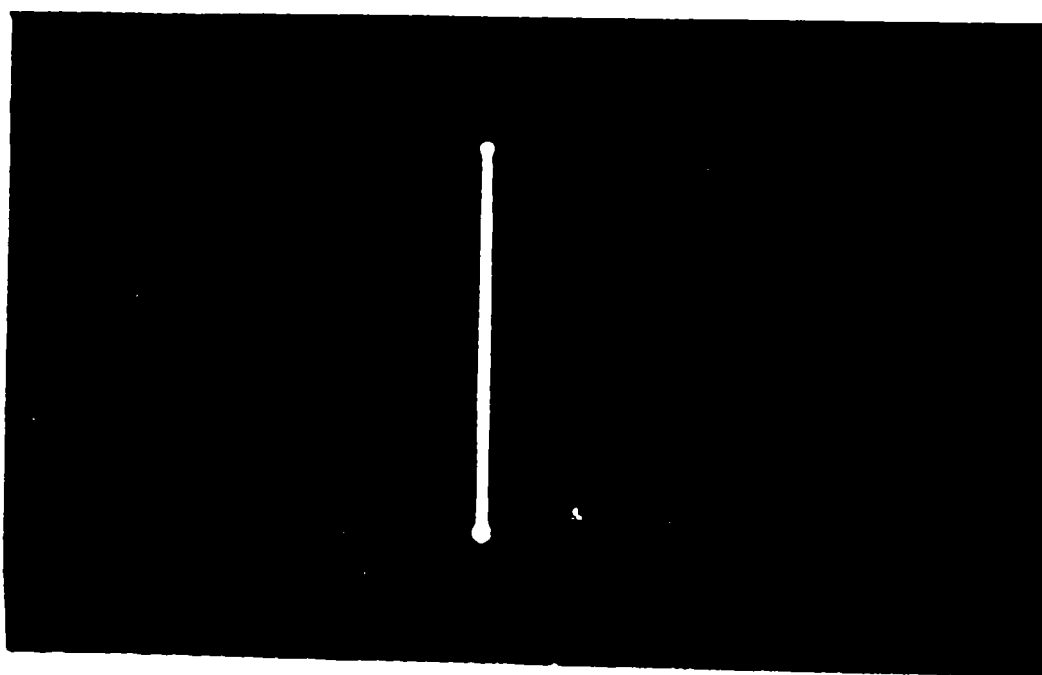


Figura 7.13.
Traietorie verticală a P.C. pentru robotul CLOOS ROMAT 76.

Din aspectul prelevării nu se identifică anomalii de reproducere a traiectoriei programate și ca atare în acest caz nu se impun măsuri corective sau de analiză ulterioară.

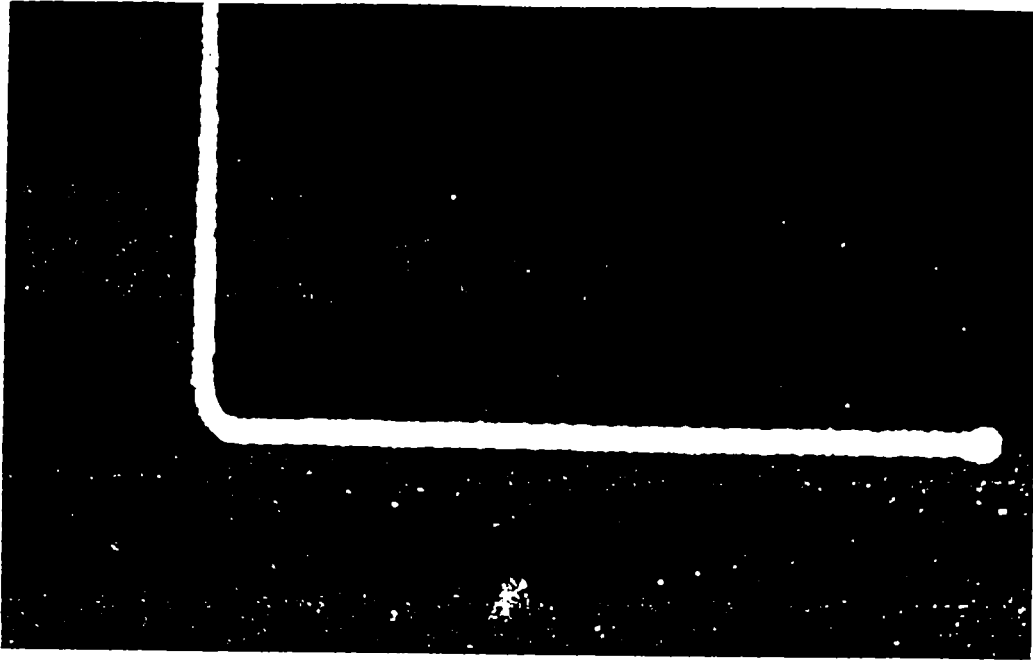


Figura 7.14.
Aspectul testului "CORNER" pentru CLOOS ROMAT 76.

- ◆ Figura 7.14 reproduce modul de executare a unei traiectorii cu colț (test "corner") unde apare în mod clar eroarea de rotunjire (CR) definită ca distanța dintre punctul de vârf și traiectoria reală atinsă.

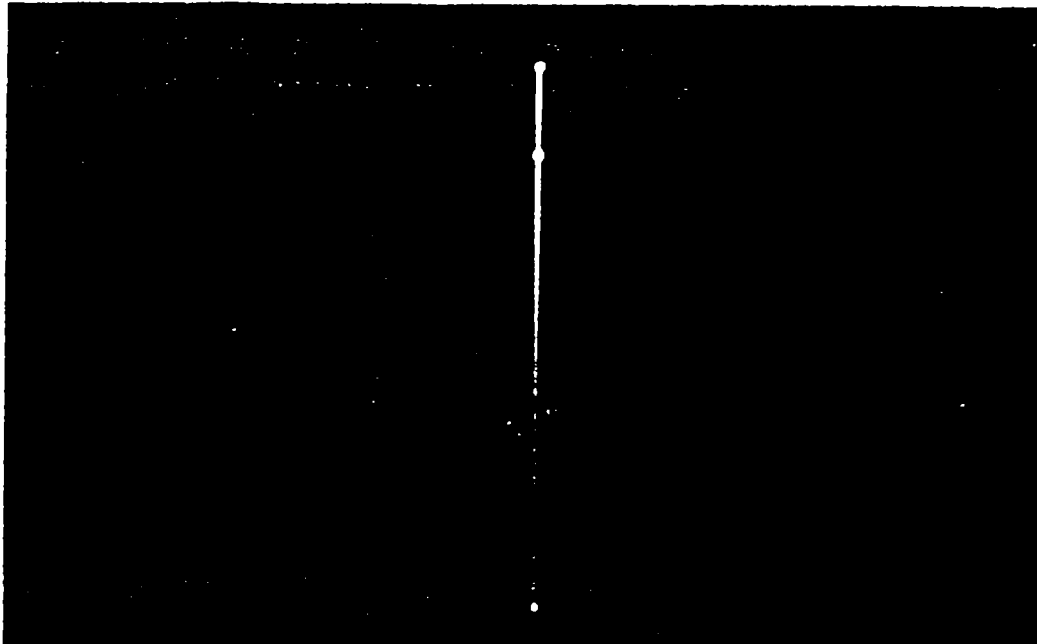


Figura 7.15.
Traiectorie verticală cu oprire în partea superioară.

- ◆ Figura 7.15 reprezintă o traiectorie rectilinie verticală cu punct de oprire vizibil pe ultima parte a acesteia. Nu se evidențiază anomalii.

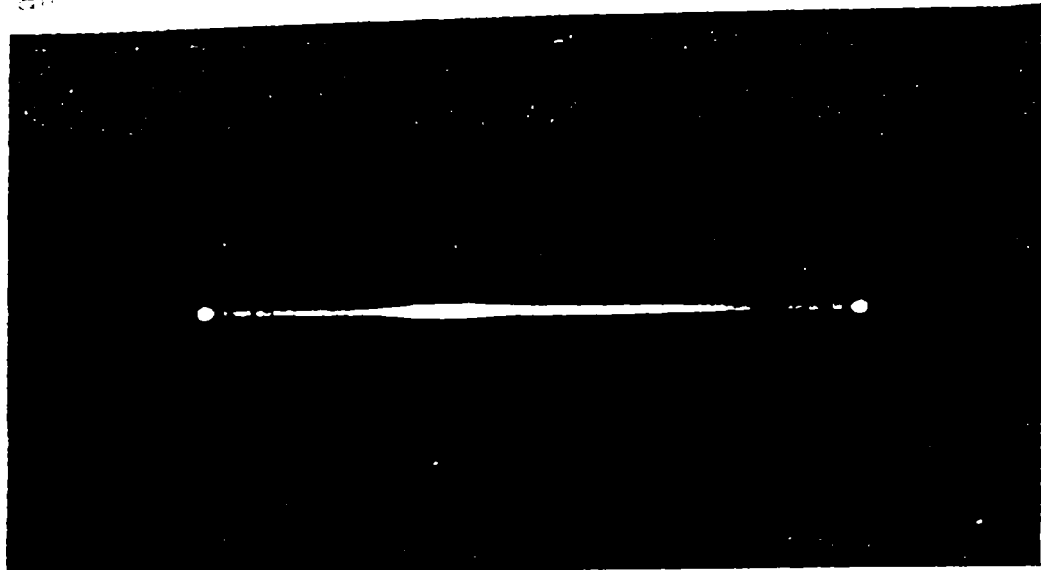


Figura 7.15.

Trajectorie orizontală a P.C. rezultată în urma deplasării axei 2 a robotului REMT-1.

- ◆ Figura 7.16 reprezintă o traiectorie orizontală generată prin antrenarea cuplei cinemate de la baza robotului unde din nou se observă anomalii de reproducere a traiectoriei.
Anomaliile se exemplifică prin imagini modul de comportare al robotului CLOOS ROMAT 76 în cazul unor mișcări succesive sau compuse.

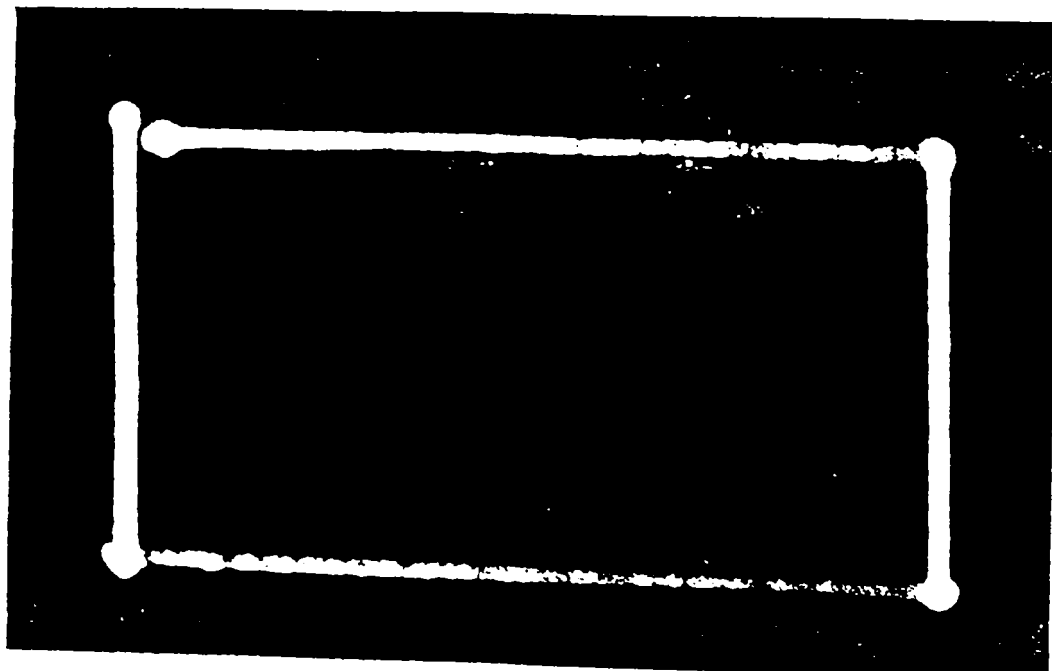


Figura 7.16.

Trajectorie tip "CORNER" descrisă de efectorul final al robotului CLOOS ROMAT 76.

- ◆ **Figura 7.17** prezintă modul de generare a unei traiectorii tip corner cu start din colțul stânga - sus. În mod previzibil, depășirea semnificativă CO definită ca abaterea maximă de la traiectoria comandată, după ce robotul pornește pe cea de-a doua traiectorie, are loc la finalizarea cursei descendente unde prezența forței gravitaționale se face remarcată (colț stânga - jos).

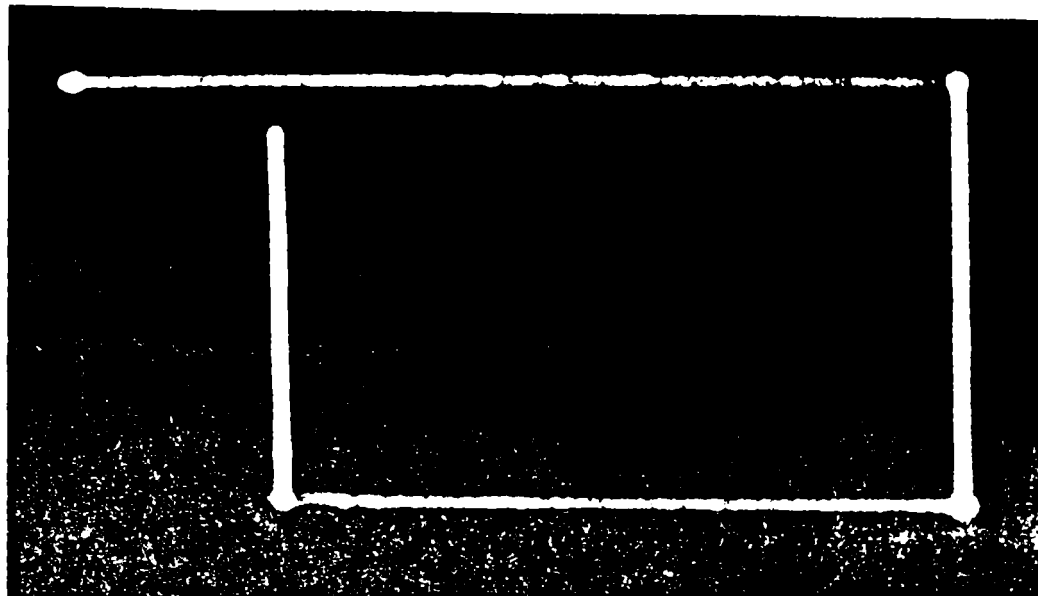


Figura 7.18.

Traietorie tip "CORNER" descrisă de efulorul final al robotului CLOOS ROMAT 76.

- ◆ Aceeași situație se poate observa în mod clar în **figura 7.18**, unde traiectoria a fost executată cu treapta a II-a de viteză.

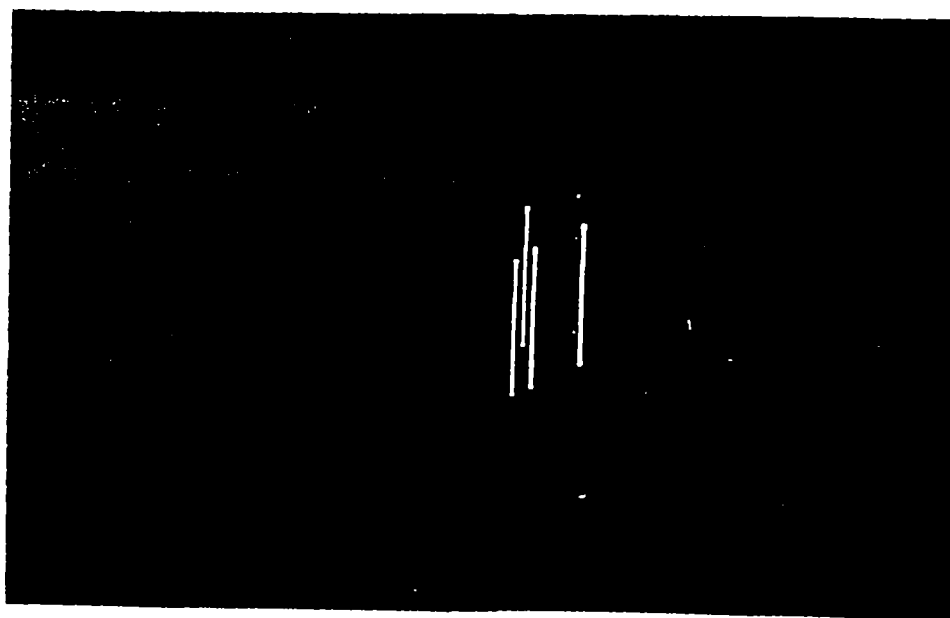


Figura 7.19.

Deplasarea a patru puncte țintă coplanare amplasate pe fața unui corp cubic de referință.

- ◆ **Figura 7.19** reprezintă modul de executare a unei traiectorii ascendente robotul deplasând de această dată mai multe puncte - sursă. În acest mod, unind punctele vizualizate se obțin informații asupra evoluției orientării drepte caracteristice pe parcursul traiectoriei prin modificarea distanței dintre acestea în diverse etape ale prelevării (similar cu metoda celor patru puncte).



Figura 7.20.

Aspectul testului "CORNER" sub sarcină, pentru CLOOS ROMAT 76

- ◆ Figura 7.20 exemplifică modul de comportare în cadrul testului "corner" în prezența unei sarcini manipulate de 10 kg. Aici pe lângă CR și CO se evidențiază și lungimea de stabilizare a traiectoriei SPL definită ca distanța dintre punctul de vârf și punctul proximal de-a lungul celei de-a doua traiectorii comandate.

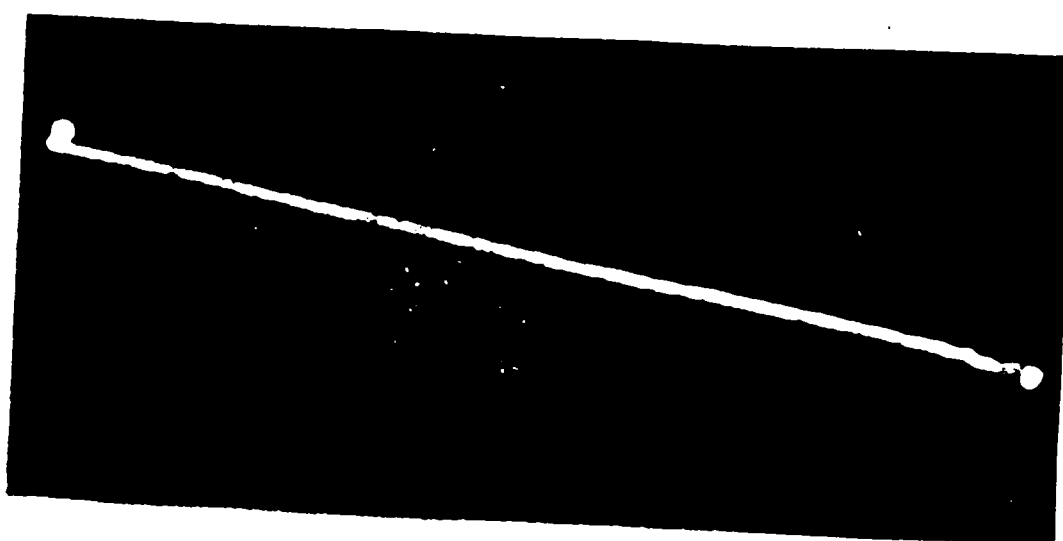


Figura 7.21.

Traiectorie rezultată din mișcarea simultană pe două axe a robotului REMT-1 aflat sub sarcină.

- ◆ **Figura 7.21** pune în evidență comportarea robotului REMT - 1 pe parcursul unei traiectorii rezultate din acțiunea simultană a două axe. Variația intensității marcajului traiectoriei indică fluctuații de viteză pe traiectorie. În vecinătatea punctului de capăt al cursei se observă apariția unei abateri de la traiectorie cauzată de modificarea treptei de viteză. Sarcina manipulată a fost de 10 kg.

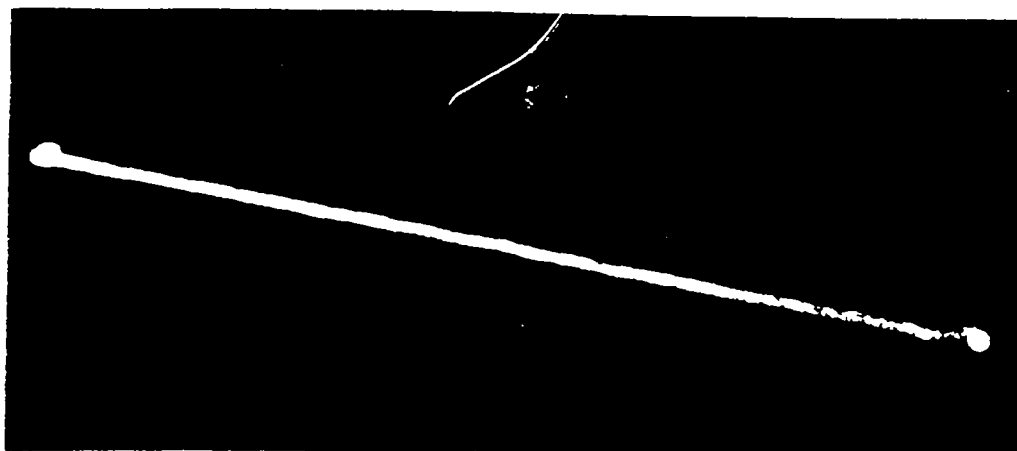


Figura 7.22.

Traiectorie combinată realizată de robotul REMT-1 în absența sarcinii.

- ◆ **Figura 7.22** prezintă comparativ aceeași traiectorie efectuată în condițiile unei sarcini manipulate de 0 kg.

Pentru robotul didactic SCORBOT III s-au executat preluări de imagine cu sursele fixate pe fața laterală a elementelor aflate în mișcare pe durata programului demonstrativ instalat pe acesta.

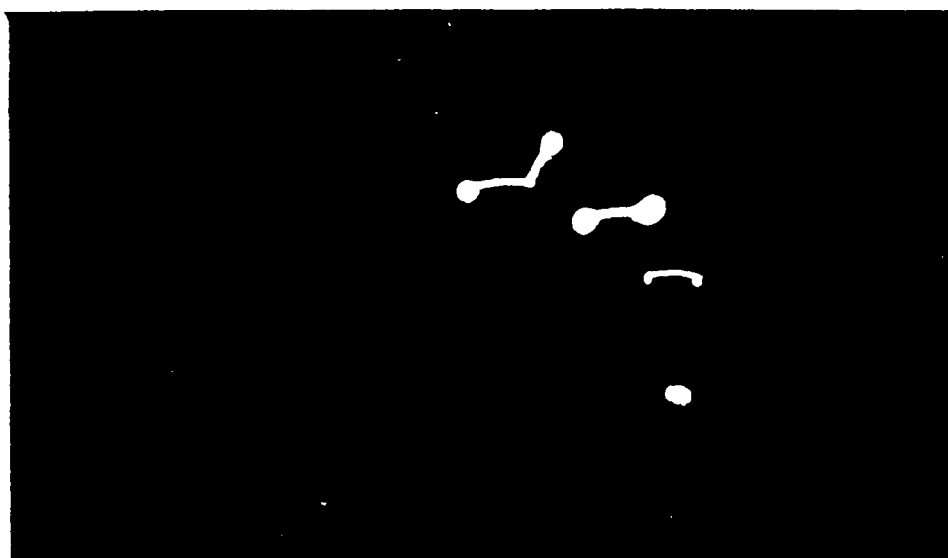


Figura 7.23.

Deplasarea punctelor țintă plasate pe robotul SCORBOT - III.

- ◆ **Figura 7.23** prezintă executarea a două mișcări succesive. Se observa erorile caracteristice la schimbarea direcției cât și influența reciprocă a deplasărilor relative în cuplele cinematice.

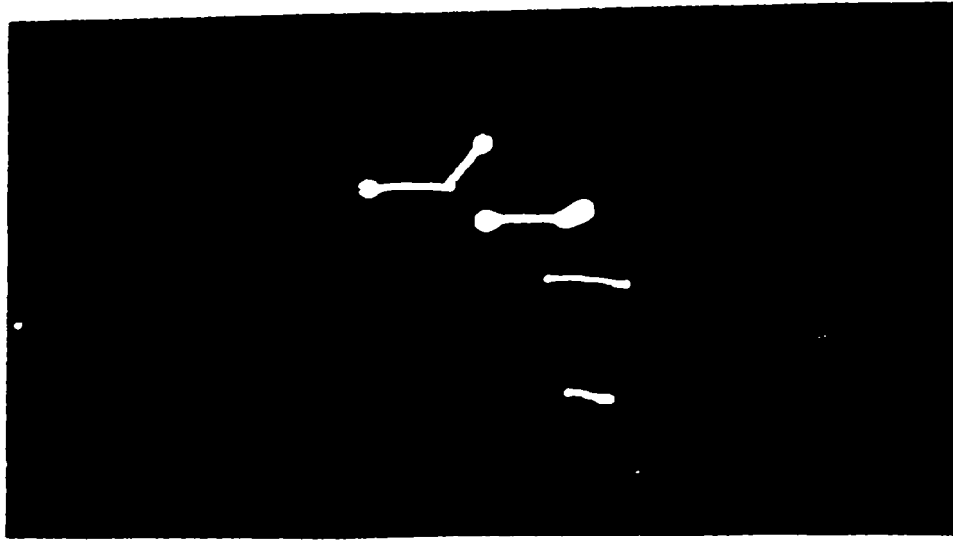


Figura 7.24.a.

Deplasarea țintelor la schimbarea direcției de mișcare a brațelor robotului SCORBOT - III.

- ◆ **Figura 7.24.a** prezintă aceeași situație ca mai sus dar în condițiile unor curse mai importante. Rigiditatea scăzută a sistemului mecanic permite observarea erorilor de colț și a vibrațiilor ce apar la nivelul elementelor schemei cinematice.

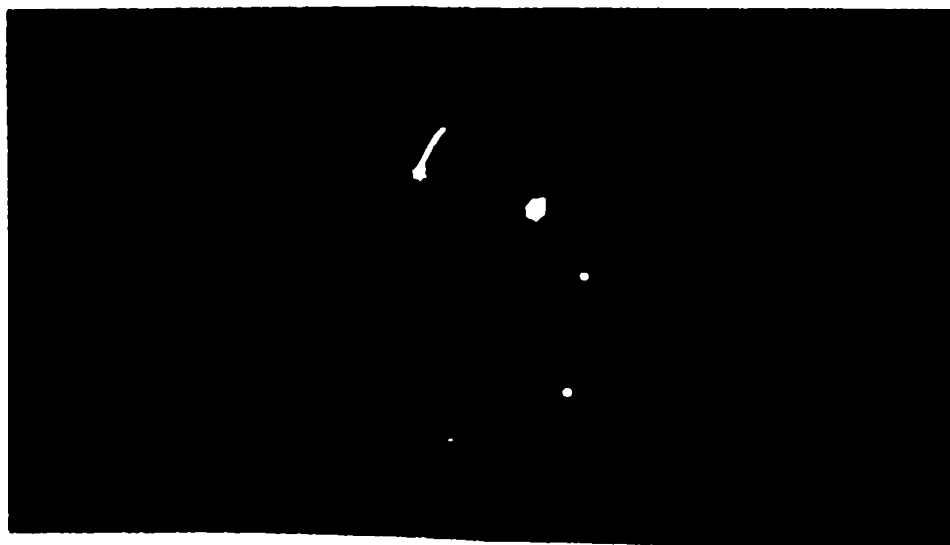


Figura 7.24.b.

Deplasarea țintelor plasate pe SCORBOT - III în absența schimbării direcției mișcării.

- ◆ **Figura 7.24.b** exemplifică modul de comportare al robotului în situația acționării unei singure cuple motoare și într-un singur sens. Se poate observa că în absența schimbării de direcție și sens nu sunt vizibile influențe majore între elementele învecinate.

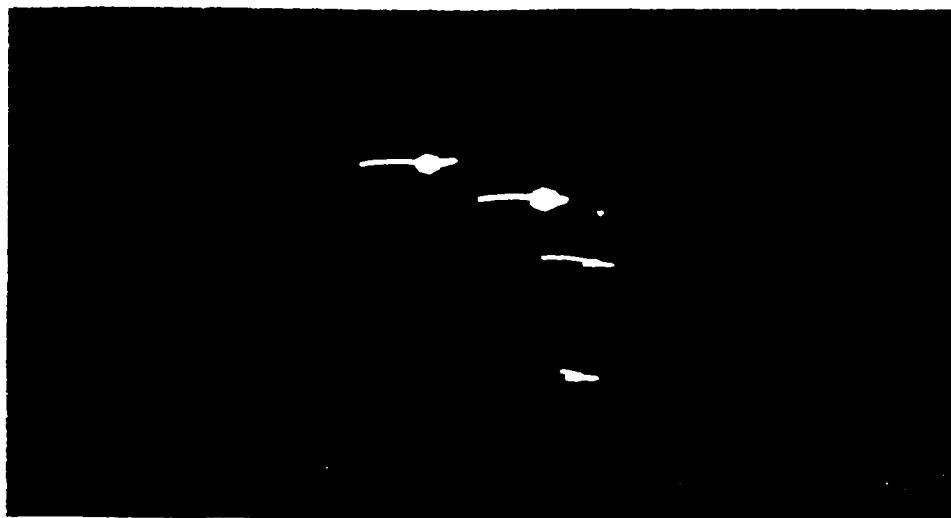


Figura 7.25.

Deplasarea țintelor la schimbarea sensului de mișcare al brațelor robotului UNIMATE - 600.

- ◆ **Figura 7.25** prezintă comportarea robotului industrial UNIMATE 600 la acționarea unei singure cuple motoare (axa 2) către stânga cu oprire, inversare și din nou către înainte. Se observă prezența oscilațiilor la pornire și oprire.

Mod de lucru.

Indicatorul "exactitate de traiectorie" a fost evidențiat prin efectuarea unor teste de tip colț, prelucrarea informației fiind făcută pe cale grafică.

Pentru aceasta s-au preluat cadre fotografice ale mișcării punctului caracteristic materializat printr-o sursă de lumină de dimensiuni reduse (LED). Toate traiectoriile au fost generate în plan. Pe această bază s-a putut efectua prelucrarea ulterioară a informației.

Amplasând în planul de desfășurare al traiectoriei un segment cu lungime cunoscută a cărui capete au fost materializate cu surse de lumină la fel ca și în cazul punctului caracteristic, se poate determina scara de reprezentare în clișeu fotografic permițând obținerea unor informații numerice despre starea indicatorilor de calitate ai testului tip "colț".

Schematic, situația prezentată mai sus se vede în figura 7.26.

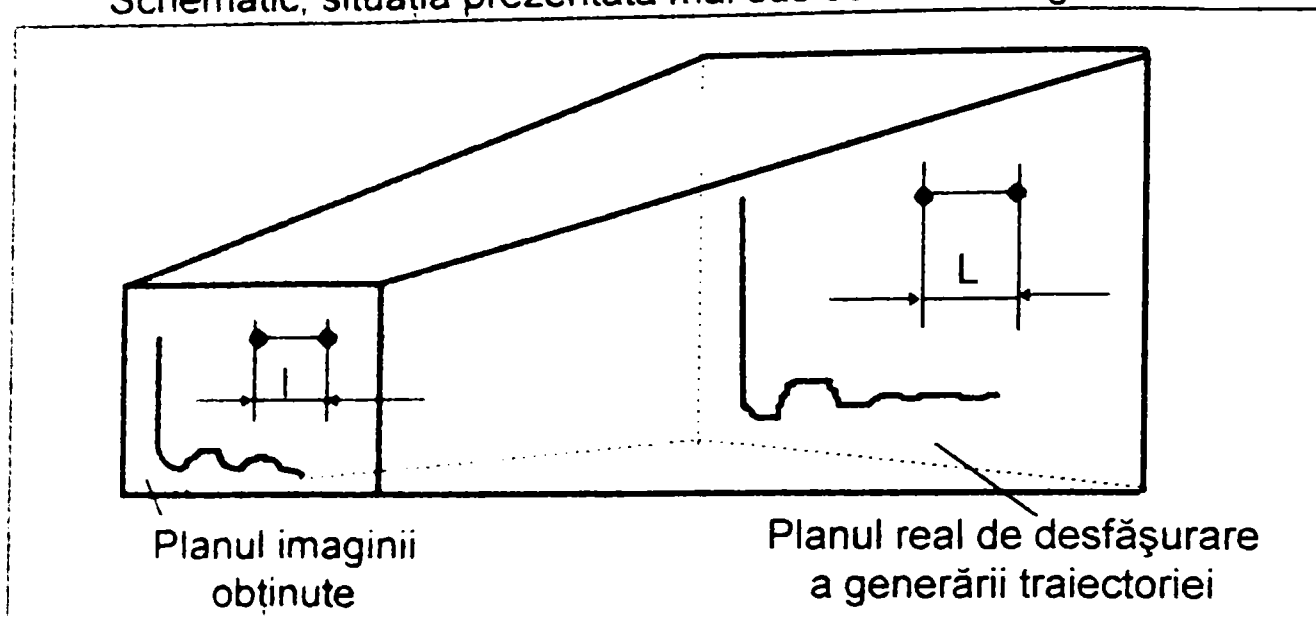


Figura 7.26.

