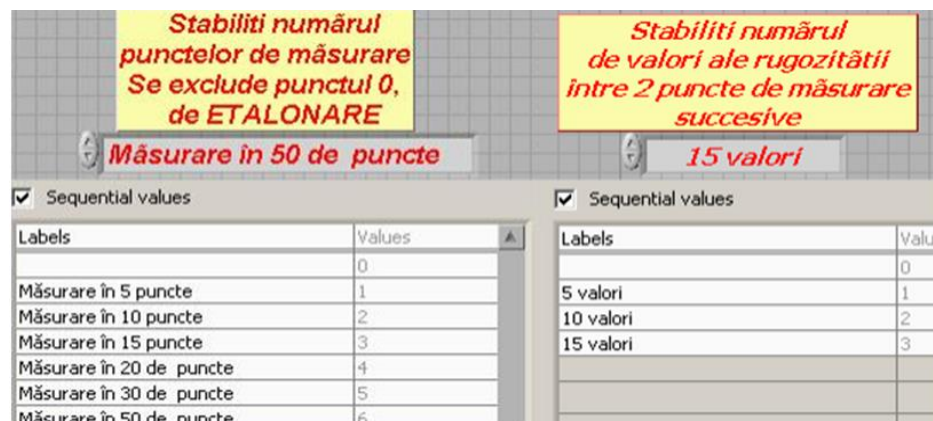
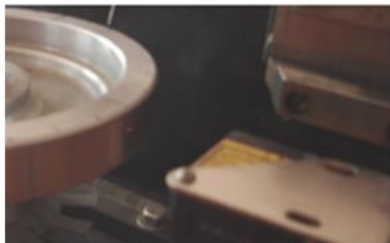
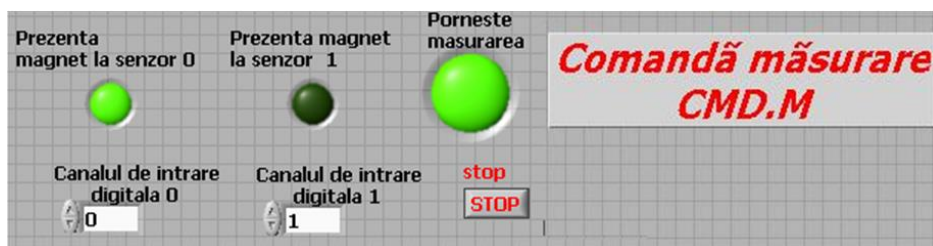


OPTIMIZAREA MODULELOR DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ DIN COMPONENTA LINIILOR AUTOMATIZATE DE FABRICAȚIE

- monografie după Teza de Doctorat -

(conducător științific: Profesor doctor inginer Ciprian Iustin OLTEANU)

Barbu Cristian BRAUN



Brașov
2023

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

- monografie după Teza de Doctorat –

(conducător științific: Profesor doctor inginer Ciprian Iustin OLTEANU)

Barbu Cristian BRAUN

**Brașov
2023**

PREFAȚĂ

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

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

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

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

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

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

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

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

SEMNIFICAȚIA SIMBOLURILOR ȘI A NOTAȚIILOR

A. Semnificația simbolurilor

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

B. Semnificația abrevierilor

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

INDEX DE TERMENI

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

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE PRIVIND STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII MODULELOR DE INSPECIE DIMENSIONALĂ

1.1 ROLUL MODULELOR DE CONTROL ȘI INSPECIE ÎN PROCESUL DE PRODUCȚIE

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

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

1.1.1 Clasificarea și structura automatelor de control

Automatele de control pot realiza două tipuri de evaluare:

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

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

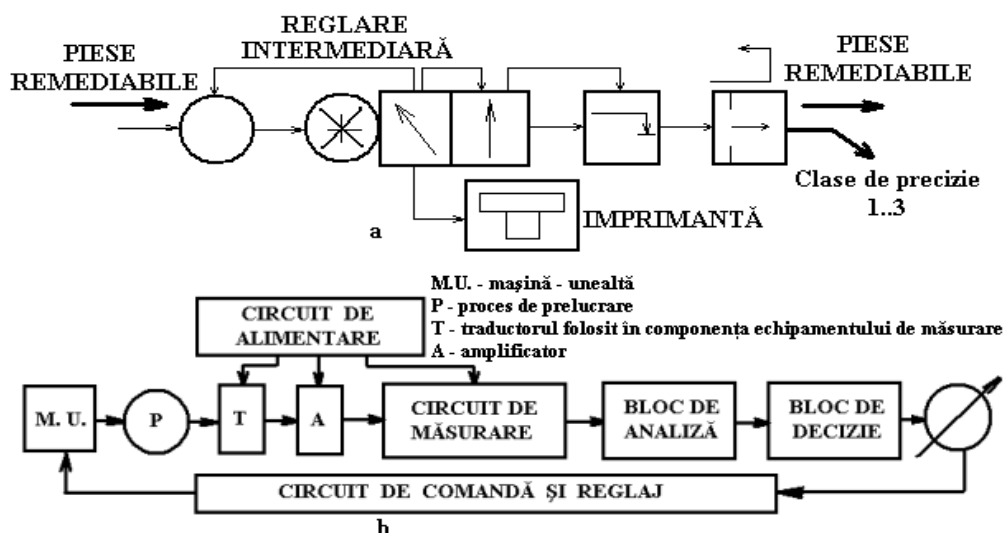


Fig. 1.1.1 Schema bloc a unui automat de control: a - pasiv integrat în linia de fabricație, B - activ în timpul prelucrării [C6], [C9]

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

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

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

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

1.1.2 Exemple de automate de control folosite în industrie

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

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

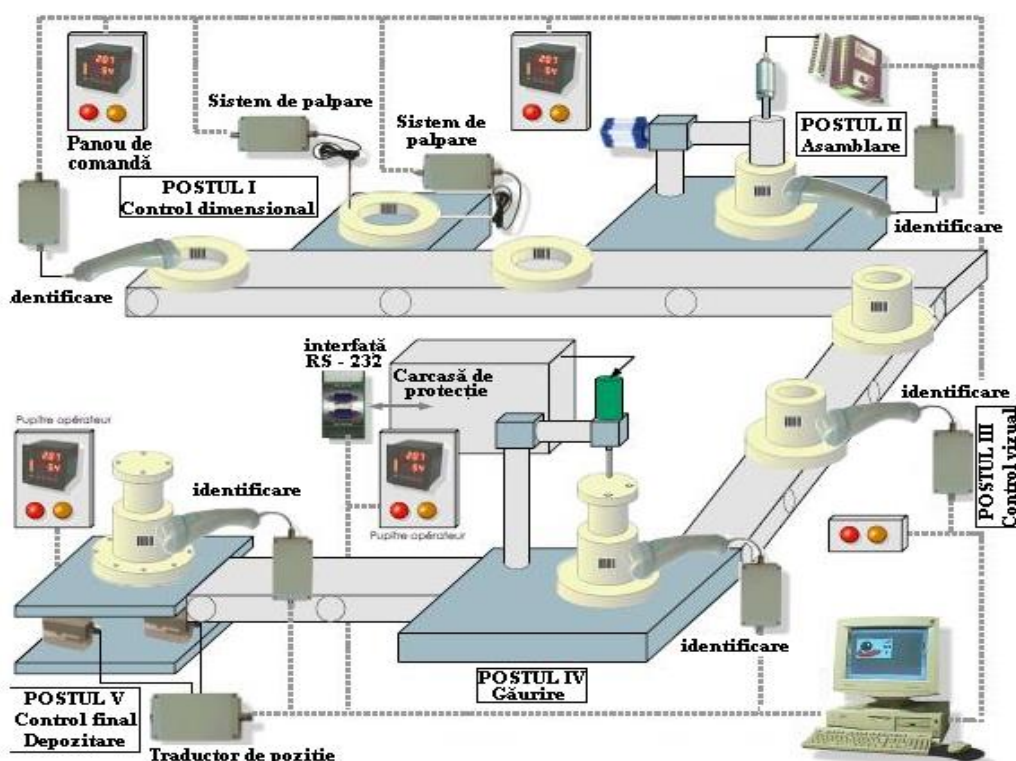


Fig. 1.1.2 Automat de control al unor subansambluri în timpul procesului de fabricație [C]

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

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

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

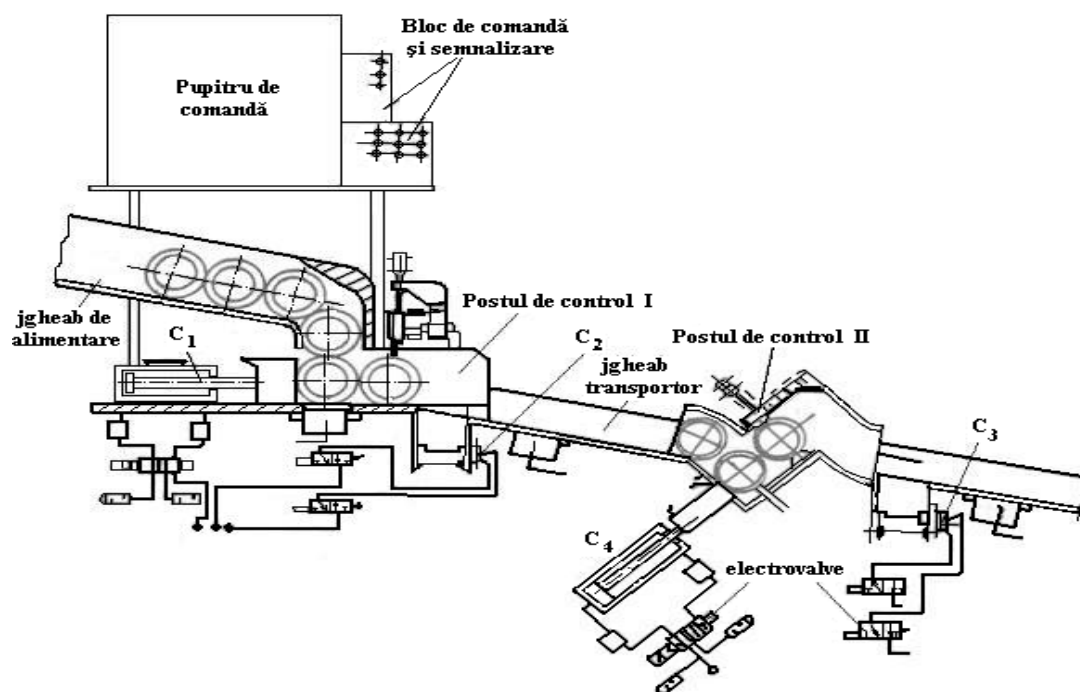


Fig. 1.1.3 Automat pentru controlul diametrului exterior, al diametrului interior și al lății inelelor de rulment [C6], [F1]

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

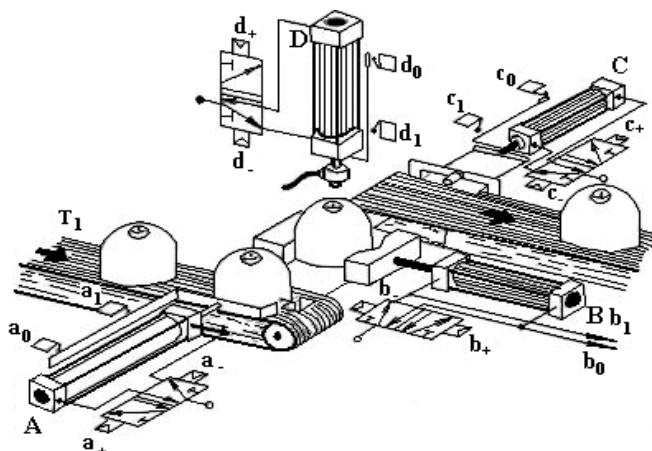


Fig. 1.1.4 Automat pentru controlul alezajului unor reperi cu aplicații în industria alimentară [I1]

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

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

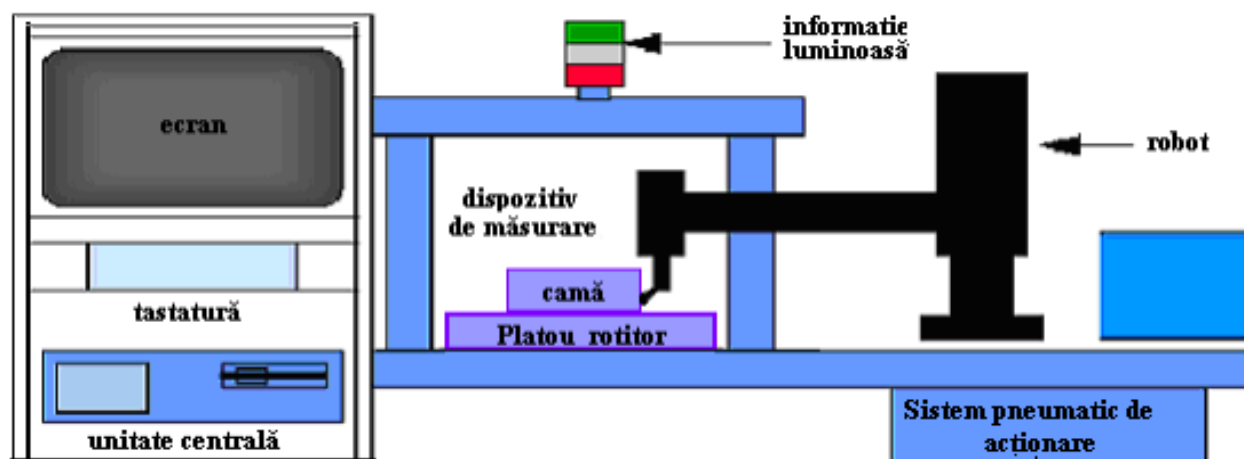


Fig. 1.1.5 Sistem automat de control al camelor [M8]

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

unui sistem de calcul performant, se pot emite semnale de comandă către actuatorii¹ sistemelor de sortare a camelor, pe clase dimensionale.

O aplicație performantă o constituie automatul pentru sortarea bilelor de rulmenți, dezvoltat de către Universitatea din Texas în colaborare cu compania National Instruments. Particularitatea acestui tip de automat o constituie eficiența cu care pot fi sortate bilele, pe 3 categorii, frecvența de sortare putând ajunge la aproximativ 120 de bile pe minut. Principiul constă în achiziția de imagini ale traiectoriei bilelor. Pe baza informației de la camera video, semnalul se transmite la un actuator ce rotește placa pe care cad bilele, în așa fel încât acestea, în funcție de unghiul și viteza de rotație a plăcii în momentul căderii, să le imprime devieri după trei direcții diferite, fiecare corespunzând unei clase de precizie. Transmiterea informației se face prin intermediul unei plăci modulare de achiziție NI PACs, dezvoltată de compania National Instruments, aplicația putând fi programată și modificată în mediul software LabVIEW, dezvoltat de aceeași companie [H9].

1.1.3 Caracteristicile funcționale ale automatelor de control

Din punctul de vedere al duratei controlului unei piese, automatele de control se caracterizează prin *ciclul de lucru*, care reprezintă durata în care se execută toate operațiile de control, ce se compune din timpul controlului propriu – zis, la care se adaugă timpul operațiilor auxiliare de control.

$$T_c = T_m + T_{oa}, \quad (1.1.1)$$

unde T_c reprezintă durata ciclului de control, T_m – durata de măsurare efectivă, iar T_{oa} este durata operațiilor auxiliare, ce este compusă din timpii aferenți fiecărei operații auxiliare în parte (alimentare, transport, orientare, sortare, dozare).

$$T_{oa} = \sum_{i=0}^n T_0, \quad (1.1.2)$$

unde T_0 reprezintă timpii fiecărei operații în parte.

Suma timpilor operațiilor auxiliare poate varia, deoarece nu toate părțile componente descrise anterior se regăsesc în orice automat de control. De exemplu un transportator, pe lângă operația de transfer mai poate asigura și orientarea și dozarea pieselor [C6].

În cazul în care un automat este prevăzut cu mai multe posturi de control, legate în serie, timpul ciclului este dat de relația:

$$T_c = T_a + \sum_{i=1}^n (t_i + t_m + t_{em}) + t_t, \quad (1.1.3)$$

unde: T_a este durata de alimentare, t_i – timpul de instalare, t_m – timpul de măsurare, t_{em} – timpul de evacuare din postul de măsurare, t_t – durata transferurilor de la un post de măsurare la altul, n – numărul posturilor de control.

Durata ciclului controlului definește *productivitatea* teoretică a automatului:

$$P = 60 \cdot n / T_c, \quad (1.1.4)$$

¹ *actuator* = sistem pentru comanda sau reglarea unor procese, pe baza unor semnale provenite de la senzorii ce măsoară anumiți parametri fizici

în care n reprezintă numărul pieselor controlate într-un ciclu.

Productivitatea reală, însă, este influențată de randamentul automatului, conform relației:

$$P_r = \eta \cdot P, \quad (1.1.5)$$

unde η este randamentul automatului ($0 \leq \eta \leq 1$).

Tactul de control este timpul la care o piesă părăsește postul de măsurare:

$$q = P_r^{-1} = 1/\eta \cdot P. \quad (1.1.6)$$

În funcție de aceste caracteristici se pot defini performanțele unui automat de control. Evident, parametrii descriși mai sus sunt influențați de performanțele fiecărui echipament al automatului de control în parte. Performanțele echipamentelor posturilor de control influențează atât precizia de măsurare cât și productivitatea automatului.

1.2 STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII MODULELOR DE CONTROL DIN COMPONENTA AUTOMATELOR

1.2.1 Rolul modulelor (posturilor) de control

Inițial erau folosite pentru măsurări dimensionale în exclusivitate aparate mecanice simple. Treptat aparatele s-au diversificat atât din punctul de vedere al principiului de funcționare, cât și din punctul de vedere al construcției și modului de utilizare. S-a trecut de la aparate simple mecanice, la instrumente de măsură complexe și totodată precise, cum ar fi cele pneumatice, hidraulice, electrice, optice, acustice, electronice și apoi chiar la sisteme automate de control. Dezvoltarea în acest domeniu a avut loc în condițiile în care asigurarea calității produselor a devenit o problemă internațională. În ultimele decenii s-a pus puternic accentul pe necesitatea automatizării controlului în liniile tehnologice de fabricație iar în ultimii ani a cunoscut o dezvoltare fără precedent utilizarea posturilor de control pe principii de măsurare neconvenționale, datorită multiplelor avantaje pe care acestea le prezintă, atât din punctul de vedere al preciziei de măsurare, cât și din punctul de vedere al exploatarei și al diversității aplicațiilor lor. La ora actuală un stand sau automat de măsurare și inspecție dimensională aproape că este de neconceput fără ca procesul să fie asistat de un calculator sau de rețele de calculatoare, prin intermediul unor softuri dedicate. Acestea, în general, sunt cu licență, fiind livrate împreună cu sistemele de măsurare.

Posturile de control joacă rolul cel mai important în construcția și funcționarea sistemelor automate de control, deoarece de precizia acestora depinde buna funcționare a întregului ansamblu. Precizia posturilor de control trebuie să satisfacă toate exigențele privind normele de inspecție dimensională ale pieselor uzinate², în vederea asigurării calității produselor finite. Este de asemenea foarte importantă și realizarea unei viteze de lucru adecvate, care să corespundă cu productivitatea automatului de control [C5].

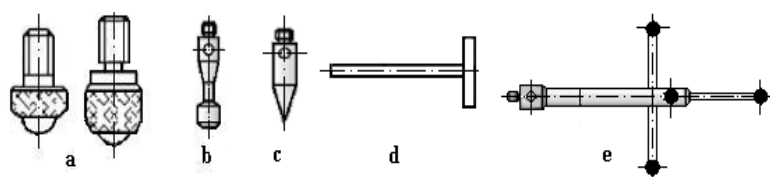
Clasificarea tipurilor de posturi de control se poate face în funcție de principiul de funcționare (mecanic, pneumatic, electric, optic, electronic, acustic, combinat etc.) și de caracteristicile statice și dinamice ale acestora.

² *uzinat* = prelucrat

1.2.2 Module de control cu structuri mecanice

Acestea au în componența lor doar subsansambluri de tip mecanic: sistemele de palpare, mecanismele de transmitere a semnalului, dispozitivele de fixare/centrare a pieselor, aparatura de măsură și control.

În componența aparatelor și a sistemelor folosite în inspecția dimensională, s-au dezvoltat mai multe variante constructive de *sisteme de palpare*. Palpatoarele cu cap sferic (figura 1.2.1, a) se folosesc în special pentru măsurarea și controlul suprafețelor plane, astfel încât eventualele erori de poziționare ale tijei palpatoare să nu genereze erori de palpare.