Principiul de determinare a caracteristicilor de traiectorie.

Dacă se notează scara de reprezentare cu K , aceasta se obține cu relația

$$K = \frac{l}{L} \quad (7.11)$$

unde l este lungimea reprezentării în imagine a segmentului de referință iar L este lungimea reală a acestuia.

Cei trei indicatori de interpretare a testului de colț sunt :

a) Eroarea de rotunjire (CR)

$$CR_j = \min_{i=1}^m \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (7.12)$$

unde :

- m este numărul de puncte măsurate în lungul traiectoriei.
- x_c, y_c - coordonatele punctului de colț.
- x_i, y_i - coordonatele punctului măsurat pe traiectorie.

b) Eroarea de depășire (CO)

$$CO = \max_{i=1}^m \sqrt{(x_i - x_a)^2 + (y_i - y_a)^2} \quad (7.13)$$

unde :

- x_a, y_a sunt coordonatele punctelor pe traiectoria comandată.

c). Lungimea de stabilizare pe traiectorie (SPL). Se calculează cu relația :

$$SPL_x = x_e - x_t \quad (7.14)$$

$$SPL_y = y_e - y_t \quad (7.15)$$

unde : - x_t , y_t sunt coordonate ale punctului în care traiectoria reală reintră în limitele de toleranță ale traiectoriei comandate.

Semnificația indicatorilor de mai sus se vede în figura 7.27.

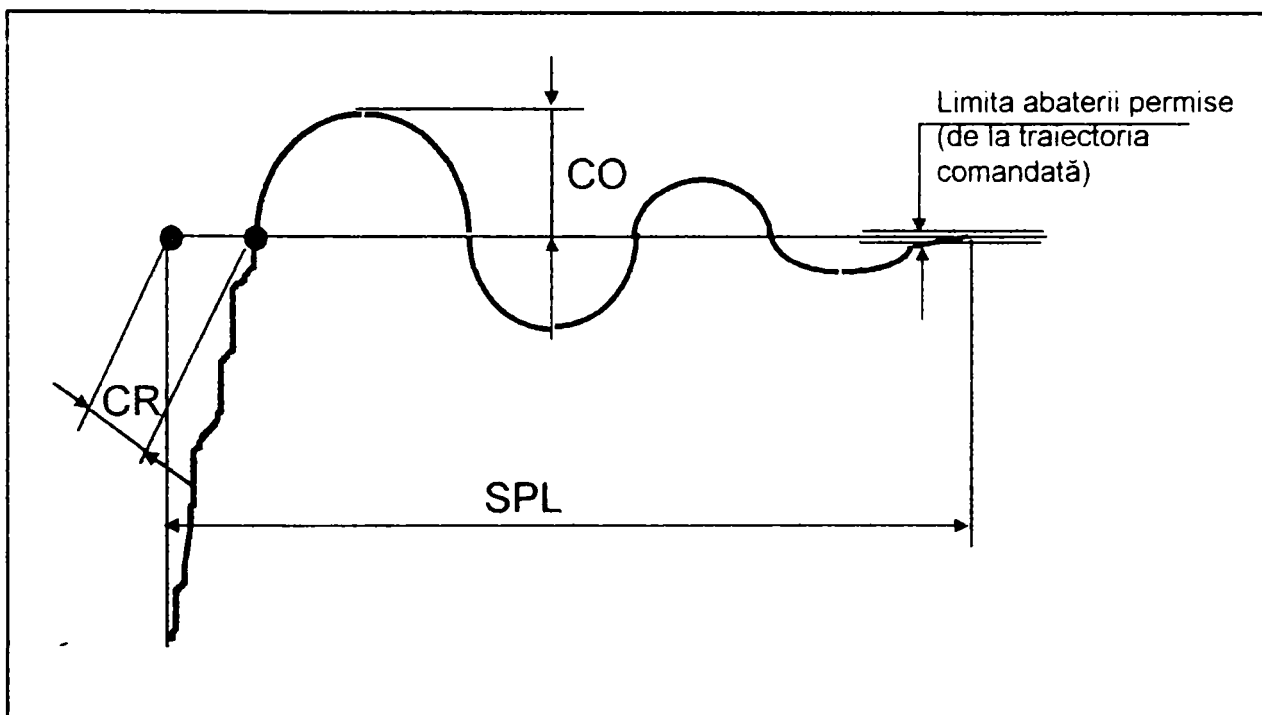


Figura 7.27.

Reprezentarea indicatorilor de calitate rezultați prin aplicarea testului "CORNER".

După ce se execută încadrarea imaginilor într-un sistem de tip XOY, se calculează prin măsurare directă pe clișeu CR, CO și SPL. Rezultatele obținute se vor împărți cu scara K pentru a determina valorile CR, CO și SPL reale.

Determinările s-au efectuat pe roboții PUMA 600 și CLOOS - ROMAT 76.

Rezultatele obținute se prezintă în continuare în figurile 7.28, 7.29 și 7.30.

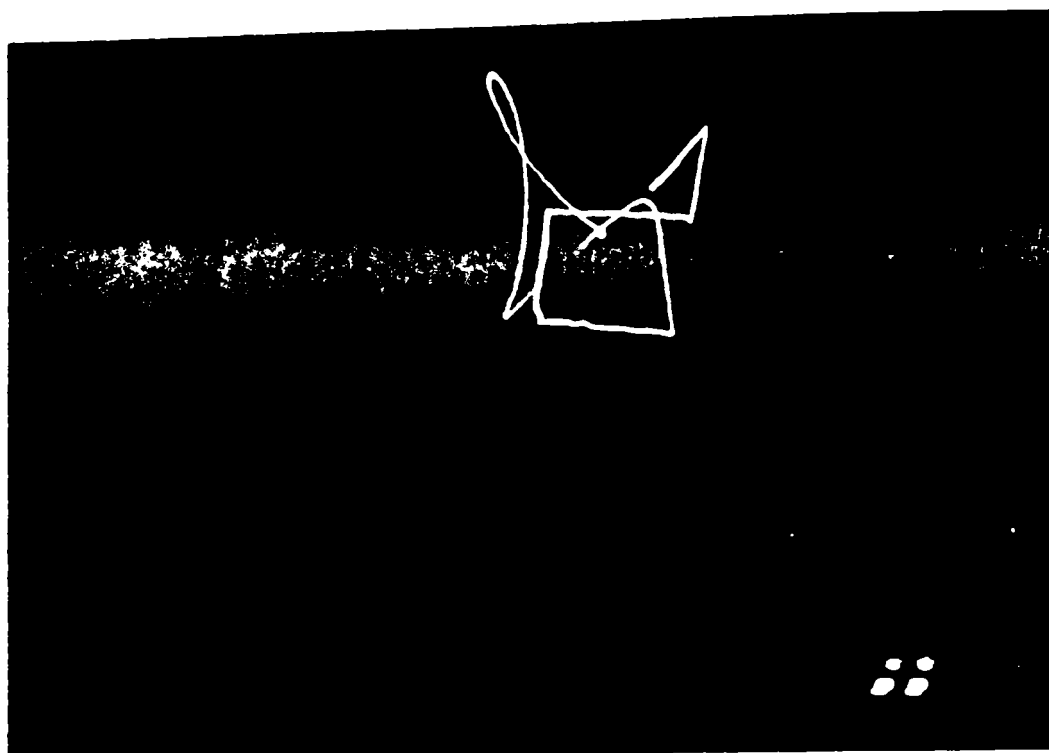


Figura 7.28.
Traiectorie complexă efectuată de robotul CLOOS ROMAT 76.



Figura 7.29.
Traiectorie complexă efectuată de robotul CLOOS ROMAT 76.

În figurile 7.28 și 7.29 se prezintă rezultatul obținut în urma efectuării unor traiectorii diverse de către robotul CLOOS ROMAT 76 incluzând atât testul de tip colț cât și cerc. Datele s-au preluat pentru zonele de colț.

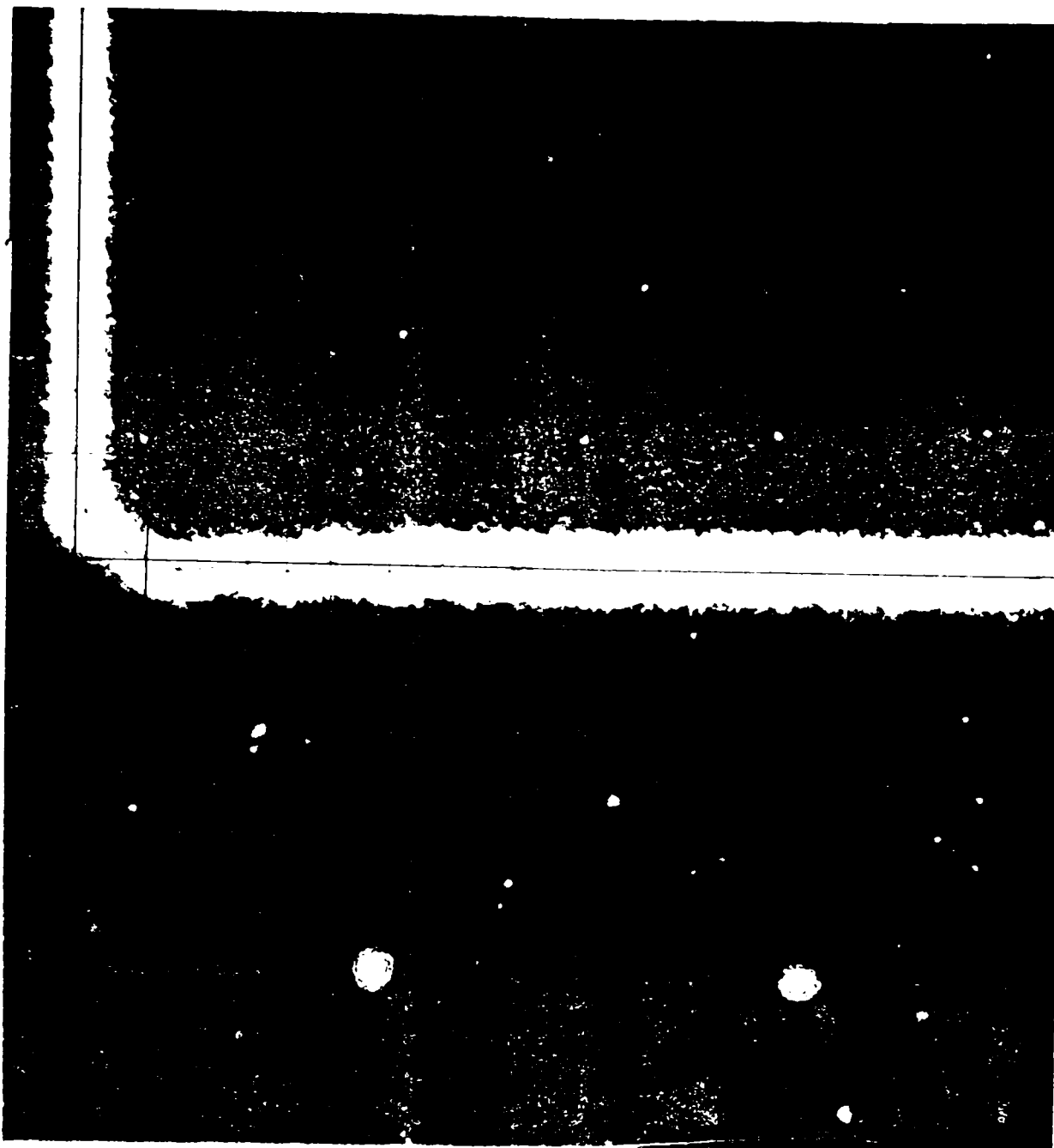


Figura 7.30.
CLOOS ROMAT 76 aflat sub sarcină.

În figura 7.30 se prezintă rezultatul efectuării testului CORNER de către robotul CLOOS ROMAT. În urma prelucrării imaginii obținute se determină parametrii testului CORNER după cum urmează $CO = 0,50$ mm; $CR = 7$ mm; $SPL = 25$ mm.

7.2.2. Determinarea unor indicatori cinematici

Indicatorii de calitate determinați experimental sunt :

a). Indicatori de viteză

- a 1). Exactitatea vitezei pe traiectorie (AV)
- a 2). Repetabilitatea vitezei pe traiectorie (RV)
- a 3). Fluctuația vitezei pe traiectorie (FV)
- a 4). Viteza maximă / minimă

b). Indicatori de accelerație

- b 1). Accelerația maximă / minimă
- b 2). Variația accelerației pe traiectorie

c). Timpul de deplasare minim

d). Timpul de stabilizare pe poziție

Testele s-au efectuat pe roboții industriali UNIMATE 600, CLOOS - ROMAT 76 și REMT -1. În cadrul determinărilor s-au utilizat traductoarele interne ale robotului, accelerometre, laser, traductoare fotoelectrice, cronometru. În unele cazuri achiziția informației de măsurare s-a făcut în regim automat utilizând o placă de achiziție de date (DAQ) National Instruments și softul aferent VIRTUAL BENCH.

7.2.2.1. Determinarea indicatorilor de viteză ai robotului industrial.

Primul indicator determinat a fost **exactitatea vitezei pe traiectorie (AV)** definită ca fiind diferența dintre viteza comandată și valoarea medie a vitezelor atinse la repetarea de n ori a traiectoriei și se exprimă procentual în raport cu viteza comandată prin relația :

$$AV = \frac{\bar{V} - V_c}{V_c} \cdot 100\% \quad (7.16)$$

unde :

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{V}_j \quad (7.17)$$

$$\bar{V}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{ji} \quad (7.18)$$

unde: V_c - viteza comandată

V_{ji} - viteza atinsă la a i-a măsurare și al j-lea ciclu.

m - numărul de măsurări de-a lungul traiectoriei.

Al doilea indicator determinat a fost **repetabilitatea vitezei pe traiectorie (RV)** definită ca fiind mărimea de împrăștiere a valorilor vitezelor reale atinse pentru aceeași viteză comandată, la încercări repetate de n ori exprimată cu relația:

$$RV = \pm 3 \frac{S_v}{V_c} \cdot 100\% \quad (7.19)$$

unde

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{V}_j - \bar{V})^2}{n-1}} \quad (7.20)$$

Al treilea indicator determinat a fost **fluctuația vitezei pe traiectorie (FV)** definită ca fiind abaterea maximă a vitezei instantanee în timpul unei încercări și cu o viteză comandată constantă.

Acest indicator este descris de relația :

$$FV = \max_{j=1}^n \left[\max_{i=1}^m (V_{ji}) - \min_{i=1}^m (V_{ji}) \right] \quad (7.21)$$

Al patrulea indicator determinat a fost viteza maximă atinsă în cadrul determinărilor.

Indicatorii de viteză ai robotului industrial au fost abordați în două moduri distincte. Acestea au avut în vedere:

- a). determinarea variației de viteză între START și STOP pe axe
- b). determinarea vitezei medii pe o traiectorie rezultată din deplasarea simultană pe mai multe axe.

Pentru determinarea variației de viteză între START și STOP s-au prelevat pe segmente de timp de 0,05s, impulsurile furnizate de traductoarele de deplasare interne ale robotului. În acest mod s-a obținut variația vitezei pe axa în cauză.

Acest tip de test s-a aplicat pentru axa 3 (axa z) a robotului industrial REMT - 1.

Pentru determinarea vitezei medii s-a folosit o instalație de măsurare a cărei alcătuire se vede în figura 7.31.

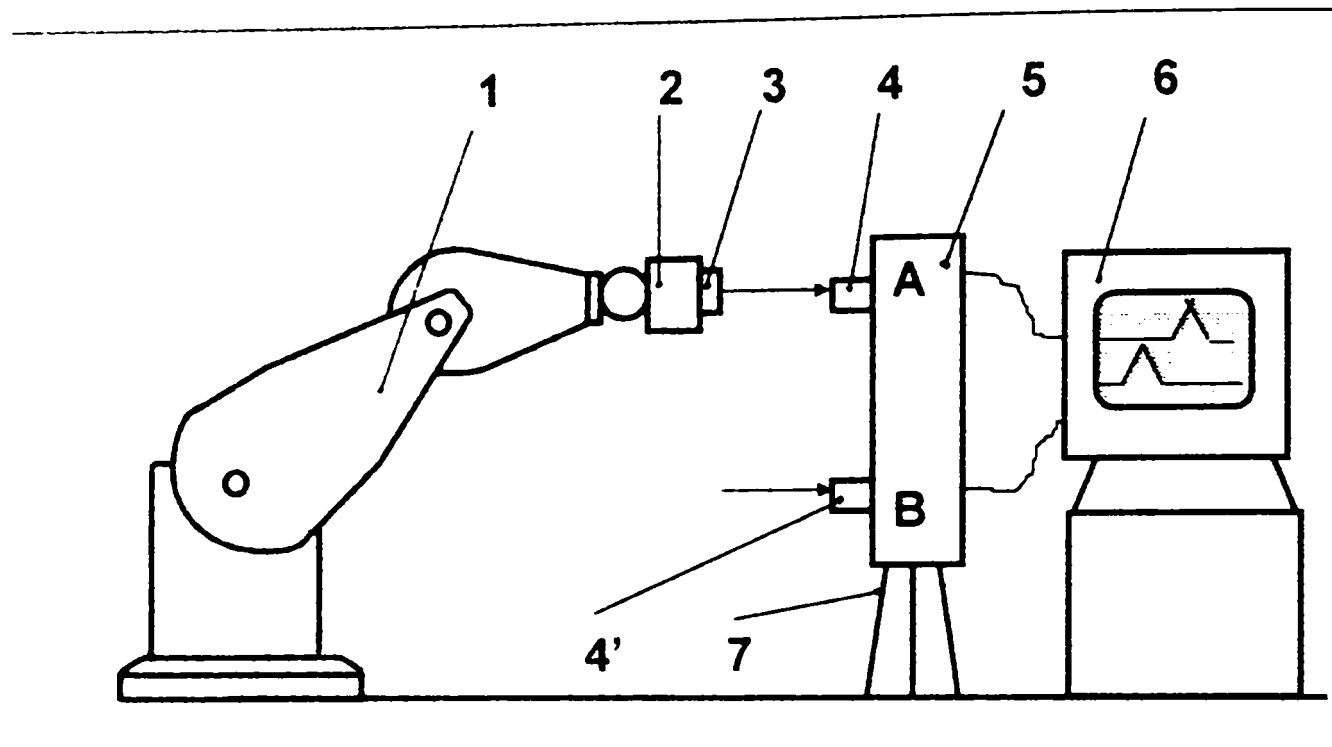


Figura 7.31.

Stand pentru determinarea vitezei medii pe traiectorie.

- unde:
- 1- Robot UNIMATE 600
 - 2- Corp de referință
 - 3- Sursă laser
 - 4, 4'- Fotodetector (celulă voltaică)
 - 5- Suport fotoreceptor
 - 6- CMMC
 - 7- Suport trepied

Inițial s-a efectuat amplasarea suportului în spațiul de lucru al RI apoi s-a comandat parcurgerea unei traiectorii rectilinii între punctele A și B materializate de fotodetectori.

Amplasarea segmentului AB s-a făcut în zona de regim a deplasării punctului caracteristic, astfel încât citirea să se facă pe zona estimată ca având viteza stabilizată (între 30% și 60% din lungimea traiectoriei comandate).

Considerând cunoscută distanța între fotodetectorii diafragmate și cronometrând timpul scurs între două semnale provenite succesiv de la A și B se determină viteza medie cu relația :

$$V_{med} = \frac{s}{\Delta t} \quad (7.22)$$

Procedeul utilizat se prezintă în figurile 7.32 și 7.33. Se observă că prelevarea se face în zona de regim între punctele A și B.

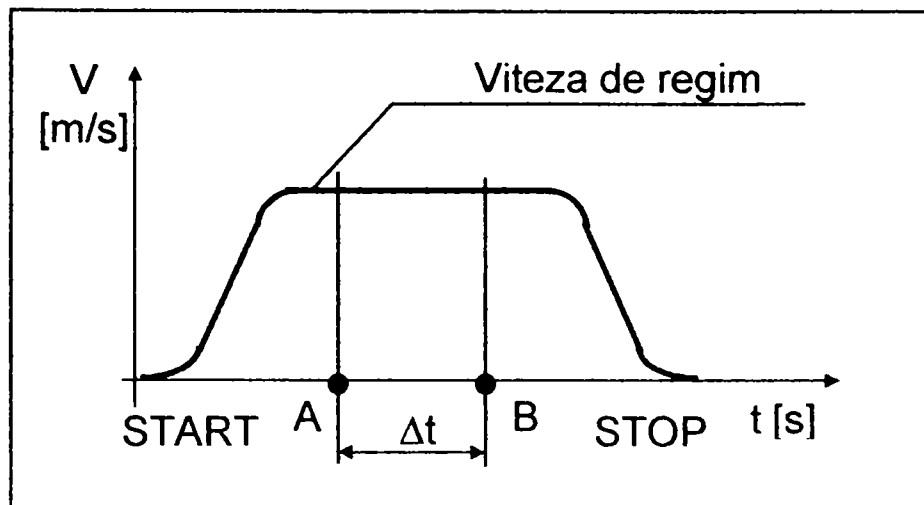


Figura 7.32.
Zona de prelevare a vitezei medii.

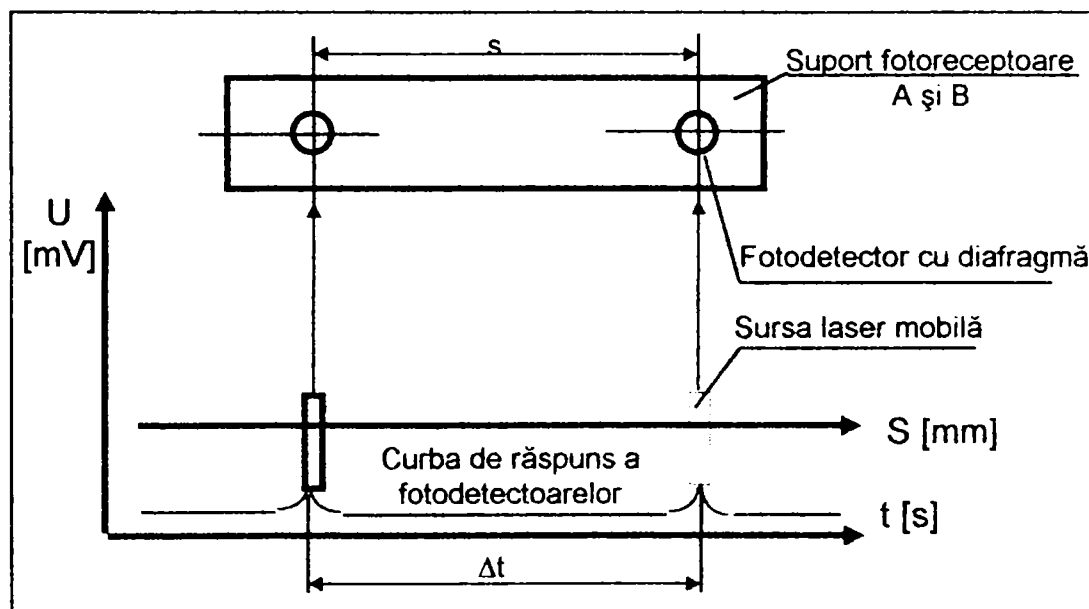


Figura 7.33.
Curba de răspuns a fotodetectorilor la determinarea vitezei medii.

În continuare, pe baza datelor obținute se determină :

- a) exactitatea vitezei pe traiectorie
- b) repetabilitatea vitezei pe traiectorie
- c) fluctuația vitezei pe traiectorie

Semnificația indicatorilor menționați se prezintă în figura 7.34.

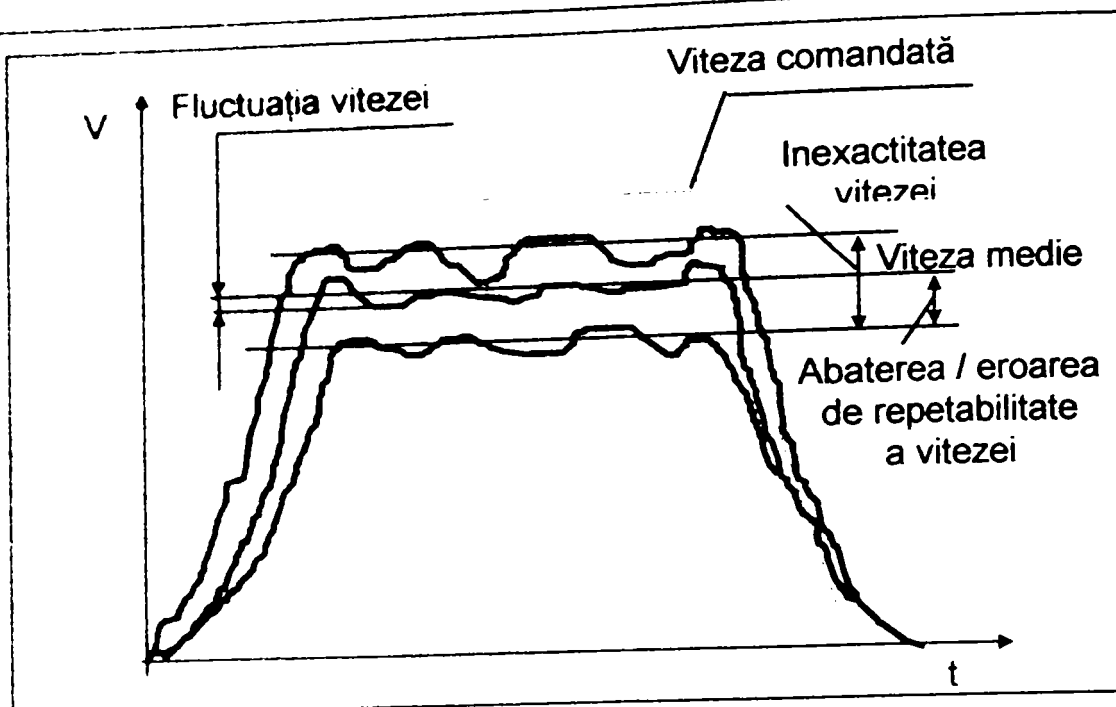


Figura 7.34.

Indicatorii de viteză în zona de regim.

Transformarea numărului de impulsuri raportat la un interval de timp $\Delta t = 0,05s$ în viteză liniară sau unghiulară se face prin cunoașterea caracteristicilor geometrice ale lanțului cinematic dintre traductorul de rotație al robotului aflat pe axa comandată și modulul pus în mișcare de comanda (axa) respectivă.

Determinarea vitezei medii. În cadrul acestui paragraf se prezintă modul de lucru și rezultatele obținute în urma determinării vitezei medii (pe o direcție cunoscută) a efectorului final, prin raportarea la punctul caracteristic. Principiul metodei constă în determinarea timpului în care PC parcurge o distanță cunoscută.

Prin utilizarea a două elemente fotosensibile BPW 21R627 prezentate anterior se materializează distanța cunoscută s . Pentru o mai mare precizie de realizare a cotei s , elementele fotosensibile se diafragmează după cum s-a arătat și în acest caz distanța s este definită de centrele diaframelor.

În același timp, de efectorul final se rigidizează o sursă laser de mică putere (4mW), astfel încât la trecerea razei laser peste elementele fotosensibile să se obțină semnale de tip impuls de la acestea. Pentru sesizarea acestor semnale în timp real, se va utiliza o placă de achiziție de date, instalată pe un calculator IBM PC / AT, operându-se cu softul VIRTUAL BENCH (CMMC).

Pentru a confirma viabilitatea metodei propuse de autor, s-au efectuat determinări pe roboții UNIMATE și REMT - 1.

Rezultatele obținute se prezintă în figurile 7.35.a și b și 7.36.a și b.

Variatia vitezei pe axa 3 pentru robotul REMT-1 la urcare

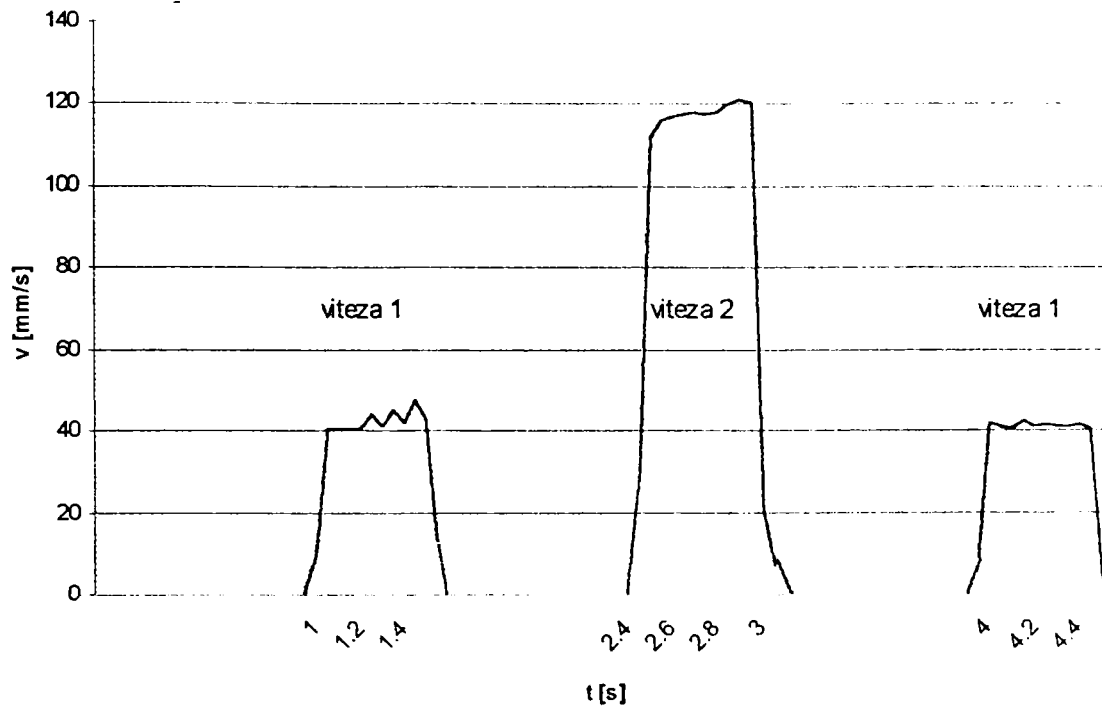


Figura 7.35.a

Variatia vitezei pe axa 3 pentru robotul REMT-1 la coborire

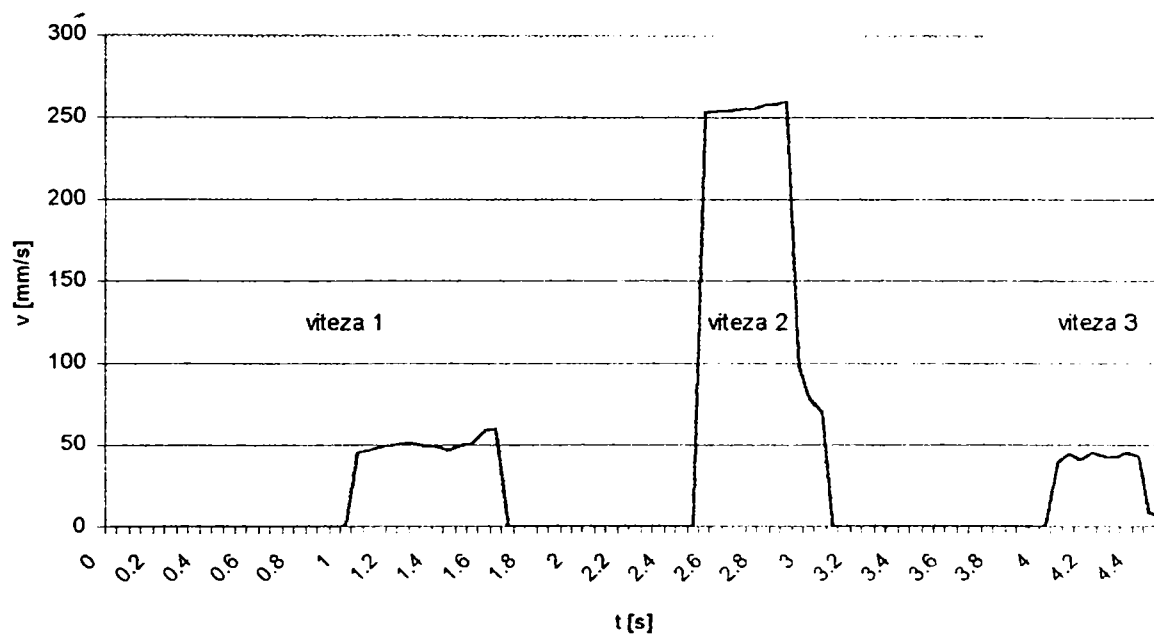


Figura 7.35.b

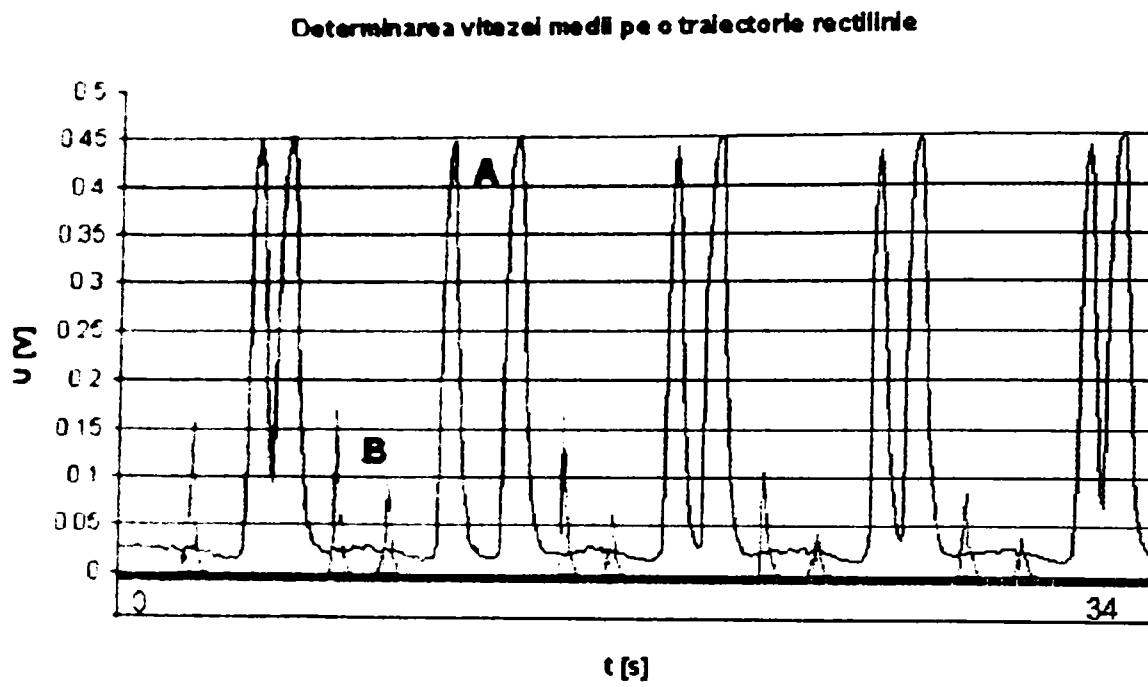


Figura 7.36.a

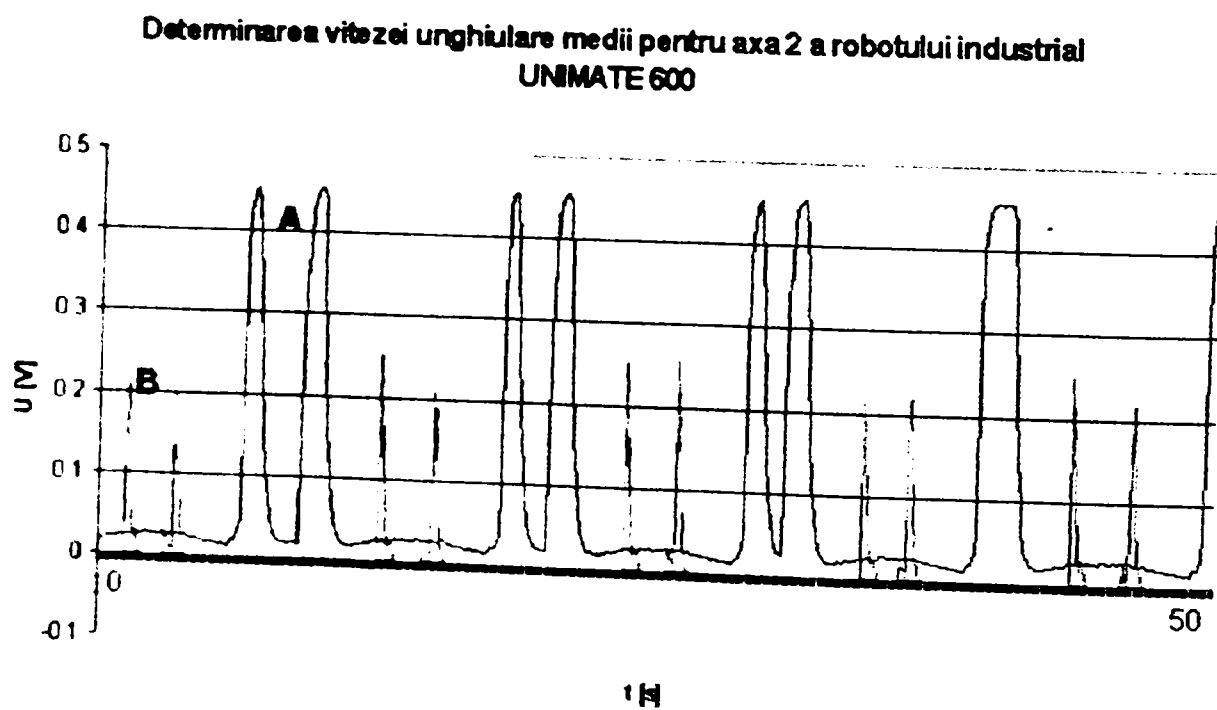


Figura 7.36.b

În urma prelucrării rezultatelor obținute în legătură cu variația vitezei de regim pe axa 3 (axa z) a robotului REMT -1 se determină indicatorii cinematici prezentați în tabelul 7.3. Aceștia corespund succesiunii V.1. - V.2. - V. 1. comandată pe axa 3 (vezi anexa A4).

Tabelul 7.3.

Simbolul indicatorului de viteză	Indicatorii cinematici ai vitezei de regim pentru axa 3 a robotului REMT -1	
	Urcare ↑	Coborâre ↓
AV1	6,20%	26,55%
AV2	1,6%	29,49%
AV3	3,72%	6,9%
RV1	8,47%	11,63%
RV2	1,4%	4,97%
RV3	6,71%	8,92%
FV1	8 mm/s	21,2 mm/s
FV2	10,2 mm/s	10,2 mm/s
FV3	2,4 mm/s	10 mm/s

Aplicând metoda opto-electronică de determinare a vitezei medii de regim conform figurii 7.32 pentru aceeași axă a robotului REMT -1 se obțin rezultatele prezentate în tabelul 7.4 (vezi anexa A5).

Tabelul 7.4.

Nr. crt.	Viteza medie de regim pe axa 3 a robotului REMT - 1 [mm/s]		
		$v_c = 40$	
1	urcare	$v_c = 40$	42,15
2	coborâre	$v_c = 40$	53,45

Anticipând § 7.2.2.2. pe baza faptului că din indicatorii de viteză se obțin informații despre indicatorii de accelerație, se prezintă modul de variație al accelerației pe axa 3 a robotului industrial REMT -1 în figurile 7.37 a și b. Variațiile accelerației punctului caracteristic pe axa 3 a robotului industrial REMT -1 s-au obținut prin derivarea profilelor de viteză prelevate în urma comandării unei succesiuni de tip V.1. - V.2. - V.1.

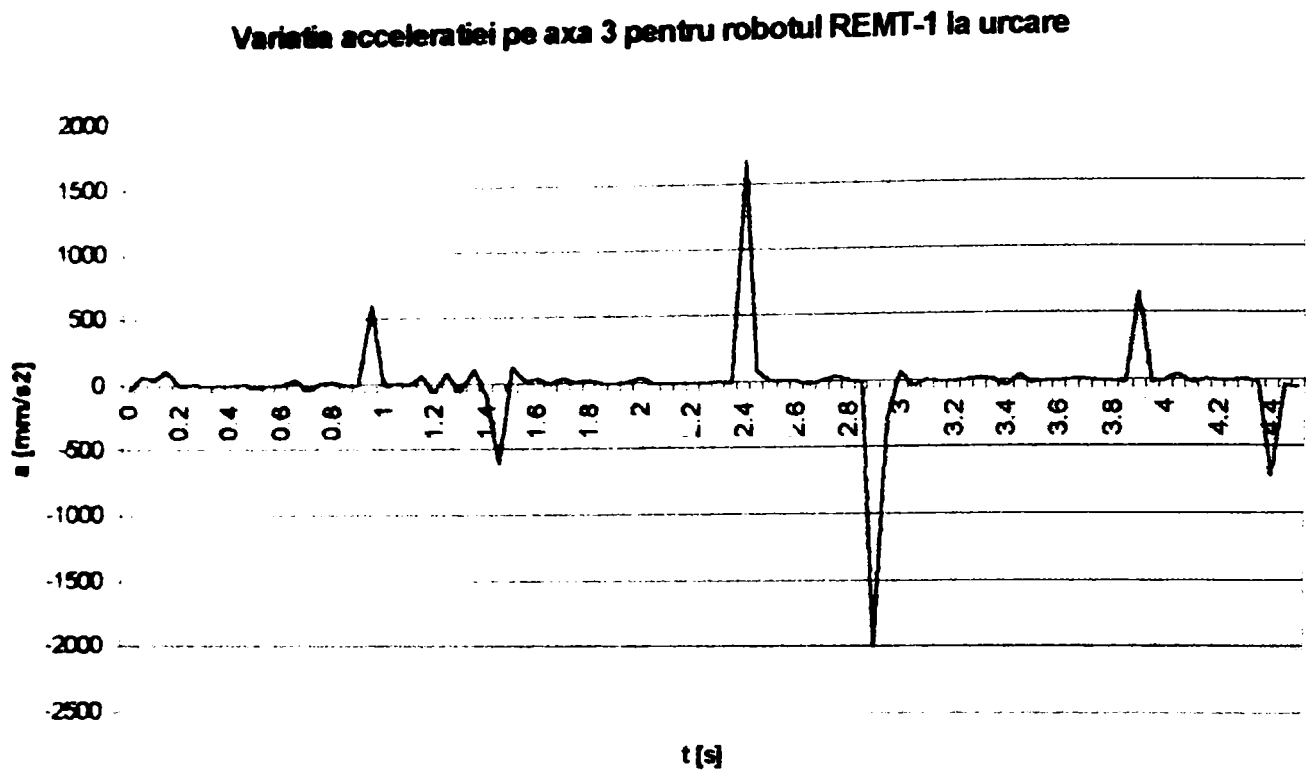


Figura 7.37 a

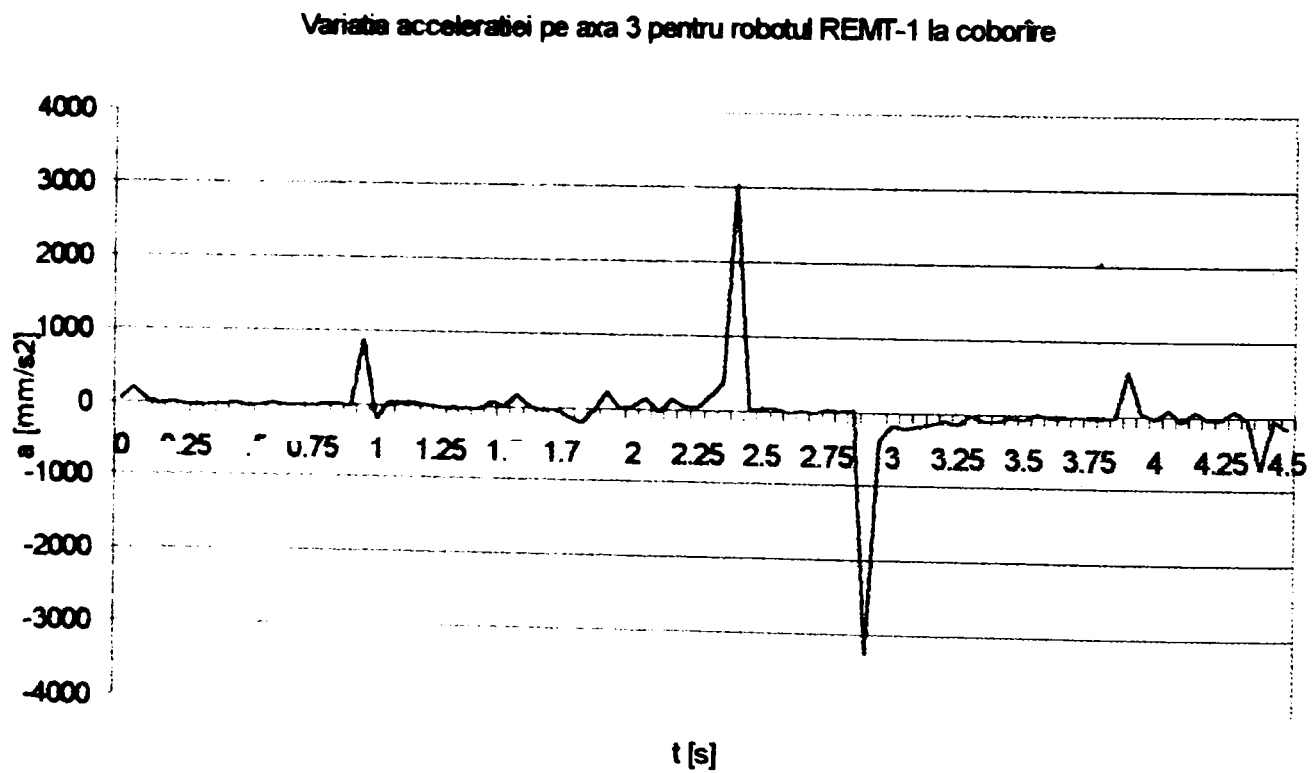


Figura 7.37.b

7.2.2.2. Determinarea experimentală a indicatorilor de accelerație.

Pentru acoperirea acestui segment din programul de încercări asupra performanțelor RI s-au avut în vedere următorii indicatori:

- a). accelerația maximă / minimă pe traiectorie;
- b). variația accelerației punctului caracteristic.

Atunci când se dorește determinarea indicatorilor de accelerație, este necesar să se facă distincție între două aspecte legate de natura accelerației măsurate.

Astfel, indicatorii de accelerație pot da informații asupra legilor de mișcare, atunci când provin din derivarea profilelor de viteză ale punctului caracteristic (vezi figurile 7.37.a și b) sau pot constitui parametri ai vibrațiilor prezente în diferite zone ale sistemului mecanic.

Primul aspect prezentat mai sus a fost abordat în § 7.2.2.1., iar pentru cel de-al doilea aspect, referitor la parametri vibrațiilor se va proceda în continuare la descrierea metodei de prelevare.

Aceasta constă în utilizarea unui traductor piezoelectric pentru fiecare direcție investigată, dat fiind faptul că sensibilitatea traductoarelor accelerometrice este selectivă. În general se plasează traductoarele pe trei direcții reciproc perpendiculare ce constituie și axele unui sistem de referință atașat efectorului final.

În cadrul determinărilor efectuate pe roboții UNIMATE 600 și REMT1 s-au utilizat traductoare accelerometrice KD-23.

Schema instalației concepute pentru determinarea accelerației vibrației este prezentată în figura 7.38.

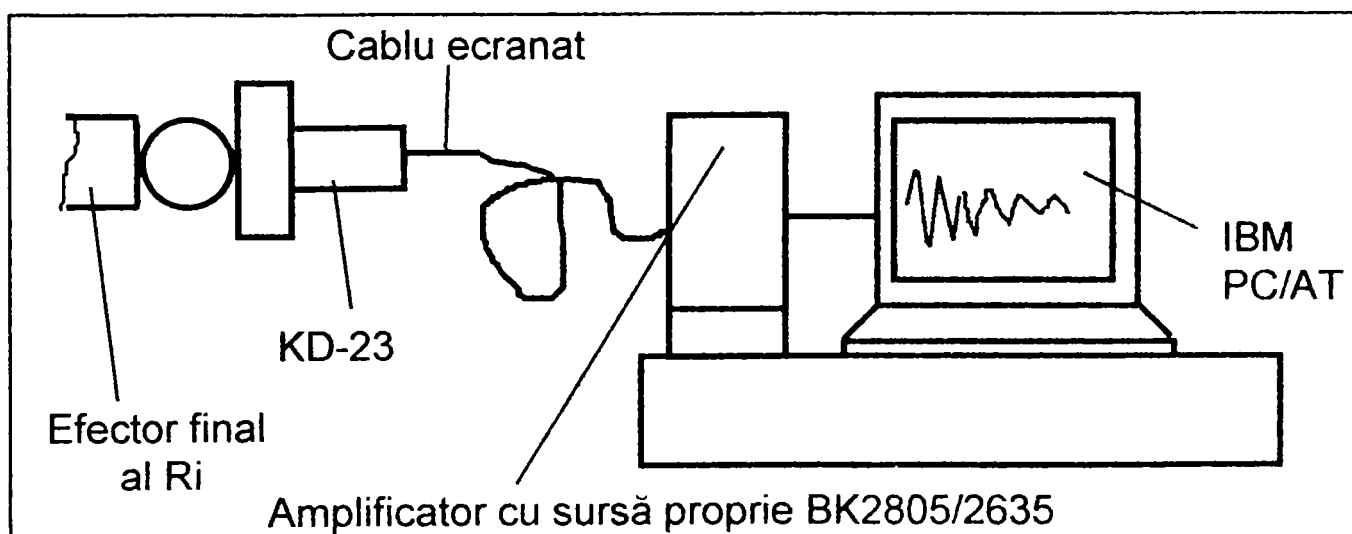


Figura 7.38.

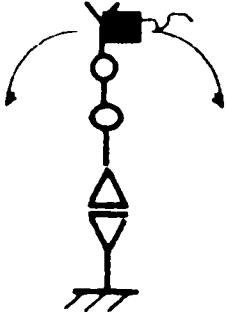
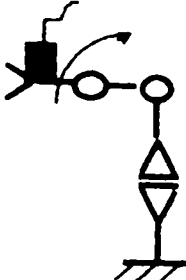
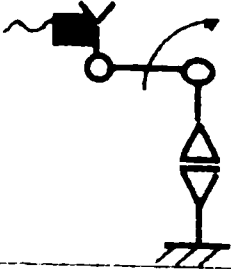
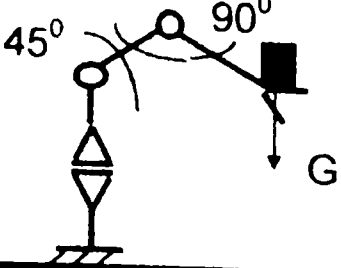
Instalație pentru determinarea indicatorilor de accelerație.

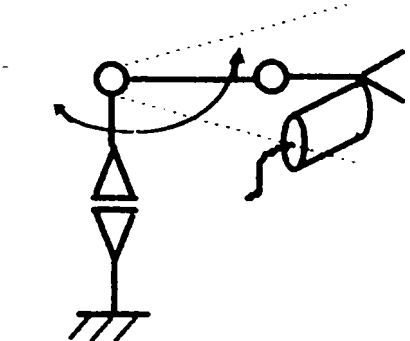
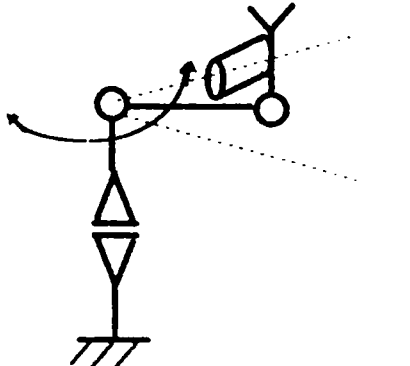
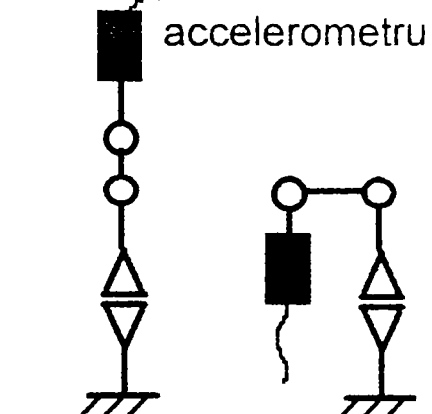
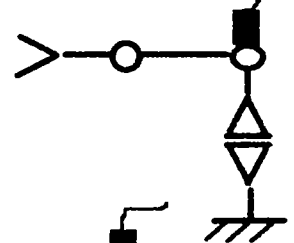
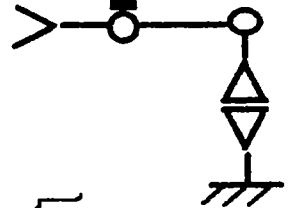
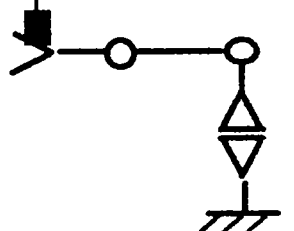
Pentru a putea compara reacțiile robotului la diverse comenzi s-au modificat următorii parametri:

- viteza de deplasare;
- sarcina manipulată;
- poziția traductorului accelerometric;
- poziția relativă a elementelor schemei cinematice;
- direcția, sensul și mărimea solicitării externe asupra efectorului final

Aceste modificări se prezintă în tabelul 7.5:

Tabelul 7.5.

Nr. crt.	Tipul posturii și deplasării precum și poziția traductorului accelerometric	Sarcina manipulată [kg]	Viteza comandată [%]
0	1	2	3
1		0	$0,3 v_{\max}$
2		0	v_{\max}
3		0	v_{\max}
4		0,945	v_{\max}

0	1	2	3
5		0	v_{max}
6		0	v_{max}
7	 <p>accelerometru</p>	0 (calibrare)	-
8.1		<p>robotul echipat cu disc taie un corp de poliamidă prin deplasarea corpului respectiv.</p>	
8.2			
8.3			

Pentru exemplificare se prezintă în figura 7.39 variația accelerației vibrației la nivelul efectorului final prelevată conform situației (6) din tabelul 7.5.

Robotul industrial UNIMATE 600 execută o pivotare (axa1) cu viteza maximă comandată, iar valoarea maximă a accelerației vibrației în această situație este de $8,84 \text{ m/s}^2$. Pe lângă această informație, pe baza înregistrării variației parametrilor vibrației se poate efectua diagnosticarea unor subsisteme ale RI.

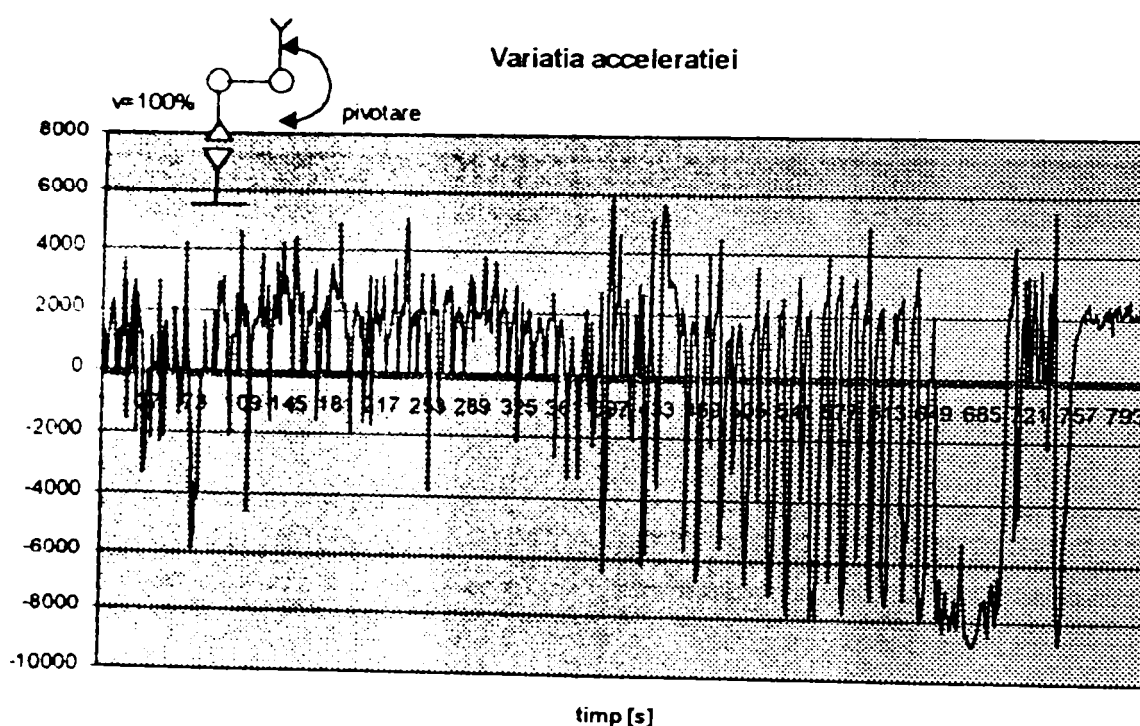


Figura 7.39.
Variația accelerației P.C. al robotului UNIMATE 600 la acționarea axei 1 a acestuia.

Din analiza variației accelerației P.C. prelevată pe axa 3 (axa z) a robotului industrial REMT -1 rezultă accelerația maximă pentru cursa ascendentă, $a_{\max\uparrow} = 1,99 \text{ m/s}^2$ iar pentru cursa descendentă, $a_{\max\downarrow} = 3,23 \text{ m/s}^2$. Similar se procedează pentru toate axele robotului industrial supus testării.

Pentru a obține informații despre accelerația vibrației pe mai multe direcții s-au efectuat determinări pe robotul industrial REMT-1 cu ajutorul unui set de trei traductoare accelerometrice dispuse pe axele unui sistem de referință atașat unui corp rigidizat de efectorul final. Instalația de măsurare se prezintă în schema de principiu din figura 7.40:

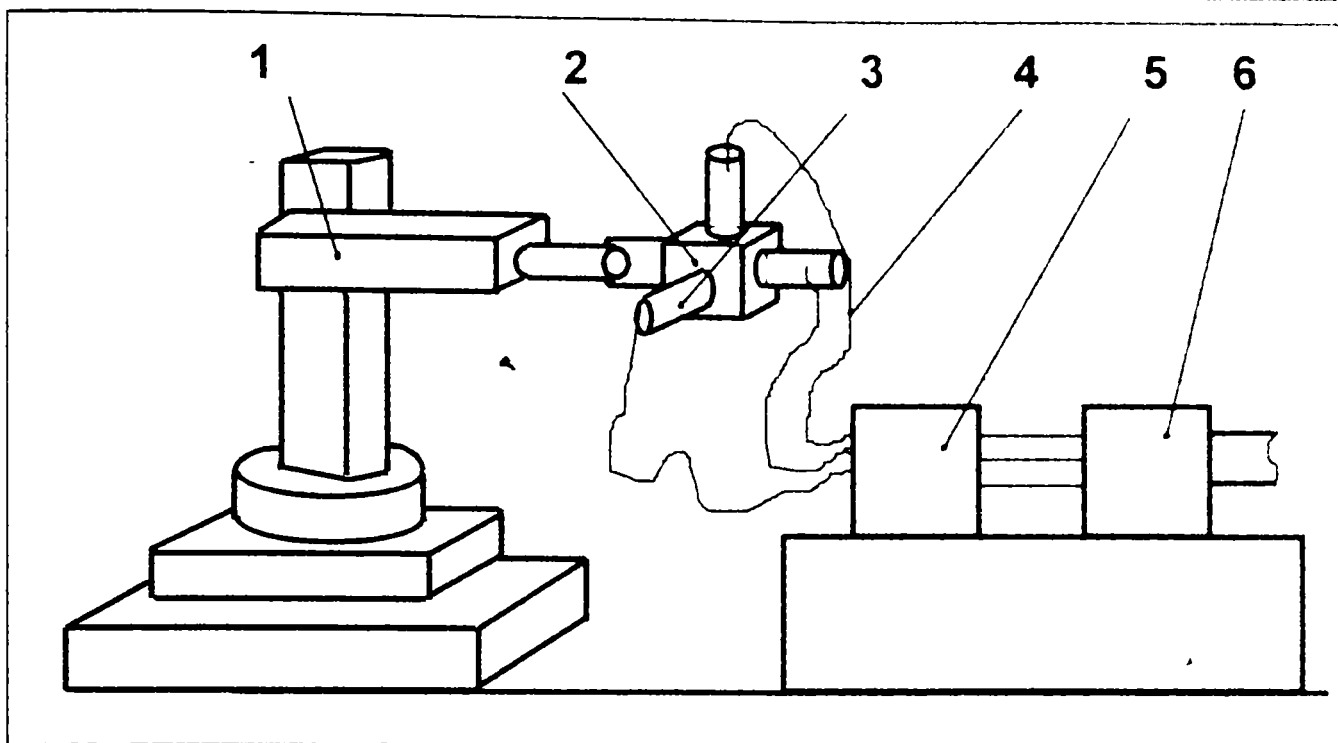


Figura 7.40.

Stand pentru determinarea indicatorilor de accelerație pe trei direcții reciproc perpendiculare.

- unde:
- 1. Robot industrial;
 - 2. Corp cubic,
 - 3. Traductoare accelerometrice KD 35;
 - 4. Cablu ecranat;
 - 5. Amplificator ;
 - 6. Oscilograf cu UV, tip K115.

Pentru a mări gradul de relevanță al determinărilor s-au prevăzut mai multe tipuri de mișcări după cum urmează:

Tabelul 7.4.