Palpatoarele plane (figura 1.2.1, b) se folosesc atunci când suprafața pieselor de controlat este sferică.

Fig. 1.2.1 Palpatoare [C4], [I4], [S11]

Și în acest caz abaterea de la ortogonalitate a tijei palpatoare în raport cu suprafața piesei, poate fi compensată. Palpatoarele cilindrice se folosesc pentru piese care au suprafața de formă cilindrică, palpatorul fiind dispus pe o direcție perpendiculară față de axa piesei. În afară de palpatoarele clasice, se mai folosesc și alte tipuri de palpatoare, cum ar fi: palpatoare prevăzute cu vârful conice, pentru măsurarea rugozității suprafețelor (figura 1.2.1 c), palpatoare-disc, (figura 1.2.1, d) și palpatoare sferice multicap³, pentru măsurarea abaterilor de formă a reperelor cu geometrie complexă (figura 1.2.1, e).

Din punctul de vedere al preciziei de măsurare, palpatoarele mecanice sunt afectate de erori de poziționare a vârfului în raport cu suprafața de măsurat [R5]. Trebuie menționat că pentru evitarea erorilor de palpare este foarte importantă alegerea tipului de vârf palpator adecvat geometriei suprafeței măsurandului⁴. De exemplu pentru piese cu suprafețe plane se pot folosi cu succes palpatoarele cu cap sferic, deoarece acesta, prin forma sa preia erorile de poziționare a tijei palpatoare. Pentru piese cilindrice se recomandă folosirea capetelor de palpare plane sau cilindrice, cu generatoarea dispusă perpendicular față de axa piesei. Dacă însă, de exemplu, măsurarea dimensională a pieselor de formă sferică se face cu palpatoare cu cap sferic, apar erori de palpare, definite prin relația:

$$\varepsilon \cong \Delta x^2 / 2 \cdot (r + R), \quad (1.2.1)$$

unde Δx reprezintă eroarea de poziționare a vârfului palpatorului pe direcția perpendiculară față de direcția de măsurare, r este raza capului de palpare, iar R este raza suprafeței piesei.

Mecanismele de transmitere la mijloacele de control s-au diversificat și ele, după dimensiunile și geometria reperelor prelucrate și testate pe un automat industrial [M7]. Elementele cu mișcare de translație pot fi elemente port-palpator, de tip tijă de măsurare, ce primesc informația metrologică sub forma unei deplasări liniare pe care o transmit unui alt element sau direct aparatului de măsură. Tija de măsurare execută o mișcare rectilinie, ea putându-se deplasa pe ghidaje cilindrice de alunecare sau de

³ un *palpator sferic multicap* reprezintă un sistem de palpare cu mai multe capete sferice, acestea putând intra pe rând sau simultan în contact cu suprafața / suprafețele măsurate. Aceste palpatoare sunt folosite mai ales în cazul aparatelor de măsurare complexe, cum ar fi mașinile de măsurat în coordonate.

⁴ *măsurandul* reprezintă reperul sau piesa ce urmează a fi supus / supusă procesului de măsurare

rostogolire cu bile. Și elementele de transmitere pe ghidaje ce execută translații pe direcția de măsurare, sunt afectate de erori de poziționare ce influențează evident negativ rezultatul măsurării.

În privința sistemelor de orientare, cele mai răspândite sunt reazemele, prisme și sistemele de centrare care servesc la orientarea pieselor care au suprafețe plane sau cilindrice [O2], [O3].

1.2.3 Module de control cu structuri pneumatice

Acestea prezintă o serie de avantaje în raport cu posturile de control cu structuri mecanice, cum ar fi: simplitate, robustețe, capacitate de a funcționa în medii cu diferențe mari de temperaturi și permit unele operații simple de calcul (însușiri, diferențieri). Ca dezavantaje se pot menționa: timpul mare de răspuns, necesitatea ca aerul comprimat să fie curățat și stabilizat, consumul mare de aer. În general posturile de control cu structuri pneumatice au în componență următoarele subansambluri:

- duze și palpatoare pneumatice;
- traductoare pneumatice;
- elemente de circuit pneumatic (furtunuri, racorduri, limitatoare de debit, presiune etc.);
- aparate pneumatice de măsurare.

În figura 1.2.2 este prezentată schemă principală a unui sistem pneumatic pentru măsurări dimensionale.

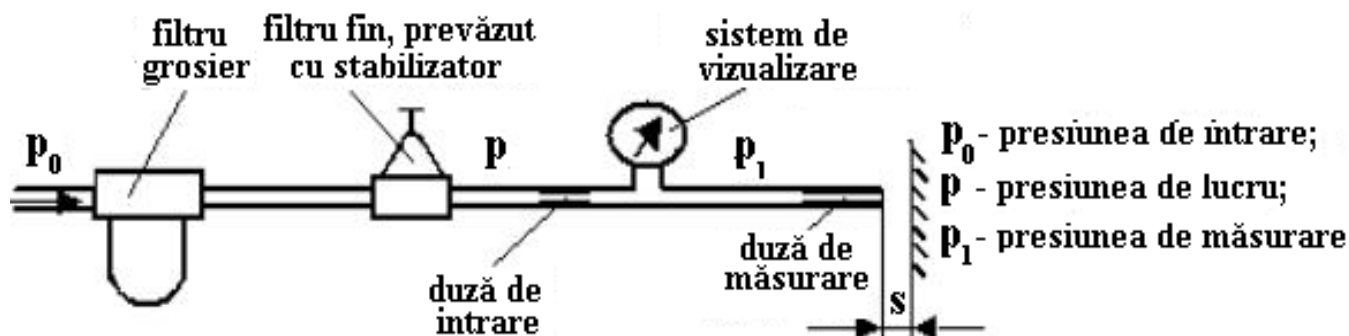


Fig. 1.2.2 Schema generală a unui sistem pneumatic folosit în măsurări dimensionale [B10], [O4]

Ansamblul format din duza de măsurare și camera de măsurare reprezintă traductorul pneumatic al sistemului de măsurare.

În sistemele de măsurare cu structuri pneumatice sunt în general două tipuri de duze: de intrare și de măsurare. Duzele de intrare sunt elemente de strangulare cu diametrul de secțiune constantă, iar cele de măsurare au diametrul secțiunii de strangulare în trepte, de la mai mare la mai mic [O2]. Caracteristica de deplasare a acestor traductoare este prezentată în figura 1.2.3 [I1], [J3].

Pentru măsurarea deplasărilor și a dimensiunilor pieselor se pot folosi duze complexe care au în structura lor atât duzele de intrare, cât și pe cele de ieșire. Traductoarele pneumatice se folosesc pentru măsurarea dimensiunilor exterioare (arbori, suprafețe conice, sferice, complexe etc.) sau a dimensiunilor interioare, cum ar fi alezajele străpunse sau înfundate.

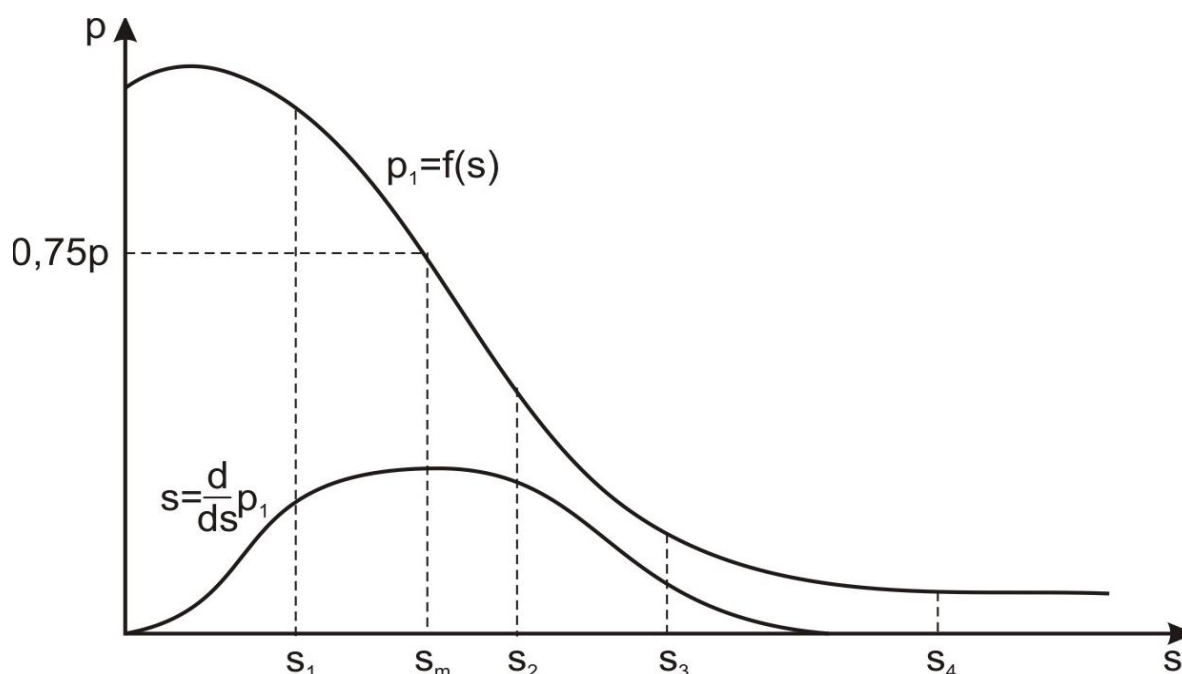


Fig. 1.2.3. Caracteristica statică a traductoarelor pneumatice [11], [13]:

Traductoarele pneumatice de tip calibru (potcoavă) au o largă aplicabilitate la controlul dimensional și al abaterilor de formă a arborilor și ele se construiesc atât pe principiul măsurării cu contact, cât și pe principiul măsurării fără contact [02].

1.2.4 Modulele de control prevăzute cu traductoare de deplasare pe principiul electric și optic

Acestea folosesc în structura lor traductoare de deplasare, care, în funcție de principiul fizic de funcționare, pot fi de tip inductiv, incremental, capacitiv sau cu optic.

1.2.4.1 Modulele de control cu traductoare inductive

Avantajele traductoarelor de deplasare pe principiul inductiv constau în faptul că necesită un consum energetic relativ redus, din acest punct de vedere fiind relativ ieftine. Din punctul de vedere al măsurării, traductorul inductiv răspunde unor exigențe severe, deoarece dimensiunile lor mici permit o amplasare în bune condiții la postul de lucru. De asemenea se asigură o bună rezoluție și deci o precizie mare de măsurare, chiar și într-un mediu agresiv [15]. Din cauza tehnologiei complexe de fabricație, traductoarele inductive de deplasare necesită însă costuri ridicate.

Compania VISHAY, cu reprezentanțe în Germania, Statele Unite și Singapore, specializată în componente electronice și de măsurare, începând din anul 1998, a dezvoltat traductoarele inductive de proximitate, din seria Sfernice REC 34L, având următoarele caracteristici tehnice specificate în tabelul 1.2.1) [C4], [13].

Tabelul 1.2.1 Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor inductive din seria Sfernice REC 34L [V2]

Seria traductorului	Sfernice REC 34L
Forța de deplasare [N]	2,5

Tabelul 1.2.1 Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor inductive din seria Sfernice REC 34L [V2]

Seria traductorului	Sfernice REC 34L
Domeniile de măsurare [mm]	0...0,2; 0...10; 0...25; 0...100; 0...200;
Greutatea [g]	86
Alimentare nominală / frecvență [V / kHz]	3 / 3;
Domeniul tensiunilor de alimentare/măsurare [V]	0,5...8
Domeniul de frecvență [kHz]	2...10
Domeniul de temperatură [°C]	-40...+120 (optional 150)

Traductoarele inductive din seria IW-120 au fost dezvoltate de compania TWK Electronic, Dusseldorf, Germania, ca o gamă foarte largă de traductoare pentru diferite domenii de măsurare. Caracteristicile tehnice și funcționale sunt prezentate în tabelul 1.2.2.

Tabelul 1.2.2 Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor inductive IW 120 [T11]

Seria traductorului	IW 120
Domeniul de măsurare [mm]	$\pm 6; \pm 12; \pm 30; \pm 50; \pm 100$
Greutățile corespunzătoare domeniilor de măsurare [g]	40; 60; 90; 145; 180; 231
Lungimile traductorului fără modul electronic, corespunzătoare plajelor de măsurare [mm]	48; 60; 75; 80; 125; 130
Tensiunea de alimentare [V]	$11,5 \div 16$ în C.C
Curentul de alimentare [mA]	30
Frecvența oscilatorului [kHz]	10
Nivelul de tensiune al semnalului de ieșire [V]	$2 \div 5$ V în C.C
Sensibilitățile corespunzătoare domeniilor de măsurare [mV/mm]	625; 400; 220; 125; 100; 80
Domeniul de temperatură [°C]	$-55 \div 120$

Miezul bobinei din componența traductorului a fost realizat în Germania, iar asamblarea componentelor acestui tip de traductor s-a făcut la Întreprinderea de Mecanică Fină București.



a)



b)

Un alt tip de traductor inductiv este cel din seria HOTTINGER, dezvoltat în perioada anilor '70 și '80 (figura 1.2.4, a) [H8].

Fig. 1.2.4 Traductoare inductive: a) din seria HOTTINGER; b) din seria MARPOSS

Alimentarea acestor traductoare se face prin intermediul unui bloc electronic complex, dezvoltat tot de Întreprinderea de Mecanică Fină București. Cuplarea la calculator a acestor traductoare se poate

face prin intermediul plăcilor de achiziție de date de tipul LabJack U12. Acestea, la rândul lor pot fi legate la unul dintre potențiometrele blocului electronic de alimentare. Caracteristicile acestor tipuri de traductoare sunt prezentate în tabelul 1.2.3. Principalele dezavantaje în cazul folosirii acestor traductoare derivă din faptul că blocul electronic de alimentare poate introduce semnale parazite, care afectează precizia măsurării. Un alt dezavantaj se referă la domeniul de măsurare restrâns.

Compania *MARPOSS*, specializată în echipamente de măsurare și control, având reprezentanțe în aproape toate țările din Europa, dar și în țări din alte continente (America de Sud, Australia, America de Nord, Asia) a dezvoltat traductoarele inductive de deplasare, seria Easy Box F5, F10, F25H5, H10, H25. În România, desfacerea, testarea, punerea în funcțiune și asistența tehnică acestor tipuri de traductoare se face prin intermediul companiei MICROTOP Consulting, Engineering & Service S.R.L, cu sediul în București.

Tabelul 1.2.3 Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor inductive HOTTINGER [H1]

Seria traductorului	HOTTINGER TI 1B, TI 2BB
Domeniul de măsurare [mm]	3,1
Cursa activă a tijei palpatoare [mm]	0,45
Domeniul de liniaritate al traductorului [mm]	0,11
Sensibilitatea traductorului pentru domeniul de liniaritate [mV/μm]	≅ 2,4
Greutatea traductorului, fără cablul electric de alimentare [g]	150
Domeniul de temperatură [°C]	-20 ÷ 60
Lungimile cablului de alimentare [m]	1; 1,5; 2

În figura 1.2.4 b) este prezentată fotografia unui traductor inductiv de deplasare, seria Easy Box F10. Acestea pot fi cuplate la calculator, prin intermediul unui bloc electronic cu 4 intrări, pe mufă USB. [M18]. Caracteristicile tehnice ale traductoarelor inductive produse de MARPOSS, din seria Easy Box sunt prezentate în tabelul 1.2.4.

Tabelul 1.2.4 Caracteristicile tehnice ale traductoarelor inductive din seriile MARPOSS, Easy Box F5, F10, F25, H5, H10, H25

Seria traductorului	MARPOSS Easy Box F5, F10, F25, H5, H10, H25		
Domeniul de măsurare [mm]	<i>F5, H5</i>	<i>F10, H10</i>	<i>F25, H25</i>
	± 0,5	± 1	± 2,5
Rezoluția de măsurare [μm]	0,2		
Greutatea traductorului, fără cablul electric de alimentare [g]	60		
Domeniul de temperatură [°C]	-25 ÷ 70		
Lungimile cablului de alimentare [m]	0,7		

Compania *Microtop* a dezvoltat sistemul software *Top Gage* pentru măsurarea asistată de calculator a deplasărilor în regim static și dinamic. Pentru măsurarea în regim dinamic, există

posibilitatea stabilirii perioadei dintre două citiri succesive de la traductor. Salvarea datelor măsurate se poate face în fișiere *Excel*, în vederea prelucrării ulterioare a acestora. Principalele avantaje ale softului constau în faptul că acesta permite măsurarea asistată în timp real, precum și posibilitatea stabilirii regimurilor de măsurare⁵ în funcție de tactul necesar producției [M18].

1.2.4.2 Modulele de control cu traductoare capacitive

Acestea sunt mai puțin folosite decât cele pe principiul inductiv, din cauza complexității constructive și a rezoluției de măsurare mai scăzute.

Un tip de traductor de deplasare pe principiul capacitiv este CDT 100-02,04,08, realizat de către compania de instrumentație și sisteme electronice IXTHUS, Marea Britanie [16]. Acest tip de traductor are ca principală caracteristică faptul că funcționează pe principiul fără contact, măsurându-se distanța până la obiectul feromagnetic. Caracteristicile tehnice și funcționale sunt specificate în tabelul 1.2.5.

Tabelul 1.2.5 Caracteristicile tehnice ale traductoarelor capacitive din seriile CDT 100-02,04,08 [C4]

Seria traductorului	CDT 100-02	CDT 100-04	CDT 100-08
Domeniul de măsurare maxim [mm]	5	10	20
Domeniul de liniaritate [mm]	2	4	8
Lungimea traductorului [mm]	20	25	30
Diametrul carcasei [mm]	8	15	30
Temperatura de lucru maximă [°C]	200		

Acest tip de traductor pe principiul capacitiv prezintă următoarele avantaje:

- precizie ridicată;
- stabilitate mare în raport cu schimbările de temperatură;
- permite măsurări de deplasări statice și dinamice de poziție, de grosime, de bătăi frontale și radiale, monitorizarea vibrațiilor și măsurarea abaterilor de suprafață [M17].

SensaGap Non-Contact Displacement Transducer este un alt tip de traductor de deplasare pe principiul capacitiv, dezvoltat de compania LDT Electronics Ltd, cu reprezentanțe atât în Canada, cât și în Marea Britanie [R1], ale cărui caracteristici sunt prezentate mai jos:

Tabelul 1.2.6 Caracteristicile tehnice ale traductoarelor de deplasare SensaGap

Seria traductorului	SensaGap 2.5; 5; 10; 20			
Domeniul de măsurare [mm]	2,5	5	10	20
Dimensiunile carcasei [mm]	60,5 x 28 x 5	60,5 x 28 x 5	73 x 48 x 6	74 x 74 x 6
Greutatea [g]	26	26	42	70
Tensiunea de alimentare [V]	15			
Tensiunea de ieșire [V]	0 ÷ 3			
Lungimea cablului de conectare [m]	2			

⁵ prin *regim de măsurare* se înțelege regimul vitezelor de antrenare a pieselor în postul de control, în timpul procesului de măsurare dimensională, în cazul în care aceasta se face dinamic

1.2.4.3 Modulele de control cu traductoare incrementale

Acestea folosesc în structura lor traductoare de deplasare liniare sau de rotație de tip codificator, cu semnal numeric.

Compania germană *HEIDENHAIN* produce o gamă foarte largă de codificatoare liniare și rotative, respectiv senzori și traductoare de deplasare incrementale, având la bază principiul optic [H5]. În figura 1.2.5 sunt prezentate astfel de traductoare.

Citirea datelor de la traductor se poate face pe un sistem de afișare specific, numit counter card, care poate fi livrat împreună cu traductorul. Acesta poate fi conectat la calculator, în vederea măsurării asistate.



Fig. 1.2.5 Traductoare liniare de deplasare HEIDENHAIN [H3], [H4], [H10]

1.2.4.4 Modulele de control cu traductoare optice

Traductoarele de deplasare pe principiul optic au în structura lor elemente optice cum ar fi sursele luminoase sau sursele LASER. Caracteristica de bază a acestora este faptul că principiul de măsurare este fără contact cu suprafața obiectului [L1], [Ț1].

Compania OMRON din Japonia, specializată în componente electronice de automatizare, dar și în sisteme de măsurare dezvoltă astfel de traductoare de deplasare, atât cu surse de lumină de tip led, cât și cu surse LASER [O5], [O6], [O10]. În figura 1.2.6, a) este prezentat un traductor optic de deplasare, din seria Z4W-V25R, caracteristicile sale tehnice fiind prezentate în tabelul 1.2.7.