Nr. crt.	Tipul deplasării	Viteza		Nr. crt.	Tipul deplasării	Viteza	
		1	2			1	2
1	Translație bază	*	*	5	Translație bază	*	
2	Pivotare	*		6	Translație vertic.	*	*
3	Pivotare		*	7	Extensie + translație bază	*	*
4	Extensie braț	*		8	Trans.vert.+bază	*	*

Rezultatele obținute se prezintă în continuare:

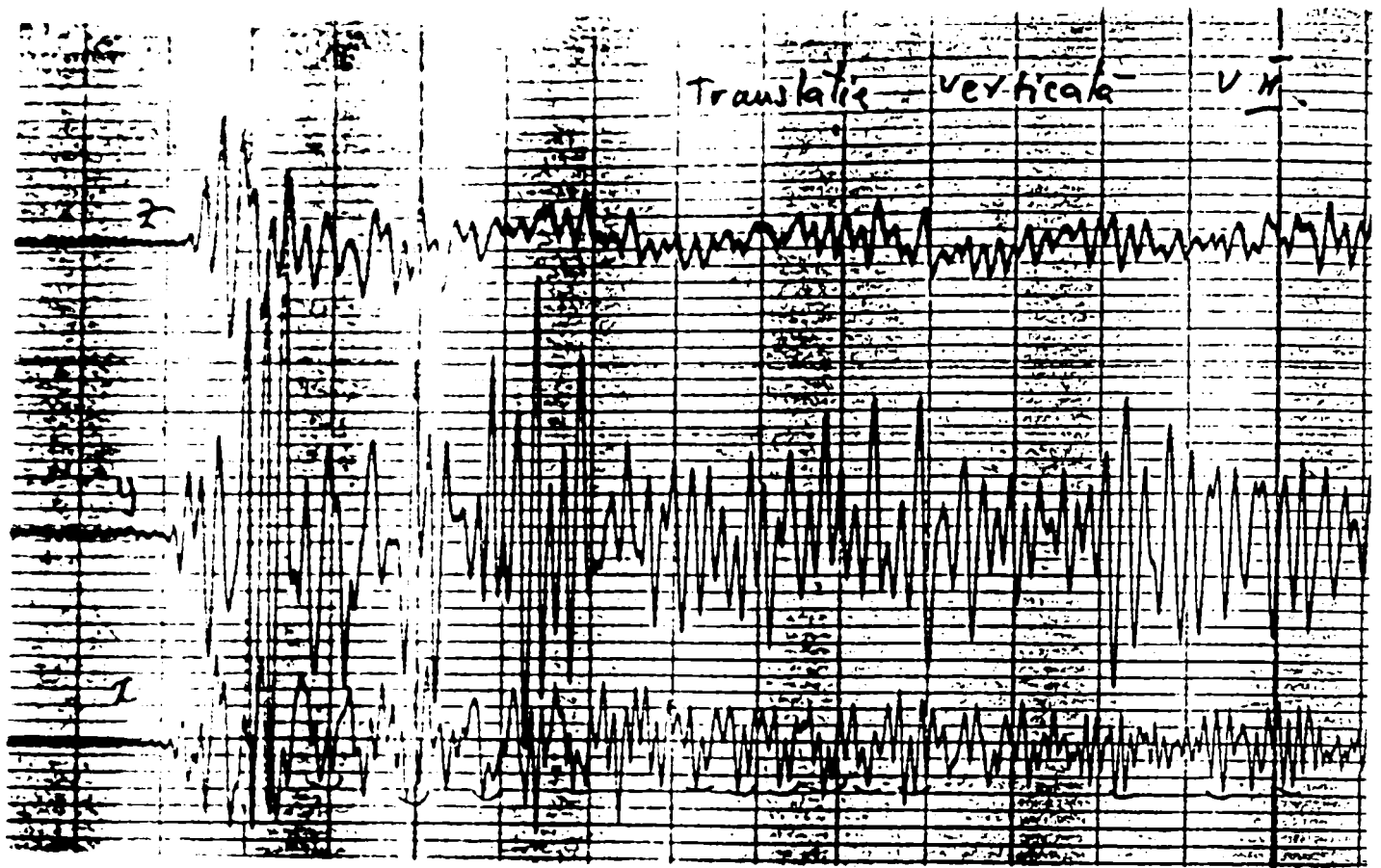


Figura 7.41

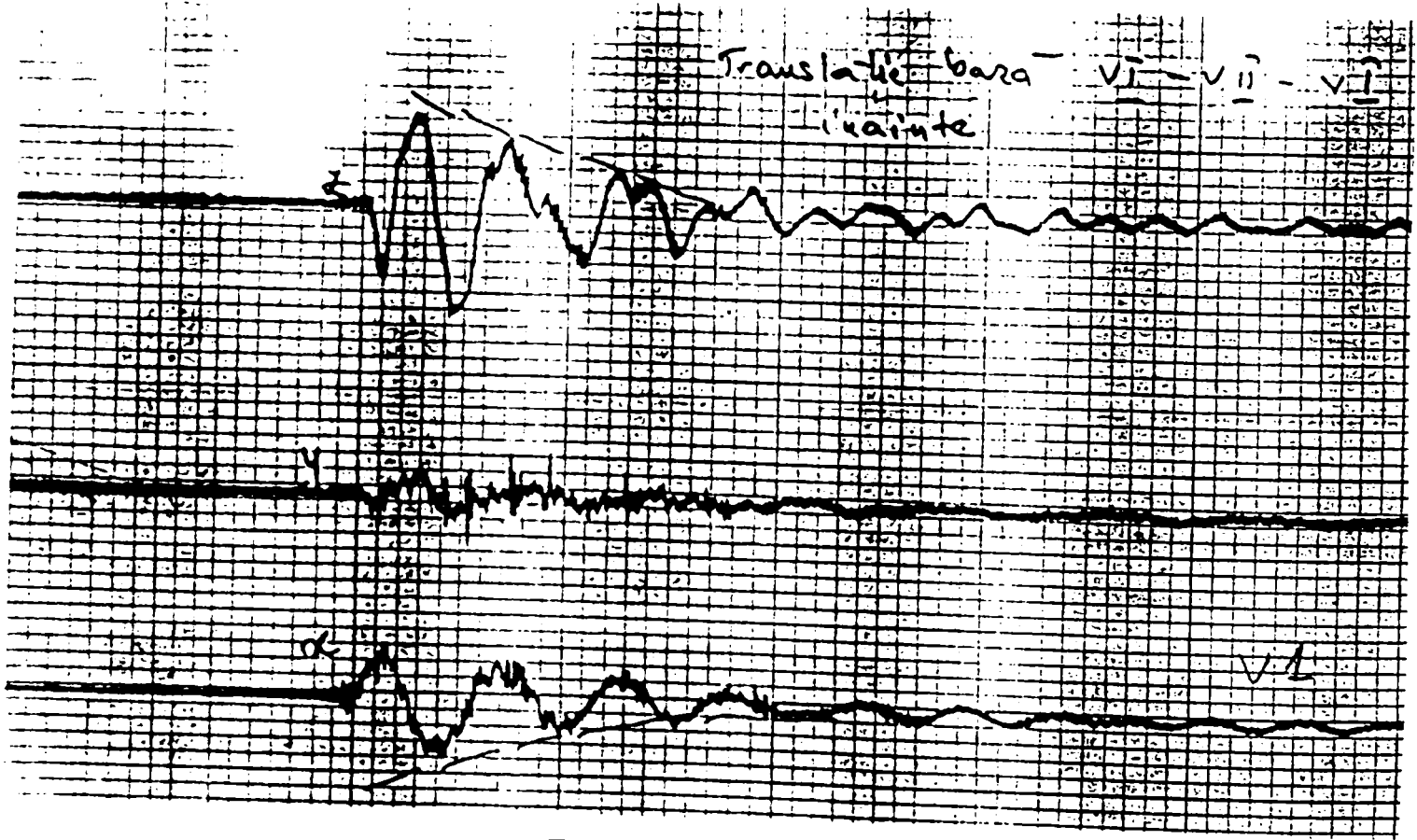


Figura 7.42.

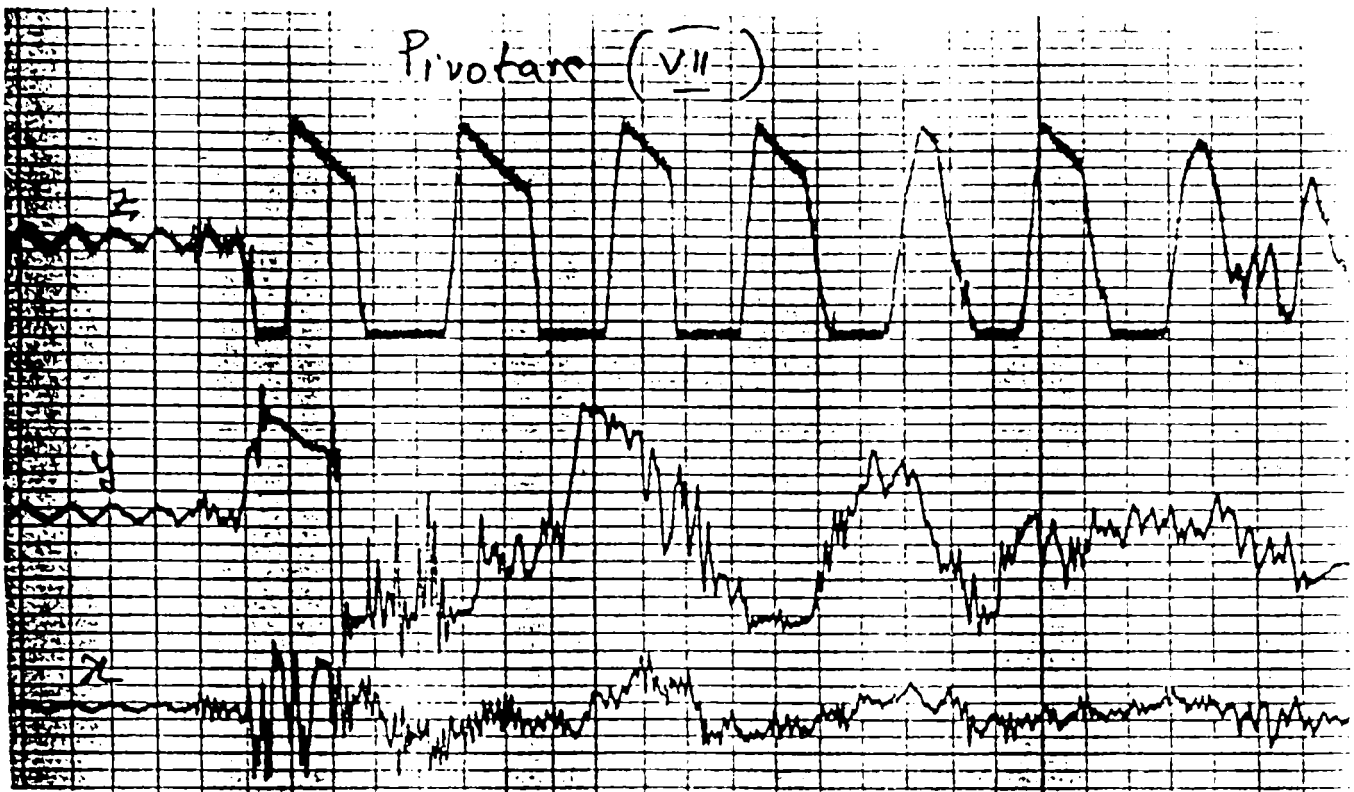


Figura 7.43.

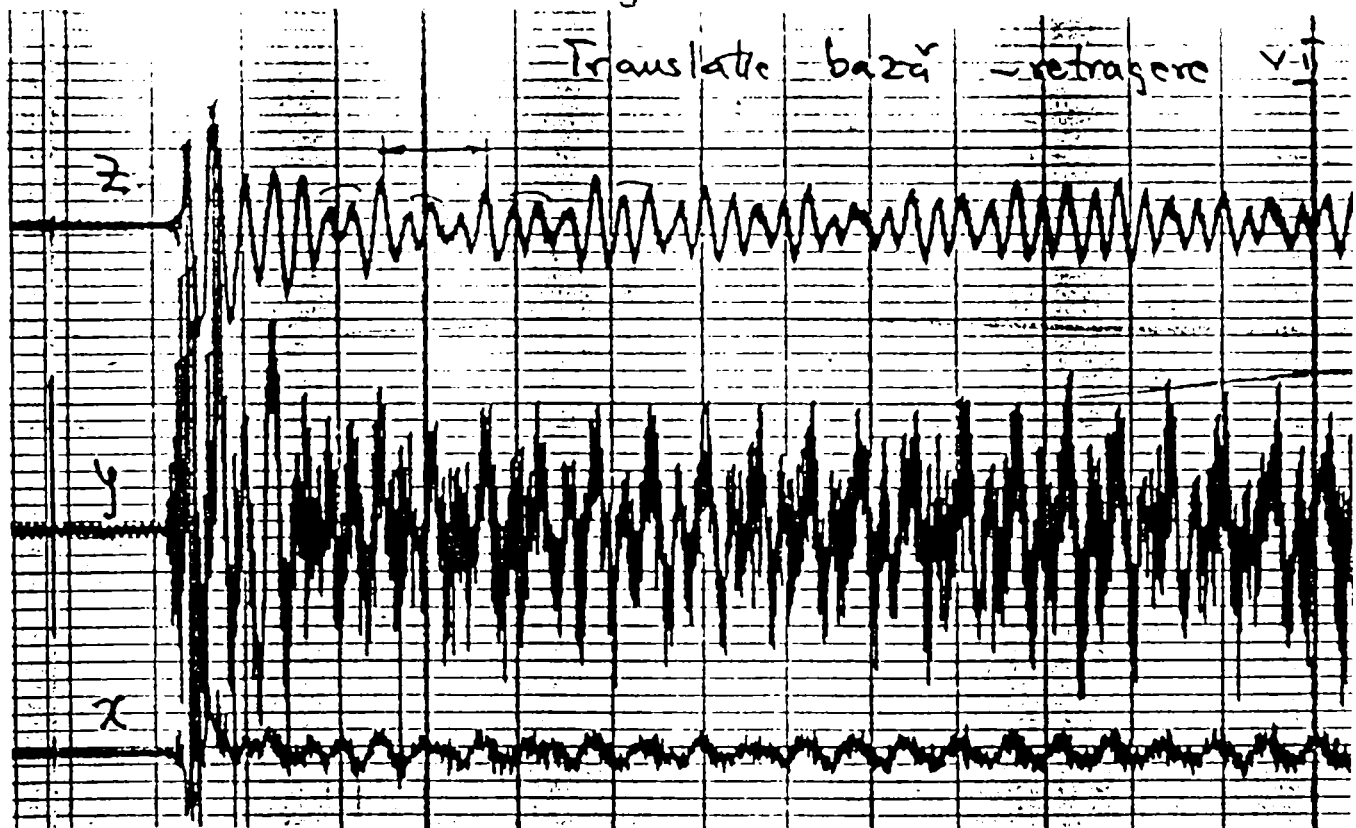


Figura 7.44.

Din analiza înregistrărilor prezentate anterior se determină timpul de stabilizare pe traiectorie având valoarea maximă de 3,4 s pentru mișcarea de pivotare (axa 2) și valoarea minimă de 0,24 s pentru translația ascendentă (axa3), ambele deplasări efectuându-se cu viteza maximă.

7.2.2.3. Determinarea indicatorilor de timp.

Indicatori avuți în vedere sunt:

- 1 Timpul de stabilizare pe poziție;
- 2 Timpul de stabilizare pe traiectorie;
- 3 Timpul de deplasare pe traiectorie / axă;
4. Timpul de executare a unui ciclu de lucru.

Primul indicator "**timpul de stabilizare pe poziție**" reprezintă intervalul de timp consumat până la amortizarea oscilațiilor amorsate după comanda STOP. Acest indicator se poate determina din prelucrarea datelor privitoare la parametrii vibrațiilor după cum se vede în figura 7.45.

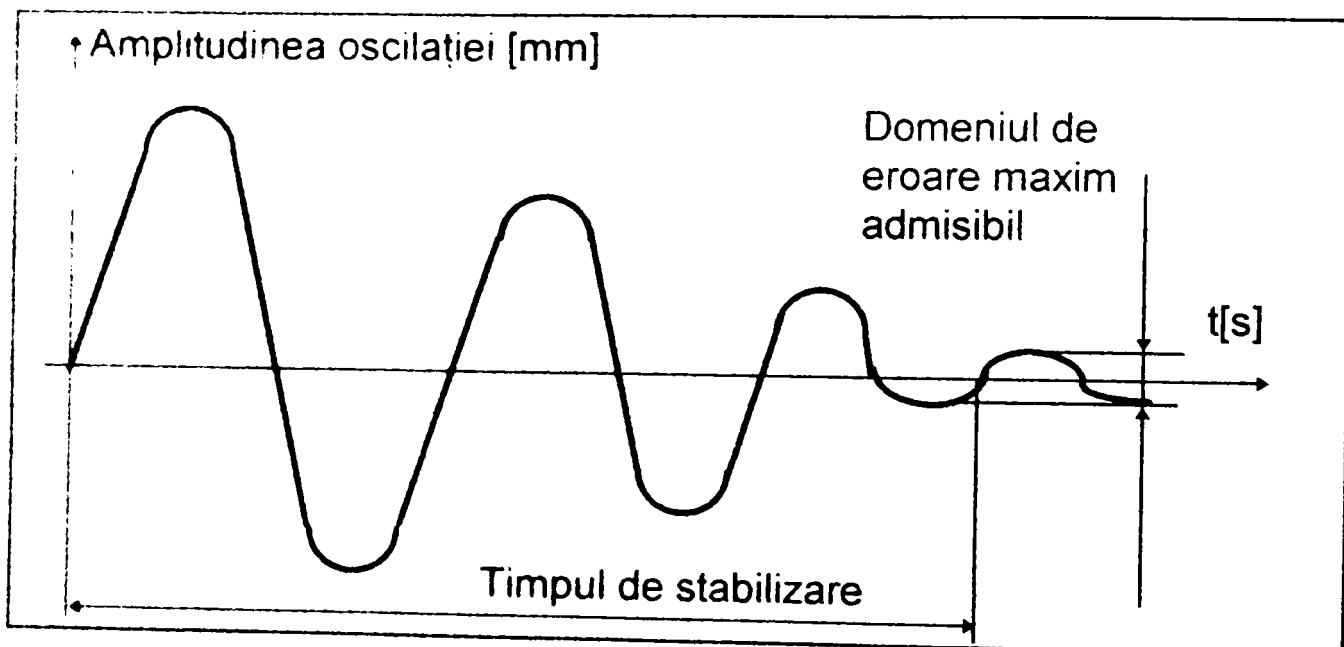


Figura 7.45.
Prelevarea timpului de stabilizare din înregistrarea vibrației efectorului final.

Indicatorul "**timp de stabilizare pe traiectorie**" rezultă în urma prelucrării datelor furnizate de testul "corner" și este corespunzător lungimii de stabilizare pe traiectorie, conform figurii 7.46.

Indicatorul "**timp de deplasare pe traiectorie / axă**" se determină prin dispunerea pe direcția de deplasare a unui fotodetector simetric în raport cu punctele START și STOP. Semnalul la trecerea prin dreptul fotodetectorului este produs de incidența razei emise de o sursă laser plasată pe efectorul final pus în mișcare.

Determinarea timpului consumat între START și STOP se efectuează cu ajutorul instalației de măsurare prezentată în figura 7.47.

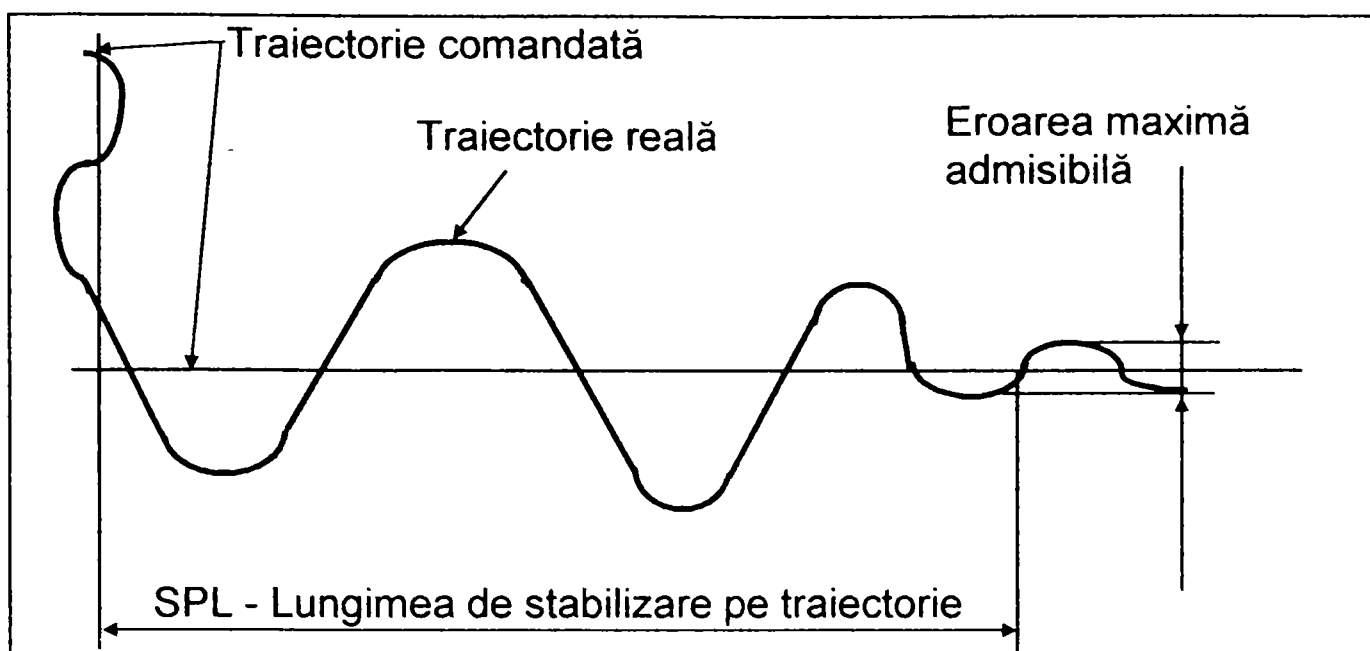


Figura 7.46.
Determinarea timpului de stabilizare pe traiectorie.

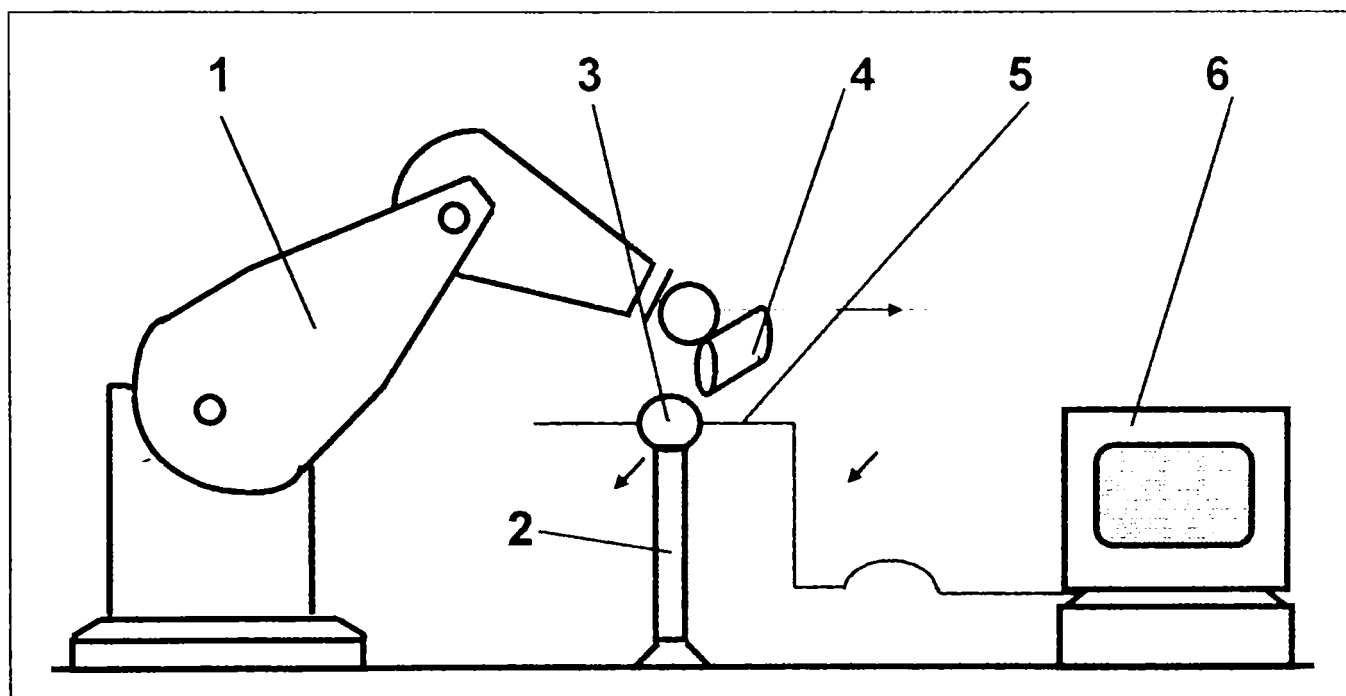


Figura 7.47.
Stand pentru determinarea timpului de deplasare pe traiectorie.

unde semnificația numerotărilor este următoarea:

1. - Robot industrial;
2. - Suport fotodetector (BPW 21R627);
3. - Fotodetector BPW 21R627;
4. - Sursă laser ($P = 5\text{mW}$; $\lambda = 670\text{ n m}$);
5. - Cablu ecranat;
6. - CMMC

Rezultatele obținute pentru axa 3, translație verticală, a robotului REMT -1 se prezintă în figura 7.48.

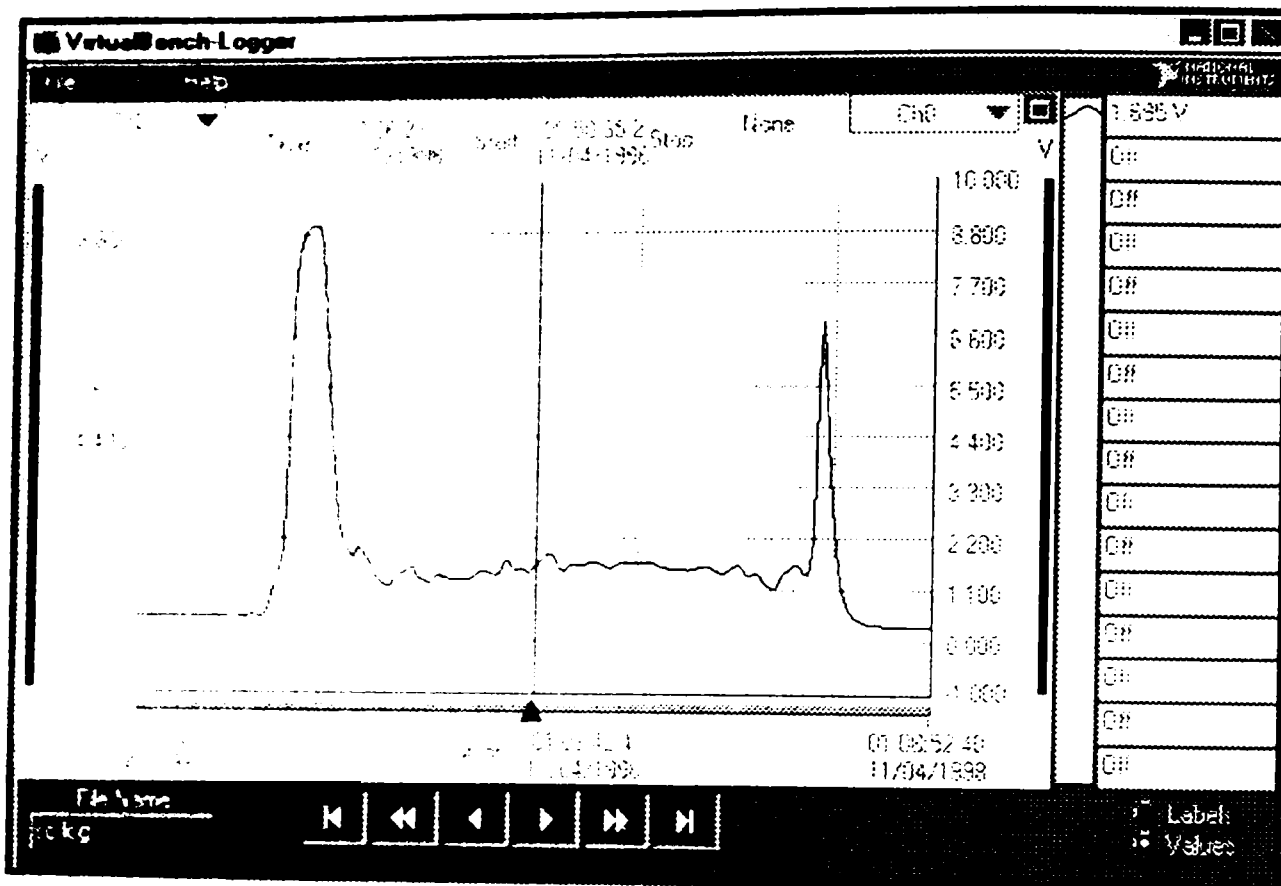


Figura 7.48.

Imagine de pe ecranul CMMC -ului reprezentând înregistrarea timpului de deplasare pe traiectorie.

Figura 7.48 prezintă imaginea captată direct de pe monitorul CMMC -ului. Diferența de formă și amplitudine a impulsurilor înregistrate se datorează faptului că viteza pe cursa descendentă respectiv ascendentă diferă din cauza factorului gravitațional. Pentru a elimina efectul acestei diferențe, fotodetectorul se plasează simetric între punctele START și STOP considerate, intervalul de timp marcat fiind astfel corespunzător unei medieri între viteza ascendentă și cea descendentă.

În urma prelucrării înregistrărilor efectuate, rezultă valoarea timpului de deplasare pe axa 3 a robotului industrial REMT -1 de 13,40 s.

Al patrulea indicator "**timp de executare al unui ciclu de lucru**" se determină ca și în cazul anterior prezentat cu observația că punctele START și STOP se găsesc în coincidență și deci va fi nevoie de un singur fotodetector după cum se vede și în figura 7.49. ce prezintă instalația de măsurare.

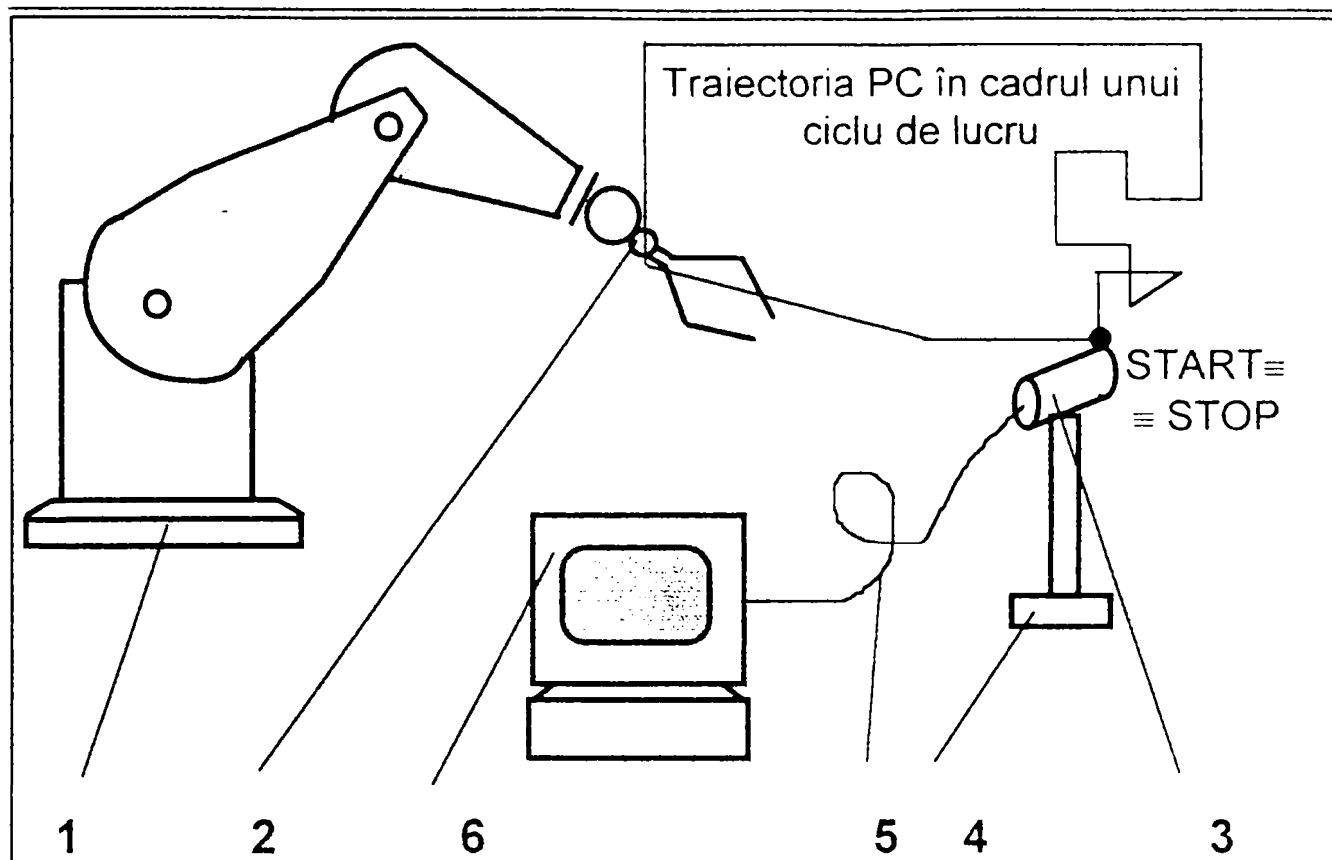


Figura 7.49.

Stand pentru determinarea duratei unui ciclu de lucru.

În figură , semnificațiile sunt:

1. - Robot industrial;
2. - Sursă laser ($P=5\text{mW}$, $\lambda=670\text{n m}$);
3. - Fotodetector BPW 21R627;
4. - Suport fotodetector;
5. - Cablu ecranat;
6. -CMMC.

Pentru determinările prezentate, intervalul de timp ce trebuie măsurat a fost furnizat de poziția semnalelor impuls pe axa x a înregistrărilor făcute (axa timpului).

Pentru determinarea duratei unui ciclu de lucru s-a amplasat instalația de măsurare din figura 7.46. în spațiul de lucru al robotului SCORBOT - III prelevându-se date exemplificate în forma grafică prezentată în figura 7.50.

Durata medie a unui ciclu de lucru efectuat este de 17,65 s.

Determinarea duratei unui ciclu de lucru pentru robotul SCORBOT 3

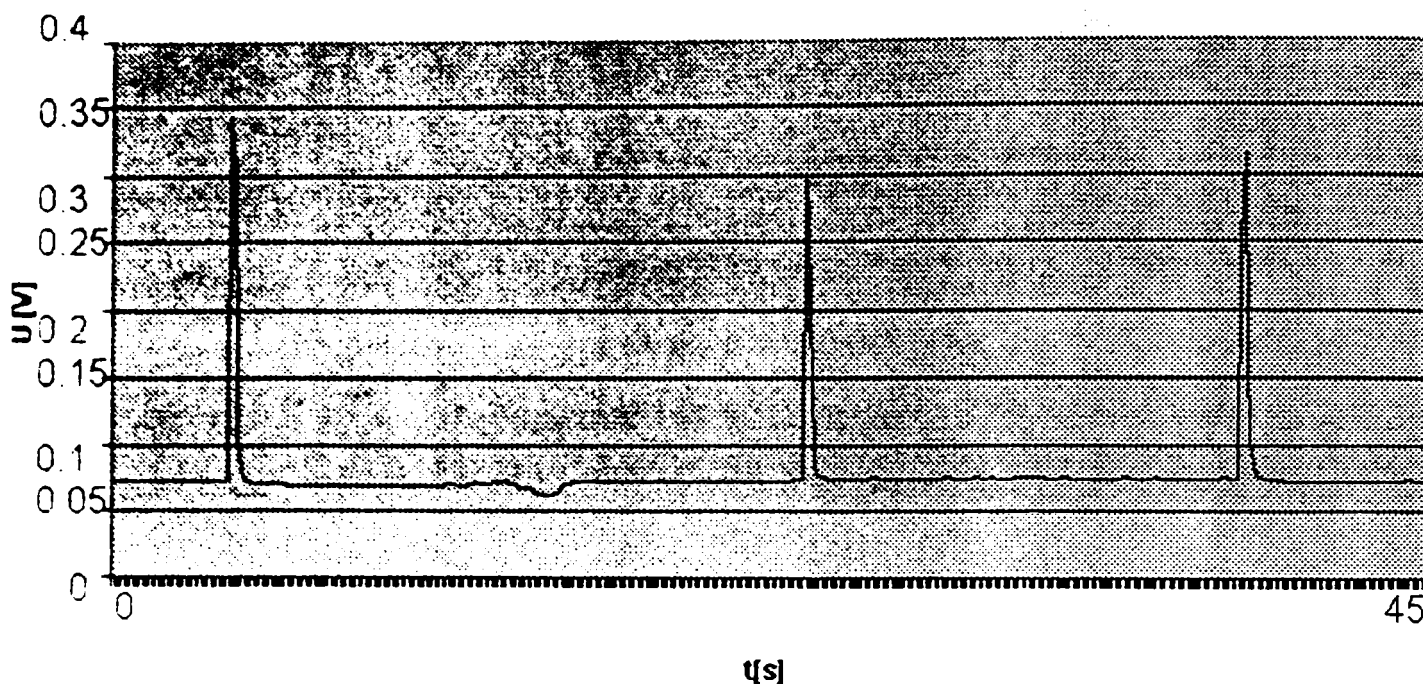


Figura 7.50.

7.2.3. Determinarea unor indicatori dinamici.

În cadrul acestui paragraf se analizează modul de determinare al indicatorilor ce implică luarea în considerare a unor forțe și momente ce acționează din interiorul sau/și exteriorul sistemului mecanic al robotului.

Acești indicatori sunt.

- a). complianța statică / dinamică;
- b). momentele în cuplele motoare,
- c). nivelul vibrațiilor (parametrii vibrațiilor);
- d). caracteristici de situare dinamice în funcție de sarcină, impuls, moment cinetic.

Pentru indicatorul "**compliance statică**" determinarea s-a efectuat pe robotul UNIMATE 600 utilizând un corp de probă cubic cu latura de 100 mm și traductoare inductive de deplasare, cu contact mecanic, tip MICROLIMIT. Instalația prevăzută pentru determinări se descrie în figura 7.51.

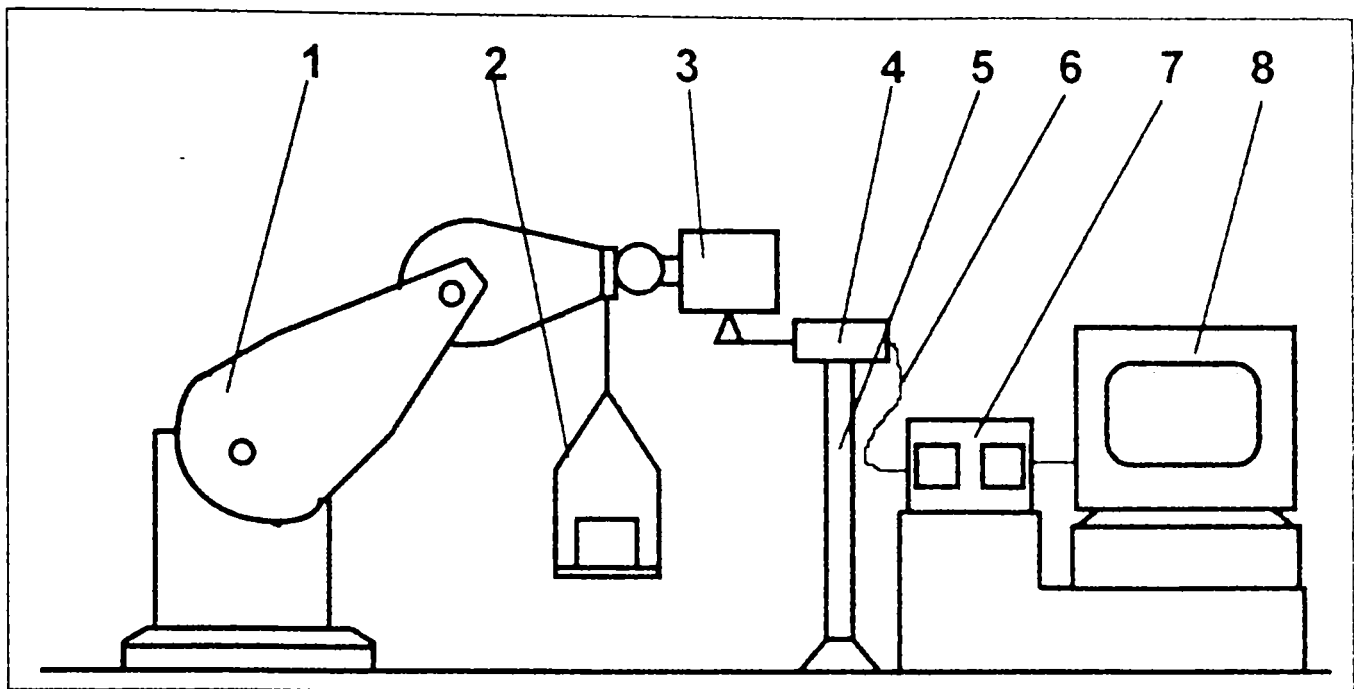


Figura 7.51.
Stand pentru determinarea complianței statice.

- unde:
1. - Robot industrial,
 2. - Taler cu greutate pentru modelarea sarcinii manipulate;
 3. - Corp de probă cubic;
 4. - Traductor inductiv de deplasare, MICROLIMIT;
 5. - Suport traductor;
 6. - Cablu ecranat;
 7. - Unitate MICROLIMIT cu afișaj analogic;
 8. - CMMC

Pe lângă această instalație se propune și o modalitate de determinare a complianței fără a avea contact mecanic cu RI eliminând astfel efectul de încărcare asupra măsurandului.

Pentru realizarea acestei noi instalații se utilizează un fotodetector cu diafragmă BPW 21R627 și o sursă laser de 5mW cu $\lambda=670$ nm.

Sesizarea deplasării efectorului final sub acțiunea sarcinii se execută prin prelevarea semnalului în tensiune de curent electric continuu furnizat de fotodetectorul BPW 21R627 prevăzut cu diafragmă. Pe măsură ce zona centrală a repartiției gaussiene a intensității razei laser se apropie de centrul diafragmei fotodetectorului, crește tensiunea electrică furnizată de acesta ce devine astfel informație de măsurare.

Prin calibrare în zona de lucru semnalul electric obținut în prezența deplasării efectorului final se poate converti în mărime a spațiului parcurs de acesta.

Pentru măsurare, dispunerea în teren a componentelor se prezintă în figura 7.52.

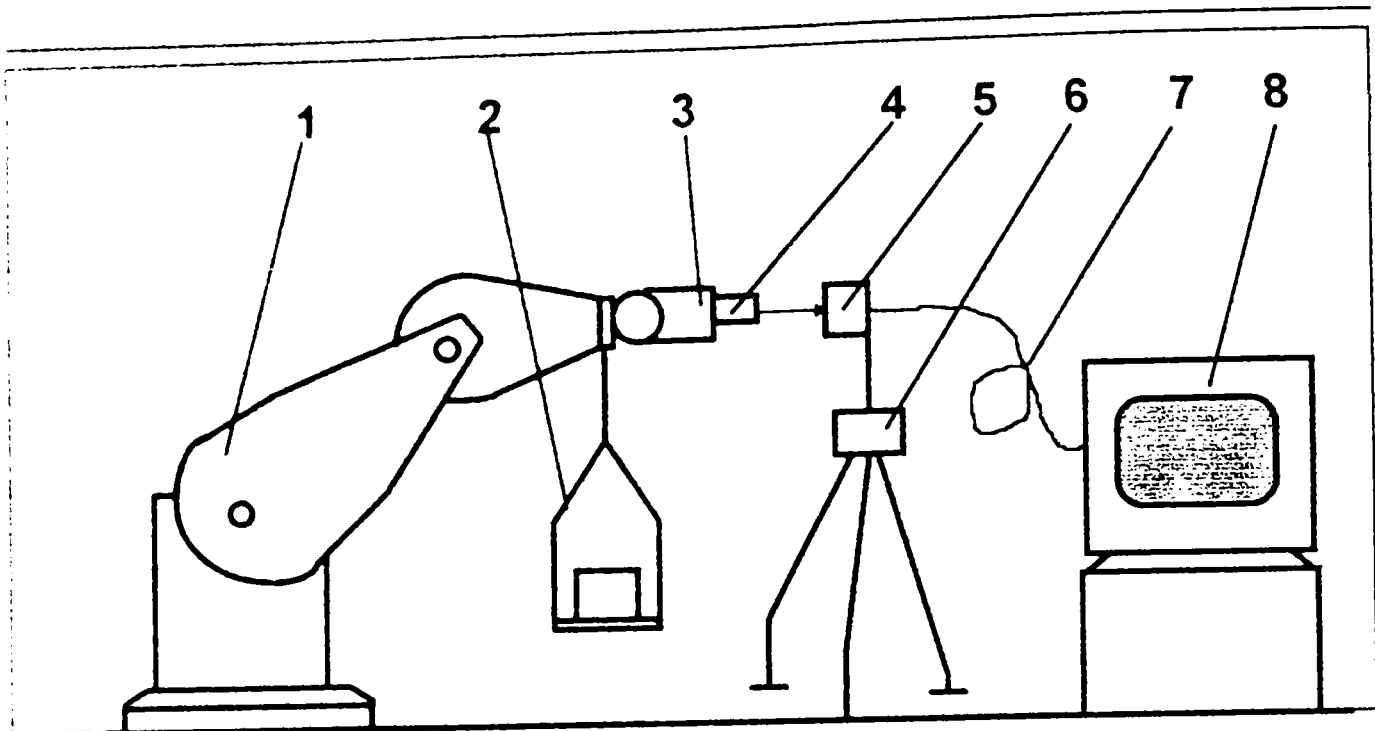


Figura 7.52.

Stand opto-electronic pentru determinarea complianței statice.

- unde
1. - Robot industrial;
 2. - Taler cu greutate;
 3. - Montură laser;
 4. - Laser $P=5\text{mW}$;
 5. - Fotodetector BPW 21R627;
 6. - Suport traductor;
 7. - Cablu ecranat;
 8. -CMMC.

Pentru a obține informațiile suplimentare asupra complianței statice s-a trecut la modificarea temperaturii cuplelor cinematice prin suflare de aer cald. În acest mod s-a urmărit punerea în evidență a corelației între poziția efectorului final și temperatura zonelor de contact.

Rezultatele obținute prin ambele metode prezentate se pot vedea în continuare.

Astfel, pentru robotul UNIMATE 600 s-a folosit instalația din figura 7.51 iar prelucrarea grafică a rezultatelor se prezintă în figurile 7.53.a, b și c (vezi anexa A6). Se observă că valoarea complianței statice crește odată cu creșterea temperaturii cuplelor cinematice și este mai importantă pe direcția axei z (verticală) pentru acest tip de robot.

Folosind aceeași instalație (vezi figura 7.51) s-a determinat și modul în care robotul industrial UNIMATE 600 revine în poziția inițială după descărcarea sarcinii manipulate. Pe baza datelor culese se poate aprecia sarcina maximă utilă a acestuia. Pentru a obține informații complexe, s-a adus schema cinematică a robotului UNIMATE 600 în două situații corespunzătoare unor poziții relative ale elementelor, considerate critice. S-a constatat că pentru una din situații în care axa 2

și axa 3 sunt pe orizontală, revenirea, pentru o încărcare de peste 4,5 kg, nu se mai produce.

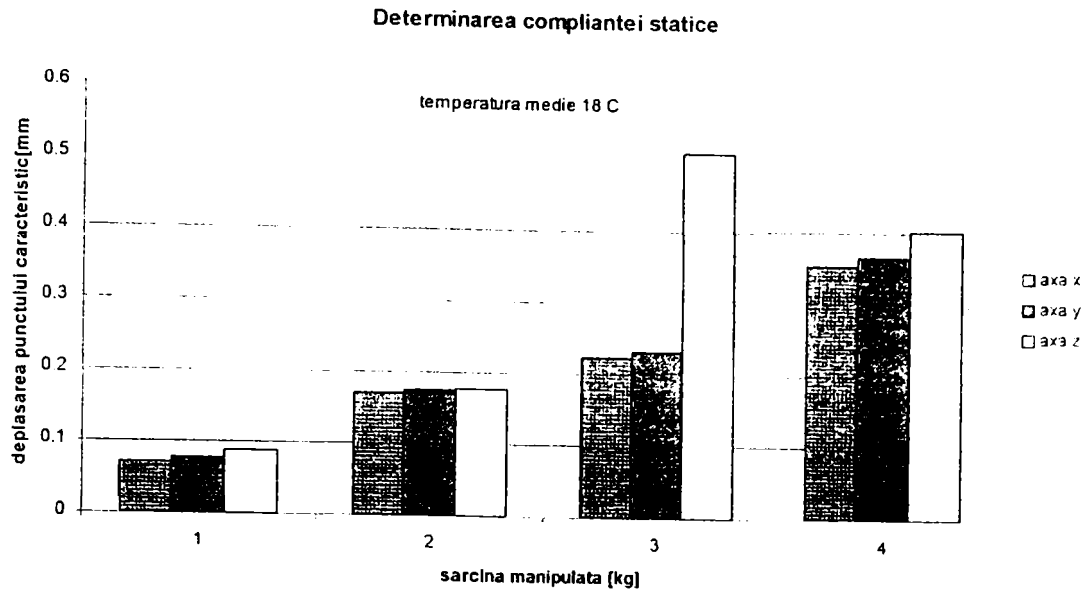


Figura 7.53.a

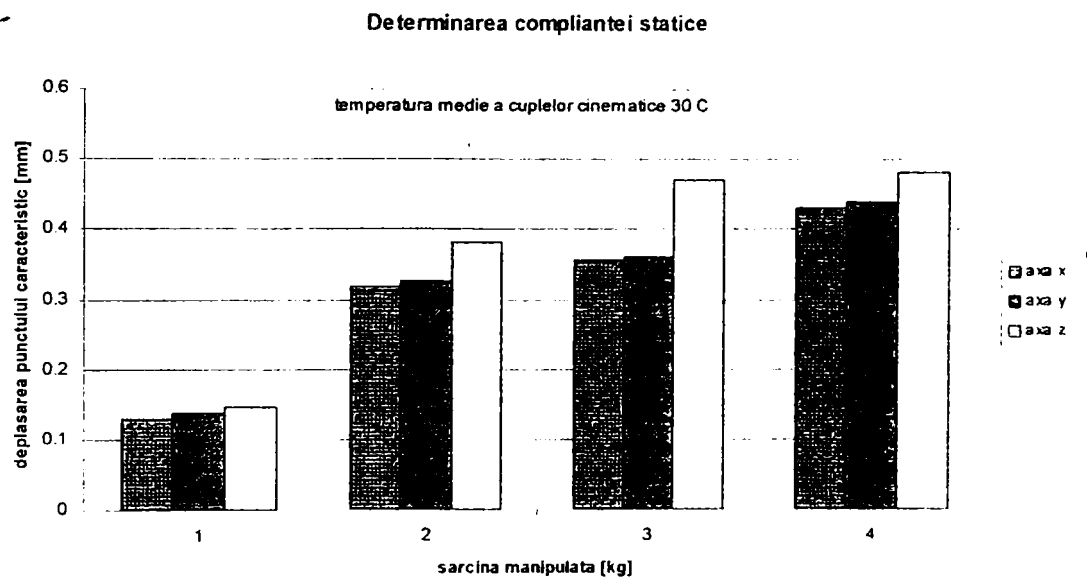


Figura 7.53.b

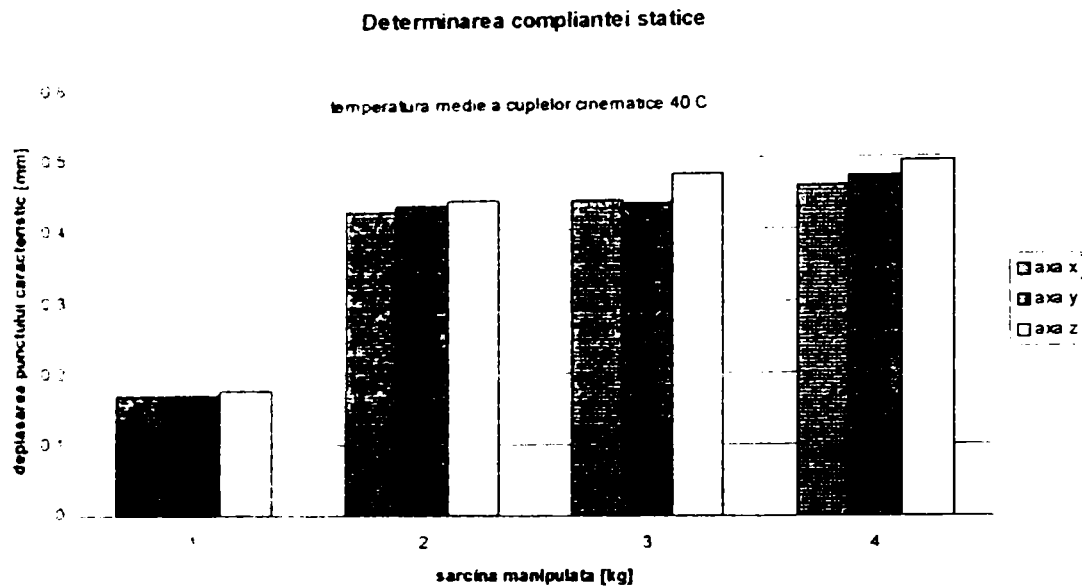


Figura 7.53.c

Aplicând cea de-a doua metodă de determinare a complianței statice, conform figurii 7.52, se obțin informații continue despre evoluția efectorului final sub acțiunea sarcinii manipulate. Modul de lucru se pretează și la acțiunea de monitorizare a comportării robotului industrial sub sarcină, neavând contact mecanic cu acesta.

În continuare, se prezintă efectul creșterii sarcinii manipulate prin adăugarea de mase cunoscute ca valoare, la nivelul efectorului final al robotului REMT -1. Se observă în figura 7.54 modul de variație al semnalului cules de la fotodetectorul instalației pe măsură ce se adaugă mase ce modelează sarcina manipulată a robotului.

Pentru determinarea celui de-al doilea indicator dinamic inclus în prezentul program și anume **“momentele în cuplele motoare”** s-a efectuat măsurarea parametrilor electrici ai curentului de alimentare al motoarelor dispuse în axele robotului. Pentru a avea informații directe despre valoarea momentelor în axe se efectuează o calibrare inițială cu elementele robotului în stare de repaus.

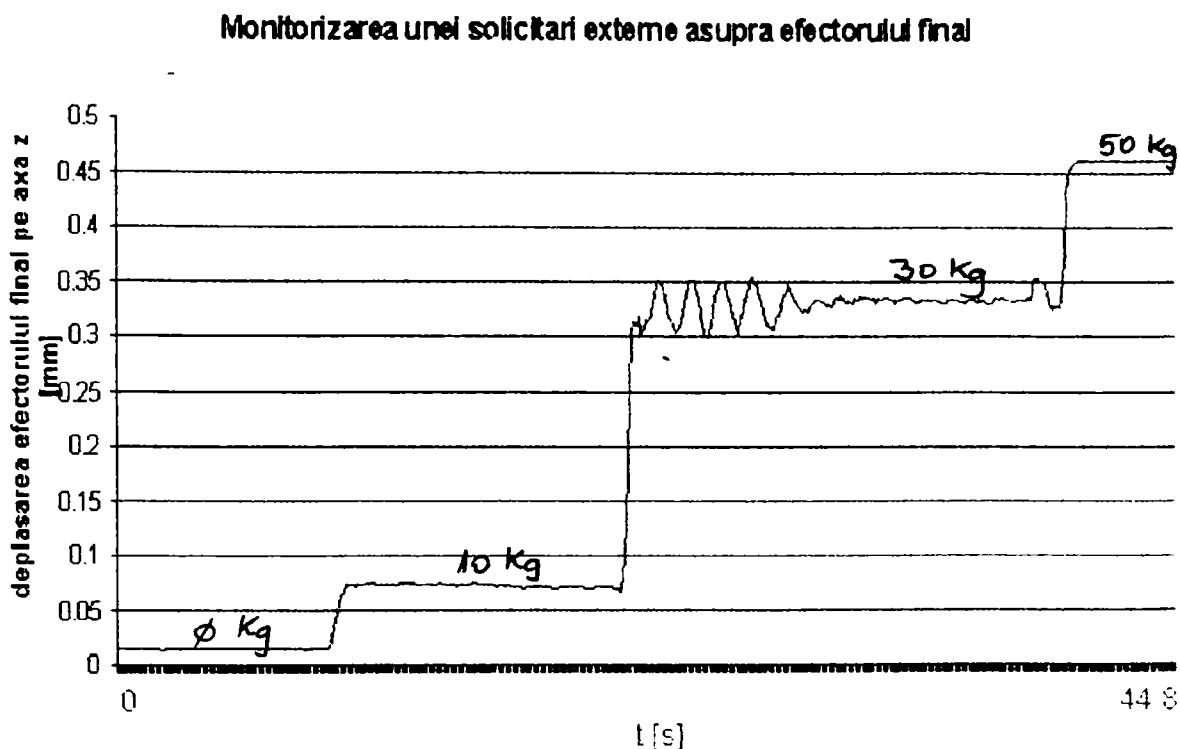


Figura 7.54.

Prin aplicarea unor forțe exterioare cunoscute ca mărime, direcție și sens (vezi fig. 7.55) și măsurarea tensiunii și intensității curentului de alimentare al motoarelor se poate obține un tabel de conversie al mărimilor electrice în momente motoare.

Pozițiile relative ale elementelor schemei cinematice pentru robotul industrial UNIMATE 600 în timpul calibrării au fost cele din figura 7.55.

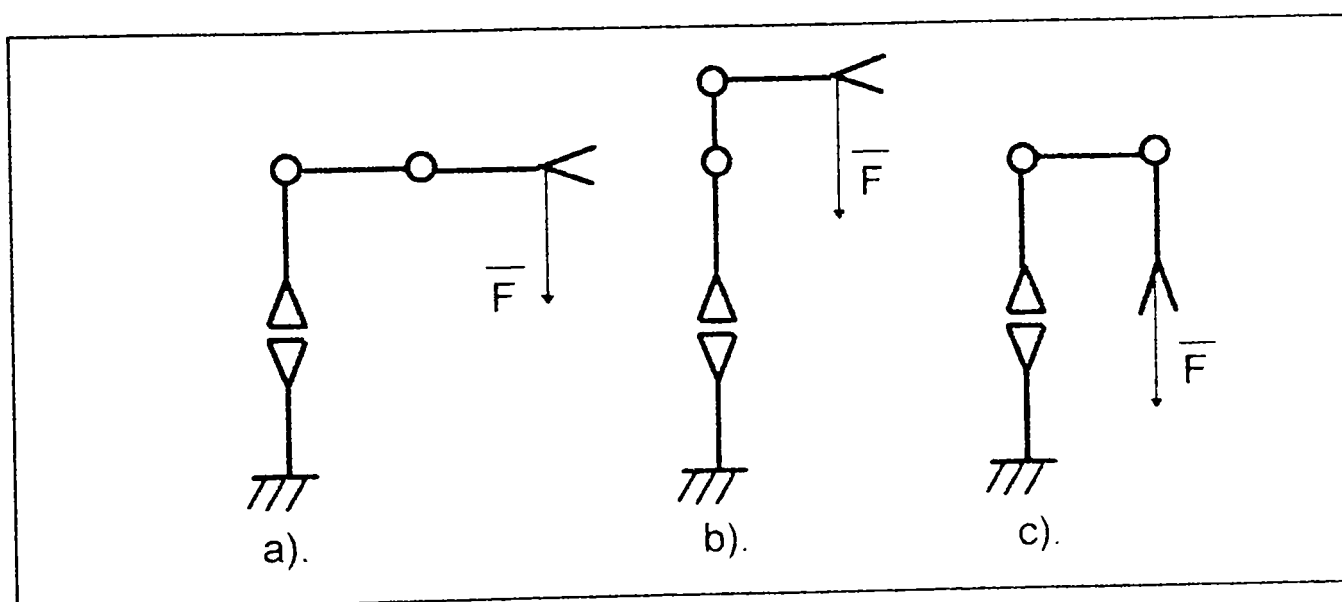


Figura 7.55.

Pozițiile relative ale elementelor schemei cinematice pentru efectuarea calibrării.

Preluarea informațiilor despre nivelul momentelor în cuplele cinematice motoare se face cu ajutorul unui calculator IBM PC/AT echipat cu placă de achiziție de date sub softul denumit VIRTUAL BENCH (CMMC).

Prin măsurarea momentelor în cuplele cinematice motoare se obțin informații despre:

- starea de mișcare (acelerații, decelerații);
- momente de inerție și masă redusă;
- momente de frecare în cuplele cinematice;
- efecte termice.

Cele arătate mai sus servesc pentru verificarea unor ipoteze acceptate în faza de concepție a RI, și permit monitorizarea comportării acestuia cu scop predictiv.

Astfel, prelevarea intensității curentului electric de alimentare de la motoarele de acționare dă informații asupra stării de ungere a cuplelor cinematice, a prezenței corpurilor abrazive în zonele de deplasare relativă, a stării termice a elementelor etc.

Rezultatele obținute în urma experimentelor efectuate se prezintă în figurile 7.56.a și b.

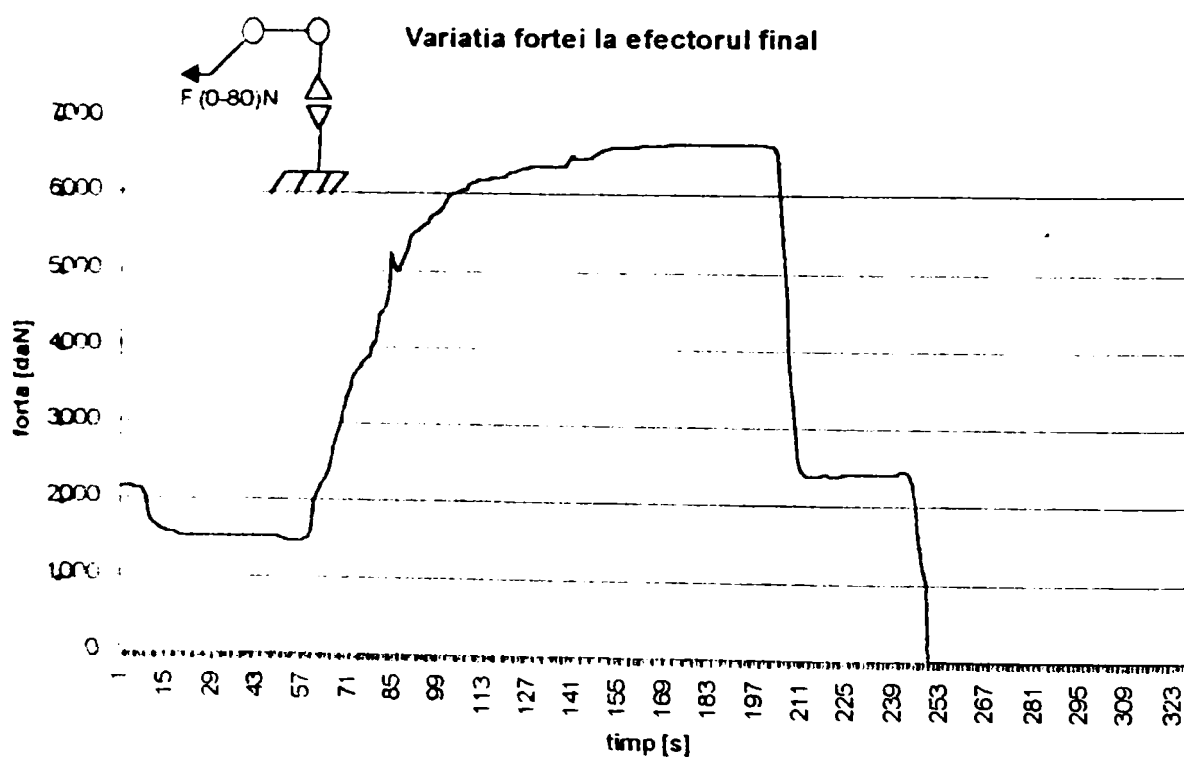


Figura 7.56.a

Variația intensității curentului de alimentare pentru axa 2 și axa 3

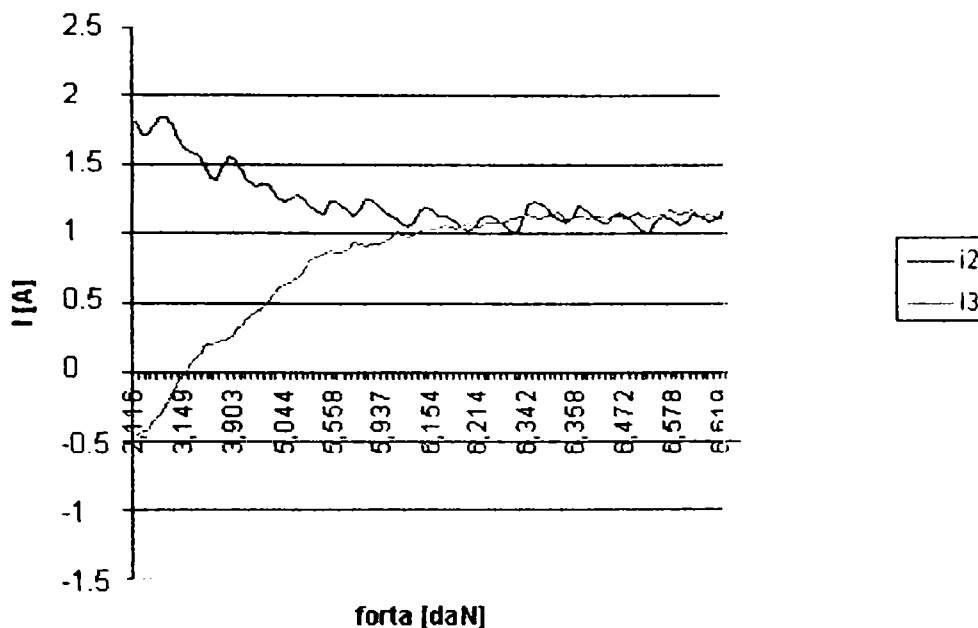


Figura 7.56.b

Pentru determinarea "**parametrilor vibrațiilor**" (acelerația, viteza și amplitudinea vibrației) se execută măsurarea cu ajutorul unor traductoare de tip seismic piezoelectrice (KD 23) la nivelul efectorului final.

Achiziția informației de măsurare se face cu ajutorul unui echipament de tip CMMC prezentat anterior. Rezultatele s-au exemplificat în figura 7.39.

Din variația accelerației vibrației prin aplicarea integrării se obține viteza vibrației iar printr-o nouă integrare se obține amplitudinea vibrațiilor. Aceste trei tipuri de date de măsurare dau informații asupra unor surse de perturbații interne și externe cum sunt excentricitățile, jocurile, fenomenul stick-slip, absența amortizării corecte a unor subsisteme, eficiența redusă a reglării și comenzii axelor robotului, etc. Totodată, se obțin informații asupra unor indicatori de timp cum sunt cei prezentați în § 7.2.2.3.

Pentru determinarea **caracteristicilor de stare dinamice** s-a avut în vedere definiția acestora. Astfel, exactitatea dinamică reprezintă calitatea robotului de-a menține punctul caracteristic și dreapta caracteristică în poziția și orientarea și cu viteza programată pentru o

trajectorie dată iar repetabilitatea dinamică este dată de mărimea abaterilor de la parametri nominali exprimați mai sus, de-a lungul uneia sau mai multor trajectorii comandate, la repetarea acestora de n ori. După cum reiese din definițiile de mai sus, a măsura caracteristicile de situație dinamice înseamnă a determina cu o frecvență de lucru ridicată situația unui corp de referință în 3D, capabil să modeleze PC și DC.

De aceea, se propune materializarea PC și DC printr-un corp de referință cubic pe fețele căruia se vor marca seturi de câte 4 puncte dispuse după cum s-a arătat la metoda celor 4 puncte. Corpul de referință se atașează efectorului final și va fi purtat pe traiectoria comandată în timp ce o cameră video CCD va înregistra evoluția acestuia.

Pe detectorul CCD se vor forma imaginile celor 4 puncte țintă vizate. Din acest moment, acceptând pentru camera CCD modelul Ito-Ishii [F3] se poate aplica metoda celor patru puncte pentru determinarea coordonatelor x_c , y_c , z_c ale punctelor țintă în sistemul de referință al camerei CCD. În schema de principiu din figura 7.57 se prezintă cele de mai sus.