Fig. 1.2.6 Traductoare de deplasare pe principiul optic, dezvoltate de compania OMRON
a) - seria Z4W-V25R; b) - seria ZX - LD40

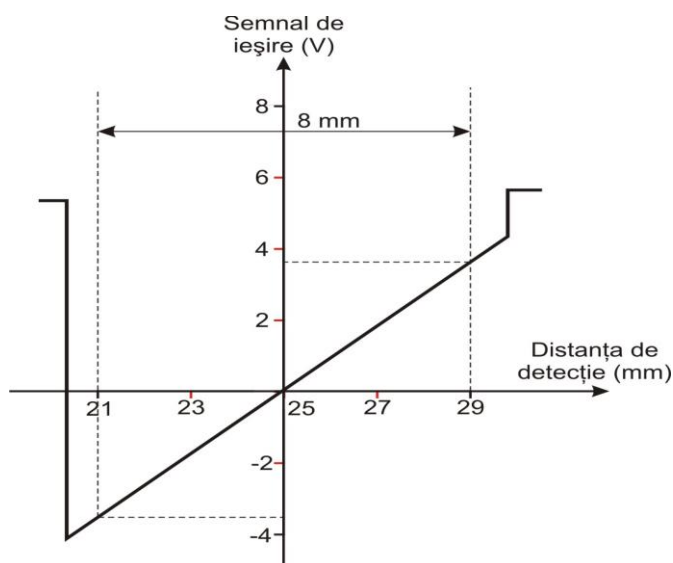


Fig. 1.2.7 Caracteristica de liniaritate a traductoarelor optice de deplasare OMRON, seria Z4W-V25R [B23]

Aceste traductoare sunt livrate împreună cu un sistem de afișare numerică ce poate fi programat, iar pentru alimentare se folosește un redresor. Cuplarea acestor traductor se poate face printr-o interfață serială RS – 485. Caracteristicile de liniaritate ale acestui tip de traductor sunt prezentate în figura 1.2.7 [B23].

Tabelul 1.2.7 Caracteristicile traductoarelor optice de deplasare, OMRON, din seria Z4W-V25R

Seria traductorului	OMRON, seria Z4W-V25R	
Domeniul de măsurare [mm]	± 4	
Distanța optimă de măsurare [mm]	25	
Natura sursei luminoase	LED cu emisie de radiație de culoare roșie	
Rezoluția de măsurare [mm]	0,01	
Tipul semnalului de ieșire	semnal analogic, în curent continuu	
Nivelul tensiunii de ieșire [V]	1 ÷ 5	
Amperajul semnalului de ieșire [mA]	4 ÷ 20	
Tensiunea de alimentare [V]	12 ÷ 24, în curent continuu	
Consumul de curent [mA]	max 80	
Rezistența la vibrații [*g]	până la 30, timp de 15 minute, pe toate cele 3 axe	
Rezistența la șoc [*g]	până la 50g, de 3 ori, pe toate cele 3 axe	
Temperatura de lucru [°C]	-10 ÷ 55	
Umiditatea [%]	35 ÷ 85	
Greutatea [g]	fără cablu de alimentare	cu cablu de alimentare
	50	150
Lungimea cablului de alimentare [m]	5	

Un alt tip de traductor de deplasare fără contact, produs tot de compania japoneză OMRON este cel din seria ZX-LD40 (figura 1.2.8, b). Acesta se caracterizează prin faptul că are în componența sa o sursă de emisie-recepție LASER, intensitatea fascicolului fiind direct proporțională cu distanța până la

suprafața măsurată [A5], [C4], [B15]. Acesta este prevăzut cu un sistem de afișare a stării de funcționare, în funcție de încadrarea sa în domeniul de măsurare. Caracteristicile tehnice și funcționale ale acestui tip de traductor sunt prezentate în tabelul 1.2.8. Și aceste traductoare sunt livrate împreună cu sistemul de afișare, programabil, respectiv cu interfața serială RS – 232 pentru comunicarea cu calculatorul (figura 1.2.8).

Tabelul 1.2.8 Caracteristicile traductoarelor de deplasare, OMRON, cu sursă LASER din seria ZX-LD40

Seria traductorului	OMRON, seria ZX – LD40	
Domeniul de măsurare [mm]	± 4	
Distanța optimă de măsurare [mm]	38,5	
Natura sursei luminoase	Emitor cu sursă LASER	
Diametrul spotului [mm]	0,2	
Rezoluția de măsurare [mm]	0,001	
Temperatura de lucru [°C]	-10 ÷ 60	
Umiditatea [%]	35 ÷ 85	
Greutatea [g]	fără cablu de alimentare	cu cablu de alimentare
	35	85
Lungimea cablului de alimentare [m]	5	

La acest tip de traductor cu sursă LASER, compania OMRON a dezvoltat sistemul software *Smart 3* pentru achiziția de date de la traductor în timp real. Acesta este livrat împreună cu traductorul. Interfața software *Smart 3* este prezentată în figura 1.2.8, avantajele acesteia constând în faptul că măsurarea se poate face asistat de calculator, în timp real, iar datele pot fi salvate în fișiere EXCEL. Datele obținute nu pot fi interpretate ca atare, ele trebuind să fie prelucrate ulterior [07].

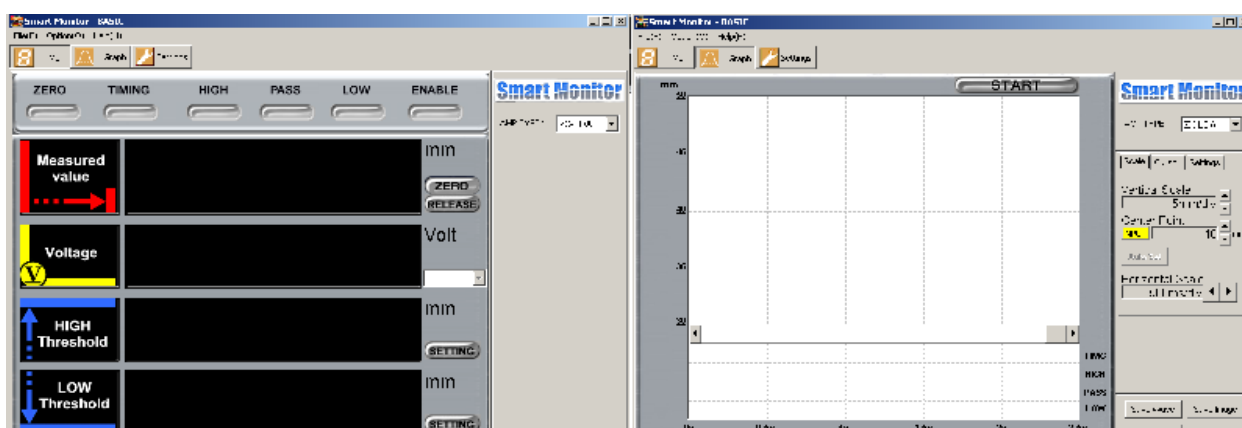


Fig. 1.2.8 Ferestrele de dialog ale softului *Smart 3*, livrat împreună cu traductorul

Prima fereastră de dialog permite stabilirea parametrilor de măsurare, cum ar fi stabilirea unităților, a rezoluției, a toleranțelor etc., iar cea în cea de a doua fereastră se comandă rularea pentru un ciclu de măsurare, cu posibilitatea afișării grafice a valorilor instantanee⁶.

⁶ valorile instantanee măsurate se referă la valorile măsurate la un moment dat, în timpul procesului

1.2.5 Modulele de control prevăzute cu aparatură și sisteme complexe de măsurare

În structura posturilor de control de la nivelul liniilor de fabricație se folosesc uneori și sisteme complexe de măsurare dedicate, adaptate pentru un anumit parametru dimensional sau de suprafață ce trebuie măsurat. În general aceste sisteme sunt prevăzute cu sisteme software specifice aplicației în care acestea sunt folosite [M1], [M4].

Compania MARPOSS a dezvoltat un post de control multicotă⁷, din gama Quick Read. Acesta are în componență un ansamblu de traductoare inductive de deplasare, cu afișaj numeric, pentru fiecare dimensiune în parte. Acest post de măsurare se pretează foarte bine la măsurarea dimensiunilor exterioare ale pieselor de revoluție [M2].

Avantajele acestui post de control sunt următoarele:

- vizibilitate excelentă a rezultatelor;
- facilități de programare; prin intermediul tastaturii integrate, este posibilă programarea unității de măsură și control, a pragurilor de toleranță, a scării analogice, a rezoluției corespunzătoare, și a formatului datelor pentru transmiterea serială a acestora etc.;
- ușurință în transmiterea și prelucrarea datelor; datele pot fi transmise către exterior prin intermediul unei interfețe seriale de ieșire RS – 232, pentru prelucrarea statistică a valorilor pe un PC, pe aparate și sisteme pentru achiziția de date sau pe imprimante statistice.

Caracteristicile tehnice și funcționale ale sistemului de măsurare MARPOSS Quick Read sunt date în tabelul 1.2.9.

Tabelul 1.2.9 Caracteristicile sistemului de măsurare MARPOSS Quick Read .[M2]

Tipul echipamentului de măsurare	MARPOSS Quick Read
Tensiunea de alimentare [V]	7 ÷ 9 în C.C
Ieșirea serială	interfață RS-232
Temperatura optimă de funcționare [°C]	- 40 ÷ 50
Modul de afișare	digitală și analogică
Rezoluția de măsurare [mm]	0,001 mm
Tipul de afișare digitală	pe 8 caractere alfanumerice
Scara de afișare [mm]	0,010; 0,020; 0,050; 0,100; 0,250; 0,500; 1,000; automat
Rezoluția de afișare analogică	1/10 din valoarea programată a de scării de la 0,001 mm la 0,100 mm
Tipul de afișare analogică	afișarea sub formă de leduri pe trei culori (verde, galben și roșu)
Precizie de măsurare	± (1% din valoarea citită + rezoluția)

⁷ prin control multicotă se înțelege măsurarea simultană a mai multor parametri geometrici ai unui reper

Tabelul 1.2.9 Caracteristicile sistemului de măsurare MARPOSS Quick Read .[M2]

Tipul echipamentului de măsurare	MARPOSS Quick Read
Eroarea de măsurare cauzată de abateră de la temperatura optimă de lucru [$\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$]	0,25
Transmiterea datelor	în format ASCII sau în cod binar
Coeficientul de multiplicare a valorii măsurate	valoare de la -2 la +2 pentru fiecare pas de 0,01 mm
Cursa capului de măsurare [mm]	1,5 (reglabilă)
Domeniul de măsurare [mm]	± 1
Vârful de palpare	interschimbabil, $\varnothing 3$, material: carbură
Presiunea de măsurare [N/mm]	0,8

Compania germană Helios Messtechnik GmbH & Co, Niedernhall, produce standurile de măsurare HELIO-RONDO (figura 1.2.9) folosite pentru măsurarea parametrilor geometrici ai arborilor, cum ar fi abateri de formă, băți axiale sau radiale [M13].

Acest stand complex de măsurare are în componență următoarele subansambluri:

- sistemul de măsurare;
- sistemele de ghidaj ale capului de măsurare;
- sistemul de fixare-centrare al arborilor;
- sistemul de comunicare cu utilizatorul;
- sistemul de afișare [H7].



Fig. 1.2.9 Standul complex de măsurare HELIO – RONDO [M13], [H7]

Sistemul de măsurare presupune un subsistem de măsurare a lungimilor și un subsistem de măsurare a diametrelor. Subsistemul de măsurare a lungimilor presupune un sistem de palpare ce se poate adapta în funcție de parametrii măsurați. Sistemele de palpare folosite sunt interschimbabile, ele putându-se monta în funcție de parametrul geometric măsurat. În figura 1.2.10, b) este prezentat un sistem de palpare la stânga umărului unui arbore, în figura 1.2.10, c) este prezentat un sistem de măsurare a unui canal practicat în arbore, iar în figura 1.2.10, d) este prezentat un sistem de palpare la dreapta a umărului unui arbore.

Sistemul de măsurare a diametrelor DMS 100-R permite nu doar măsurarea diametrelor, ci și a cilindricității și a razei. Suportul dispozitivului de măsurare DMS-R este acționat de un motor ce

realizează presiunea de măsurare stabilită de utilizator, după nevoie. Acest lucru asigură precizia de reproducere a valorilor măsurate. Plaja de măsurare fiind de 100 mm, acest lucru permite măsurarea diametrelor cuprinse între 0 și 100 mm [M2] Rezultatele obținute pot fi listate prin acționarea butonului „Imprimare.” Acest stand permite măsurarea variației de diametru pe un tronson de arbore, prin acționarea manuală sau automată a unui culisor ce deplasează sistemul de palpate de-a lungul treptei de arbore. Avantajul acestui sistem de măsurare constă în faptul că, datorită faptului că palpatorii sunt interschimbabili, se pot măsura mai mulți parametri geometrici ai unui arbore.

Un parametru important al procesului de prelucrare este calitatea suprafeței reperelor componente ale produselor. Din acest motiv s-au dezvoltat și optimizat echipamente pentru măsurarea rugozității. Compania TAYLOR – HOBSON Limited (Anglia), având reprezentanțe în Europa (Anglia, Franța, Germania, Austria, Spania, Italia), America de Nord (Statele Unite), America de Sud (Brazilia), Asia (China, Korea, Japonia), a conceput și realizat aparatura TALYSURF Intra pentru controlul rugozității suprafețelor (figura 1.2.9) [T3].



Fig. 1.2.10 Exemple de sisteme TALYSURF pentru controlul rugozității suprafețelor: a) prin contact; b) pe principiul optic [T3], [Z4]

În tabelul 1.2.10 sunt prezentate caracteristicile funcționale și tehnice ale unui traductor inductiv prin contact, din componența aparaturii TALYSURF care permite măsurarea rugozității și a abaterilor de formă [K1].

Tabelul 1.2.10 Caracteristicile tehnice ale rugozimetrului TALYSURF

Tipul standului de măsurare	TALYSURF Intra
lungimea de măsurare [mm]	poate varia de la 0,1 la 50
viteza de măsurare [mm / s]	1
Cursa totală a traductoarelor [mm]	1
Cursa activă a traductoarelor [mm]	0,2
Rezoluția de măsurare a traductoarelor [nm]	16
presiunea de măsurare a palpatoarelor [N/m ²]	variază de la 0,7 la 1
vârful de palpate	din diamant, de formă (semi)sferică, cu raza de 2 μm
lungimea unității de palpate (traductor standard + palpator) [mm]	535 când palpatorul este retras și 585 când acesta este în poziție avansată;

Tabelul 1.2.10 Caracteristicile tehnice ale rugozimetrului TALYSURF

Tipul standului de măsurare	TALYSURF Intra
dimensiunile unității de palpate [mm]	116 x 160
greutatea unității de palpate [kg]	6 (cu baterii de alimentare) și 4,9 (fără baterii de alimentare)
greutatea modulului de comandă [kg]	1,9 (cu baterii) și de 1,5 (fără baterii)
alimentarea cu energie electrică	110 V, 220 V sau 240 V, cu ajutorul unui adaptor de joasă tensiune (furnizat împreună cu aparatura), sau, opțional, cu ajutorul baterii reîncărcabile de 6V, cu timpul de încărcare de 2 ore.
Frecvența de alimentare [Hz]	50 sau 60

Sistemul software asociat aparaturii este puternic și ușor de folosit, fiind livrat împreună cu aparatura. Datele măsurate și înregistrate pot fi stocate într-o arhivă, ele putând fi, dacă este necesar, analizate ulterior [C6].

Ecranul tactil VGA permite navigarea, prin folosirea mai multor meniuri care permit foarte rapid și ușor efectuarea unei măsurători sau a unei etalonări, precum și configurarea și controlul instrumentului de măsură, asistat de o analiză a măsurării.

Avantajele acestui tip de aparat sunt enumerate mai jos:

- aparatura TALYSURF permite măsurarea în orice condiții ale încăperii și ale standului;
- analiza rezultatelor se poate face imediat sau ulterior;
- modulul de comandă este compact, lejer și robust;
- întregul sistem este portabil și poate fi montat pe un banc de lucru; aceasta înseamnă că aparatura prezentată mai sus poate fi folosită și adaptată ca post de măsură și control în liniile flexibile de fabricație, precum și în sistemele automate de control [T3].

Aceeași companie, TAYLOR – HOBSON (Anglia), în ultimele două decenii, a dezvoltat standurile de măsurare și control TALYROND, pentru determinarea abaterilor de formă ale pieselor de revoluție (în special, arbori și rulmenți). Parametrii mășurați cu acest sistem sunt abaterile de formă a pieselor de revoluție: abaterea de cilindricitate, paralelism, concentricitate, coaxialitate, bătaii frontale, radiale etc. Caracteristicile tehnice sunt prezentate în tabelul 1.2.11.

Funcțiile sistemului sunt următoarele:

- analiza completă a formei;
- comandă PC ce se realizează integral automat sau interactiv;
- învățarea sub formă de algoritm a secvențelor de măsurare;
- mișcarea după o direcție vectorială a captorului, cu reglaj automat a vitezei de apropiere de suprafața piesei;
- programarea rapidă a fixării/centrării în standul de măsurare, a diferitor tipuri de repere.

Sistemul software cu care este livrat sistemul de măsurare este foarte performant fiind pilotat de meniuri de navigare și operare. Prin aceasta se asigură o mare ușurință a programării măsurării asistate de PC, fără a fi necesare cunoștințe de specialitate în informatică. Conceperea programelor în vederea măsurării în linie sau în afara liniei de producție se face foarte simplu și permite automatizarea

funcționării, precum și mărirea capacității de funcționare a instalației și micșorarea duratei controlului global.

Tabelul 1.2.11 Caracteristicile tehnice și funcționale ale sistemului de măsurare TALYROND 400 [T4]

Tipul standului de măsurare	Sistem automat de control TALYROND 400
Capacitatea de măsurare	<ul style="list-style-type: none"> - diametrul maxim al măsurandului: 450 mm; - greutatea maximă a măsurandului: 225 Kg; - înălțimea maximă a măsurandului: 1000 mm până la 1500 mm; - momentul încărcării mesei de lucru: 22,5 daN . m
Masa de lucru și sistemul de fixare/centrare	<ul style="list-style-type: none"> - diametrul mesei de lucru: 450 mm; - viteza de rotație a mesei de lucru: 0,6; 1; 2; 6 rotații / min; - plaja de centrare a piesei: ± 5mm; - limita abaterii de la circularitate: 0,05 μm; - rezoluția de măsurare. 2,9 mrad
Modulul pentru asigurarea corectitudinii dispunerii verticale a piesei	<ul style="list-style-type: none"> - lungimea de măsurare: 1000 mm ÷ 1500 mm; - viteza de deplasare: (0,5 ÷ 20) m/s; - paralelismul față de axa sistemului de fixare/ centrare: 10 μm; - precizia de comandă a poziției: ± 20 μm pentru o singură mișcare; - incertitudinea măsurării lineare: ± 5 μm; - rezoluția de măsurare: 1 μm
Brațul radial, acționat de motorul pas cu pas	<ul style="list-style-type: none"> - lungimea de măsurare: 300 mm; - viteza de deplasare: (0,5 ÷ 20) m/s;
Traductorul	<ul style="list-style-type: none"> - lungimea brațului de palpate standard: 100 mm; - plaja de deplasare a tijei palpatoare: 2 mm
Eroarea de măsurare pe direcție lineară și radială	<ul style="list-style-type: none"> - față de diametre – etalon de 40 mm ÷ 50 mm: ± 2 μm; - față de diametre – etalon de 50 mm ÷ 100 mm: ± 4 μm; - față de diametre – etalon de 100 mm ÷ 150 mm: ± 6 μm; - față de diametre – etalon de 150 mm ÷ 200 mm: ± 8 μm;
greutate totală	3500 kg
Dimensiuni de gabarit	920 mm x 1400 mm x 2310 mm

Sistemul software permite măsurări asistate de calculator, în urma cărora se pot obține hărți tridimensionale ale geometriei reperului măsurat (vezi figura 1.2.11). Prin utilizarea acestuia, se pot apela mai multe funcții legate de măsurarea și controlul suprafețelor, cum ar fi trasarea cilindricității sub formă de rețea. Această reprezentare de date legate de cilindricitate permite utilizatorului să facă o apreciere totală și practică a rezultatelor. La utilizarea aplicației software, se pot defini 20 de plane de măsurare, cu posibilitatea alegerii numărului de „puncte de date” afișate. Avantajele majore ale acestui sistem de măsurare constau în faptul că se pot măsura asistat de calculator, în timp real, abateri ale parametrilor geometrici de formă pentru repere complexe, obținându-se rapid toate informațiile utile privind reperul testat. Principalul inconvenient constă în

prețul de cost foarte ridicat, ce se apropie de cel al unei mașini de măsurare în coordonate. Din cauza acestui fapt, folosirea acestor sisteme nu se justifică decât în cazul măsurării foarte precise a unor re-perere complexe cum ar fi, de exemplu, cele ce intră în componența motoarelor de autovehicule.