Conform figurii, determinând distanța planului detector CCD la centrul optic O_c și numărul de pixeli pe orizontală / verticală corespunzător fiecărui punct țintă se pot calcula unghiurile de azimut și elevație α și β definite la metoda celor patru puncte.

Ceea ce se obține se poate vedea în figura 7.58.

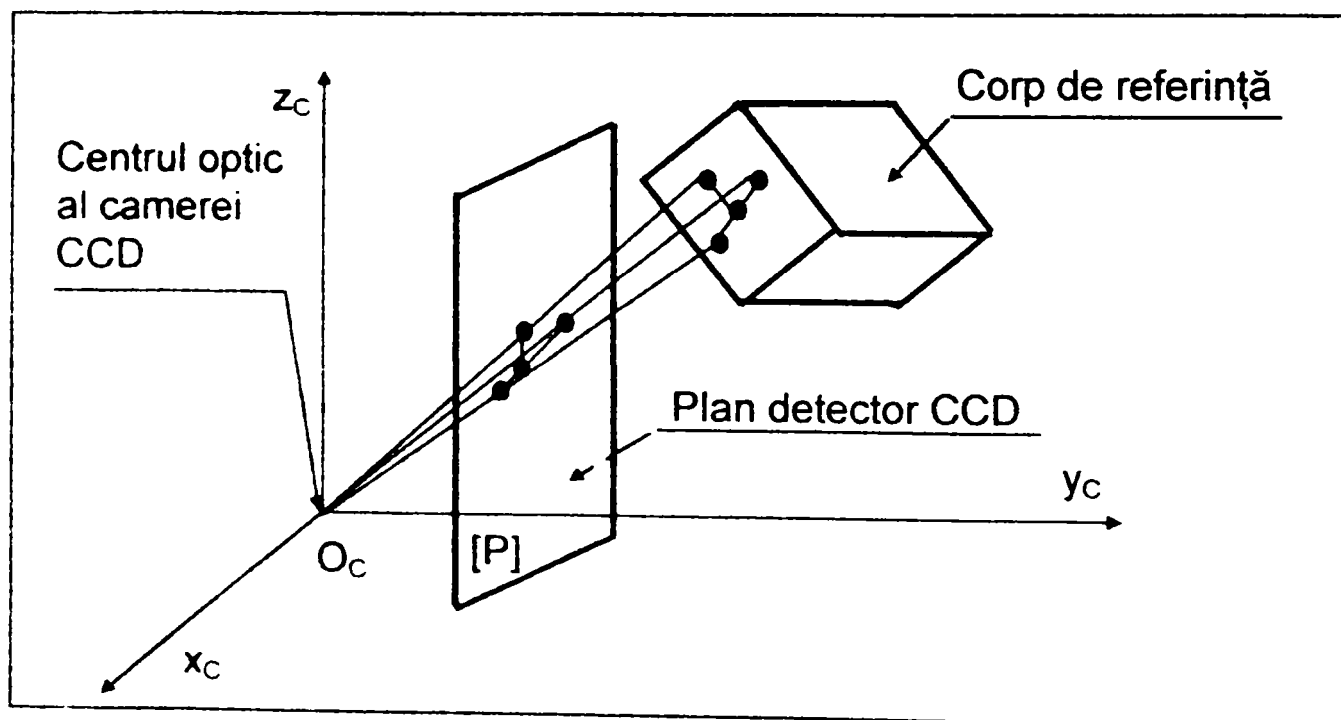


Figura 7.57.

Modelul geometric atașat procedurii de determinare a situației efectorului final cu ajutorul camerei CCD.

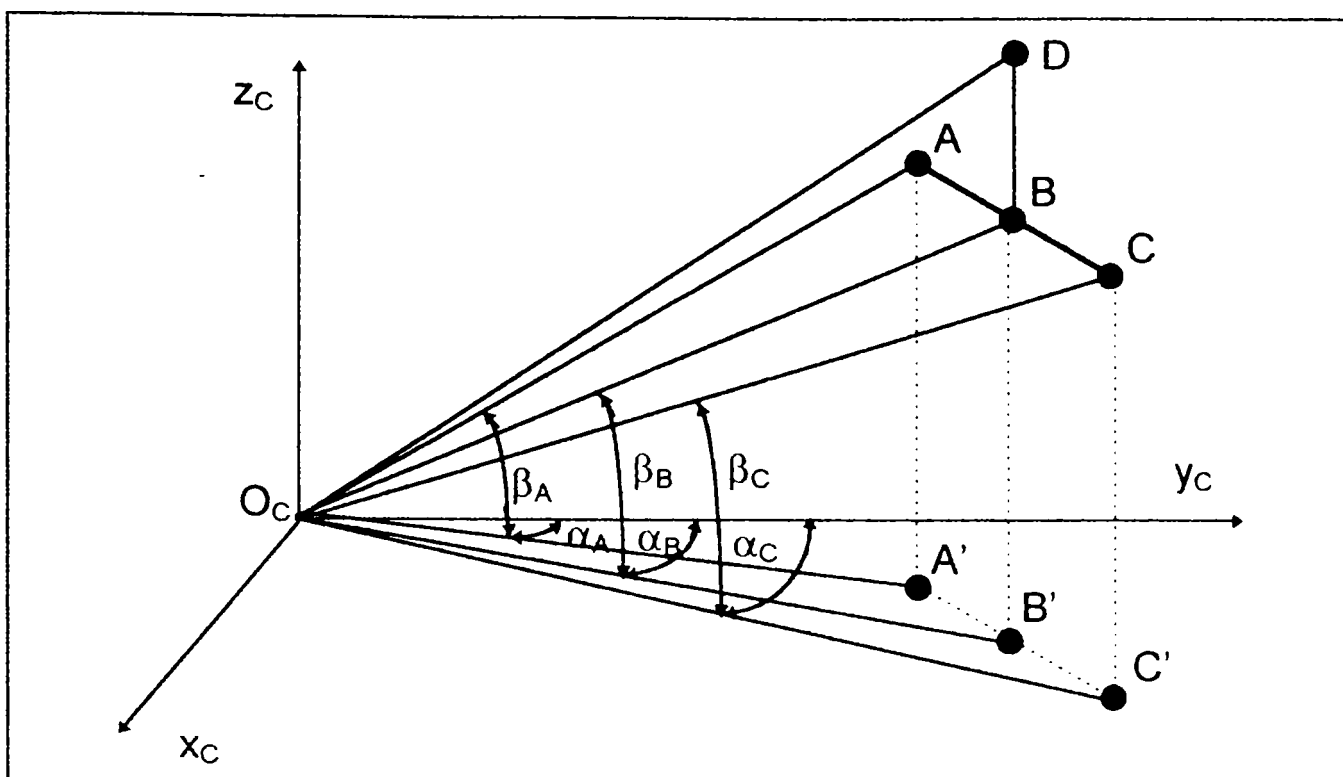


Figura 7.58.

Reprezentarea unghiurilor de azimut și elevație aferente vizării corpului cu cele patru puncte țintă.

Folosind algoritmul de calcul expus în cadrul § 4.1.2.2. se vor determina coordonatele x_c , y_c , z_c pentru punctele A, B, C, D determinând în acest mod situarea corpului de referință și deci a efectorului final în sistemul de referință atașat camerei video CCD.

În cadrul aplicației concrete, prin utilizarea procedurii de calibrare descris în § 5.3.2.3. se obține pentru o cameră CCD cu dimensiunile unui pixel de $8,4 \cdot 10^{-3} \times 9,6 \cdot 10^{-3}$ mm, o distanță de 0,864 mm de la planul detector CCD la centrul optic. Folosind această distanță și numărul de pixeli pe orizontala și verticala planului detector atribuit fiecărui punct țintă se trece la determinarea coordonatelor punctelor și apoi la aflarea situării corpului geometric regulat ce le conține.

Pentru a verifica metoda propusă s-a efectuat o determinare în 2D organizată în modul următor; pe o suprafață plană a fost trasată o traiectorie ipotetică, pe care apoi s-a deplasat un corp marcat cu două puncte țintă.

Pentru a controla valabilitatea metodei, datele au fost incluse într-un program de prelucrare al cărui rezultat este reconstituirea traiectoriei pe care s-a deplasat corpul cu cele două puncte țintă.

Acest corp a fost urmărit de o cameră CCD și cu ajutorul programului elaborat de o echipă multidisciplinară compusă din cercetătorii Andreiciuc Dan, Iosif Dan și autor realizându-se astfel pe baza metodei celor patru puncte localizarea corpului vizat.

În urma analizei imaginilor obținute după reconstituirea traiectoriei se constată similitudinea dintre traiectoria reală parcursă și traiectoria reconstituită. Datele obținute se prezintă în anexa A7.

De remarcat faptul că metoda propusă are valabilitate în orice domeniu unde există sisteme mecanice mobile și condiții optime de prelevare și prelucrare a imaginii pe cale digitală.

Datele obținute în cadrul activității experimentale sunt prezentate în continuare. Astfel, în figura 7.59 se prezintă traiectoria pe care s-au deplasat cele două puncte țintă alese, iar în figura 7.60 se arată modul în care a fost reprodusă traiectoria parcursă, prin citirea pozițiilor celor două puncte cu sistemul CCD. Se observă similitudinea celor două reprezentări, fapt ce confirmă metoda propusă.

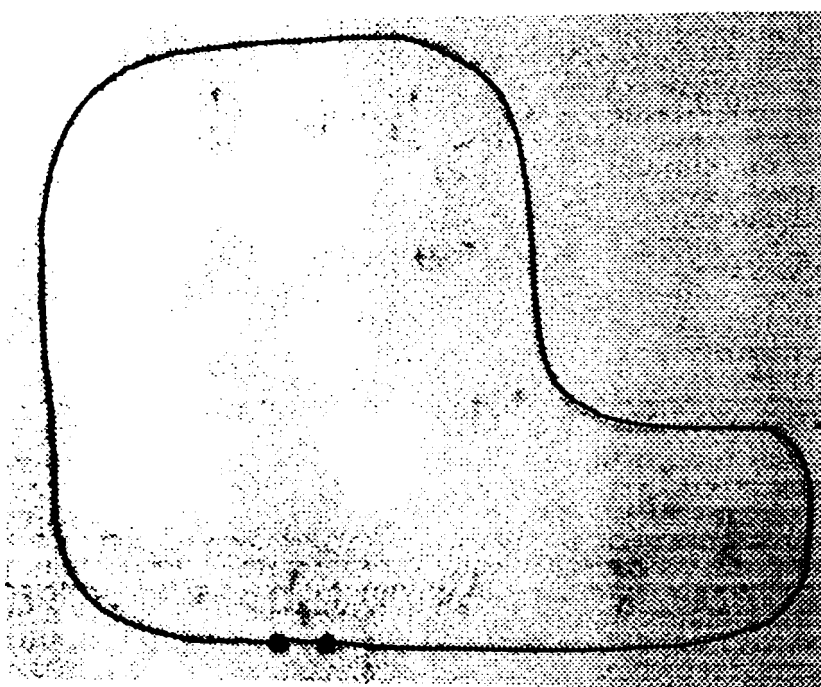


Figura 7.59.
Traiectoria reală parcursă de corpul țintă.

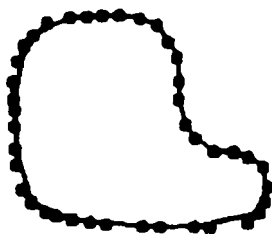


Figura 7.60.
Traiectoria reprodusă pe baza determinărilor efectuate cu camera CCD.

7.2.4. Determinarea indicatorilor termici.

7.2.4.1. Generalități.

Robotul industrial poate fi privit ca un sistem termic complex caracterizat prin interdependența dintre parametrii regimului termic și indicatorii de calitate.

Sistemul termic al RI conține elemente de bază cum sunt: structura termică, structura geometrică, structura termogeometrică.

Structura termică este compusă din legăturile termice interioare dintre elementele de bază ale sistemului termic.

Structura geometrică este definită de legăturile geometrice interne dintre elementele de structură.

Structura termogeometrică este dată de totalitatea legăturilor termice și geometrice interne.

Regimul termic al RI este definit de doi factori și anume stabilitatea și comportarea termică.

Stabilitatea termică reflectă modul în care RI menține la solicitări termice variabile parametrii geometrici și de exactitate inițiali.

Comportarea termică a RI este dată de răspunsul acestuia la acțiuni provocate de surse de căldură interne și externe în comparație cu nivelul de calitate al RI.

Interdependențele existente în cadrul sistemului termic al RI se pot observa în fig. 7.61.

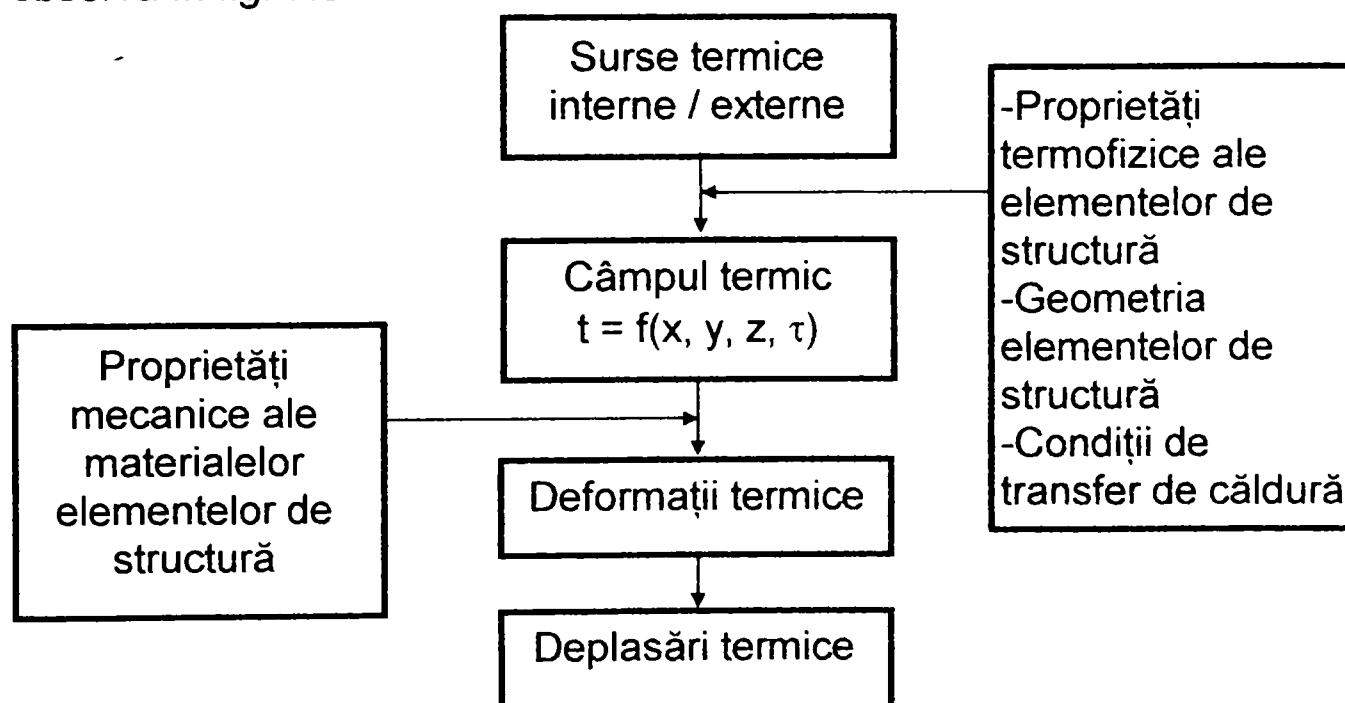


Figura 7.61.

Interdependențele existente în cadrul sistemului termic al RI.

7.2.4.2. Utilizarea indicatorilor termici pentru monitorizarea funcționării RI.

Abordarea indicatorilor termici vizează câteva aspecte esențiale în domeniul performanțelor roboților industriali, cum sunt:

- corelarea unor indicatori geometrici, cinematici și dinamici cu temperatura zonelor de contact și a elementelor;
- determinarea duratei de instalare a regimului termic stabil pentru demararea măsurării performanțelor în condiții reproductibile;
- stabilirea unor reacții de comportament termic al sistemului mecanic și de acționare pentru exploatarea acestora în cadrul acțiunii de monitorizare - diagnosticare.

Primele două aspecte au fost atinse în paragrafele anterioare, în cadrul unor determinări corelate. Al treilea aspect se va exemplifica în continuare prin provocarea unei reacții de comportament termic la robotul REMT-1 în urma degresării ghidajelor axei 1 (translație bază).

Pentru efectuarea determinărilor s-au divizat ghidajele mai sus menționate în zone marcate prin puncte de măsurare echidistante, în număr de opt. Identificarea lor s-a făcut prin litere după cum se vede în figura 7.62.

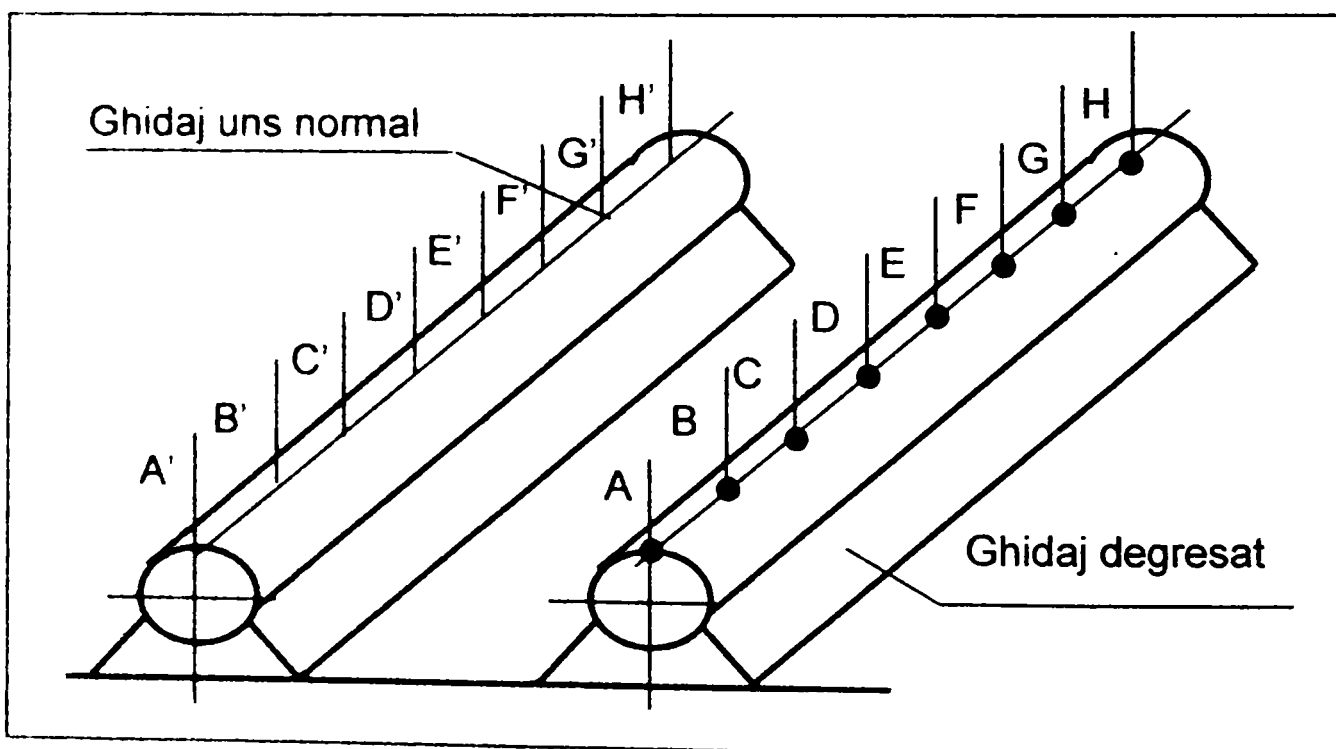


Figura 7.62.
Repartizarea punctelor de prelevare a temperaturii pe ghidajele axei 1 la robotul REMT-1.

În același timp s-a măsurat și intensitatea curentului electric de alimentare al motorului axei 1.

Pentru obținerea creșterii de temperatură s-au repetat curse duble în seturi de câte 20 pentru fiecare etapă de măsurare până la atingerea unui plafon de 300 de curse duble.

În continuare se prezintă sub formă grafică rezultatele obținute în urma prelevării temperaturii de pe ghidajele robotului REMT - 1 conform anexei A8.

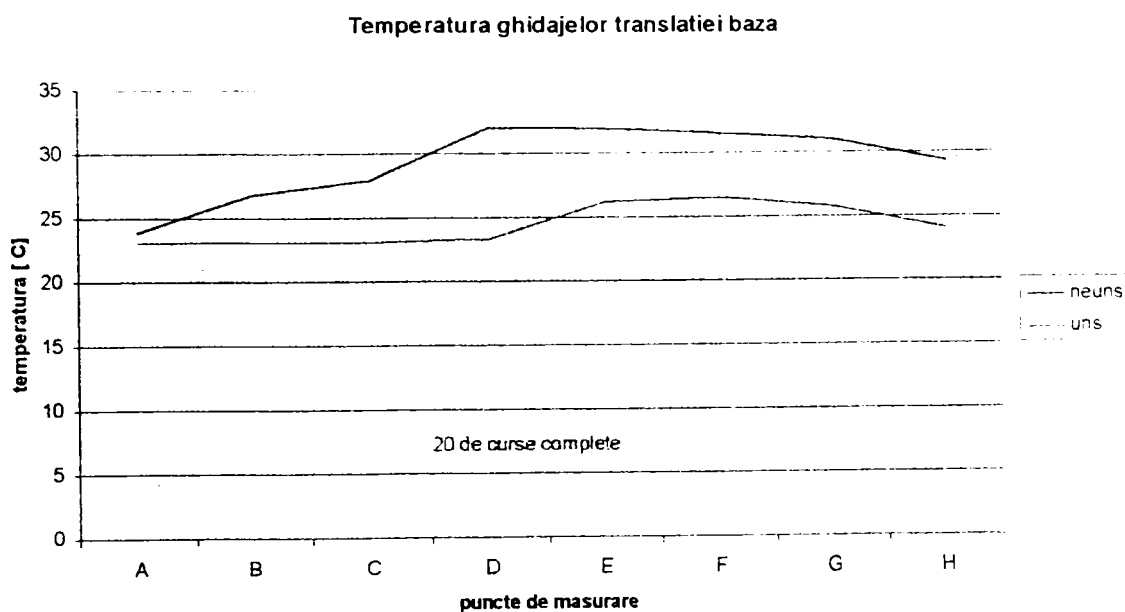


Figura 7.63.

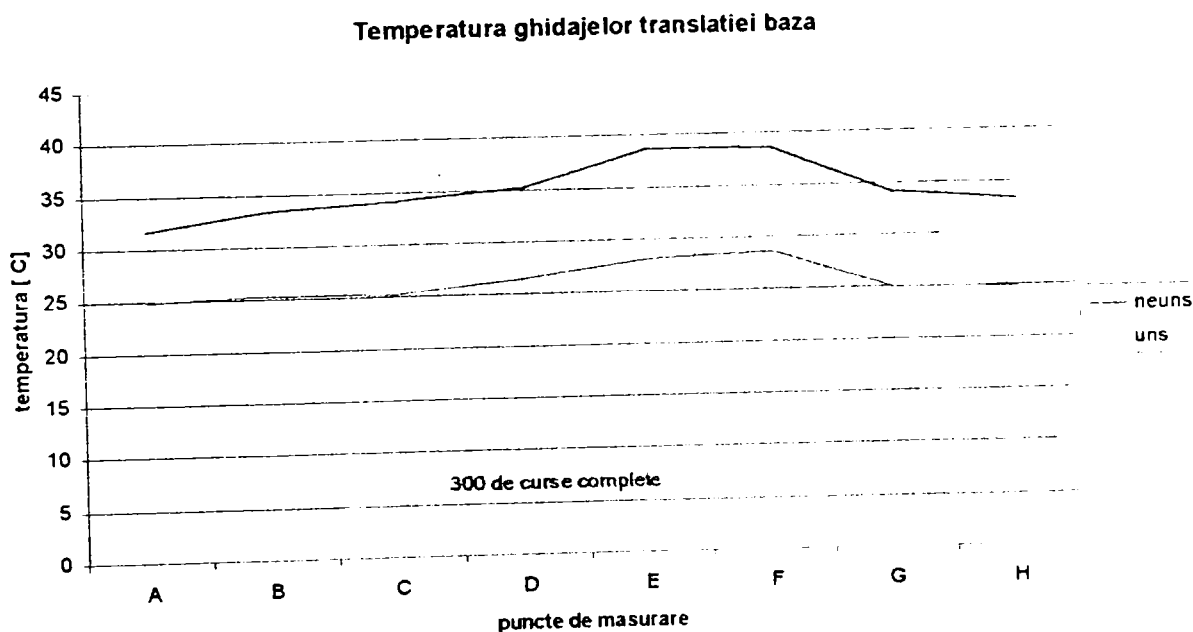


Figura 7.64.

În figurile 7.65.a, b, c, d se prezintă spectrul termic al ghidajelor obținut prin atribuirea de culori diverselor trepte de temperatură în așa fel încât accesul la informație să fie similar cu cel în cazul operării cu termograme

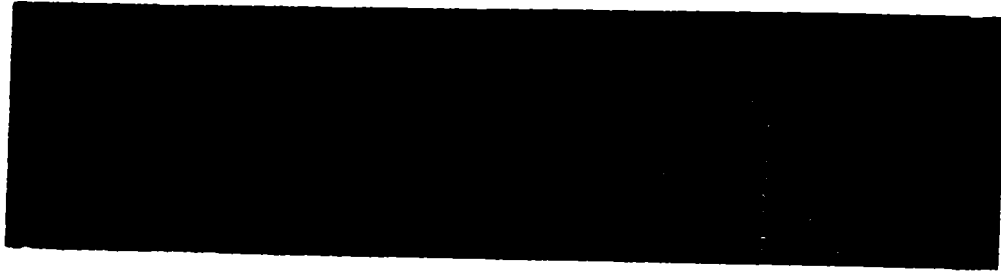


Figura 7.65.a. Ghidaj neuns, 20 de cicluri.



Figura 7.65.b. Ghidaj uns, 20 de cicluri.



Figura 7.65.c. Ghidaj neuns, 300 de cicluri.

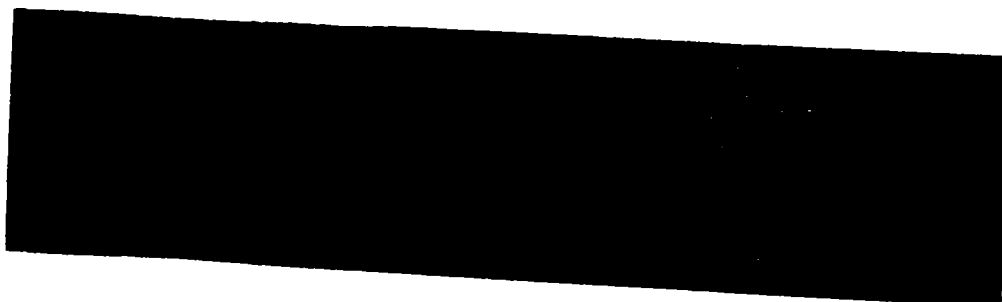


Figura 7.65.d. Ghidaj uns, 300 de cicluri.

În figura 7.66 se prezintă robotul industrial investigat cu evidențierea ghidajelor translației bază (axa 1) în cele două stări; cea normală și cea provocată prin eliminarea ungerii. Se observă diferența netă dintre termogramele celor două ghidaje.

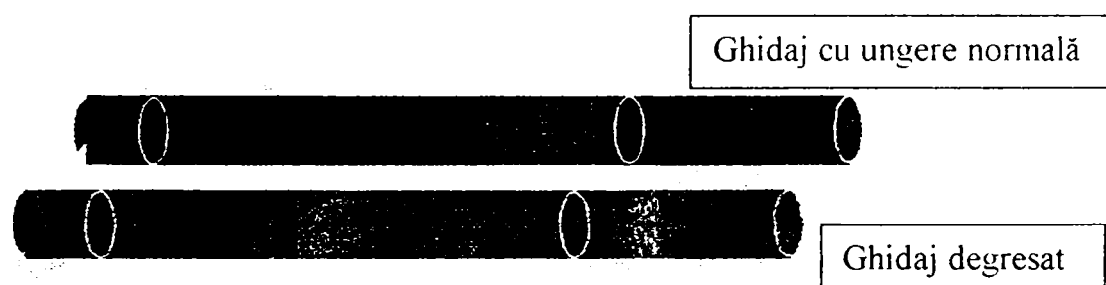


Figura 7.66.

Rezultatele obținute, prezentate grafic anterior, au condus la determinarea unei diferențe nete de comportament termic între ghidaje precum și o creștere a intensității curentului de alimentare al motorului axei 1 cu până la 4A.

Acest fapt recomandă acceptarea metodei de monitorizare termică a funcționării unor sisteme ale RI cum sunt: sistemul de ungere, sistemul de acționare, sistemul de preparare a energiei etc. Este important ca numărul de determinări pentru fiecare malfuncție provocată să fie suficient de mare pentru a asigura cercetătorul asupra unui model de comportament termic reproductibil și interpretabil în vederea monitorizării și diagnosticării on-line a RI.

Capitolul 8

CONCLUZII DE ANSAMBLU ASUPRA TEZEI. CONTRIBUȚII ȘI POSIBILITĂȚI DE EXPLOATARE CONCRETĂ A ACESTORA ÎN MEDIUL INDUSTRIAL, DE CERCETARE ȘI EDUCAȚIONAL

8.1. Concluzii finale.

În lucrarea de față autorul și-a propus să acționeze pe câteva direcții, în vederea obținerii unor rezultate concrete, aplicabile în mediul industrial, de cercetare și educațional.

Aceste direcții au avut în vedere următoarele aspecte:

1. Obiectivizarea selecției unui produs industrial complex pe baza indicatorilor de calitate;
2. Determinarea unor noi categorii de indicatori de calitate pentru roboții industriali cu ajutorul cărora, aceștia să fie evaluați în raport cu aplicația căreia îi sunt destinați;
3. Identificarea unor factori perturbatori ai nivelului de calitate în cazul produselor industriale complexe, cu exemplificare pentru roboții industriali;
4. Elaborarea unor mijloace și metode de determinare a indicatorilor de calitate ai roboților industriali ce se încadrează în categoria "low - cost operation" fiind astfel aliniate la tendința actuală în domeniu;
5. Conceperea unor mijloace și metode de monitorizare a menținerii nivelului de calitate al robotului industrial pe durata funcționării acestuia.

Toate abordările prezentate mai sus au fost posibile pe baza existenței unui concept apreciat de autor ca fiind esențial și anume cel de **apartenență**.

Acest concept a constituit mediul de dezvoltare a prezentei lucrări și este definit în continuare:

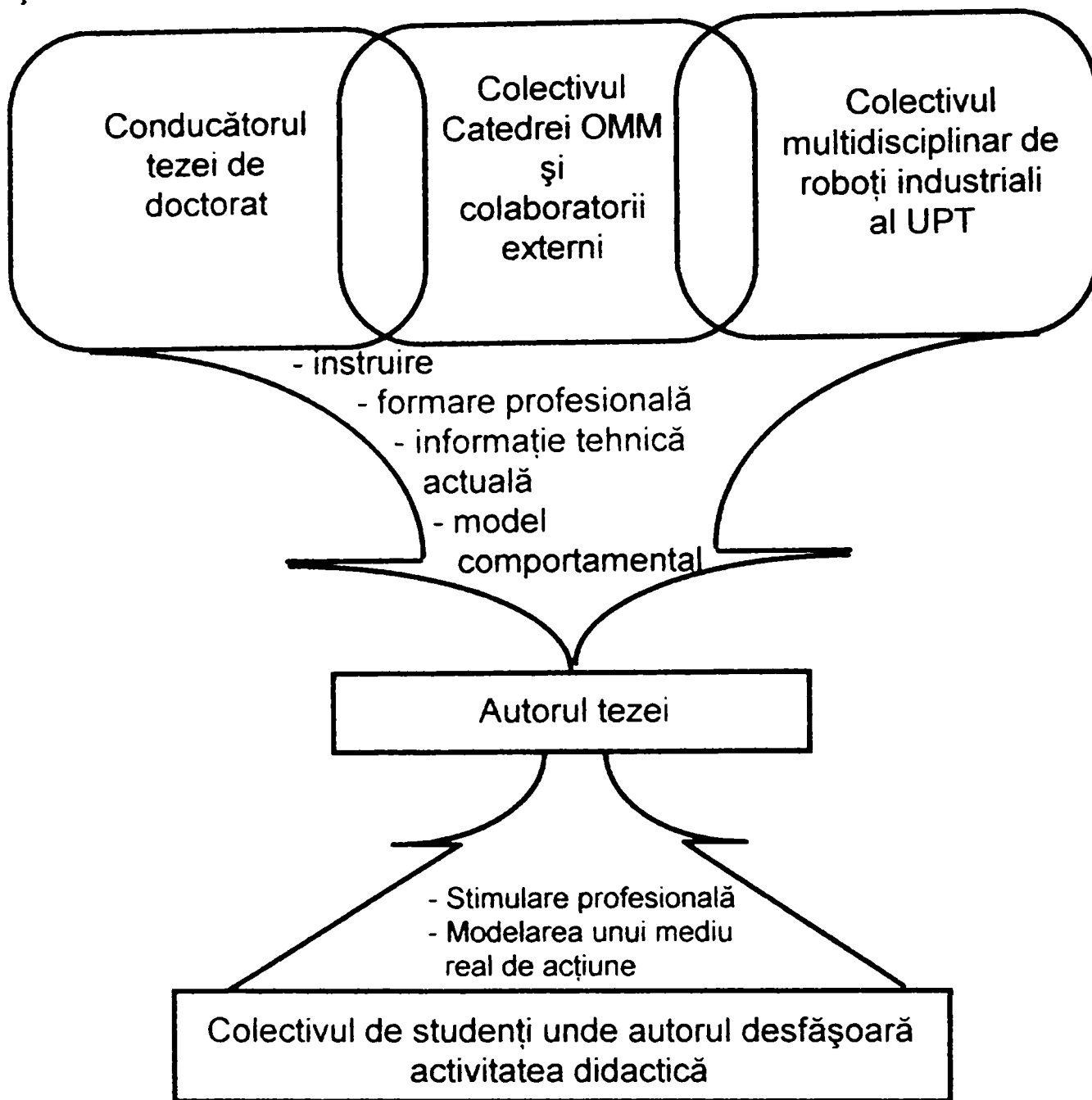


Figura 8.1.

Din prezentarea conceptului de apartenență se observă elementele de susținere pentru activitatea de elaborare a prezentei teze, fapt pentru care autorul nu consideră lucrarea de față o realizare personală ci o realizare colectivă.

În acest sens, este normal ca rezultatele studiului efectuat să fie în beneficiul mediului căruia autorul îi aparține.

Pentru a pune în evidență câteva posibilități de a efectua transferul realizărilor în sensul arătat mai sus, se vor exemplifica pe rând contribuții teoretice, practice și de cercetare.

8.2. Contribuții teoretice.

Contribuțiile teoretice aduse de autor se grupează în tabelul 8.1:

Tabelul 8.1.

Nr. crt.	Capitolul	Descrierea contribuției teoretice din cadrul prezentei teze
1	1	Evidențierea tendințelor actuale și de perspectivă în domeniul stabilirii nivelului de calitate al RI existente pe plan mondial.
2	1	Rolul cercetării în procesul de determinare și monitorizare a nivelului calității RI.
3	2	Stadiul actual al utilizării indicatorilor de calitate în domeniul roboticii industriale.
4	2	Stadiul actual al mijloacelor și metodelor de determinare a indicatorilor de calitate ai RI.
5	3	Propunerea de noi indicatori de calitate pentru evaluarea roboților industriali.
6	3	Propuneri privind ponderarea indicatorilor de calitate după tipul aplicației robotizate.
7	3	Propuneri privind introducerea unui indicator global al calității RI, ca instrument de decizie și evaluare.
8	4	Propuneri privind realizarea unei instalații cu braț telescopic pentru determinarea unor indicatori de calitate geometrici și cinematici.
9	4	Propuneri privind realizarea unei instalații optoelectronice pentru determinarea unor indicatori de calitate geometrici și cinematici.
10	4	Determinarea algoritmului de obținere a indicatorilor de calitate geometrici și cinematici cu instalațiile de măsurare enunțate.
11	4	Propuneri privind posibilitatea monitorizării pe cale termică a unor indicatori de calitate ai RI.
12	4	Elaborarea unei noi metode de determinare a situației efectorului final (metoda celor patru puncte).
13	5	Propuneri privind monitorizarea menținerii nivelului unor indicatori de calitate geometrici și cinematici sub acțiunea unor factori perturbatori.

Nr. crt.	Capitolul	Descrierea contribuției teoretice din cadrul prezentei teze
14	5	Propuneri privind utilizarea unei camere video CCD pentru determinarea și monitorizarea nivelului unor indicatori de calitate geometrici și cinematici ai RI.
15	4	Propunere privind modul de calibrare al unei camere video CCD servind scopului mai sus arătat.
16	7	Propuneri privind urmărirea evoluției unor indicatori de calitate dinamici prin măsurarea parametrilor curentului electric de alimentare al motoarelor ce acționează cuplele cinematice ale RI.
17	7	Propuneri privind utilizarea unui element fotodetector tip celulă voltaică și a unei surse laser de mică putere pentru determinarea și monitorizarea unor indicatori geometrici și cinematici.

8.3. Contribuții cu aplicabilitate directă.

Aplicabilitatea directă a rezultatelor studiului întreprins în teză constă în posibilitatea largă de utilizare a acestora în mediul industrial, de cercetare și educațional.

Principalele contribuții cu aplicabilitate imediată se evidențiază în tabelul 8.2.

Tabelul 8.2.

Nr. crt.	Capitolul	Contribuția rezultată din prezenta teză	Posibilități de aplicare
1	3	Indicatori de calitate ai RI și metode de evaluare	<ul style="list-style-type: none"> • în procesul de atestare -selecție a RI; • pentru decizii manageriale obiective și eficiente;
2	4	Instalație cu braț telescopic pentru determinarea unor indicatori de calitate ai RI	<ul style="list-style-type: none"> • în programul de testare în regim static/dinamic al RI.
3	4	Instalație optoelectronică pentru determinarea unor indicatori de calitate ai RI	<ul style="list-style-type: none"> • În programul de testare în regim static/dinamic al RI; • măsurarea de distanțe sau profile mari.

Nr. crt.	Capitolul	Contribuția rezultată din prezenta teză	Posibilități de aplicare
4	4	Monitorizarea pe cale termică a nivelului unor indicatori de calitate	<ul style="list-style-type: none"> • în procesul de monitorizare-diagnosticare a unor sisteme mecanice mobile;
5	4	Metoda celor patru puncte (MPP) pentru determinarea situației efectorului final al RI, în 3D	<ul style="list-style-type: none"> • în programul de testare al RI; • în cazul determinării deplasărilor în 3D/2D a unor corpuri rigide.
6	7	Metodă de determinare a unor indicatori geometrici și cinematici cu sursă laser și element fotodetector diafragmat	<ul style="list-style-type: none"> • pentru testarea RI, în general a oricărui sistem mecanic mobil.
7	7	Determinări experimentale asupra unor indicatori de calitate geometrici, cinematici și dinamici.	<ul style="list-style-type: none"> • perfecționarea programelor de testare "low - cost" existente; • analiza comportării RI în vederea optimizării concepției și exploatarea acestora; • determinarea și izolarea unor factori perturbatori ai nivelului de calitate.

În cadrul acestui paragraf se impune și organizarea rezultatelor după modul în care acestea pot contribui la creșterea nivelului de dotare al laboratoarelor în cadrul Catedrei OMM.

În acest sens autorul pune la dispoziție rezultatele și mijloacele proprii cu care s-au efectuat unele teste.

Posibilitățile de a atinge obiectivul anterior arătat se prezintă în tabelul 8.3 în care apar mijloacele și metodele ce pot servi activității aplicative în laboratoarele Catedrei OMM.

Tabelul 8.3.

Nr. crt.	Capitolul	Rezultate ale studiului efectuat
1	3	Propuneri de noi indicatori de calitate pentru evaluarea RI
2	4	Instalație cu braț telescopic
3	4	Instalație opto-electronică pentru determinarea unor indicatori geometrici și cinematici
4	4	Instalație cu fir pentru determinarea unor indicatori cinematici
5	4	Metoda celor patru puncte
6	5	Metoda de determinare a unor indicatori geometrici și cinematici cu cameră video CCD
7	5	Monitorizarea termică a unor indicatori de calitate (parametri funcționali)
8	7	Metoda de monitorizare cu sursă laser și celulă fotovoltaică diaframată.

8.4. Contribuții în domeniul cercetării.

Activitatea depusă în cadrul prezentei teze a avut ca scop elaborarea unor soluții la tematica propusă, care să fie eficiente atât tehnic cât și economic.

Pentru a justifica îndeplinirea acestui deziderat, prezentarea contribuțiilor se face corelat cu efectele acestora în plan tehnic și financiar (vezi tabelul 8.4).

Tabelul 8.4.

Nr. crt.	Contribuția teoretică în domeniul cercetării	Efectul contribuției teoretice
1	Elaborarea metodei celor patru puncte (MPP)	Simplificarea metodelor de determinare a caracteristicilor de situație prin eliminarea parțială a unor componente (teodoliți, camere CCD, surse laser).
2	Introducerea conceptului de țintă activă (fotodetectoare)	Eliminarea subiectivismului în vizarea țintei
3	Studiul posibilității de determinare a unor deformări în regim static folosind sursă laser și celulă fotovoltaică diaframată	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminarea PSD-urilor; • Înlocuirea metodei tensometrice acolo unde este posibil; • Eliminarea efectului de încărcare al mediului în cazul metodelor cu contact (retroacțiunea).
4	Studiul posibilității de a monitoriza menținerea pe traiectorie folosind o sursă laser și o celulă fotovoltaică diaframată	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminarea traductoarelor tip PSD; • Eliminarea sistemelor de triangulație; • Eliminarea sistemelor de scanare cu laser; • Eliminarea instalațiilor cu contact mecanic (cu fire, cu lanț cinematic deschis, trepid, etc.)
5	Studiul posibilității de monitorizare a bunei funcționări a RI pe cale termică	<ul style="list-style-type: none"> • Depistarea rapidă a unor malfuncționări; • Selectarea parametrilor optimi de funcționare, din punct de vedere termic; • Evitarea întreruperii accidentale a fluxului tehnologic.
6	Determinarea unui indicator de calitate global pentru RI	Asigurarea unei decizii manageriale obiective și eficiente.

Rezumând cele prezentate, autorul consideră că prin prezenta lucrare se efectuează o legătură utilă între preocupările în domeniu deja exploatare și cele de perspectivă.

Deasemenea prin identificarea unor mijloace și metode de măsurare a nivelului calității și de confruntare a acestuia cu solicitările beneficiarului se creează posibilitatea dezvoltării în continuare a activității de cercetare în acest domeniu atât de către autor cât și de cei cu preocupări similare. În acest mod, prezenta lucrare devine un "cap de pod" eficient, atingându-și scopul propus.

BIBLIOGRAFIE

- [A1] Adrian, A. Mijloace de orientare a roboților industriali. Sisteme de senzori, IP Filaret, București, 1988.
- [A2] Adrian, A. Roboți industriali pentru operații de măsurare și control: sinteză de informare documentară, CIDICM, București, 1989.
- [A3] AFNOR Recueil des normes. Gerer et assures la qualite, Paris, 1992.
- [A4] Akao, Y. Prendre et compte les besoins du client dans la conception de produits, Paris, AFNOR, 1993.
- [A5] Andreiciuc, D. Optimizarea conducerii vehiculelor ghidate automat, UPTimișoara, 1998.(Teză de doctorat)
- [B1] Baba, M., Komishi, T. An ultrasonic Robot Eye possessing the function of object identification and object position measurement, ISCMR'98, Praque, 1998.
- [B2] Baron, T., ș.a. Calitate și fiabilitate, manual practic, București, 1998.
- [B3] Balekics, M. Tribologie curs, Lito UPT, 1991.
- [B4] Brânzei, D. Planul și spațiul euclidian, Editura Academiei Române, 1986.
- [B5] Bila, J. Artificial intelligence in control and fault diagnosis, ISMCR'98 Proceedings Praque, 1998.
- [B6] Bock, G. Rechnerische Untersuchungen der Körperschallverhalten von Maschinenstruktur durch akustisch äquivalente Modelle, Darmstadt, 1989
- [B7] Bögelsack, G. Roboter in der Gerätetechnik, VEB, Verlag, Berlin, 1984.
- [B8] Bucșan, C., Băcescu, D. Space positioning accuracy of microrobots measuring system, COMEFIM 5, Timișoara, 1998.
- [B9] Buzdugan, Gh. Vibrații mecanice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [C1] Cătuneanu, V.M. Structuri electronice de înaltă fiabilitate, Editura Militară, București, 1989.

- [C2] Ciurea, S. Managementul calității, 1995.
- [C3] Coiffet, P. Les Robots, Hermes Publishing, Paris, France, 1981.
- [C4] Cojocaru, G., Kovacs, F. Roboți în acțiune. Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă, Editura Facla, Timișoara, 1986.
- [C5] *** Conrad Electronic Actuell, Hirschau, Germany, 1998.
- [C6] Crețu, M., ș.a. Traductoare : Îndrumar de laborator, IP Iași, Rotaprint Iași, 1990.
- [C7] Crișan, S., ș.a. Măsurări și traductoare, curs, Centrul de multiplicare al UPT, 1993.
- [C8] *** COMEFIM - 5. The National Conference of Precision Mechanics and Mechatronics. The Romanian Review of Precision Mechanics & Optics, Supplement 2/1998.
- [C9] *** Contract nr. 6/10.01.1989. "Set de dispozitive și aparate pentru verificarea performanțelor funcționale ale roboților industriali din producția proprie a beneficiarului" - beneficiar IMMUM Baia Mare - UPT, 1989.
- [D1] Demian, T. Aparate de măsurat în coordonate, Editura Tehnică, București, 1991.
- [D2] Demian, T. Elemente constructive de mecanică fină, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [D3] Dodoc, P. Calculul și construcția aparatelor optice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [D4] Dolga, V. Construcția traductoarelor și senzorilor, Centrul de multiplicare al UPT, 1992.
- [D5] Dolga, V., Văcărescu, V., **Mateăș, M.** Îndrumător de lucrări de laborator, Roboți industriali, Lito UPT, 1991.
- [D6] Dretz, E. Zur Anwendung eines modellgestützten Messverfahrens bei der Beurteilung von Universalmotoren, FB Elektrotechnik, TV Berlin, 1989.
- [D7] Drimer, D., ș.a. Roboți industriali și manipolatoare, Editura Tehnică, București, 1985.
- [D8] Dumitraș, C. Ingineria controlului dimensional și geometric în fabricarea mașinilor, Editura Tehnică, București, 1997.

- [D9] Dumitrescu, C. Contribuții privind fiabilitatea și mentenabilitatea unor piese și subansambluri din structura echipamentelor complexe, Teză de doctorat, IPTV Timișoara, 1985.
- [E1] *** Evaluarea comparativă a nivelului tehnic și calitativ al produselor, INID 1989, București.
- [E2] *** Excel 97. Microsoft Press. On line Press. Editura Teora, 1998.
- [F1] Feidenbaum, J. Total Quality Control, Mac Graw Hill Book Co, 1987.
- [F2] Fetecău, C. Probleme de geometrie analitică și diferențială, Lito. Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", Iași, 1993.
- [F3] Furtak, J. Calibration of Moving Camera, ISMCR'98, Praque, 1998.
- [G1] Gafițanu, M. Diagnosticarea vibroacustică a mașinilor și utilajelor, Editura Tehnică, București, 1989.
- [G2] Georgescu, I. Geometrie în spațiu, Editura Metropol, București, 1995.
- [G3] Gheorghiu, A. Măsurarea, analiza și optimizarea calității produselor industriale, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
- [G4] Grosu, F. Echipamente de cinematografie și fotografice (curs), vol II, Lito UPT, 1994.
- [G5] Guy, H.D. Word 7 sub Windows 95, Editura Teora, 1996.
- [H1] Halliday, D. Fizica, vol I, II, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
- [H2] Hanger, W. Technische Mechanik Band 3. Kinetik. Springer Verlag, 1993.
- [H3] Haș, T.,
Mateăș, M. Dispozitiv și metodă pentru testarea comportării dinamice a unui robot industrial la efectuarea unei traiectorii complexe de către punctul caracteristic, Analele Universității Oradea, 1992.
- [H4] Haș, T.,
Diaconu, A.,
Mateăș, M. Echipament și metodă pentru determinarea parametrilor cinematici la roboții industriali, Simpozionul Național de Roboți Industriali, Robot'89, Baia Mare, 1989.
- [H5] Hatano, K.,
Ishii, M. Six degree of freedom master using eight tensed strings, ISMCR'98, Praque, 1998.
- [H6] Hering, J. Qualitätssicherung für Ingenieure
- [H7] Herrmann, K. Wissenspeicher Infrarottechnik, Fachbuchverlag, Leipzig, 1990.

- [H8] Hofer, K. Moderne Leistungselektronik und Antriebe, Fachhochschule Bielefeld, 1995.
- [I1] Iltaneu, M., Kosola, H. Positioning and Localisation. System for an indoors mobile robot platform based on spread spectrum technology, ISMCR'98, Praque, 1998.
- [I2] Isaic, A. Ce este calimetria ?, Editura Tehnică, București, 1984.
- [I3] Isermann, R. Dynamik Mechatronischer Systeme Vorlesung: Technische Hochschule, Darmstadt, 1992.
- [I4] Ispas, V. Aplicațiile cinematicii în construcția manipuloarelor și roboților industriali, Editura Academiei Române, București, 1990.
- [I5] Ispas, V. Roboți industriali, Editura Dacia, Cluj Napoca, 1985.
- [J1] Jurca, T. Instrumentație de măsurare. Structuri și circuite, Editura de vest, 1996.
- [J2] Juran, M.J. Quality Control handbook, Editura Mac Graw Hill Co, 1988.
- [K1] Kenchel, K. Industrieroboter. Vorlesung F.H. Hamburg, 1995.
- [K2] Kenny, C. Excel pentru Windows 95, Editura Teora, 1998.
- [K3] Kittel, C., Krämer, H. Physik der Wärme, Oldenburg Verlag, München - Wien, 1993.
- [K4] Kovacs, F., Văcărescu, V., Văcărescu, I., Ardelean, A., **Mateăș, M.** Considerații asupra incertitudinii de poziționare a robotului industrial REMT-5, Simpozionul Național de Roboți Industriali, Robot'89, Baia Mare, 1989.
- [K5] Kovacs, F. Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale, Editura Facla, Timișoara, 1982.
- [K6] Kovacs, F., Văcărescu, V. Metodă de măsurare a exactității de situare a RI folosind un telemetru laser. Al XI-lea Simpozion Național RI-MTM, 1992, vol.3.
- [K7] Kovacs, F., Perju, D., Văcărescu, V., Metodologie de încercare funcțională a RI, Simpozion MERO 1991, București, 1991.
- [K8] Kovacs, F., Gheorghiu, N., Văcărescu, V., Program și metode pentru urmărirea și determinarea performanțelor RI. Simpozion Național de RI, Baia Mare, 1998.

- [K9] Kovacs, F.,
ș.a. Sisteme de fabricație flexibilă robotizată, Lito
UPT, Timișoara, 1994.
- [K10] Kumme, R.,
Peters, M. Investigations of Force Measuring Devices for
Static and Dynamics Application in Robotics,
ISMCR'98, Praque, 1998.
- [M1] *** Manipulateurs et robots. Centre Technique des
Industries Mechaniques, 1988.
- [M2] Maier, Ch. Industrieroboter. Vorlesung, T.V., München,
1996.
- [M3] Maniu, I.,
Dolga, V. Acționarea roboților industriali și a
manipulatoarelor, Vol.I, Editura Mirton,
Timișoara, 1996.
- [M4] *** Manualul sistemului calității ISO 9000, UNCTAD
/ GATT ISO, 1997.
- [M5] **Mateaș, M.,**
Haș, T. Considerații asupra utilizării criogeniei în cadrul
celulelor flexibile în producția de mecanică fină,
Simpozionul Național de Roboți Industriali,
Robot 89, Baia Mare, 1989.
- [M6] **Mateaș, M.** Determinări experimentale asupra robotului
REMT-2. Stabilirea abaterii punctului
caracteristic în poziție de repaus, Al XII-lea
Simpozion Național de Roboți Industriali,
Timișoara, 1994.
- [M7] **Mateaș, M.,**
Carabenciov, I. Determinări experimentale asupra robotului
REMT-2. Stabilirea pasului minim programabil,
Al XII-lea Simpozion Național de Roboți
Industriali, Timișoara, 1994.
- [M8] **Mateaș, M.,**
Carabenciov, I. Determinări experimentale asupra robotului
REMT_2, Stabilirea vitezei de regim pe axe, Al
XII-lea Simpozion Național de Roboți Industriali,
Timișoara, 1994.
- [M9] **Mateaș, M.,**
Duma, V. Robotics application of an 2D scanning device,
COMEFIM 5, Vol.II, Timișoara, 1998.
- [M10] **Mateaș, M.,**
Ilanin, A. Sistem cadru pentru determinarea parametrilor
geometrici ce definesc performanțele roboților
industriali și manipulatoarelor, Simpozionul
Național de Roboți Industriali, Robot 89, Baia
Mare, 1989.
- [M11] **Mateaș, M.,**
Carabenciov, I. Studiul indicatorilor de calitate pe un eșantion
de 190 de roboți industriali, Al XII-lea Simpozion
Național de Roboți Industriali, Timișoara, 1994.

- [M12] Micu, C. Aparate și sisteme de măsurare în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1980.
- [M13] Micu, E. Electrotehnica de la A la Z, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1985.
- [M14] Millea, A. Cartea metrologului: metrologie generală, Editura Tehnică, București, 1985.
- [M15] Millea, A. Măsurări electrice. Principii și metode, Editura Tehnică, București, 1980.
- [N1] Nakamura, H. A practical method of correcting mechanical errors for off - line programming system, Journal of Advanced Automation technology, vol. 7, No.4, 1995.
- [N2] *** The Newport Catalog, Scientific And Laboratory Products CA USA, 1994.
- [N3] Nistorescu, N. Evaluarea comparativă a nivelului tehnic și calitativ al produselor,
- [N4] Nof, S. Handbook of Industrial Robotics, Krieger Publishing Co., Florida, USA, 1992.
- [N5] *** Normalisation francaise NFX 07 001 / 1996. Resultats de mesures AFNOR, Paris.
- [N6] *** Normalisation francaise E 61 - 103. Robots manipulateurs industriels. Performances, AFNOR, Paris, 1986.
- [O1] Olaru, M. Managementul calității, Editura economică, București, 1995.
- [O2] *** Optische Sensoren von Finger GmbH, Technick und Beratung, 1993.
- [O3] *** Optoelectronic components from UDT Sensors, Inc. CA, USA, 1998.
- [P1] Pancik, J.,
Scepko, P. Integration of the Thermal imaging system into the technological and robotic application, ISCMR'98, Praque, 1998.
- [P2] Paul, R. Robot Manipulators, Mathematics, Programming and Control, Cambridge, The MIT Press, 1991.
- [P3] Perchet, G. Large range and high resolution distance measurement with a laser phase-shift range finder. ISCMR'98, Praque, 1998.
- [P4] Perju, D. Aparate și sisteme de măsurare mecanice, Îndrumar de laborator, Lito UPT, 1993.
- [P5] Perju, D. Criterii de performanță / indicatori de calitate pentru roboții industriali, Simpozion MTM 1992, Timișoara, 1992.

-
- [P6] Perju, D. Mecanisme de mecanică fină, Vol.I, II, Lito UPT, 1990.
- [P7] Perju, D.,
Mateaș, M. Propuneri pentru aprecierea globală a calității performanțelor roboților industriali, București, SYROM 1993.
- [P8] Perju, D.,
Mateaș, M. Sistem pentru măsurarea 3D a profilelor de mari dimensiuni, Analele Universității din Oradea, 1992.
- [P9] Perju, D.,
Mateaș, M.,
Duma, V. Una posible estructuración de los criterios de marca de los robots industriales, I Congreso Iberico - americano de ingeniería mecánica, Sevilla, 1993.
- [P10] Perju, D.,
Mateaș, M. Unele aspecte privind stabilirea performanțelor roboților industriali, Al XXIV-a Sesiunea de comunicări științifice dedicată zilei de 1 Decembrie, Academia de Tehnică Militară, București, 1990.
- [P11] Pokorny, K. Economical aspect and indicators of the effectiveness of robots. ISCMR 98, Prague, 1998.
- [P12] Popovici, V.,
Nicoară, I. Sisteme optice laser. Componente. Materiale. Tehnologie, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [P13] Puri, G.,
Kovacs, F.,
Perju, D. Considerații asupra parametrilor constructivi, funcționali și de performanță ai roboților industriali, Simpozionul Național de Roboți Industriali Robot 89, Baia Mare, 1989.
- [P14] Puri, G.,
Perju, D.,
Kovacs, F.,
Mateaș, M. Considerații asupra posibilităților de stabilire a unor indicatori de calitate cu privire la caracteristicile constructive, funcționale și de performanță ale roboților industriali, Simpozionul Național de Roboți Industriali Robot 89, Baia Mare, 1989.
- [R1] Ranky, P. Robot Modelling Control and Applications with Software, IFS Publications, UK, Springer Verlag, 1985.
- [R2] Răducan, R. Ingineria calității, Îndrumător de laborator, Centrul de multiplicare al UTT, 1995.
- [R3] Regtien, P.L. Sensors and transducers în robotic, ISCMR' 98, Proceedings Praque, 1998.
- [R4] Rusu, E. Fundamentarea deciziilor în management prin metode ale cercetării operaționale, Junimea, 1997.

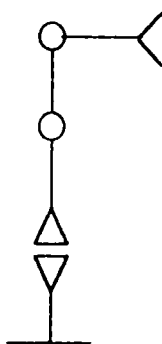
- [S1] Schröer, K. Improvement of Robot Industrial Standardisation IRIS, ISCMR' 98, Praque, 1998.
- [S2] Sharkawy, A. A state observer for flexible joint robots. Experimental verification, ISMCR'98, Praque, 1998.
- [S3] *** International Standard ISO 9283 : 1990, Manipulating Industrial Robots. Performances Criteria and Related Test Methodes.
- [S4] *** International Standard ISO 9946 : 1990, Manipulating Industrial Robots. Presentation of Characteristics.
- [S5] Stoicu, D. Metrologie, calitate, fiabilitate, Centrul de multiplicare al UPT, 1995, Vol. I / II.
- [T1] Tanner, R.W. Industrial Robots. Fundamentals Dearborn Society of Manufacturing Engineers.
- [T2] Titu, I.B. Fiabilitatea, disponibilitatea și mentenabilitatea sistemelor electronice complexe, Editura de Vest, Timișoara, 1997.
- [T3] Trandafir, M. Calitatea: Metode de lucru: Analiză, evaluare, control. Oficiul de informare documentară pentru industria constructoare de mașini, București. 1994.
- [T4] Trufașu, A.O., Nitu, C. The method and the device for XOY coordinates determination of an object position with 3D moving, COMEFIM 5, Vol.II, 1998.
- [T5] Toma, L. Sisteme de achiziție și prelucrare numerică a semnalelor, Editura de Vest, Timișoara, 1997.
- [U1] Uhlir, I., Sato, N. Sensor of Angle Acceleration for Diagnostics of Robotial Motion, ISCMR'98, Praque, 1998.
- [V1] Văcărescu, V., Văcărescu, I. Cap de măsurare tridimensional pentru determinarea exactității și repetabilității de situare la RI, Al XI-lea Simpozion Național MTM - RI 92, Timișoara, 1992.
- [V2] Văcărescu, V., Văcărescu, I., Ardelean, A., **Mateăș, M.** Cercetări experimentale privind unele caracteristici funcționale ale roboților REMT-5, Simpozionul Național de Roboți Industriali Robot 89, Baia Mare, 1989.
- [V3] Văcărescu, V., Văcărescu, I. Cercetări experimentale privind variația exactității de poziționare multidirecțională la un robot de sudare, Comefim 5, Vol.II, 1998.
- [V4] Văcărescu, V. Considerații asupra exactității și repetabilității de situare a RI, Al VI-lea Simpozion Internațional SYROM'93, București, 1993.

-
- [V5] Văcărescu, V. Contribuții la elaborarea unei metodologii unitare pentru încercarea performanțelor roboților industriali și a sistemelor de fabricație flexibilă robotizate, Teză de doctorat, 1996.
- [V6] Văcărescu, V. Contribuții la studiul unui set unitar de aparate și dispozitive pentru încercarea RI și a sistemelor de fabricație flexibilă robotizate, Referat pentru doctorat, nr.2, 1996.
- [V7] Văcărescu, V., Văcărescu, I. Determinarea experimentală a caracteristicii de situare "exactitatea distanței" la un robot de sudare, COMEFIM 5, Vol.II, 1998.
- [V8] Văcărescu, V. Fundamentarea teoretică și practică a parametrului de performanță "exactitate de situare" a RI, Analele Universității Tehnice Oradea, 1995.
- [V9] Văcărescu, V., Lovasz, E., Văcărescu, I. Metodă și tehnică de determinare a exactității de situare pentru RI, Analele Universității Tehnice Oradea, 1994.
- [V10] VDI Richtlinie 2861 / 1987. Einsatzspezifische Kenngrößen von Industrierobotern, Prüfung der Kenngrößen, Stuttgart.
- [V11] Vogel, J. Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungs-beispielen, VEB Verlag Technik, Berlin, 1983.
- [V12] Volmer, J. Industrieroboter, Berlin, Technik Verlag, 1981.
- [W1] Warnecke, H.J. Industrieroboter, Handbuch für Industrie und Wissenschaft, Springer Verlag, Berlin, 1990.
- [W2] Warnecke, H.J. Industrieroboter. Krausskopf Verlag GmbH, Schraft, R.D. Mainz, Germany, 1979.