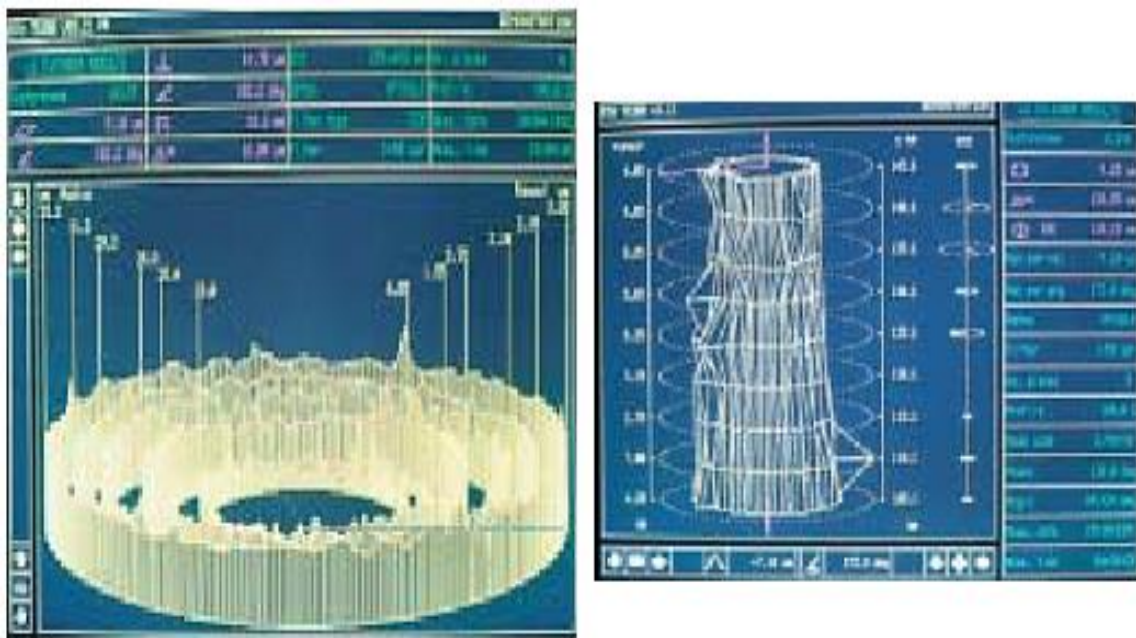


Fig. 1.2.11 Generarea hărților 3D ale abaterilor de formă, în urma măsurării asistate de calculator prin intermediul sistemului software

Compania SATIMAGE (Franța) dezvoltă, începând din anul 2002, sisteme de măsurare prin achiziția de imagini, bazate pe principiul video pe baza inspecției dimensionale de precizie.

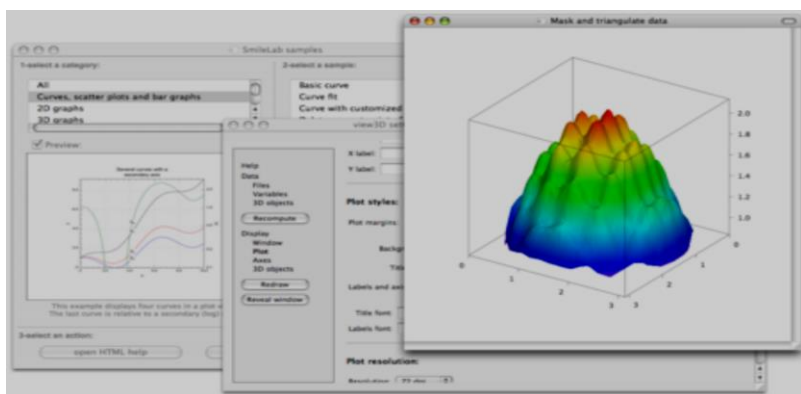


Fig. 1.2.12 Exemplu de imagine 3D a unei suprafețe scanate prin intermediul protocolului SmileLab, dezvoltat de către compania franceză SATIMAGE [S12]

Acest stand de măsurare se poate instala în ateliere sau pe linii automatizate de producție, fiind adaptabil la toate tipurile de mașini de măsurare dimensională (figura 1.2.12) [S1], [S12].. Principalul avantaj ale acestor sisteme de măsurare constă în faptul că poate fi implementat și în cadrul marilor companii, în cadrul fluxului tehnologic de producție, la automatele de inspecție dimensională.

Acest fapt se datorează flexibilității sale pentru diferite tipuri și game dimensionale de piese, cât mai ales posibilității acestuia de a fi programat pentru diferite funcții de măsurare, înregistrare, listare, aceste programe putând fi stocate în memoria PC-ului. Un alt avantaj se referă la precizia bună de măsurare.

Micrometrele, bazate pe principiul LASER, Benchmike, din seria 283, au fost dezvoltate de către compania BETA LaserMike, cu reprezentanțe în mai multe continente: SUA, Asia, Europa. Acestea se compun dintr-un sistem de emisie, un sistem de recepție, un procesor electronic și un sistem de afișare cu ecran tactil, toate aceste componente fiind încorporate într-o aceeași unitate. Sistemul de emisie generează un fascicul LASER fin, de viteză înaltă, în calea acestuia fiind plasat obiectul supus măsurării. Piesa proiectează o umbră, mărimea umbrei furnizând informațiile necesare măsurării și controlului (vezi figura 1.2.13).

Semnalul dat de radiația LASER întreruptă de umbra obiectului ce atinge receptorul este folosit pentru calcularea distanței dintre marginile umbrei proiectate. [B24]. Aceste date dimensionale sunt imediat afișate și pot fi transmise unui calculator pentru o prelucrare ulterioară. Aparatul permite atât măsurări de lungimi, cât și de diametre interioare și exterioare; avantajul constă într-o mare flexibilitate datorită măsurării nedestructibile a pieselor, care pot fi atât rigide, cât și deformabile.



Fig. 1.2.13 Fotografia micrometrului cu sursă LASER din seria 283, produs de compania BETA LaserMike [D1], [M15]

Dintre piesele deformabile se pot aminti cablurile de alimentare cu curent electric, sondele medicale etc [M24]. Caracteristicile tehnice sunt prezentate în tabelul 1.2.12.

Micrometrul Beta LaserMike reușește să reducă din complexitatea unui sistem de măsurare LASER fără contact de înaltă performanță, prin dotarea cu o interfață cu utilizatorul, ceea ce îi permite acestuia să realizeze programarea operațiilor de măsurare, control, etalonare etc. prin simpla atingere ușoară a ecranului. De asemenea, prin același procedeu se pot defini limitele de toleranță. Principalul avantaj al acestui tip de aparat constă în fiabilitatea și flexibilitatea aparatului.

Tabelul 1.2.12 Caracteristicile tehnice ale micrometrelor cu sursă LASER Bench Mike, seria 283 [B24]

Tipul și seria aparatului	Micrometru cu LASER BenchMike, seria 283
Greutatea [kg]	17
Dimensiunile de gabarit [mm]	245 x 635 x 228
Domeniile de măsurare [mm]	între 0,075 și 25,4, respectiv între 0,625 și 50
Domeniile de liniaritate [μm]	$\pm 0,25$ pentru primul domeniu de măsurare și $\pm 0,5$ pentru cel de al doilea domeniu de măsurare;
Diametrele fascicului LASER [mm]	0,125, respectiv 1,25
Viteza de propagare a radiației LASER [m/s]	50, respectiv 100
Viteza de baleiaj a capului de măsurare cu LASER [m/s]	100
Temperatura de lucru [$^{\circ}\text{C}$]	7 ÷ 36
Comenzile operatorului	tastatura ecranului tactil (3 taste principale)

Tabelul 1.2.12 Caracteristicile tehnice ale micrometrelor cu sursă LASER Bench Mike, seria 283 [B24]

Tipul și seria aparatului	Micrometru cu LASER BenchMike, seria 283
Sistemul de afișare	cu cristale lichide, cu rezoluția de 320 x 240, pe 256 de culori
Tensiunea de alimentare [V]	$U_a = 100 \div 240$, în curent alternativ
Frecvența [Hz]	50 ÷ 60
Puterea de alimentare [W]	100

Compania PACIFIC NANOTECHNOLOGY, cu reprezentanță în Canada, realizează microscopul atomic pentru controlul calității suprafețelor pentru piese de dimensiuni foarte mici [T7], [T10]. Acestea se pretează foarte bine în cazul tehnologiei MEMS [T1]. Un astfel de microscop atomic este prezentat în figura 1.2.14.

Principiul de funcționare al unui microscop atomic este similar cu cel al unui aparat de măsurare prevăzut cu vârf de palpăre. Diferența esențială este aceea că un microscop atomic măsoară neregularitățile ale suprafeței piesei mult mai mici decât în cazul sistemelor clasice de măsurare dimensională [P1]. Microscopul atomic are în componența sa un traductor ceramic pe principiul piezoelectric ce asigură mișcarea mecanică care ia naștere pe baza unei energii electrice. Această mișcare mecanică este transmisă unui braț de tip pârghie care are în capăt un vârf de palpăre nanometric, ce asigură o rezoluție de scanare foarte înaltă.

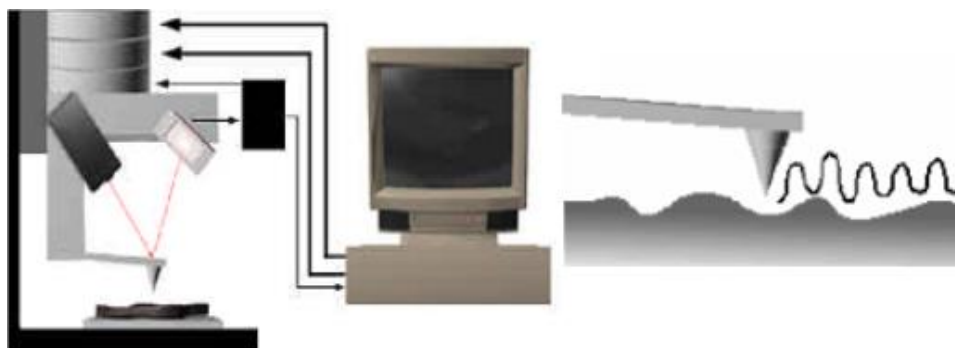


Fig. 1.2.14 Construcția microscopului atomic [A3]

Sursa LASER emite un spot pe suprafața brațului de scanare, care este reflectat sub diferite unghiuri, în funcție de micro-neregularitățile care modifică poziția vârfului brațului.

Spotul reflectat ajunge la nivelul unui foto-detector care sesizează deplasările fascicolului receptat pe fotodiodă [A3]. Prin monitorizarea deplasării și regimului vibratoriu al capului de măsurare, în funcție de micro-neregularitățile suprafeței obiectului, se poate obține o imagine tridimensională a suprafeței scanate [B14]. Caracteristicile tehnice ale microscopelor atomice sunt prezentate mai jos:

Tabelul 1.2.13 Caracteristicile microscopului atomic

Tipul aparatului	Microscop atomic
Lungimea brațului [μm]	100
Lățimea brațului [μm]	20
Grosimea brațului [μm]	1
Momentul de deformare al pârghiei [N m]	1

Avantajul folosirii microscopului atomic este acela că poate capta imagini ale unor obiecte miniaturale de dimensiuni foarte mici, acestea ajungând până la mărimea unui atom de carbon. Dimensiuni minime ale reperelor ce pot fi testate cu acest tip de aparat ajung la echivalentul mărimii secțiunii printr-un fir de păr [B32].

Dezavantajele acestor sisteme de măsurare constau în faptul că acestea pot fi folosite doar pentru o gamă relativ restrânsă de aplicații, unde sunt necesare scanări de precizie nanometrică a unor reperi cu dimensiuni de ordinul micrometrilor. Un alt dezavantaj al acestor sisteme este acela că ele sunt foarte sensibile, fiind foarte important ca vârful capului de măsurare să nu atingă deloc suprafața probei, deoarece aceasta se poate fisura, iar vârful capului de măsurare se poate rupe [A3].

1.3 PRIVIRE COMPARATIVĂ ASUPRA DIFERITELOR TIPURI DE ECHIPAMENTE DE MĂSURARE DIN MODULELOR DE CONTROL

1.3.1 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu structuri mecanice

Echipamentele de măsurare mecanice au ca avantaje:

- simplitatea constructivă;
- prețul de cost relativ scăzut;
- procesul de măsurare relativ simplu;
- constructiv se pot adapta relativ ușor la nivelul posturilor de control [F4].

Principalele dezavantaje întâlnite în cazul folosirii sistemelor de măsurare cu structuri exclusiv mecanice sunt următoarele:

- sistemele de palpate intră direct în contact cu piesele supuse măsurării, acest lucru putând conduce în timp la unele probleme privind procesul de măsurare: uzura capetelor de palpate în timp, deformarea locală a pieselor în punctul de măsurare. Aceasta este o deformare aparent neglijabilă (câteva zecimi de micrometri), dar ea poate pune probleme atunci când se urmărește obținerea unor precizii foarte mari (de exemplu în cazul măsurării abaterilor de formă a căilor de rulare a inelelor rulmenților);
- nu pot fi cuplate la sistemele de calcul și ca urmare, pentru prelevarea rezultatelor măsurărilor este nevoie de un operator care să întocmească fișe metrologice pentru reperatele testate; acest fapt conduce la o cadență scăzută a procesului de producție;
- introduc erori de măsurare instrumentale, generate de contactul dintre tija palpatoare și suprafața măsurată, care pot afecta rezultatul măsurării; imperfecțiunile aparatelor cu structuri mecanice care intră în structura posturilor de control sunt și ele răspunzătoare de apariția erorilor instrumentale.

Erorile instrumentale, ε_i pot fi erori de etalonare, ε_e , erori cauzate de forțele masice⁸ ($\varepsilon_{f.m}$), erori de aliniament⁹, (ε_{al}), erori de amplificare, ε_a , și erori de retroacțiune, (ε_r) [R5].

Relația de calcul a erorilor instrumentale este:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_e + \varepsilon_{fm} + \varepsilon_{al} + \varepsilon_a + \varepsilon_r. \quad (1.3.1)$$

⁸ for ele masice se referă la forțele dezvoltate de masele elementelor ce intră în componența aparatelor cu structuri mecanice;

⁹ erorile de aliniament sunt cauzate de erorile de poziționare a elementelor mobile ale aparatelor mecanice

Dezavantajele și limitele posturilor de control cu structuri exclusiv mecanice fac ca acestea să fie folosite din ce în ce mai rar.

1.3.2 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu structuri pneumatice

Principalele avantaje ale acestora sunt următoarele:

- simplitate constructivă;
- robustețe;
- rezistență la șocuri și vibrații;
- există variante constructive care permit măsurări fără contact direct cu piesa, ceea ce conduce la eliminarea dezavantajelor contactului direct asupra preciziei de măsurare;
- permit combinarea cu traductoare de deplasare pe principiul electric (rezistiv, capacitiv, inductiv) sau incremental;
- procesul de măsurare este simplu și eficient.

Unele dezavantaje fac ca aceste echipamente să nu fie foarte des utilizate în cadrul structurii automatelor de control. Aceste dezavantaje ar fi:

- timpul de răspuns este mare, ceea ce conduce la scăderea cadenței de măsurare și chiar la scăderea randamentului producției;
- este necesară în permanență verificarea etanșeității instalației pentru a se evita pierderile de aer, deoarece acestea pot conduce la variația presiunii jetului de aer la nivelul duzei de ieșire, ceea ce afectează precizia de măsurare;
- pe lângă verificarea instalației de producere și condiționare a aerului, mai este necesară și o întreținere periodică a acesteia (curățirea sau chiar schimbarea filtrului de aer, înlocuirea după caz a furtunurilor etc.).

1.3.3 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control prevăzute cu traductoare de deplasare electrice și optice

Avantajele folosirii traductoarelor de deplasare în structura modulelor de control sunt următoarele:

- rezoluția de măsurare este superioară față de modulele de control cu structuri mecanice și a celor cu structuri pneumatice;
- folosesc în componența lor elemente senzoriale a căror tendință este de miniaturizare;
- pot fi adaptate foarte ușor la calculatoarele personale sau la rețelele de calculatoare prin intermediul unor interfețe seriale, ceea ce presupune atât posibilitatea programării parametrilor ce trebuie măsurați, precum și o mai bună vizualizare a rezultatelor;
- permit relizarea de măsurători asistate de calculator, cu posibilitatea interpretării rezultatelor imediat după sau chiar în timpul procesului de măsurare; astfel timpii necesari procesului de inspecție dimensională, în raport cu informația utilă obținută sunt foarte convenabili și, mai mult, ritmul de producție nu este afectat [C8];
- soluția folosirii traductoarelor de deplasare în componența este una relativ ieftină comparativ cu varianta în care la nivelul posturilor de control se utilizează aparatură și sisteme de măsurare numerice complexe, deoarece aceasta include toată senzorică, palpatoarele de măsurare speciale, sistemele de interfațare hardware și software, toate acestea trebuind să fie strâns corelate;

- traductoarele de deplasare pot fi relativ ușor adaptate pentru diferite aplicații, ceea ce oferă posibilitatea folosirii lor în inspecția dimensională flexibilă¹⁰;
- în cazul folosirii traductoarelor optice de deplasare, pe principiul fără contact cu măsurandul există și posibilitatea inspecției dimensionale a reperelor confecționate din materiale deformabile; de asemenea acestea pot fi cu succes folosite în inspecția dimensională a reperelor folosite în microelectronică, precum și a pieselor confecționate din materiale ceramice sau alte materiale cu suprafață mată [A2], [B10], [G3], [M9], [M10], [R2].

Există însă și unele neajunsuri în cazul folosirii traductoarelor de deplasare, legate de electronica de adaptare:

- în cazul în care este necesară obținerea unor precizii de măsurare foarte înalte, acestea necesită elemente pentru condiționarea semnalului de ieșire (adaptoare, amplificatoare de semnal, sisteme de cuantificare a semnalului, sisteme de afișare etc.);
- traductoarele de deplasare ce funcționează pe principiul cu contact cu suprafața măsurată pot introduce unele erori instrumentale, ca și în cazul aparatelor cu structuri mecanice.

1.3.4 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu aparatură și sisteme complexe de control dedicate

Avantajele acestor sisteme se referă în special la:

- precizia și rezoluția înaltă de măsurare;
- posibilitatea măsurării unor repere cu geometrii complexe (de exemplu arbori cotiți, chiulase etc.);
- includ sisteme software complexe pentru măsurări asistate de calculator, capabile să realizeze statistici, rapoarte și listări ale rezultatelor;
- au propriul sistem de interfațare cu calculatorul, ceea ce face mai ușoară adaptarea lor.

Însă, deși performanțele acestor sisteme de măsurare sunt înalte, există o serie de motive pentru care acestea nu sunt folosite întotdeauna în structura modulelor de control. Acestea sunt:

- prețul de cost foarte ridicat (atât al sistemului de măsurare fizic, cât mai ales al licenței sistemului software cu care acestea sunt livrate);
- sistemul software nu permite realizarea inspecției dimensionale flexibile, excepție făcând mașinile de măsurare în coordonate, costul acestora fiind mai ridicat;
- în general, acestea sunt dedicate măsurării unui anumit parametru geometric, de cele mai multe ori construcția lor nepermițând o adaptare pentru măsurarea cu același sistem a mai multor parametri geometrici (excepție fac mașinile cu comandă numerică și mașinile de măsurare în coordonate);
- eventuala defectare a unor componente din structura lor ar conduce la costuri ridicate pentru repunerea în funcțiune a acestor sisteme de măsurare.

¹⁰ prin *inspecție dimensională flexibilă* se înțelege inspecția dimensională adaptabilă în funcție de parametrii geometrici necesari a fi măsuțați, după caz, acest proces putându-se realiza la nivelul aceluiași post de control.

Studiul de nivel efectuat conduce la concluzia că fiecare categorie de echipamente de măsurare are beneficiile și limitele ei. Din acest motiv se impune ca la proiectarea oricărui proces tehnologic să se facă o analiză pentru optimizarea controlului luând în calcul:

- forma , dimensiunile, materialul și calitatea suprafeței reperelor;
- precizia de fabricație și de control necesară și suficientă;
- mărimea seriei de fabricație;
- durata de pregătire a echipamentelor de control;
- costurile cu achiziționarea, adaptarea, întreținerea și repararea echipamentelor;
- durata și costul pregătirii personalului care efectuează controlul.

CAPITOLUL 2

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ ASISTAT DE CALCULATOR

2.1 AVANTAJELE IMPLEMENTĂRII INSPECȚIEI DIMENSIONALE ASISTATE DE CALCULATOR

În cadrul studiilor de cercetare doctorală s-a dezvoltat o aplicație software complexă, *Inspecția dimensională asistată, în regim dinamic, I.D.A.D.vi*, având drept scop optimizarea inspecției dimensionale flexibile asistate de calculator. Această aplicație a fost realizată în vederea creșterii eficienței procesului de control al calității, atât din punctul de vedere al obținerii și prelucrării datelor, cât și din punctul de vedere al diversității cazurilor în care metoda poate fi aplicată [C11]. Un alt avantaj îl constituie nivelul de costuri relativ scăzut, datorită faptului că pe standuri de măsurare sau linii tehnologice existente au putut fi dispuse echipamente de măsurare și interfețe hardware necesare controlului asistat de calculator în timp real. În acest fel costurile s-au redus doar la cele necesare echipamentului de măsurare și la sistemele de interfațare cu calculatorul.

Aplicația *I.D.A.D.vi* permite realizarea controlului asistat de calculator al oricărei piese simetrice de revoluție de tip arbore, inel de rulment, fulie, volant etc., respectiv a oricărei piese de translație de tip șină, ghidaj, sau orice piesă cu cel puțin o suprafață plană. De asemenea, prin acest program, utilizatorul își poate defini parametrii de măsurare. Aceștia se referă la: numărul punctelor echidistante din lungimea suprafeței măsurate, parametrii geometrici, cum ar fi diametrul sau lungimea generatoarei, în cazul pieselor de revoluție, respectiv lungimea suprafeței măsurate, în cazul pieselor de translație.

În acest scop s-a folosit mediul de programare grafică LabVIEW, pentru care există licență la nivelul Universității TRANSILVANIA Brașov. Denumirea LabVIEW reprezintă acronimul pentru grupul de cuvinte provenite din limba engleză: *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* și este un mijloc de programare destinat controlului, analizei și afișării datelor [C13]. Acest limbaj a fost dezvoltat de firma NATIONAL INSTRUMENTS, prima variantă apărând în anul 1983.

Mediul de programare LabVIEW se remarcă prin faptul că aplicațiile pot fi dezvoltate fie în scopul simulării unor procese sau fenomene, fie pentru controlul și eficientizarea unor procese în timp real. În acest caz, optimizarea proceselor se face prin intermediul plăcilor de achiziții de date numerice sau analogice, la care sunt cuplate mijloacele de măsurare [A4]. Acestea din urmă se referă în general la traductoare pentru măsurarea diferiților parametri fizici ai procesului analizat [B11], [J4].

Din punctul de vedere al modului de utilizare, mediul de programare grafică LabVIEW este structurat pe două ferestre de lucru: fereastra *Panel* (panou), în care se vizualizează grafic și/sau tabelar rezultatele obținute în timpul unui proces de simulare sau control, respectiv fereastra de programare de tip diagramă (*Diagram*). În această fereastră se face programarea unei aplicații, sub forma unui circuit cablat virtual, ce adresează diferite entități sau funcții.

Din punctul de vedere structural, aplicația *I.D.A.D.vi*, permite o optimizare a procesului de inspecție dimensională pe mai multe criterii. În figura 2.1.1 este prezentată structura arborescentă a programului *I.D.A.D.vi*, creat în Lab VIEW.

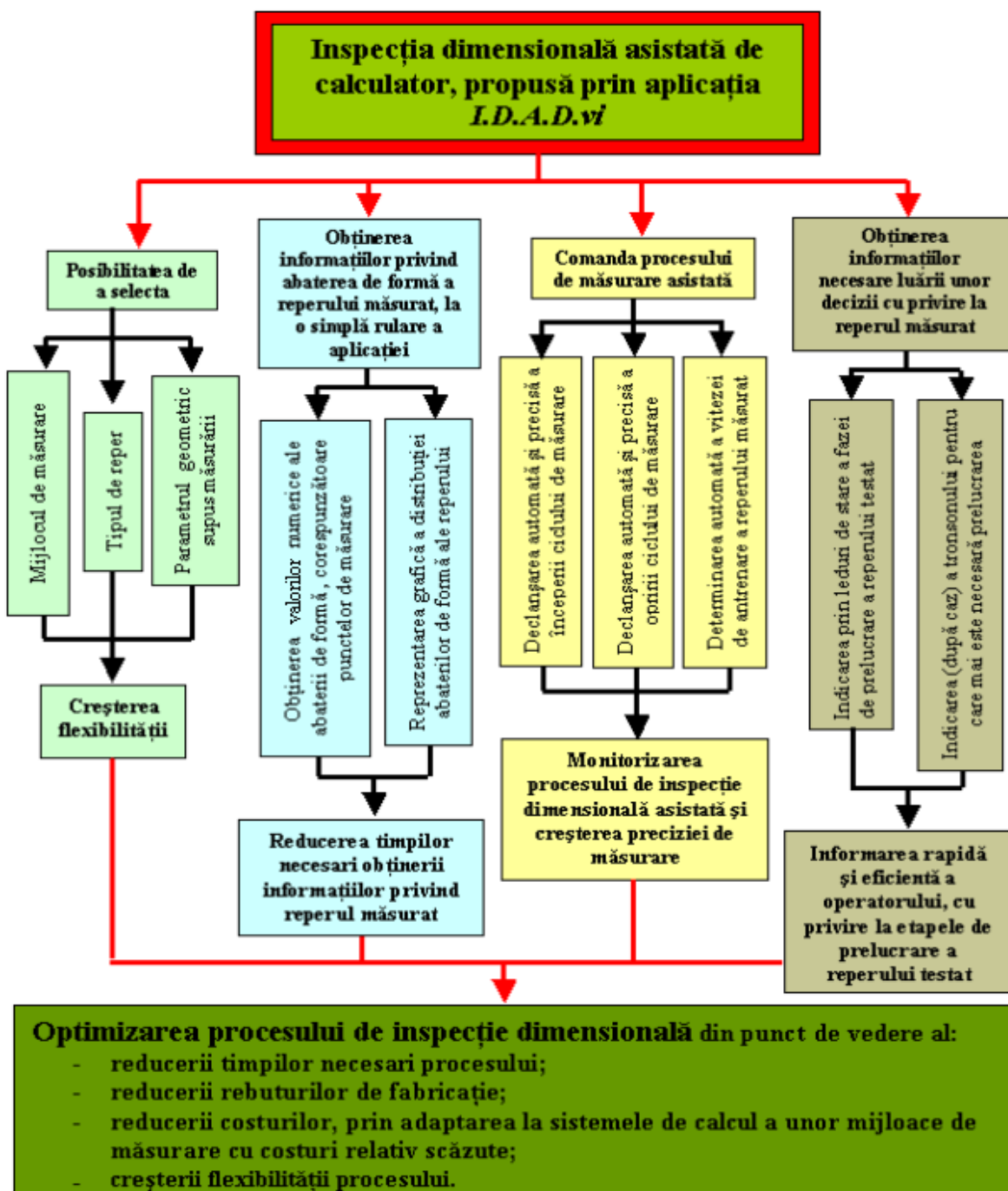


Fig. 2.1.1 Prezentarea structurală a aplicației LabVIEW I.D.A.D.vi, din punctul de vedere al optimizării procesului de inspecție dimensională

2.2 STABILIREA PARAMETRILOR DE MĂSURARE DE CĂTRE UTILIZATOR

Particularitatea acestui program creat în mediul *LabVIEW* este aceea că utilizatorul își poate alege mijlocul de măsurare potrivit în funcție de necesitate. Mijloacele de măsurare se referă la traductoare de deplasare ce pot fi cuplate la calculator, prin intermediul sistemelor de achiziție. Pe lângă tipul traductorului folosit, se pot stabili și parametri de achiziție ai acestora [B20], [L5]. Această aplicație

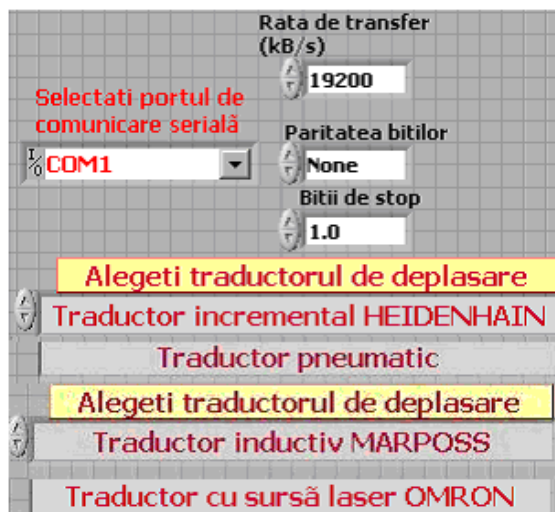
permite alegerea unuia dintre diferitele traductoare de deplasare ce pot fi folosite la măsurarea asistată.

În cadrul studiului realizat privind adaptarea la sistemele de calcul a mijloacelor de măsurare s-au folosit cinci tipuri de traductoare de deplasare, pe diferite principii. În cazul în care se aleg traductoarele inductive *HOTTINGER*, este necesară și alegerea seriei (figura 2.2.1), deoarece fiecare serie de traductor prezintă o altă caracteristică funcțională.



Fig. 2.2.1 Alegerea traductoarelor inductive de deplasare *HOTTINGER*

Dacă se optează pentru traductoarele inductive *MARPOSS* (figura 2.2.2, a), achiziția de date se face post proces, prin citirea lor dintr-un fișier obținut anterior. În acest caz nu este nevoie să fie definiți parametrii de achiziție. Același lucru este valabil și în cazul în care se aleg traductoarele de deplasare cu sursă LASER, *OMRON*, și aici datele fiind generate anterior. Deși cele două tipuri de traductoare sunt livrate împreună cu propriul lor sistem software, datele obținute în prima fază nefiind concludente în cazul proceselor de inspecție dimensională automatizată, este necesar ca acestea să fie preluate și prelucrate în aplicația *I.D.A.D.vi*.



a)



b)

Fig. 2.2.2 Panoul pentru alegerea traductorului de deplasare folosit la măsurarea asistată: a) vizualizarea și utilizarea în fereastra – panou; b) programarea grafică în fereastra - diagramă

În cazul în care se optează pentru folosirea traductoarelor incrementale de deplasare pe principiul optic HEIDENHAIN, trebuie specificați parametrii de comunicare cu calculatorul. Aceștia se referă nu doar la portul de comunicare, ci și la modul de achiziție a datelor (numărul biților de date, rata de transfer, paritatea biților etc.). Aceleași aspecte sunt valabile și în cazul folosirii traductoarelor pneumatice, deoarece semnalul pneumatic este transmis, prin intermediul unei membrane elastice, la traductorul de deplasare incremental HEIDENHAIN (figura 2.2.2). Corespondentul în fereastra-diagramă al controlului selectiv *Text Ring* pentru alegerea traductorului de măsurare este prezentat în figura 2.2.2, b). Acesta adresează mai multe cazuri, fiecare fiind atribuit unui tip de traductor [L6], [N1], [S4].

Pentru adresarea diferitelor cazuri, s-a folosit o structură de programare cazuală, selectorul (având aspectul unui semn de întrebare) fiind adresat de către entitatea selectivă pentru stabilirea traductorului de deplasare. Pentru fiecare caz în parte, în interiorul structurii de programare folosite s-a construit algoritmul de achiziție și prelucrare a semnalului de la traductor, astfel încât să se obțină valoarea deplasării măsurate (în exteriorul structurii). În cazul folosirii traductoarelor inductive de deplasare HOTTINGER, în interiorul structurii, pe lângă algoritmul de calcul al valorilor deplasării, în funcție de tensiune, s-a folosit o funcție pentru adresarea canalului analogic al plăcii de achiziție [Z2].

În cazul traductoarelor inductive HOTTINGER, s-a programat algoritmul de calcul a valorii deplasării în funcție de tensiunea de la traductor (figura 2.2.3) [B12]. Acest algoritm a fost stabilit pe baza caracteristicii în regim static a traductoarelor inductive HOTTINGER [B16]. Frecvența de tact a generării semnalelor de la traductor a fost stabilită în funcție de viteza de antrenare a piesei în postul de control. În acest scop s-a folosit o structură de tip secvențial, pentru generarea semnalelor, cu o întârziere prestabilită, după caz. Pentru aceasta, în interiorul structurii secvențiale s-a folosit o structură multicazuală *CASE*, având numărul de cazuri egal cu numărul vitezelor cu care se poate antrena piesa. În interiorul structurii s-a programat, pentru fiecare caz în parte, funcția de temporizare, *Wait Until Next ms Multiple*, durata fiind stabilită după caz. În acest mod s-a stabilit frecvența necesară de citire de la traductor, astfel încât numărul generărilor de date măsurate cu traductorul pentru un ciclu de măsurare să fie cât mai mare, indiferent de timpul unui ciclu de măsurare. Acest timp este dat de viteza de antrenare a piesei în postul de control.

Programarea algoritmului de calcul al valorii instantanee a deplasării s-a făcut folosind mai multe structuri booleene de tip comparativ, în care s-au definit coeficienții de corecție a valorii deplasării în funcție de zona din domeniul de liniaritate a caracteristicii acestor traductoare. Pentru obținerea în micrometri a valorii curente a deplasării, aceasta s-a înmulțit cu constanta 1000, tensiunea de la traductor fiind exprimată în volți.

Algoritmul de calcul este asemănător pentru două cazuri distincte, referitoare la două serii din aceste tipuri de traductoare; ceea ce diferă sunt doar coeficienții de corecție, în funcție de diagrama de liniaritate pentru fiecare serie de traductor. În acest scop, prima structură de programare este una de tip cazual și înglobează celelalte structuri booleene ale algoritmului de calcul. Valoarea curentă a deplasării este trecută printr-o buclă condițională de tip *WHILE – LOOP*, care generează o matrice de valori 1-D, aceasta fiind prelucrată în continuare astfel încât să se obțină un vector al cărui număr de valori să fie egal cu numărul punctelor de măsurare stabilite pe suprafața scanată [B3].

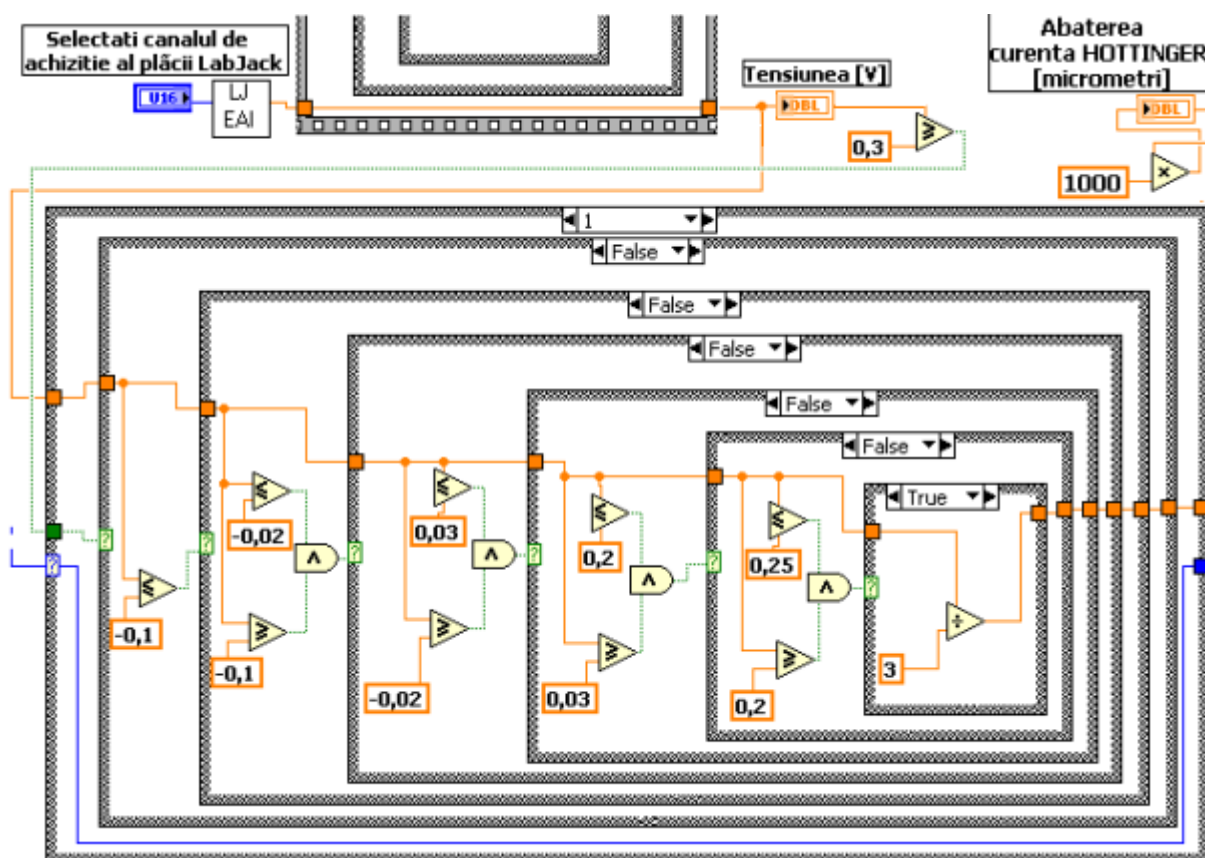


Fig. 2.2.3 Programarea grafică a algoritmului de calcul a deplasării curente, în funcție de tensiunea de la traductoarele inductive HOTTINGER

Poz curenta [mm]	Valorile abaterii [micrometri]
0	-1,09
15,25	-1,95
30,5	4,34

Fig. 2.2.4 Corespondența valorilor abaterii de formă raportate la coordonatele punctelor de măsurare

În dreptul vectorului de valori ale deplasării sunt afișate valorile coordonatelor punctelor de măsurare. Acestea pot fi exprimate fie în unități de lungime (milimetri), dacă piesa măsurată este una de translație, fie în grade, dacă piesa este de rotație (figura 2.2.4).

În cazul folosirii traductoarelor de deplasare incrementale pe principiul optic, HEIDENHAIN, algoritmul de calcul este mai simplu, deoarece aceste traductoare prezintă liniaritate pe întregul domeniu de măsurare. Acest algoritm este însă precedat de protocolul pentru achiziție, prin portul de comunicație serială al calculatorului.

Funcția principală pentru achiziția pe portul serial este *VISA Serial*, aceasta adresând toți parametrii de comunicație [N2]. Cel mai important parametru este portul de comunicație serială pe care se face citirea. Acesta trebuie să fie corect adresat și configurat, în caz contrar achiziția de semnale nefiind posibilă. Pe lângă acest aspect, trebuie corect specificate rata de transfer a semnalului și paritatea biților de date (figura 2.2.5) [B5], [D6] [Z1]. Semnalul de la traductor este citit la nivelul calculatorului, prin intermediul unei funcții speciale de citire, *VISA Read*, furnizând ca ieșire un semnal de tip șir de

caractere (*String*). În continuare, funcția *Convert String to Number* permite transformarea șirului de caractere în valori numerice, acestea fiind multipli ai valorilor abaterii curente. În acest mod s-a stabilit algoritmul de calcul al abaterii curente, prin împărțirea valorilor numerice la o constantă obținându-se valoarea curentă a abaterii. Procedeu de obținere a vectorului de valori ale abaterii pentru fiecare punct de măsurare este similar în cazul tuturor tipurilor de traductoare folosite. Ca și în cazul traductoarelor inductive HOTTINGER sau a traductoarelor pneumatice, între două citiri succesive de la traductor au loc temporizări, durata acestora fiind stabilită în funcție de viteza de antrenare a reperului supus măsurării. De exemplu, pentru o viteză de rotație de 22 rotații / minut s-a determinat o temporizare necesară de 8 milisecunde. Temporizările au fost stabilite empiric, prin încercări repetate, până la obținerea unor frecvențe optime de citire a semnalului de la traductor, în raport cu viteza de antrenare a piesei măsurate.

Semnalul de la traductor este citit la nivelul calculatorului, prin intermediul unei funcții speciale de citire, *VISA Read*, furnizând ca ieșire un semnal de tip șir de caractere (*String*). În continuare, funcția *Convert String to Number* permite transformarea șirului de caractere în valori numerice, acestea fiind multipli ai valorilor abaterii curente. În acest mod s-a stabilit algoritmul de calcul al abaterii curente, prin împărțirea valorilor numerice la o constantă, obținându-se valoarea curentă a abaterii. Procedeu de obținere a vectorului de valori ale abaterii pentru fiecare punct de măsurare este similar în cazul tuturor tipurilor de traductoare folosite.