Determinarea derivei poziției punctului caracteristic

- Parametrii :
- 1.Sarcina manipulată variabilă 1...4 kg
 - 2.Intervalul de timp pentru măsurare $\Delta t=0.5h$
 - 3.Temperatura inițială a cuplelor cinematice $T_0=22\text{ C}$
 - 4.Temperatura modificată la nivelul cuplelor cinematice $T=40\text{ C}$

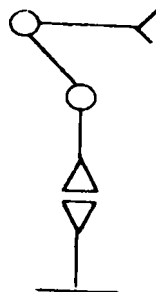
Robotul testat: PUMA-600



Poziția 1

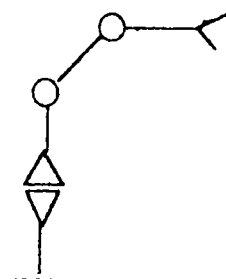
Nr. crt.	Temperatură [C]	Sarcina manipulată [kg]	Număr de încercări										Media
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	T. amb.	1	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,013
	40		0,01	0,01	0,02	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011
2	T. amb.	2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,018
	40		0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,017
3	T. amb.	3	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03	0,08	0,04	0,08	0,068
	40		0,08	0,08	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,100
4	T. amb.	4	0,14	0,14	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,12	0,12	0,127
	40		0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,145
5	T. amb.	5	0,11	0,11	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,117
	40		0,14	0,14	0,14	0,11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,137

Determinarea derivei poziției punctului caracteristic



Poziția 2

Nr. Crt	Temperatură [C]	Sarcina manipulată [kg]	Număr de încercări										Media
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	T. amb.	1	0,02	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,074
	40		0,12	0,12	0,15	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,15	0,15	
2	T. amb.	2	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,095
	40		0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	
3	T. amb.	3	0,16	0,16	0,14	0,16	0,14	0,16	0,14	0,15	0,14	0,14	0,149
	40		0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,20	0,18	0,18	0,18	
4	T. amb.	4	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,197
	40		0,24	0,25	0,22	0,25	0,25	0,22	0,22	0,22	0,25	0,22	
5	T. amb.	5	0,28	0,28	0,25	0,28	0,28	0,28	0,28	0,25	0,25	0,25	0,268
	40		0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	

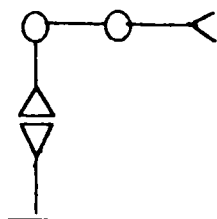


Poziția 3

Nr. Crt	Temperatură [C]	Sarcina manipulată [kg]	Număr de încercări										Media
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	T. amb.	1	0,11	0,15	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,118
	40		0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	
2	T. amb.	2	0,12	0,12	0,15	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,156
	40		0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
3	T. amb.	3	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21	0,19	0,08	0,20	0,196
	40		0,25	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,25	0,20	0,25	0,25	
4	T. amb.	4	0,20	0,20	0,24	0,20	0,21	0,24	0,21	0,20	0,20	0,20	0,210
	40		0,30	0,31	0,32	0,30	0,30	0,31	0,30	0,32	0,30	0,30	
5	T. amb.	5	0,32	0,33	0,32	0,32	0,33	0,33	0,35	0,33	0,33	0,30	0,326
	40		0,37	0,36	0,37	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,37	0,37	

Determinarea derivei poziției punctului caracteristic

Poziția 4



Nr. Crt	Temperatură [C]	Sarcina manipulată [kg]	Număr de încercări										Media
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	T. amb.	1	0,12	0,12	0,14	0,14	0,07	0,07	0,11	0,11	0,14	0,14	0,116
	40		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,119
2	T. amb.	2	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,159
	40		0,17	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,17	0,17	0,162
3	T. amb.	3	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,19	0,17	0,20	0,20	0,195
	40		0,22	0,22	0,22	0,30	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,217
4	T. amb.	4	0,30	0,30	0,20	0,30	0,28	0,30	0,28	0,23	0,28	0,29	0,281
	40		0,31	0,31	0,19	0,31	0,30	0,30	0,32	0,32	0,30	0,32	0,298
5	T. amb.	5	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,310
	40		0,35	0,25	0,35	0,33	0,33	0,35	0,35	0,33	0,33	0,33	0,330

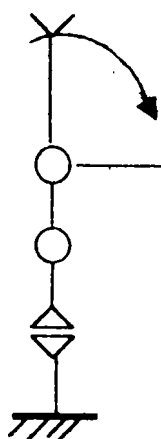
Anexa 2

Indicatorul de calitate măsu. at : Pasul minim programabil Robotul industrial testat : REMT -1

Nr. de impulsuri	Deplasarea efectorului final [mm]									
	Temperatura cuplelor cinematice $T_c = 16\text{ C}$									
	Degresat					Ungere normală				
	Sarcina manipulată [kg]									
	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0,32	0,30	0,30	0,33	0,25
35	0,27	0,21	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25
40	0,52	0,50	0,42	0	0	0,50	0,50	0,56	0,57	0
45	0,78	0,78	0,76	0,70	0,66	0,85	0,82	0,80	0,78	0,78
50										

Nr. de impulsuri	Deplasarea efectorului final [mm]									
	Temperatura cuplelor cinematice $T_c = 40\text{ C}$									
	Degresat					Ungere normală				
	Sarcina manipulată [kg]									
	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0,51	0,49	0,48	0,36	0,32
35	0	0	0	0,40	0,43	0	0	0	0	0
40	0,59	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0,75	0,72	0,70	0,61	0	0	0	0	0	0
50	1,02	1,00	0,85	0,82	0,80	0	0	0	0	0

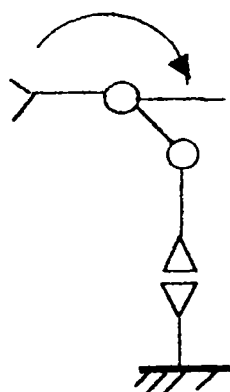
Cursa efectuată de punctul caracteristic după comanda STOP



Robotul testat : PUMA 600

Situația 1

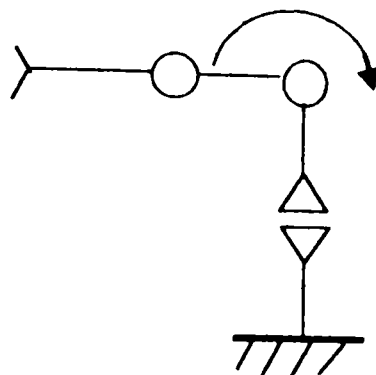
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,143	1	0,3Vmax
2	0,149	2	0,3Vmax
3	0,173	3	0,3Vmax
4	0,189	4	0,3Vmax



Situația 2

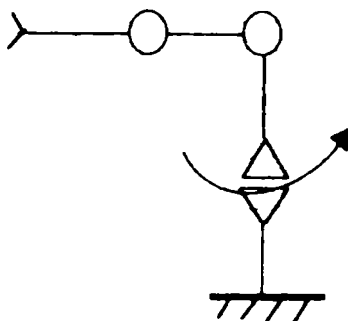
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,185	1	0,3Vmax
2	0,196	2	0,3Vmax
3	0,187	3	0,3Vmax
4	0,249	4	0,3Vmax

Cursa efectuată de punctul caracteristic după comanda STOP



situația 3

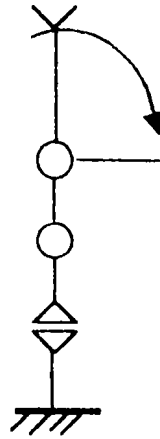
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,274	1	0,3Vmax
2	0,255	2	0,3Vmax
3	0,270	3	0,3Vmax
4	0,276	4	0,3Vmax



situația 4

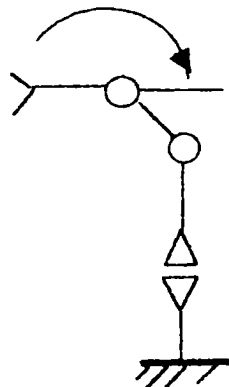
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,287	1	0,3Vmax
2	0,302	2	0,3Vmax
3	0,327	3	0,3Vmax
4	0,332	4	0,3Vmax

Cursa efectuată de punctul caracteristic după comanda STOP



Situția 1

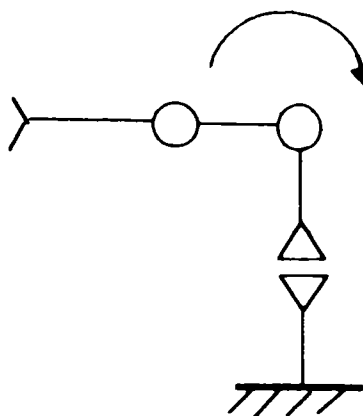
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,201	1	Vmax
2	0,229	2	Vmax
3	0,238	3	Vmax
4	0,259	4	Vmax



Situția 2

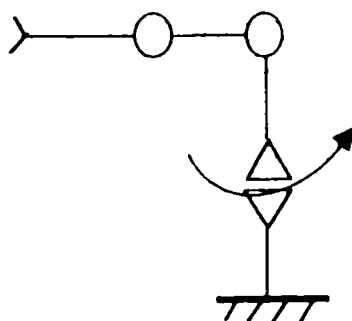
Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,263	1	Vmax
2	0,245	2	Vmax
3	0,275	3	Vmax
4	0,270	4	Vmax

Cursa efectuată de punctul caracteristic după comanda STOP



situația3

Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,297	1	Vmax
2	0,335	2	Vmax
3	0,364	3	Vmax
4	0,377	4	Vmax



situația 4

Nr. crt.	Valoarea medie a cursei punctului caracteristic după comanda STOP [mm]	Observații	
		Sarcina manipulată [kg]	Viteza punctului caracteristic
1	0,287	1	Vmax
2	0,302	2	Vmax
3	0,327	3	Vmax
4	0,332	4	Vmax

Anexa 4

Determinarea indicatorilor de viteză

Robotul industrial testat :REMT-1

Valoarea vitezei medii de regim pe axa 3 (axa translație verticală)

[mm/s]

Pentru cursa descendentă

Viteza pe axa 3	Numărul de ordine al ciclului									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50,52	50,62	50,90	50,08	50,922	50,91	50,52	50,45	50,24	50,97
2	255,32	254,96	255,26	255,32	255,04	255,46	255,52	254,9	255,68	256,1
1	42,74	42,82	42,88	42,66	42,52	42,78	42,48	42,84	42,58	43,32

Pentru cursa ascendentă

Viteza pe axa 3	Numărul de ordine al ciclului									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	42,84	42,58	42,54	42,4	42,02	42,02	42,5	42,56	42,48	42,6
2	118,02	117,84	118,04	117,92	117,92	117,84	118,16	118,06	118,12	117,88
1	41,5	41,08	41,42	41,16	41,42	41,58	41,06	41,24	41,28	41,42

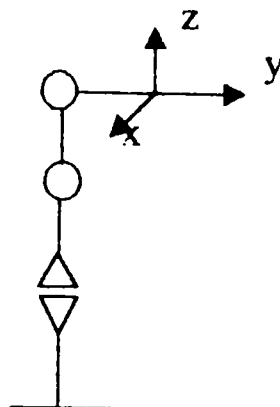
Anexa 5
Determinarea vitezei medii
Robotul testat :REMT-1
Axa 3 –trasație verticală
S=140 mm

Nr. crt.	Interval de timp dintre două semnale consecutive [s]		Viteza medie [mm/s]	
	ascendent	Descendent	ascendent	descendent
1	3,3	2,6	41,42	53,84
2	3,2	2,6	43,75	53,84
3	3,3	2,7	42,42	51,85
4	3,3	2,7	42,42	51,85
5	3,3	2,6	42,42	53,84
6	3,2	2,6	43,75	53,84
7	3,3	2,6	42,42	53,84
8	3,3	2,6	42,42	53,84
9	3,2	2,7	43,75	51,85
10	3,3	2,6	42,42	53,84
11	3,3	2,7	42,42	51,85
12	3,3	2,6	42,42	53,84
13	3,3	2,6	42,42	53,84
14	3,3	2,7	42,42	51,85
15	3,3	2,6	42,42	53,84
16	3,3	2,6	42,42	53,84
17	3,3	2,6	42,42	53,84
18	3,7	2,6	42,42	53,84
19	3,7	2,6	37,82	53,84
20	3,7	2,5	37,82	56,00

Indicatorul de calitate măsurat : COMPLIANȚA STATICĂ

Robotul industrial testat : UNIMATE 600

Schema cinematică:



Axa	Numărul de încercări										Sarcina [kg]	Temperatura cuplelor [C]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
X	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	1	16
Y	0,15	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12		
Z	0,17	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12		
X	0,16	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	1	30
Y	0,19	0,13	0,13	0,13	0,16	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15		
Z	0,28	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15		
X	0,28	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	1	40
Y	0,28	0,15	0,15	0,17	0,17	0,17	0,19	0,17	0,17	0,19		
Z	0,28	0,17	0,18	0,17	0,19	0,17	0,19	0,17	0,17	0,17		
X	0,27	0,27	0,28	0,27	0,25	0,19	0,28	0,26	0,26	0,28	2	16
Y	0,25	0,25	0,26	0,25	0,20	0,28	0,28	0,25	0,25	0,28		
Z	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		
X	0,28	0,28	0,29	0,30	0,34	0,35	0,35	0,34	0,32	0,30	2	30
Y	0,30	0,30	0,32	0,29	0,34	0,35	0,35	0,32	0,32	0,30		
Z	0,32	0,31	0,34	0,34	0,30	0,34	0,32	0,32	0,30	0,30		
X	0,45	0,43	0,42	0,45	0,45	0,45	0,42	0,45	0,45	0,45	2	40
Y	0,45	0,45	0,45	0,41	0,45	0,42	0,45	0,43	0,45	0,44		
Z	0,43	0,43	0,45	0,42	0,45	0,45	0,42	0,45	0,45	0,45		
X	0,32	0,32	0,35	0,31	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	3	16
Y	0,32	0,35	0,32	0,35	0,35	0,31	0,31	0,35	0,31	0,35		
Z	0,31	0,35	0,33	0,35	0,35	0,31	0,32	0,35	0,31	0,32		
X	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,37	3	30
Y	0,35	0,38	0,37	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,37	0,35		
Z	0,36	0,35	0,33	0,35	0,35	0,35	0,37	0,35	0,37	0,35		
X	0,45	0,44	0,45	0,45	0,45	0,43	0,43	0,45	0,43	0,45	3	40
Y	0,43	0,43	0,43	0,45	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,45		
Z	0,43	0,43	0,45	0,43	0,43	0,45	0,43	0,43	0,45	0,53		

Indicatorul de calitate măsurat : COMPLIANȚA STATICĂ

Axa	Numărul de încercări										Sarcina [kg]	Temperatura cuplelor [C]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
X	0,35	0,35	0,35	0,39	0,35	0,35	0,35	0,35	0,39	0,35	4	16
Y	0,35	0,37	0,35	0,35	0,37	0,35	0,37	0,35	0,37	0,35		
Z	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,35	0,37		
X	0,40	0,42	0,42	0,45	0,42	0,42	0,44	0,44	0,44	0,45	4	30
Y	0,44	0,42	0,45	0,42	0,44	0,45	0,45	0,45	0,42	0,45		
Z	0,43	0,42	0,45	0,44	0,42	0,44	0,42	0,45	0,42	0,45		
X	0,42	0,45	0,45	0,45	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	4	40
Y	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,45	0,45		
Z	0,48	0,48	0,47	0,48	0,45	0,48	0,45	0,45	0,45	0,45		

Revenirea punctului caracteristic în poziția inițială după înlăturarea sarcinii manipulate

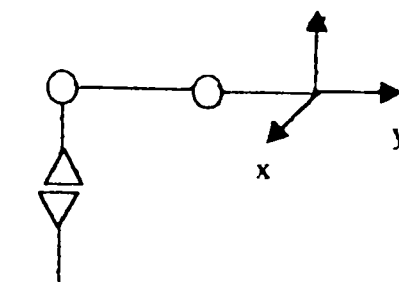
Deplasarea P C după axa z [mm]

Încărcare Descărcare	Numărul de încercări										Sarcina [kg]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D	0,56	0,58	0,58	0,58	0,56	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	4,5
Î	0,12	0,12	0,11	0,08	0,02	0,11	0,20	0,20	0,11	0,12	
D	0,57	0,58	0,70	0,70	0,68	0,70	0,70	0,56	0,58	0,58	5
Î	0,05	0,03	0,11	0,12	0,17	0,11	0,12	0,12	0,17	0,23	
D	0,50	0,55	0,62	0,68	0,68	0,70	0,68	0,68	0,68	0,68	5,5
Î	0,32	0,21	0,25	0,25	0,28	0,25	0,28	0,30	0,35	0,35	

Indicatorul de calitate măsurat : COMPLIANȚA STATICĂ

Robotul industrial testat : UNIMATE PUMA

Schema cinematică :



Axa	Numărul de încercări										Sarcina [kg]	Temperatura cuplelor [C]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
X	0,06	0,05	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	1	16
Y	0,10	0,08	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,05	0,08	0,08		
Z	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08		
X	0,08	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	1	30
Y	0,12	0,12	0,12	0,12	0,08	0,08	0,12	0,12	0,14	0,14		
Z	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12		
X	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,16	0,17	0,17	1	40
Y	0,20	0,16	0,16	0,18	0,18	0,16	0,16	0,16	0,18	0,18		
Z	0,20	0,20	0,18	0,18	0,18	0,20	0,20	0,18	0,18	0,18		
X	0,14	0,18	0,16	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,16	0,18	2	16
Y	0,18	0,18	0,18	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16		
Z	0,18	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,18		
X	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	2	30
Y	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,18		
Z	0,18	0,18	0,20	0,16	0,16	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18		
X	0,20	0,21	0,21	0,21	0,24	0,24	0,22	0,24	0,22	0,24	2	40
Y	0,21	0,22	0,22	0,22	0,30	0,22	0,25	0,22	0,22	0,22		
Z	0,20	0,24	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,24	0,22	0,22		
X	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,24	0,23	0,23	0,23	0,24	3	16
Y	0,24	0,22	0,24	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,22		
Z	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,24	0,22	0,24	0,23		
X	0,25	0,25	0,24	0,25	0,27	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	3	30
Y	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25	0,25	0,27	0,25	0,27	0,25		
Z	0,25	0,27	0,25	0,27	0,25	0,27	0,25	0,27	0,25	0,27		
X	0,28	0,30	0,30	0,30	0,32	0,32	0,30	0,32	0,30	0,30	3	40
Y	0,32	0,32	0,30	0,28	0,28	0,32	0,32	0,30	0,32	0,30		
Z	0,30	0,30	0,32	0,30	0,32	0,30	0,30	0,30	0,32	0,30		

Indicatorul de calitate măsurat : COMPLIANȚA STATICĂ

Axa	Numărul de încercări										Sarcina [kg]	Temperatura cuplelor [C]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
X	0,30	0,35	0,35	0,35	0,36	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	4	16
Y	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,37	0,35	0,37	0,37	0,37		
Z	0,35	0,37	0,35	0,37	0,35	0,35	0,37	0,35	0,37	0,37		
X	0,40	0,44	0,40	0,44	0,44	0,45	0,47	0,48	0,47	0,47	4	30
Y	0,45	0,40	0,45	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48		
Z	0,45	0,48	0,48	0,48	0,45	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48		
X	0,60	0,62	0,60	0,62	0,62	0,62	0,62	0,67	0,62	0,62	4	40
Y	0,61	0,62	0,70	0,62	0,70	0,70	0,62	0,62	0,60	0,62		
Z	0,62	0,62	0,62	0,65	0,67	0,62	0,62	0,65	0,67	0,62		

Revenirea punctului caracteristic în poziția inițială după înlăturarea sarcinii manipulate

.Deplasarea P.C. după axa z [mm]

Încărcare Descărcare	Numărul de încercări										Sarcina [kg]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D	0,65	0,65	0,64	0,68	0,68	0,67	0,68	0,68	0,70	0,68	4,5
Î	0,68	0,70	0,65	0,68	0,68	0,65	0,68	0,70	0,68	0,68	

Anexa 7

Anexa7/1

Sesizarea deplasării unei ținte punctiforme cu ajutorul unei camere CCD

Nr. crt.	Deplasarea țintei pe y [mm]	Citire pe x	Citire pe y		Deplasarea țintei pe x [mm]	Citire pe y	Citire pe x	
			START	STOP			START	STOP
1	0,5	159/160	135	134	0,5	120/121	160	159
2	1	159/160	134	133	1	120/121	159	158
3	1,5	159/160	133	132	1,5	120/121	158	157
4	2	159/160	132	131	2	120/121	157	156
5	2,5	159/160	131	130	2,5	120/121	156	155
6	3	159/160	130	129	3	120/121	155	154
7	3,5	159/160	129	128	3,5	120/121	154	153
8	4	159/160	128	127	4	120/121	153	152
9	4,5	159/160	127	126	4,5	120/121	152	151
10	5	159/160	126	125	5	120/121	150	149
11	5,5	159/160	125	124	5,5	120/121	149	148
12	6	159/160	124	123	6	120/121	148	147
13	6,5	159/160	123	122	6,5	120/121	147	146
14	7	159/160	122	121	7	120/121	146	145
15	7,5	159/160	121	120	7,5	120/121	145	144
16	8	159/160	120	119	8	120/121	144	143
17	8,5	159/160	119	118	8,5	120/121	143	142
18	9	159/160	118	117	9	120/121	142	141
19	9,5	159/160	117	116	9,5	120/121	141	140
20	10	159/160	116	115	10	120/121	140	139

Sesizarea deplasării unei ținte punctiforme cu ajutorul unei camere CCD în 2D

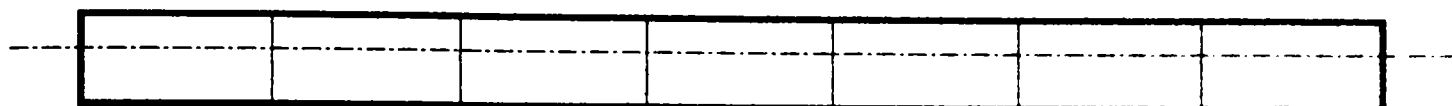
Nr. crt.	Citire pe x [pixeli]	Citire pe y [pixeli]	Deplasare pe x cu pas de 1.5 mm	Citire pe x [pixeli]	Citire pe y [pixeli]	Deplasare pe y Cu pas de 1.5 mm
1	133/132	164/167	0	133/132	164/167	0
2	136/135	164/167	1,5	133/132	161/160	1,5
3	139/138	164/167	3	133/132	158/157	3
4	142/141	164/167	4,5	133/132	155/154	4,5
5	145/144	164/167	6	133/132	152/151	6
6	148/147	164/167	7,5	133/132	149/148	7,5
7	151/150	164/167	9	133/132	146/145	9
8	154/153	164/167	10,5	133/132	143/142	10,5
9	157/156	164/167	12	133/132	140/139	12
10	160/159	164/167	13,5	133/132	137/136	13,5
11	163/162	164/167	15	133/132	134/133	15
12	166/165	164/167	16,5	133/132	131/130	16,5
13	169/168	164/167	18	133/132	128/127	18
14	172/171	164/167	19,5	133/132	125/124	19,5
15	175/174	164/167	21	133/132	122/121	21
16	178/177	164/167	22,5	133/132	119/118	22,5
17	181/180	164/167	24	133/132	116/115	24
18	184/183	164/167	25,5	133/132	113/112	25,5
19	187/186	164/167	27	133/132	110/109	27
20	190/189	164/167	28,5	133/132	107/106	28,5
21	193/192	164/167	30	133/132	104/103	30
22	196/195	164/167	31,5	133/132	101/100	31,5
23	199/198	164/167	33	133/132	98/97	33
24	202/201	164/167	34,5	133/132	95/94	34,5
25	205/204	164/167	36	133/132	92/91	36
26	208/207	164/167	37,5	133/132	89/88	37,5

Urmărirea cu ajutorul unei camere CCD a unui corp ce se deplasează în 2D , pe o traiectorie cunoscută

Nr. de ordine al punctului de precizie	Citire lateral		Citire	
	stânga	dreapta	Superior	Inferior
1	121/132	188/189		
2	98/109	185/187		
3	81/91	177/183		
4	74/81	168/176		
5	69/70	151/152		
6	68/69	126/126	68/115	68/126
7	66/68	107/107	66/67	96/108
8	69/74	82/72	73/71	69/82
9	79/88	64/56	88/55	79/64
10	103/115	51/50		
11	125/137	49/48		
12	151/163	50/54		
13	171/177	65/75		
14	179/180	103/103	179/91	179/103
15	184/191	120/129		
16	204/217	137/137		
17	227/237	140/146		
18	239/241	169/159		
19	228/236	184/177		
20	192/203	188/188		
21	157/169	189/189		

**Determinarea variației temperaturii ghidajelor translatie bază
a robotului REMT-1 în diferite condiții de funcționare**

Disponerea punctelor de măsurare de-a lungul ghidajelor cilindrice ale robotului



A B C D E F G H
 Legendă: U-uns NU-neuns

Nr. crt.	Temperatura măsurată în punctele marcate [C]								Starea de ungere a ghidajelor
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1.1	23,9	26,8	28,00	32,00	31,90	31,60	31,00	29,30	NU
1.2	23,11	23,13	23,05	23,34	26,21	26,57	25,8	24,12	U
2.1	27,92	29,56	30,35	31,37	31,35	30,64	30,148	28,33	NU
2.2	23,27	23,16	23,28	23,35	26,14	26,21	24,46	24,52	U
3.1	28,32	29,80	31,47	32,52	34,33	34,89	32,73	31,51	NU
3.2	24,20	24,15	24,18	24,71	26,62	26,36	24,51	23,48	U
4.1	29,57	31,75	32,69	33,51	34,67	34,71	33,85	30,72	NU
4.2	23,37	24,28	23,57	23,61	26,60	26,75	24,31	23,48	U
5.1	30,11	31,94	32,70	34,58	36,31	36,92	34,51	31,22	NU
5.2	23,57	22,61	23,63	23,84	26,18	26,51	23,33	22,08	U
6.1	30,23	32,90	33,17	35,64	36,90	36,71	33,20	31,57	NU
6.2	23,15	23,17	24,24	24,83	27,51	26,72	23,15	24,76	U
7.1	31,02	33,14	34,63	36,82	37,96	37,84	34,11	32,12	NU
7.2	23,87	24,03	24,11	24,18	27,20	27,54	24,31	24,84	U
8.1	31,11	32,89	33,90	36,62	37,11	37,75	34,37	32,00	NU
8.2	22,80	23,01	23,05	24,43	28,51	28,67	24,82	23,15	U
9.1	31,23	32,97	33,71	36,50	37,28	37,85	35,20	31,87	NU
9.2	24,18	24,40	25,57	25,63	28,81	28,43	25,17	24,83	U
10.1	31,16	32,80	33,63	36,12	37,31	37,67	34,98	32,28	NU
10.2	24,71	24,15	25,83	26,17	28,19	28,57	25,41	24,84	U
11.1	31,27	33,02	33,15	36,07	37,48	37,79	33,52	31,06	NU
11.2	23,20	24,45	25,63	25,50	28,15	28,17	25,61	24,52	U
12.1	30,52	31,87	32,98	35,81	37,88	37,59	32,83	30,95	NU
12.2	23,61	24,82	25,47	25,30	28,27	28,28	25,42	25,85	U

**Determinarea variației temperaturii ghidajelor translatie bază
a robotului REMT-1 în diferite condiții de funcționare**

Nr. crt.	Temperatura măsurată în punctele marcate [C]								Starea de ungere a Ghidajelor
	A	B	C	D	E	F	G	H	
13.1	31,63	32,14	33,37	35,64	38,14	38,53	33,14	31,74	NU
13.2	25,44	25,51	24,42	25,31	28,20	28,17	25,84	24,17	U
14.1	31,23	33,28	34,06	35,16	38,82	38,77	33,35	32,08	NU
14.2	24,32	25,71	25,81	25,30	28,14	28,22	25,74	24,37	U
15.1	31,64	33,41	34,15	35,27	38,75	38,50	34,12	33,23	NU
15.2	24,88	25,40	25,21	26,53	28,18	28,61	25,09	24,88	U

**Calibrarea traductorului inductiv
MICROLIMIT EE CONTIN. 1E1**

Nr. crt.	Cursă palpator [mm]	Semnal ieșire [V]	Nr. crt.	Cursă palpator [mm]	Semnal ieșire [V]	Nr. crt.	Cursă palpator [mm]	Semnal ieșire [V]
1	0	0	36	0,35	2,10	71	0,70	4,20
2	0,01	0,06	37	0,36	2,16	72	0,71	4,26
3	0,02	0,12	38	0,37	2,22	73	0,72	4,32
4	0,03	0,18	39	0,38	2,28	74	0,73	4,38
5	0,04	0,24	40	0,39	2,34	75	0,74	4,44
6	0,05	0,30	41	0,40	2,40	76	0,75	4,50
7	0,06	0,36	42	0,41	2,46	77	0,76	4,56
8	0,07	0,42	43	0,42	2,52	78	0,77	4,62
9	0,08	0,48	44	0,43	2,58	79	0,78	4,68
10	0,09	0,54	45	0,44	2,64	80	0,79	4,74
11	0,10	0,60	46	0,45	2,70	81	0,80	4,80
12	0,11	0,66	47	0,46	2,76	82	0,81	4,86
13	0,12	0,72	48	0,47	2,82	83	0,82	4,92
14	0,13	0,78	49	0,48	2,88	84	0,83	4,98
15	0,14	0,84	50	0,49	2,94	85	0,84	5,04
16	0,15	0,90	51	0,50	3,00	86	0,85	5,10
17	0,16	0,96	52	0,51	3,06	87	0,86	5,16
18	0,17	1,02	53	0,52	3,12	88	0,87	5,22
19	0,18	1,08	54	0,53	3,18	89	0,88	5,28
20	0,19	1,14	55	0,54	3,24	90	0,89	5,34
21	0,20	1,20	56	0,55	3,30	91	0,90	5,40
22	0,21	1,26	57	0,56	3,36	92	0,91	5,46
23	0,22	1,32	58	0,57	3,42	93	0,92	5,52
24	0,23	1,38	59	0,58	3,48	94	0,93	5,58
25	0,24	1,44	60	0,59	3,54	95	0,94	5,64
26	0,25	1,50	61	0,60	3,60	96	0,95	5,70
27	0,26	1,56	62	0,61	3,66	97	0,96	5,76
28	0,27	1,62	63	0,62	3,72	98	0,97	5,82
29	0,28	1,68	64	0,63	3,78	99	0,98	5,88
30	0,29	1,74	65	0,64	3,84	100	0,99	5,94
31	0,30	1,80	66	0,65	3,90	101	1,00	6,00
32	0,31	1,86	67	0,66	3,96	102	1,01	6,06
33	0,32	1,92	68	0,67	4,02	103	1,02	6,12
34	0,33	1,98	69	0,68	4,08	104	1,03	6,18
35	0,34	2,04	70	0,69	4,14	105	1,04	6,24

**Calibrarea traductorului inductiv
MICROLIMIT EE CONTIN. 1E1**

Nr. crt.	Cursă palpator [mm]	Semnal ieșire [V]	Nr. Crt.	Cursă Palpator [mm]	Semnal ieșire [V]	Nr. Crt.	Cursă Palpator [mm]	Semnal Ieșire [V]
106	1,05	6,30	139	1,38	8,28	172	1,71	10,26
107	1,06	6,36	140	1,39	8,34	173	1,72	10,32
108	1,07	6,42	141	1,40	8,40	174	1,73	10,38
109	1,08	6,48	142	1,41	8,46	175	1,74	10,44
110	1,09	6,54	143	1,42	8,52	176	1,75	10,50
111	1,10	6,60	144	1,43	8,58	177	1,76	10,56
112	1,11	6,66	145	1,44	8,64	178	1,77	10,62
113	1,12	6,72	146	1,45	8,70	179	1,78	10,68
114	1,13	6,78	147	1,46	8,76	180	1,79	10,74
115	1,14	6,84	148	1,47	8,82	181	1,80	10,80
116	1,15	6,90	149	1,48	8,88	182	1,81	10,86
117	1,16	6,96	150	1,49	8,94	183	1,82	10,92
118	1,17	7,02	151	1,50	9,00	184	1,83	10,98
119	1,18	7,08	152	1,51	9,06	185	1,84	11,04
120	1,19	7,14	153	1,52	9,12	186	1,85	11,10
121	1,20	7,20	154	1,53	9,18	187	1,86	11,16
122	1,21	7,26	155	1,54	9,24	188	1,87	11,22
123	1,22	7,32	156	1,55	9,30	189	1,88	11,28
124	1,23	7,38	157	1,56	9,36	190	1,89	11,34
125	1,24	7,44	158	1,57	9,42	191	1,90	11,40
126	1,25	7,50	159	1,58	9,48	192	1,91	11,46
127	1,26	7,56	160	1,59	9,54	193	1,92	11,52
128	1,27	7,62	161	1,60	9,60	194	1,93	11,58
129	1,28	7,68	162	1,61	9,66	195	1,94	11,64
130	1,29	7,74	163	1,62	9,72	196	1,95	11,70
131	1,30	7,80	164	1,63	9,78	197	1,96	11,76
132	1,31	7,86	165	1,64	9,84	198	1,97	11,82
133	1,32	7,92	166	1,65	9,90	199	1,98	11,88
134	1,33	7,98	167	1,66	9,96	200	1,99	11,94
135	1,34	8,04	168	1,67	10,02	201	2,00	12,00
136	1,35	8,10	169	1,68	10,08			
137	1,36	8,16	170	1,69	10,14			
138	1,37	8,22	171	1,70	10,20			

Anexa 10

Anexa 10/1

Determinarea răspunsului celulei fotovoltaice în zona centrului diafragmei avînd diametrul de 0,1 mm, la incidența razei laser de 5mV

Test 1

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0,16	0,304	0,304	0,304	0,306	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,303	0,304	0,3041
2	0,17	0,335	0,335	0,334	0,330	0,330	0,334	0,334	0,335	0,306	0,335	0,3306	
3	0,18	0,310	0,309	0,312	0,306	0,312	0,309	0,311	0,311	0,312	0,312	0,3104	

Test 2

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,16	0,308	0,308	0,310	0,308	0,309	0,318	0,308	0,305	0,308	0,309	0,3091
2	0,17	0,332	0,330	0,332	0,331	0,332	0,335	0,334	0,332	0,335	0,334	0,3327
3	0,18	0,300	0,301	0,300	0,297	0,309	0,300	0,305	0,300	0,300	0,302	0,3014

Test 3

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,16	0,305	0,307	0,302	0,304	0,305	0,303	0,300	0,310	0,312	0,312	0,3060
2	0,17	0,320	0,328	0,321	0,325	0,322	0,321	0,325	0,322	0,329	0,329	0,3242
3	0,18	0,311	0,312	0,312	0,309	0,305	0,305	0,309	0,311	0,312	0,312	0,3098

Test 4

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,16	0,302	0,302	0,305	0,306	0,305	0,309	0,312	0,308	0,320	0,317	0,3086
2	0,17	0,340	0,340	0,341	0,340	0,320	0,341	0,343	0,340	0,330	0,340	0,3375
3	0,18	0,316	0,312	0,312	0,317	0,312	0,307	0,312	0,312	0,316	0,312	0,3128

**Determinarea răspunsului celulei fotovoltaice în zona
centrului diafragmei avînd diametrul de 0.1mm
la incidența razei laser de 5 mV**

Test5

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,16	0,304	0,309	0,305	0,306	0,305	0,307	0,305	0,305	0,303	0,305	0,3054
2	0,17	0,335	0,334	0,334	0,332	0,310	0,334	0,334	0,335	0,335	0,335	0,3318
3	0,18	0,309	0,308	0,316	0,312	0,316	0,309	0,312	0,312	0,311	0,311	0,3116

Test 6

Nr. crt.	Deplasare spot [mm]	Număr de repetări										Media [V]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,16	0,307	0,307	0,305	0,305	0,307	0,305	0,305	0,302	0,305	0,305	0,3053
2	0,17	0,332	0,335	0,334	0,334	0,335	0,335	0,335	0,335	0,334	0,334	0,3340
3	0,18	0,312	0,311	0,311	0,320	0,311	0,312	0,312	0,309	0,313	0,312	0,3123

Anexa 11

Lista abrevierilor prezente în teză

CCD - Charge Coupled Device

CMMC – Complet multicanal pentru măsurarea coputerizată

DC – Dreaptă caracteristică

IR – Infraroșu

IRIS – Improvement Robots Industrial Standards

PC – Punct caracteristic

PSD – Position Sensitive Detector

RI – Robot industrial

US – Ultrasunete

UV – Ultraviolete

TCP – Tool Central Point