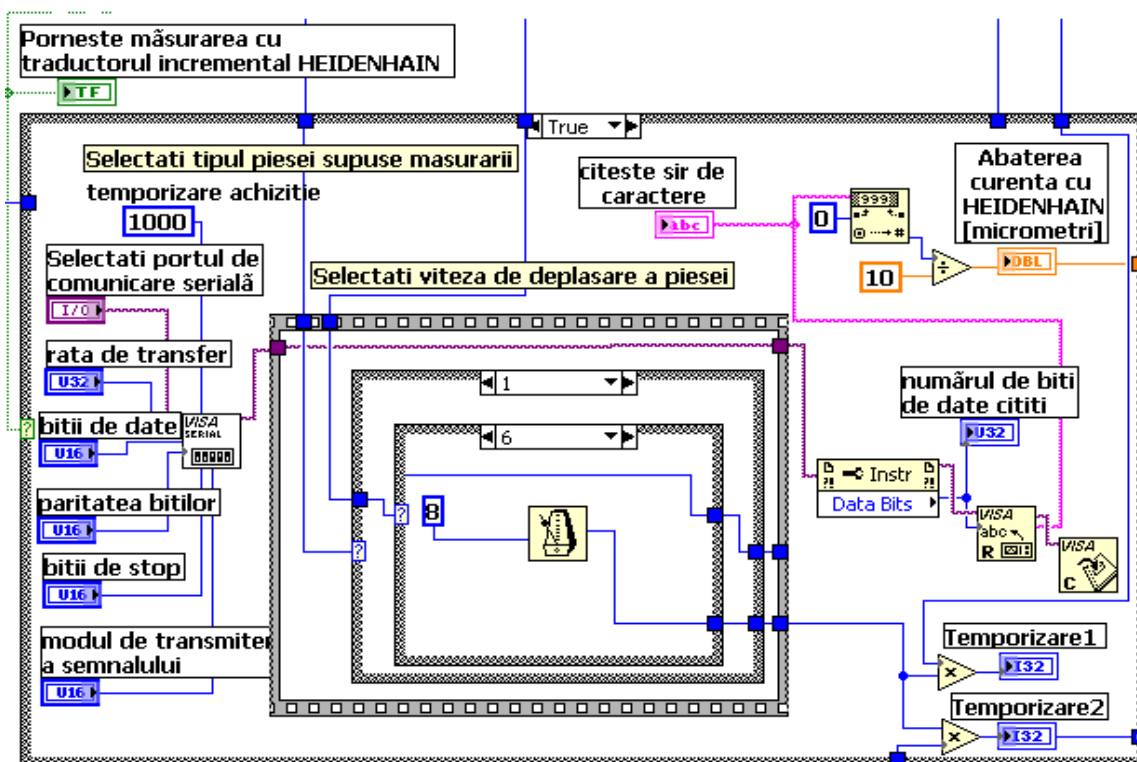


Fig. 2.2.5 Protocolul pentru achiziția de semnal și algoritmul de calcul al valorii instantanee a deplasării, în cazul măsurării cu traductoarele incrementale de deplasare

În cazul folosirii traductoarelor pneumatice, procedura de achiziție și prelucrare a semnalului este similară cu cea în cazul folosirii traductoarelor de deplasare incrementale. Deosebirea aici este că algoritmul de calcul diferă puțin, în funcție de caracteristica statică a traductoarelor pneumatice, care

este liniară doar pe aproximativ $15 \div 20\%$ din domeniul de măsurare. În acest caz, în afară de împărțirea valorii numerice inițiale la constanta de conversie în micrometri, s-a mai definit un algoritm de calcul ce ține seama de un coeficient de corecție, stabilit în funcție de caracteristica traductorului (figura 2.2.6). În acest scop s-a folosit o structură booleană *TRUE – FALSE*, la care s-a relaționat condiția ca valoarea curentă a deplasării citite de la traductor să fie pozitivă.

Protocolul de achiziție este asemănător cu cazul folosirii traductoarelor incrementale de deplasare, deoarece, în cazul de față, pentru ca procesul de inspecție dimensională să poată fi asistat de calculator, practic achiziția se face tot cu acest tip de traductor. Aceasta se explică prin faptul că la aparatul pneumatic *SUPERJET* (a cărei cameră de măsurare este în legătură cu traductorul pneumatic) s-a cuplat traductorul incremental *HEIDENHAIN*.

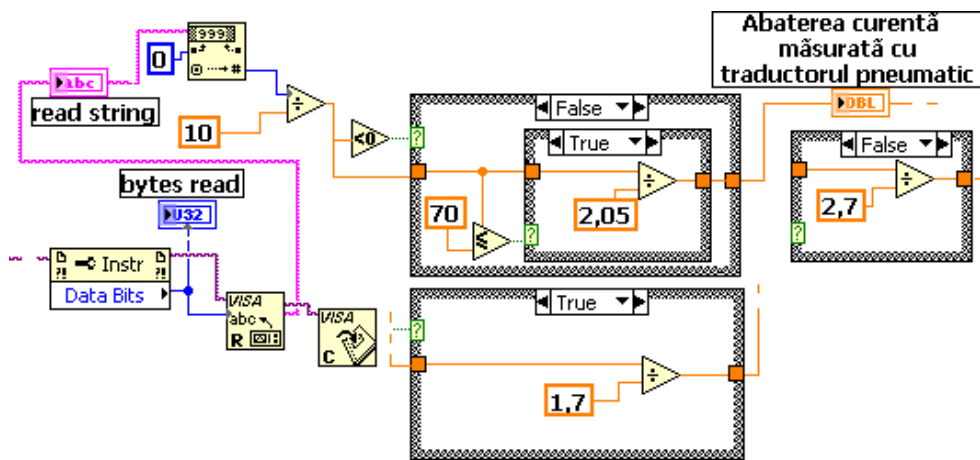


Fig. 2.2.6 Algoritm de calcul al abaterii în cazul folosirii traductoarelor pneumatice

Din punctul de vedere al optimizării procesului de control asistat, aplicația îi permite utilizatorului să aleagă viteza de antrenare a piesei supuse măsurării prin intermediul altui control selectiv text (figura 2.2.7). Prin acest selector se poate stabili viteza de antrenare atât în cazul pieselor de rotație, cât și în cazul celor de translație [B19]. Vitezele de antrenare definite în această aplicație s-au stabilit pe baza vitezelor reale de antrenare a reperelor măsurate, stabilite pe cale experimentală.

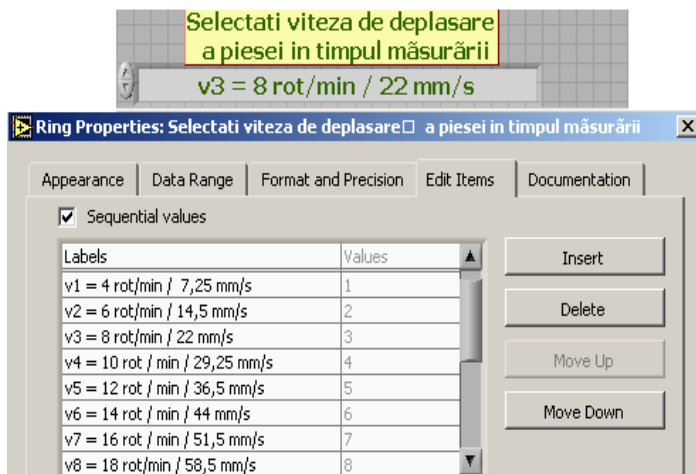


Fig. 2.2.7 Selector pentru alegerea vitezei de antrenare a piesei supuse controlului

Selectorul de tip text adresează câte o structură de tip multicazual pentru fiecare situație în parte (piesă de rotație sau de translație).

Structura cazuală exterioară este adresată de către selectorul pentru alegerea tipului de piesă, iar cea internă de către selectorul pentru viteza de antrenare. Pentru fiecare viteză în parte, empiric, s-a stabilit un număr de iterații ce reprezintă numărul de citiri de la traductor la un ciclu complet de rulare.

Ciclul a fost programat prin folosirea unei structuri condiționale repetitive, de tip *WHILE – LOOP*, în care se impune condiția ca oprirea acestuia să se facă numai atunci când indexul de citire a datelor de la traductor este egal cu numărul de iterații programat pentru regimul de viteză în cauză [U1]. Controlul selectiv de tip text pentru stabilirea tipului de piesă apare în fereastra panou sub forma prezentată în figura 2.2.8, a). Odată stabilit tipul piesei, utilizatorul poate stabili parametrul geometric supus inspecției dimensionale. Pentru aceasta s-a definit un alt control selectiv de tip text pentru alegerea parametrului de măsurat, astfel: în cazul pieselor de revoluție se poate măsura fie bătaia radială, fie cea axială, iar în cazul pieselor de translație se pune problema determinării abaterii de formă a suprafeței măsurate (figura 2.2.8, b).

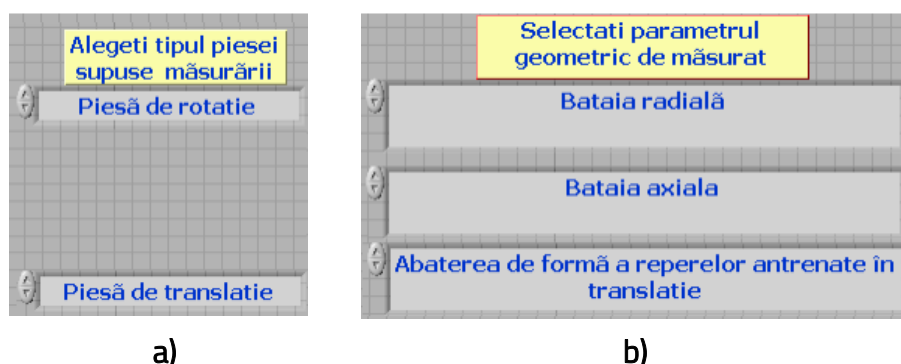


Fig. 2.2.8 Stabilirea tipului și a parametrilor geometrici ai reperului supus controlului: a)- stabilirea tipului de piesă care urmează a fi supusă măsurării dimensionale; b) - stabilirea parametrului geometric supus inspecției dimensionale

Pentru a crește și mai mult flexibilitatea aplicației *I.D.A.D.vi* s-au mai programat patru controale de tip numeric, prin care utilizatorul să poată stabili cotele dimensionale ale reperului (figura 2.2.9). Primii doi parametri se referă la piesele de revoluție, iar cel de al treilea la reперele de translație în componența unor produse finite.

Atât parametrii geometrici, cât și parametrii de cotă, stabiliți prin interfața cu utilizatorul, în fereastra panou, joacă roluri cheie în obținerea grafică a profilului geometric al reperului măsurat.

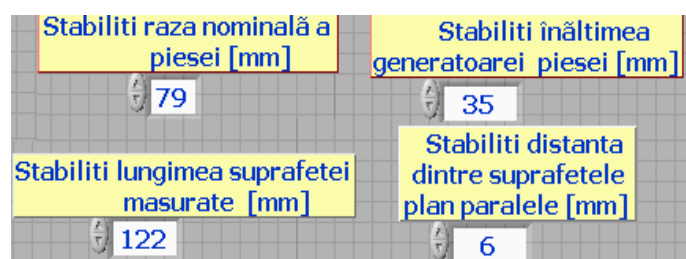


Fig. 2.2.9 Stabilirea cotelor dimensionale ale reperului supus controlului

Astfel, pentru stabilirea profilului, s-a folosit o structură multicazuală, pentru fiecare situație programându-se algoritmul de obținere grafică a profilului piesei. În cazul pieselor de revoluție, la măsurarea abaterii radiale, algoritmul de obținere a profilului piesei constă în definirea coordonatelor cercului ce descrie profilul nominal al reperului. Coordonatele cercului s-au obținut conform ecuațiilor (2.1).

$$\begin{cases} x_i = R \cdot \cos(\alpha_i), \\ y_i = R \cdot \sin(\alpha_i), \end{cases} \quad (2.2.1)$$

unde R reprezintă raza piesei, iar α_i este unghiul format de direcția razei ce unește centrul cercului nominal cu punctul curent de măsurare i cu proiecția razei pe axa OX . Suprapus peste profilul nominal s-a obținut profilul real, afectat de abaterile de formă (ecuațiile 2.2). Pentru trasarea axelor de simetrie s-a definit vectorii de coordonate ale acestora

$$\begin{cases} x_i = (R + \delta_i) \cdot \cos(\alpha_i), \\ y_i = (R + \delta_i) \cdot \sin(\alpha_i), \end{cases} \quad (2.2.2)$$

unde δ_i este abaterea de formă a reperului, pe direcția radială, pentru fiecare punct de măsurare în parte. Din punctul de vedere grafic, s-a folosit o funcție de multiplexare a celor două funcții ce descriu ecuațiile (3.1) pentru obținerea profilului nominal (figura 2.2.10, a) [T2].

În mod similar s-a procedat pentru obținerea profilului real. Pentru definirea coordonatelor axelor de simetrie s-au definit câte două perechi de valori de tip vector pentru fiecare axă de simetrie. Acestea au fost multiplexate câte două. Fiecare pereche de câte două valori, pentru profilul nominal, real și axele de simetrie, au fost, la rândul lor multiplexate, prin folosirea unei funcții de concatenare (*Build Array*) a trei matrice, reprezentând intrările într-o matrice de ieșire, a cărei ieșiri se leagă la indicatorul grafic pentru afișarea profilului piesei.

Dacă se dorește măsurarea abaterii axiale sau de formă, în cazul reperelor antrenate în translație (figura 2.2.10, b), algoritmul de programare este similar, cu deosebirea că ecuațiile de generare a profilului nominal și real sunt de forma (2.3).

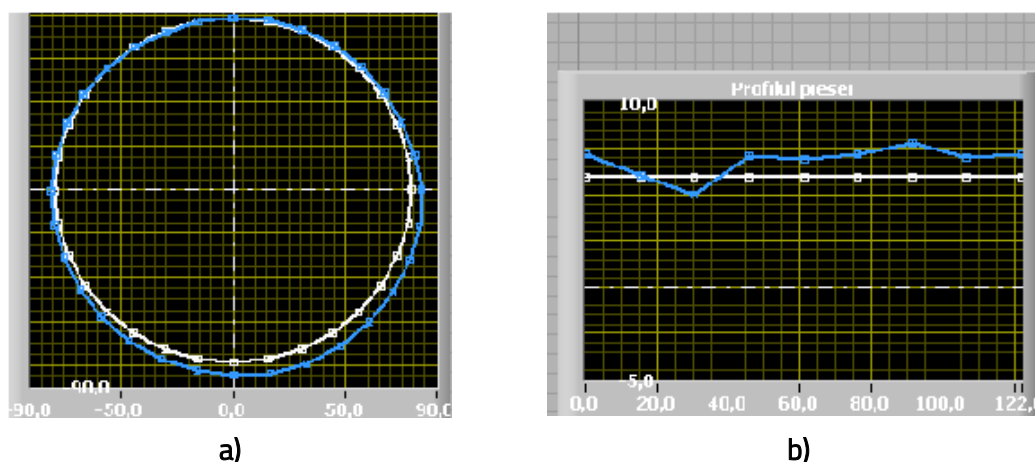


Fig. 2.2.10 Obținerea profilului nominal și a profilului real al reperului măsurat:
a- în cazul bătaii radiale; b - în cazul abaterii de formă a reperelor antrenate în translație

$$\begin{cases} y_i = h, \\ y_i = h_i + \delta_i, \end{cases} \quad (2.2.3)$$

unde h_i reprezintă cota pe direcția axei OY a punctelor de măsurare ce definesc profilul nominal.

Un alt parametru de măsurare pe care utilizatorul îl poate stabili se referă la rezoluția de măsurare¹¹. Pentru aceasta, utilizatorul poate stabili numărul punctelor dispuse echidistant pe suprafața măsurată, prin intermediul unui alt control selectiv, de tip text. În cazul aplicației *I.D.A.D.vi*, utilizatorul poate opta pentru 8, 16, respectiv 32 puncte de măsurare pe unitatea de lungime. În figura 2.2.11 este prezentat controlul selectiv pentru stabilirea rezoluției de măsurare.

¹¹ rezoluția de măsurare se referă la numărul măsurărilor realizate pentru o unitate de lungime sau de suprafață bine stabilită

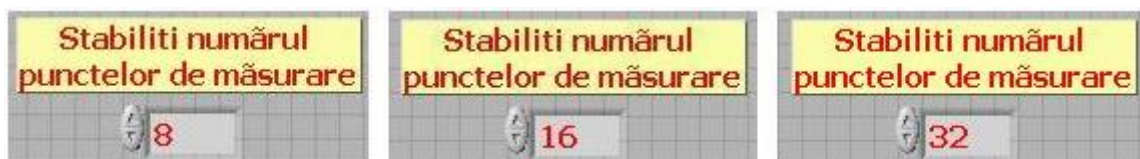


Fig. 2.2.11 Stabilirea numărului punctelor de măsurare pentru unitatea de lungime stabilită

2.3 PROGRAMAREA COMENZII DE MĂSURARE ASISTATĂ

În cazul folosirii traductoarelor de deplasare ce au permis inspecția dimensională în timp real s-a pus problema sincronizării procesului de măsurare dimensională cu cel de antrenare a reperului testat în postul de control. În acest context, aplicația a fost astfel concepută încât rularea acesteia să corespundă ca timp procesului de control în regim dinamic.

Din punctul de vedere al optimizării comenzii procesului de măsurare, un ciclu complet de măsurare a fost programat să se deruleze între două evenimente logice condiționate de activarea a doi senzori magnetici, amplasați astfel: primul de începutul și al doilea de sfârșitul lungimii de măsurare. Starea „1” logic a fiecăruia dintre cei doi senzori este cauzată de trecerea prin dreptul acestora a unui magnet solidar cu piesa măsurată. În cazul pieselor de revoluție, cei doi senzori sunt dispuși unul lângă altul, astfel încât distanța dintre aceștia să descrie un ciclu de măsurare complet (360°). Ambii senzori, fiind cuplați la o placă de achiziție (*LabJack U12*), programarea începerii și a finalizării ciclului de măsurare se leagă de trecerea în starea „1” logic a semnalelor pe canalele plăcii de achiziție, la trecerea magnetului în dreptul senzorilor *Hall*. Evenimentul este semnalizat în fereastra-panou prin aprinderea a două leduri de stare (figura 2.3.1). Canalele plăcii de achiziție la care sunt cuplați cei doi senzori pot fi selectate de către utilizator prin intermediul a două controale selective, ce adresează funcția de achiziție prin placă, *LabJack EDigital Input*.

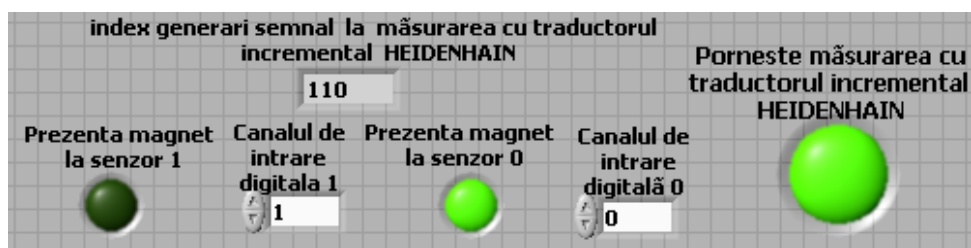


Fig. 2.3.1 Semnalizarea începutului și a sfârșitului unui ciclu de măsurare

Un alt LED de stare semnalizează momentul începerii ciclului de măsurare.

Programarea declanșării evenimentului de pornire a procesului de măsurare a fost făcută după algoritmul de funcționare a unui circuit basculant bistabil, pentru memorarea stărilor logice de pe intrare, astfel încât starea „1” logic a derulării ciclului de măsurare să se schimbe numai la schimbarea stării logice pe una dintre intrările circuitului basculant bistabil. Aceasta se referă la activarea celui de al doilea senzor magnetic, plasat la sfârșitul cursei de măsurare (figura 2.3.2). Din punctul de vedere al programării procesului, evenimentul de declanșare a ciclului de măsurare este relaționat de o structură booleană, pentru starea *TRUE* fiind programat protocolul și algoritmul de citire de la traductor.

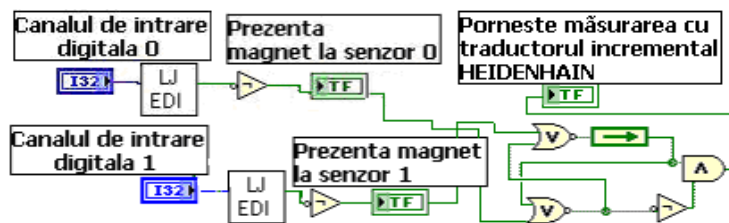


Fig. 2.3.2 Programarea unui circuit basculant bistabil pentru comanda unui ciclu de măsurare pe baza evenimentelor logice

Pentru generarea valorilor citite de la traductor s-a programat un algoritm, valabil pentru cazurile măsurării cu traductoarele inductive *HOTTINGER*, incrementale, și pneumatice.

Pentru programarea algoritmului s-a plecat de la ipoteza că la o rulare a aplicației există trei etape: prima etapă este cea în care, în timpul antrenării piesei în standul de măsurare, magnetul (solidar cu piesa), nu a ajuns încă în dreptul primului senzor *Hall*, pentru declanșarea ciclului de măsurare. Aceasta este etapa de dinaintea ciclului de măsurare. A doua etapă corespunde unui ciclu de măsurare complet, ce are loc începând din momentul în care magnetul ajunge în dreptul primului senzor până când acesta se plasează în dreptul celui de al doilea senzor magnetic, care întrerupe ciclul de măsurare. Ultima etapă are loc din momentul întreruperii ciclului de măsurare până la terminarea ciclului de rulare a programului. Pornind de la această ipoteză, pentru fiecare viteză de antrenare a piesei în postul de control s-a stabilit un număr de iterații corespunzător fiecărei citiri de la traductor. La stabilirea numărului de iterații s-a ținut cont nu doar de fiecare regim de viteză, ci și de tipul de traductor folosit și de tipul piesei măsurate (de rotație sau de translație). Dacă pentru etapa derulării ciclului de măsurare s-a programat algoritmul citirii și prelucrării datelor de la traductor, pentru etapele 1 și 3, în afara ciclului de măsurare, s-a programat un algoritm care să citească de la traductor valoarea infinit. Pentru aceasta s-a procedat astfel: s-a folosit o structură booleană *TRUE-FALSE*, pentru care, în cazul *TRUE*, valabil pentru ciclul de măsurare, s-a stabilit protocolul de citire și prelucrare a datelor de la traductor. Pentru cazul *FALSE*, în afara ciclului de măsurare, obținerea valorii infinite s-a făcut prin împărțirea constantei unei variabile (de exemplu lungimea suprafeței măsurate) la constanta 0. Selectorul structurii Booleene a fost legat la condiția de pornire a ciclului de măsurare, materializată prin ledul de stare pentru semnalizarea evenimentului.

Conform acestei proceduri, pentru un ciclu de rulare a aplicației *I.D.A.D.vi*, la ieșirea buclei condiționale repetitive *WHILE-LOOP* se generează o matrice 1- D formată din trei șiruri de valori: două șiruri de valori infinite (*INA*) generate pentru rulare programului, în afara ciclului de măsurare și un șir de valori numerice, reprezentând datele citite de la traductor, generate în timpul procesului de măsurare. Din această matrice s-au extras doar datele de interes, adică valorile citite de la traductor la un ciclu de măsurare. Pentru aceasta s-a procedat astfel: matricea inițială a fost împărțită în două matrice egale, prin folosirea funcției *Split 1- D Array* [T6].

Comanda procesului de măsurare include și programarea unui cronometru pentru măsurarea perioadei unui ciclu. Pe baza acesteia s-a programat și algoritmul pentru determinarea vitezei de antrenare a reperului testat. Afișarea acestui parametru servește unui control în buclă închisă a vitezei de antrenare stabilite de către utilizator. În acest mod se poate verifica dacă tensiunea de alimentare a motorului de antrenare a dispozitivului de fixare a reperului este corespunzătoare vitezei de antrenare teoretice (stabilită de către utilizator). În caz contrar, se poate proceda la ajustarea tensiunii de alimentare a motorului de antrenare. Aceasta se poate face prin rotirea ușoară a potențiometrului

sursei de alimentare, până când, la o rulare a unui ciclu de măsurare, viteza de antrenare afișată are o valoare foarte apropiată de cea stabilită de utilizator.

Ca și în cazul comenzii unui ciclu de măsurare, s-au folosit alți doi senzori magnetici, dispuși la distanțe mai mari decât lungimea suprafeței măsurate, de interes fiind măsurarea duratei parcurgerii distanței dintre cei doi senzori de către magnet (solidar cu piesa). Aceștia, fiind cuplați la aceeași placă, LabJack, ei pot fi activați prin același procedeu de selectare a canalelor de achiziție, de către utilizator. Și în acest caz semnalizarea evenimentelor se face prin intermediul ledurilor de stare (figura 2.3.3).

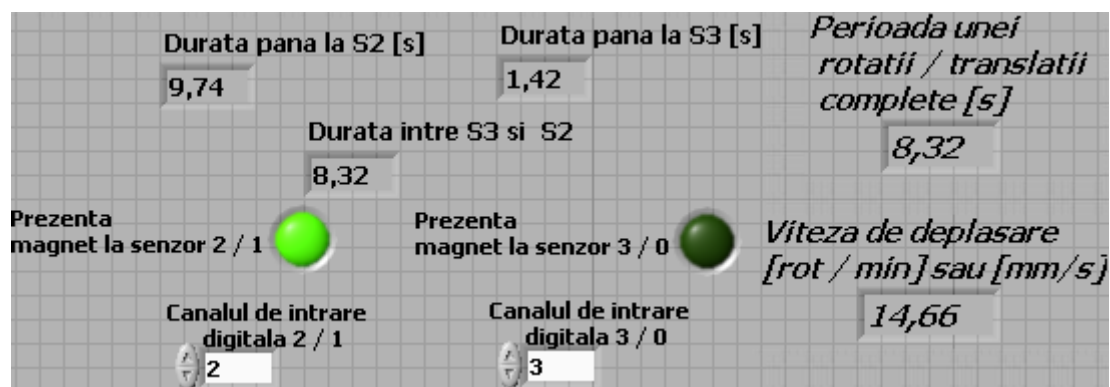


Fig. 2.3.3 Afișarea parametrilor numerici și booleani de stare legați de senzorii magnetici pentru stabilirea vitezei de antrenare în postul de măsurare a reperului

Algoritmul de calcul a duratei parcurgerii distanței dintre cei doi senzori a fost stabilit în modul următor: s-a stabilit întâi algoritmul de determinare a duratei de parcurgere a distanței până la primul senzor, apoi cel de stabilire a duratei parcurgerii distanței până la cel de al doilea senzor. Din timpul necesar parcurgerii distanței până la cel de al doilea senzor s-a scăzut timpul necesar parcurgerii distanței până la primul senzor (figura 2.3.4). Pentru fiecare durată s-a programat câte o structură de tip secvențial cu două secvențe.

Pentru calculul duratei necesare parcurgerii distanței până la primul senzor, în fereastra-diagramă s-a folosit o structură secvențială (*STACKED SEQUENCE STRUCTURE*). În prima secvență s-a programat procedura de condiționare a activării senzorilor, conform aceluiași procedeu ca și în cazul comenzii ciclului de măsurare.

Ceea ce diferă aici este faptul că procesul de cronometrare este condiționat printr-o buclă *WHILE-LOOP*. Oprirea ciclului de cronometrare este legată de activarea fiecăruia dintre senzori. În cea de a doua secvență s-a programat procedeu de calcul al duratei scăzându-se din timpul final (cronometrat la activarea senzorilor) timpul inițial. Ambele cicluri secvențiale sunt relaționate la funcția de generare a impulsului de ceas (*Tick Count*).

Pentru stabilirea duratei parcurgerii distanței până la cel de al doilea senzor magnetic, programarea algoritmului de calcul a fost similară.

Raportul dintre distanța stabilită între ultimii doi senzori și distanța dintre primii doi senzori fiind bine stabilită, a putut fi stabilit factorul de scalare al timpului cronometrat pentru obținerea perioadei unui ciclu de măsurare. Algoritmul de calcul al vitezei de antrenare în funcție de perioada unui ciclu de măsurare este sintetizat într-o structură casuală. Astfel în primul caz, cel în care piesa măsurată este una de revoluție, viteza de antrenare este stabilită prin împărțirea constantei 60 la perioadă (exprimată în secunde) pentru calculul vitezei de antrenare în rotații pe minut. În cel de al doilea caz (piesă

antrenată în mișcare de translație), pentru determinarea vitezei, lungimea suprafeței de măsurare a fost împărțită la perioada unui ciclu de măsurare, obținându-se viteza în milimetri pe secundă.

În acest mod operatorul poate ști dacă la rularea aplicației, la derularea ciclului de măsurare s-au îndeplinit condițiile de antrenare a reperului în postul de control.

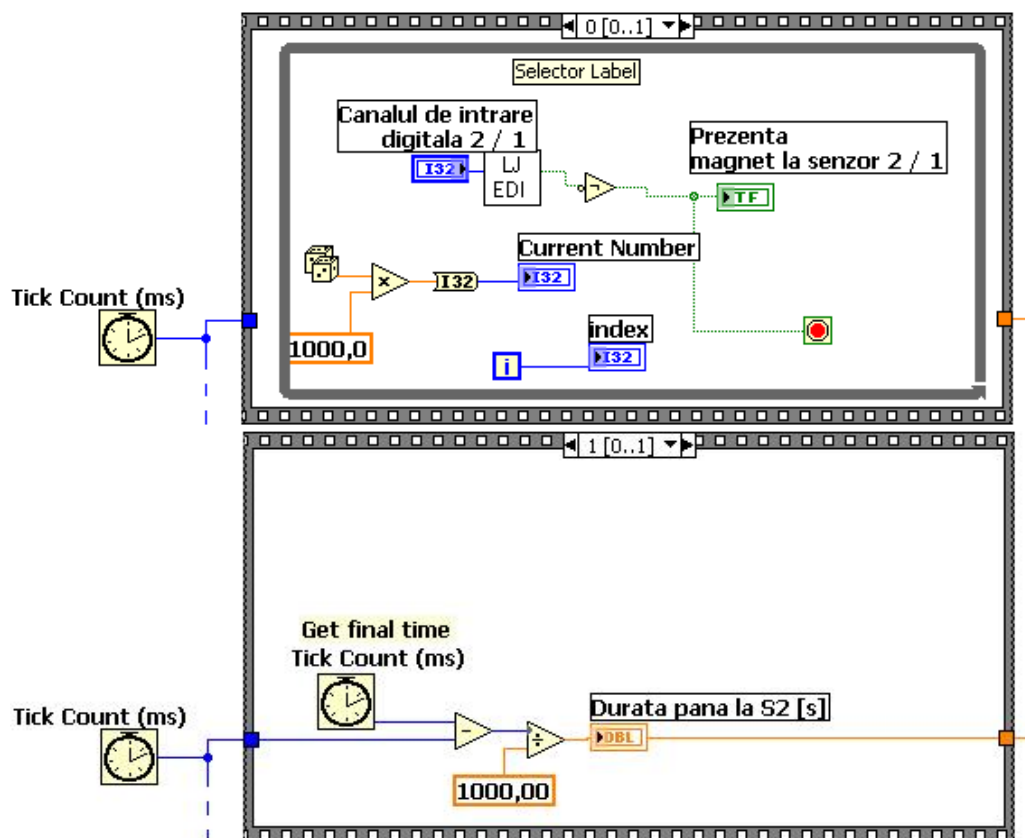


Fig. 2.3.4 Programarea unui ciclu secvențial pentru măsurarea timpului scurs până la atingerea primului senzor

2.4 OPTIMIZAREA APLICAȚIEI I.D.A.D.VI ÎN SCOPUL IMPLEMENTĂRII EI PE MODULELE DE CONTROL

Din punctul de vedere al optimizării procesului de măsurare la nivelul automatelor de control, aplicația este de asemenea foarte flexibilă, utilizatorul putând stabili nu doar valorile – limită ale câmpului de toleranță pentru fiecare serie de piese, ci și numărul claselor de precizie (figura 2.4.1) [M5], [M16].

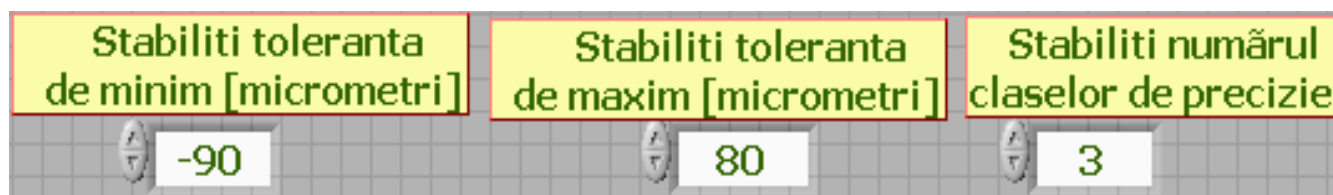


Fig. 2.4.1 Controale de tip numeric pentru stabilirea parametrilor de inspecție dimensională pentru diferite serii de piese

Afișarea rezultatelor unui ciclu de măsurare include, pe lângă valori numerice și grafice de distribuție a abaterilor, și indicatori privind sinteza controlului piesei testate. Aceștia sunt dispuși sub forma unor indicatori de stare, pentru fiecare caz în parte fiind atribuită o culoare (figura 2.4.2).



Fig. 2.4.2 Indicatorii pentru afișarea sintezei rezultatului inspecției dimensionale pentru un reper testat [B6]

Aprinderea ledului de stare care indică faptul că piesa măsurată corespunde dimensional este condiționată de starea adevărat (*TRUE*) a unei structuri booleene *TRUE – FALSE*. La selectorul acesteia s-a legat ieșirea unei porți logice *ȘI*, pe intrările căreia s-au impus două condiții: valoarea maximă a abaterii să fie mai mică decât valoarea impusă a toleranței de maxim, iar valoarea minimă a abaterii să fie mai mare decât toleranța de minim (figura 2.4.3) [C13], [B21].

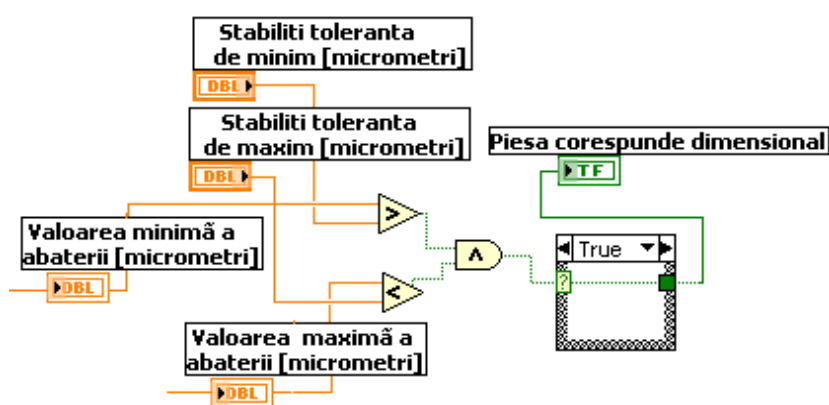


Fig. 2.4.3 Rutina de condiționare a aprinderii ledului de stare, în cazul în care piesa măsurată corespunde dimensional

În mod asemănător s-a condiționat și aprinderea celorlalte LED-uri, astfel: aprinderea LED-ului de stare pentru indicarea faptului că piesa este rebut să aibă loc dacă valoarea abaterii minime este mai mică decât valoarea toleranței de minim. Aprinderea LED-ului pentru indicarea necesității continuării operațiilor de prelucrare trebuie să aibă loc dacă valoarea maximă a abaterii de formă este mai mare decât toleranța de maxim.

În cazul în care piesa corespunde, aplicația *I.D.A.D.vi* afișează și clasa de precizie a piesei supuse inspecției dimensionale. Pentru stabilirea claselor de precizie, valoarea câmpului de toleranță a fost împărțită la numărul acestora, fiind afișate și valorile limitelor corespunzătoare fiecărei clase de precizie în parte (fig. 2.4.4).

Pentru obținerea intervalelor de toleranță pe clase de precizie, s-au folosit două cicluri repetitive *FOR – LOOP*, având numărul de iterații egal cu numărul claselor de precizie. Pentru valorile negative ale câmpului de toleranță, algoritmul de determinare a limitelor intervalelor pentru fiecare clasă de precizie s-a programat astfel: domeniul toleranței de minim (având valori negative) a fost împărțit la numărul claselor de precizie. Valoarea obținută a fost înmulțită pentru fiecare iterație cu indexul curent al ciclului repetitiv, astfel obținându-se un vector de valori ale limitelor inferioare negative pentru fiecare clasă de precizie.

Vectorii astfel obținuți au fost concatenați, iar matricea 2-D obținută a fost transpusă, astfel fiind obținut indicatorul tabelar pentru limitele negative ale fiecărei clase de precizie.

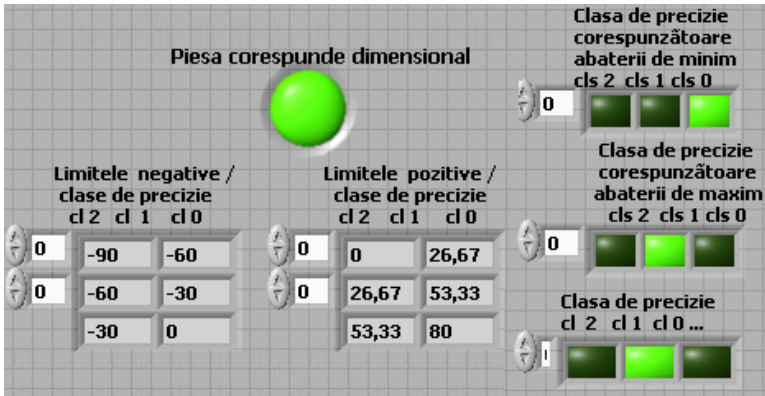


Fig. 2.4.4 Afișarea clasei de precizie în care se află reperul măsurat [B7]

Atât pentru abaterile de formă cu valori negative, cât și pentru cele cu valori pozitive s-a procedat la programarea unui algoritm pentru generarea a două matrice 1-D cu valori booleene, acestea fiind afișate sub forma unor șiruri de leduri de stare [O8]. În cazul indicării clasei de precizie corespunzătoare valorilor negative ale abaterii de formă, prima condiție care trebuie îndeplinită este ca valoarea minimă a abaterii să fie mai mică sau egală decât limita inferioară negativă a clasei curente de precizie, indicată prin indexul de ordine al buclei repetitive *FOR-LOOP*. Cea de a doua condiție este îndeplinită dacă valoarea minimă a abaterii este mai mică sau egală ca limita superioară negativă a clasei curente de precizie, indicată prin indexul de ordine al buclei. O altă condiție este ca piesa măsurată să corespundă dimensional, materializată prin două intrări la poarta $\$/$, una legată de respectarea condiției ca piesa să nu trebuiască să fie rectificată, cealaltă ca aceasta să nu fie rebut. De interes, însă, este ca aplicația să genereze o matrice de leduri de stare pentru afișarea clasei de precizie, ținându-se cont atât de abaterile negative, cât și de cele pozitive (figura 3.24). Prin algoritmul de programare, cele două matrice au fost concatenate într-o matrice booleană 2-D. Această matrice este apoi convertită într-o matrice 1-D, cu numărul de stări booleene egal cu $2N$, unde N reprezintă numărul claselor de precizie. Cele două matrice de leduri inițiale au fost convertite într-o matrice numerică în cod binar în scopul identificării poziției de ordine corespunzătoare valorii Booleene „1” logic, aferent clasei de precizie pentru valorile negative, respectiv pozitive ale abaterii. (figura 2.4.5).

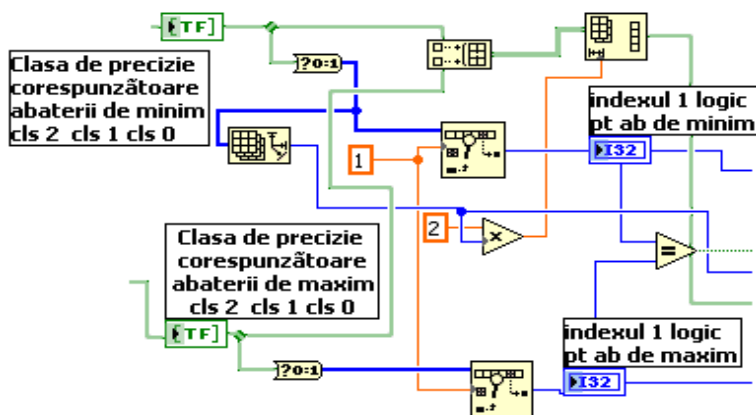


Fig. 2.4.5 Procedura de conversie a metricelor booleene în matrice numerice binare

În mod similar s-a procedat pentru generarea vectorului de valori ale limitelor superioare pentru fiecare clasă de precizie. Pentru obținerea în ordine descrescătoare, în valoare absolută a fiecărui șir de valori, s-a folosit câte o funcție de ordonare a elementelor într-o matrice 1-D. Identic s-a procedat pentru generarea matricei 2-D a valorilor limitelor pozitive pentru fiecare clasă de precizie.

În cadrul algoritmului de programare s-a folosit o structură booleană *TRUE-FALSE*, la selectorul căreia s-a legat o stare booleană ce reprezintă îndeplinirea condiției ca valoarea minimă a abaterii să fie negativă, iar valoarea maximă a abaterii să fie pozitivă. Aceasta s-a materializat printr-o poartă $\$/$ logic, legată la selectorul structurii booleene (figura 2.4.6).

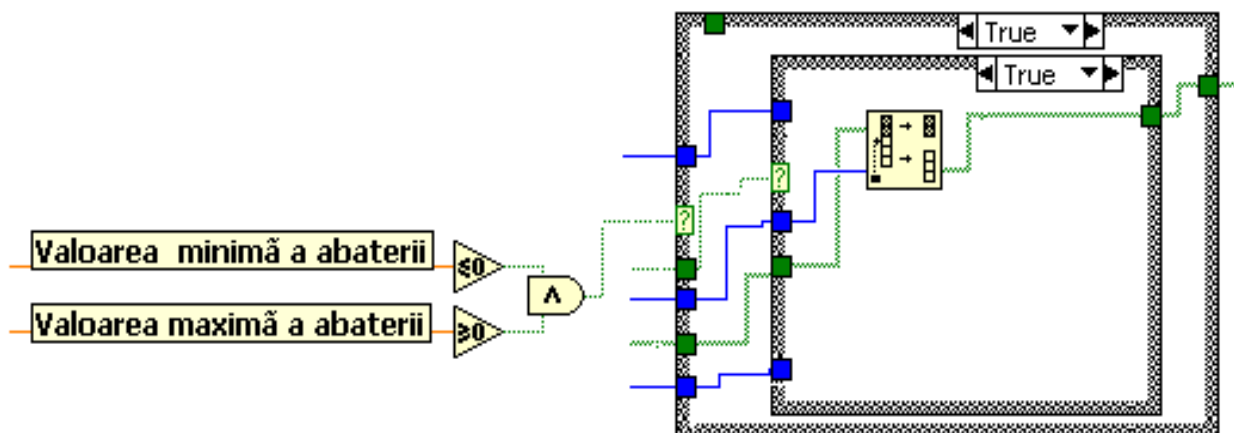


Fig. 2.4.6 Structura booleană pentru analiza stărilor logice corespunzătoare indexurilor claselor de precizie legate de abaterea de formă

Pentru cazul *TRUE*, în interiorul structurii s-a definit o altă structură booleană, la selectorul căreia s-a legat ieșirea funcției de comparare între cele două indexuri: indexul corespunzător stării „1” logic în cazul abaterilor negative este comparat cu indexul corespunzător stării „1” logic în cazul abaterilor negative. În caz contrar, dacă indexul stării „1” logic în cazul abaterilor negative este mai mare decât indexul stării „1” logic în cazul abaterilor pozitive, atunci ultimele *N* valori ooleene, reprezintă matricea finală claselor de precizie. În caz contrar matricea claselor de precizie este generată din primele *N* valori Booleene.

Pentru cazul *FALSE*, dacă valoarea minimă a abaterii este pozitivă sau valoarea maximă este negativă, în interiorul structurii s-a folosit o altă structură booleană (figura 2.23). În cazul *TRUE*, dacă valoarea minimă a abaterii este pozitivă, matricea finală a ledurilor de afișare a clasei de precizie se extrage din ultimele *N* valori Booleene ale matricei formate, cu *2N* elemente. În caz contrar, primele *N* valori formează matricea finală pentru afișarea clasei de precizie. Dacă dimensiunea piesei este prea mare, ledurile de stare indică nu doar faptul că procesul de finisare trebuie continuat, dar și zona de prelucrare pentru care procesul tehnologic trebuie realizat (figura 2.4.7).

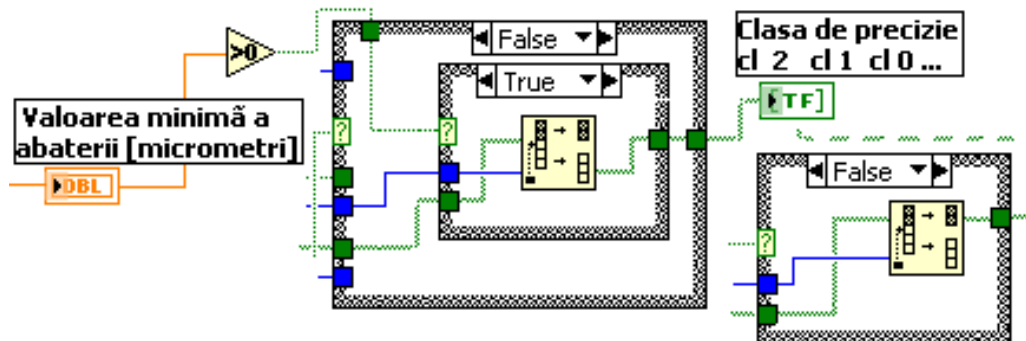


Fig. 2.4.7 Condiționarea generării matricei finale pentru indicarea clasei de precizie, în cazul în care valoarea minimă a abaterii este pozitivă, iar valoarea maximă este negativă

Astfel, aplicația *I.D.A.D.vi* poate servi și în cazul controlului automatizat activ post proces sau chiar în timpul măsurării, după cum se poate observa în exemplul din figura 2.4.8.



Fig. 2.4.8 Leduri de stare pentru indicarea gradului de finisarea piesei post proces sau în timpul procesului de aşchiere [B7]

Aprinderea fiecăruia dintre cele patru leduri de stare este condiționată printr-o structură booleană TRUE-FALSE, la selectorul căreia se leagă ieșirea de la o poartă logică Ș/. Pe intrările fiecărei porți s-au impus câte două condiții: prima condiție, comună tuturor celor patru porți Ș/, este ca piesa măsurată să nu fie rebut, iar cea de a doua condiție este ca, pentru tronsonul curent, valoarea maximă a abaterii să fie mai mare decât toleranța de maxim (figura 2.4.9).

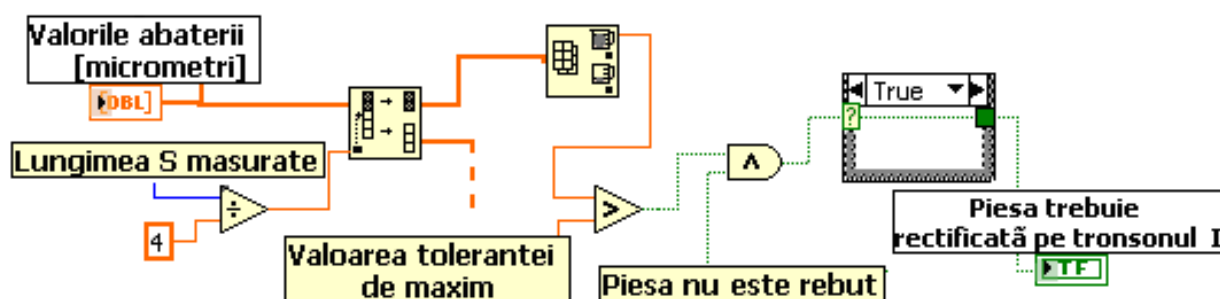


Fig. 2.4.9 Programarea condițiilor pentru aprinderea ledului în cazul în care abaterea piesei măsurate pe un tronson oarecare este mai mare decât toleranța de maxim

Tronsoanele I-IV au fost obținute prin împărțirea echidistantă a lungimii suprafeței de măsurare.

Un alt indicator de tip grafic se referă la distribuția abaterilor raportate la lungimea vectorului de măsurare (figura 2.4.10). Pe axa *OX* este afișată în milimetri lungimea vectorului de măsurare, iar pe axa *OY*, amplitudinea abaterilor de formă.

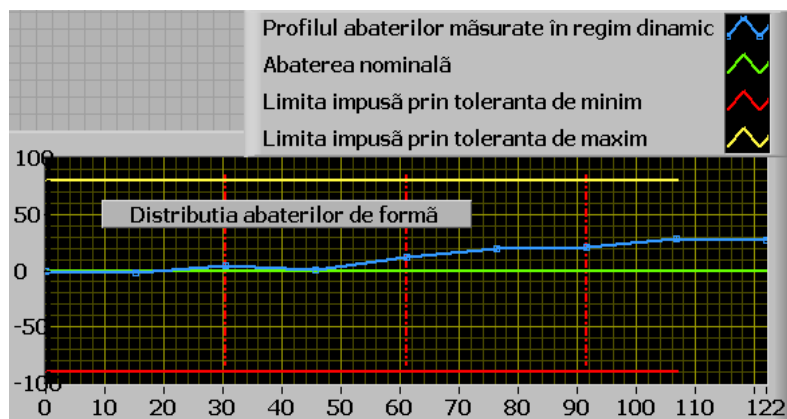


Fig. 2.4.10 Distribuția abaterilor de formă ale reperului măsurat

Algoritmul de programare pentru obținerea distribuției abaterilor de formă este asemănător cu cel folosit în cazul generării profilului geometric al reperului măsurat. Ceea ce diferă aici este faptul că pentru afișarea limitelor câmpului de toleranță stabilit s-a folosit o structură repetitivă FOR-LOOP, cu numărul de iterații egal cu cel al numărului punctelor de măsurare.

Pe acest indicator de tip grafic, peste traiectoria distribuției abaterilor de formă se suprapun traiectoriile ce definesc cele două limite de toleranță ale abaterii dimensionale a piesei uzinate.

Pentru trasarea dreptelor ce definesc limitele de toleranță s-au folosit două funcții de multiplexare, în care prima intrare este valoarea constantei limitei inferioare/superioare a câmpului de toleranță. Cea de a doua intrare definește coordonatele după axa *OX* ale fiecărui punct de măsurare.

Din punctul de vedere statistic, aplicația permite afișarea numerică a rezultatelor privind abaterea de formă maximă, cea medie și cea totală pentru fiecare reper supus controlului (figura 2.4.11 b). [M15].

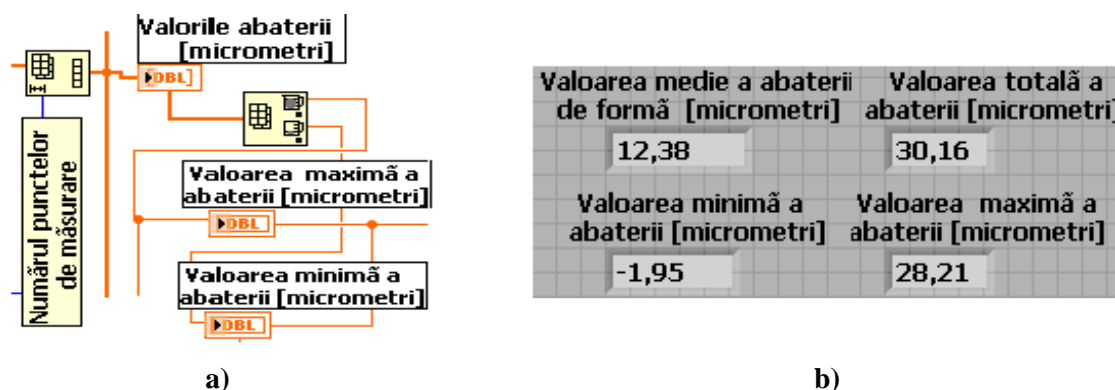


Fig. 2.4.11 Procedura de calcul al valorii minime și al celei maxime a abaterii de formă

Pentru extragerea valorii maxime din matricea de valori ale abaterilor pentru fiecare punct de măsurare s-a folosit funcția *Array Min-Max* (figura 2.4.11 a).

În mod similar s-a procedat și pentru extragerea valorii minime, în valoare absolută, a abaterii de formă. Abaterea totală s-a stabilit prin însumarea în valoare absolută a valorii de minim și maxim ale abaterii. Pentru calculul abaterii medii a reperului s-a folosit o structură repetitivă *FOR-LOOP*, având numărul de iterații egal cu numărul punctelor de măsurare, fiecare iterație corespunzând unei valori aferente fiecărui punct de măsurare în parte. În interor-ului structurii s-a calculat media aritmetică a abaterii [D3].

2.5 OPTIMIZAREA INSPECȚIEI DIMENSIONALE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL PRELUCRĂRII DATELOR POST PROCES

În cazul folosirii ca mijloace de măsurare a traductoarelor de deplasare inductive, *MARPOSS*, respectiv a celor cu sursă LASER, citirea datelor nu s-a putut face în timpul procesului de măsurare folosind mediul de instrumentație virtuală *LabVIEW*. Acest fapt este determinat de faptul că interfețele de comunicare cu calculatorul ale acestor mijloace sunt dedicate unor sisteme software specifice, livrate împreună cu acestea. Prezentarea, incluzând avantajele și inconvenientele folosirii acestor sisteme software, este descrisă în capitolul 5.

Măsurarea în timp real cu aceste mijloace permite generarea unor fișiere de date *EXCEL*, care, în primă fază, nu pot oferi informații utile operatorului.

Pentru o corectă importare a datelor măsurate în aplicația *I.D.A.D.vi*, este necesar ca, în prealabil, fișierele *EXCEL* să fie salvate ca fișiere text. După convertirea în fișiere text, în vederea prelucrării datelor măsurate anterior, se procedează la rularea aplicației *I.D.A.D.vi*. Prin intermediul unei ferestre de dialog, utilizatorul trebuie să specifice fișierul de tip text din care se vor importa datele.

După convertirea în fișiere text, în vederea prelucrării datelor măsurate anterior se procedează la rularea aplicației. Prin intermediul unei ferestre de dialog, utilizatorul trebuie să specifice fișierul de tip text, din care se vor importa datele.

În cazul în care prima etapă a inspecției dimensionale asistate, cea de obținere a datelor în timp real, s-a realizat pe un calculator, iar cea de a doua etapă, cea de prelucrare a datelor, prin rularea aplicației, se face pe un alt calculator, există riscul ca citirea datelor să nu se poată face. Acest lucru poate fi cauzat de faptul că sistemul de reprezentare zecimală a datelor în fișierul inițial diferă de sistemul de afișare zecimală a mediului LabVIEW în care se dorește prelucrarea informației. De exemplu, dacă fișierul inițial de date, salvat ca format text are sistemul zecimal după standardele americane, iar mediul LabVIEW are sistemul zecimal conform standardelor europene este necesară o convertire a datelor numerice ale fișierului text din sistemul zecimal american în sistemul zecimal european.

Dacă pentru cazurile folosirii traductoarelor ce permit rularea aplicației *I.D.A.D.vi* în timpul procesului de control s-au definit structuri condiționale repetitive *WHILE-LOOP* și în cazul folosirii celorlalte tipuri de traductoare a fost necesară păstrarea acestui algoritm. Acest lucru a fost necesar pentru ca aplicația să aibă un caracter cât mai flexibil din punctul de vedere al mijloacelor de măsurare folosite, indiferent dacă rularea se face în timpul sau după procesul de inspecție dimensională. Din acest motiv, în cazul folosirii traductoarelor inductive *MARPOSS* sau a celor cu sursă LASER, pentru prelucrarea datelor măsurate anterior, la rularea aplicației a fost necesar să se specifice o condiție pentru întreruperea ciclului repetitiv. Aceasta s-a făcut pentru ca utilizatorul să nu fie nevoit să specifice fișierul de date pentru citire de un număr de ori dat de condiția inițială de oprire a ciclului. În cazul de față, această condiție ar fi fost ca reluarea ciclului să se facă de un număr de ori egal cu numărul punctelor de măsurare indexat cu 1. Astfel, condiția suplimentară care a fost specificată este aceea ca, la rularea programului, prin comutarea unui buton virtual *STOP*, să se întrerupă ciclul, astfel încât să nu mai fie necesară specificarea fișierului din care să se facă citirea (figura 2.5.1, a).



Fig. 2.5.1 Oprirea de către utilizator a rulării aplicației, după specificarea fișierului de date, în vederea citirii

Pentru citirea datelor dintr-un fișier text, s-a folosit funcția *Read from Spreadsheet File.vi*, de unde apoi datele au fost prelucrate (figura 2.5.1, b). Importarea datelor generate anterior în aplicația *I.D.A.D.vi* s-a făcut prin intermediul funcției de citire din fișier *Read from Spreadsheet File*, la rularea programului, utilizatorul trebuind să specifice fișierul de date, conform figurii 2.5.1, a).

În cele ce urmează este descris algoritmul de preluare a datelor de interes dintr-un fișier obținut în urma măsurării cu traductoarele de deplasare cu sursă LASER, OMRON. Cu linie dublă, în figură se reprezintă conectorul pentru adresarea ieșirilor de date de tip matrice, acestea fiind structurate pe mai multe coloane. Din matricea de date, de interes fiind doar valorile referitoare la abaterile de formă, s-a procedat la programarea unor funcții de trunchiere a matricei inițiale $2-D$, pentru obținerea unei matrice $1-D$ a datelor de interes (figura 2.5.2).

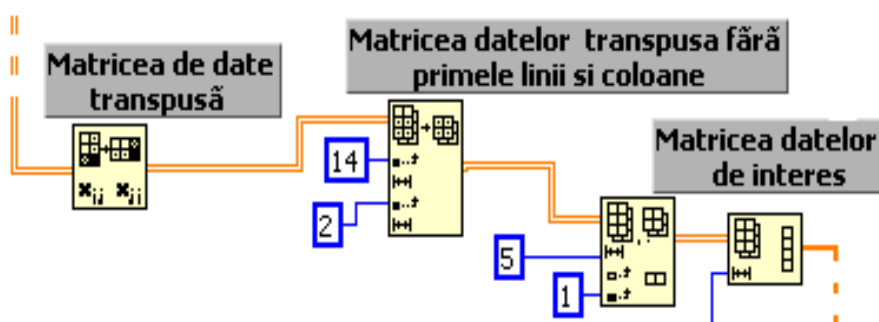


Fig. 2.5.2 Procedura pentru obținerea din matricea de date inițială a matricei datelor de interes

Deoarece în fișierul inițial, datele de interes, legate de abaterile dimensionale măsurate, se regăsesc în cea de a treia coloană, începând cu linia a 15-a, s-a pus problema extragerii acestor valori.

Pentru aceasta s-a programat algoritmul descris în cele ce urmează. Matricea inițială de date a fost transpusă. Apoi, prin intermediul a două funcții de eliminare a unor elemente din matrice, *Array Subset*, s-a obținut matricea datelor de interes. În prima etapă au fost eliminate primele 14 linii și primele 2 coloane, acestea înregistrând date care nu sunt de interes din punctul de vedere al inspecției dimensionale. În cea de a doua etapă au fost eliminate și ultimele 5 coloane, obținându-se astfel vectorul datelor de interes, ce conține doar înregistrări referitoare la valorile măsurate.

Deoarece matricea datelor de interes conține un șir de valori al cărui număr este egal cu numărul de citiri de la traductor, s-a pus problema medierii acestor valori, raportate la fiecare punct de măsurare în parte. Pentru aceasta s-a programat o structură de tip repetitiv *FOR-LOOP*, pentru extragerea valorilor aferente fiecărui punct de măsurare (figura 2.5.3, a). Prin această buclă s-au putut obține valorile abaterii pentru primele $N-1$ puncte de măsurare. S-au extras câte trei valori grupate la intervale stabilite prin împărțirea numărului citirilor de la traductor la numărul punctelor de măsurare. Acestor valori li s-a calculat media aritmetică, astfel încât pentru fiecare punct de măsurare să fie obținute valorile medii ale abaterii.

În mod similar s-a procedat pentru obținerea valorii medii ale abaterii pentru ultimul punct de măsurare (figura 2.5.3, b). Pentru aceasta s-au extras ultimele trei valori ale matricei datelor de interes, calculându-se media aritmetică a acestora. Procedeeul de extragere a datelor de interes este comun în cazul folosirii celor două tipuri de traductoare, cu deosebirea că numărul coloanelor ce trebuie extrase din matricea inițială $2-D$, diferă de la caz la caz. Primele $N-1$ valori, împreună cu ultima au fost concatenate, matricea obținută a fost convertită într-un vector, iar valorile generate au fost înmulțite cu 1000, pentru afișarea abaterilor în micrometri.

Avantajul acestui algoritm de programare constă în faptul că, indiferent de numărul de citiri de la traductor și de viteza de antrenare a piesei, sunt generate valorile abaterii de formă pentru fiecare punct de măsurare cu precizie de ordinul micrometrilor.

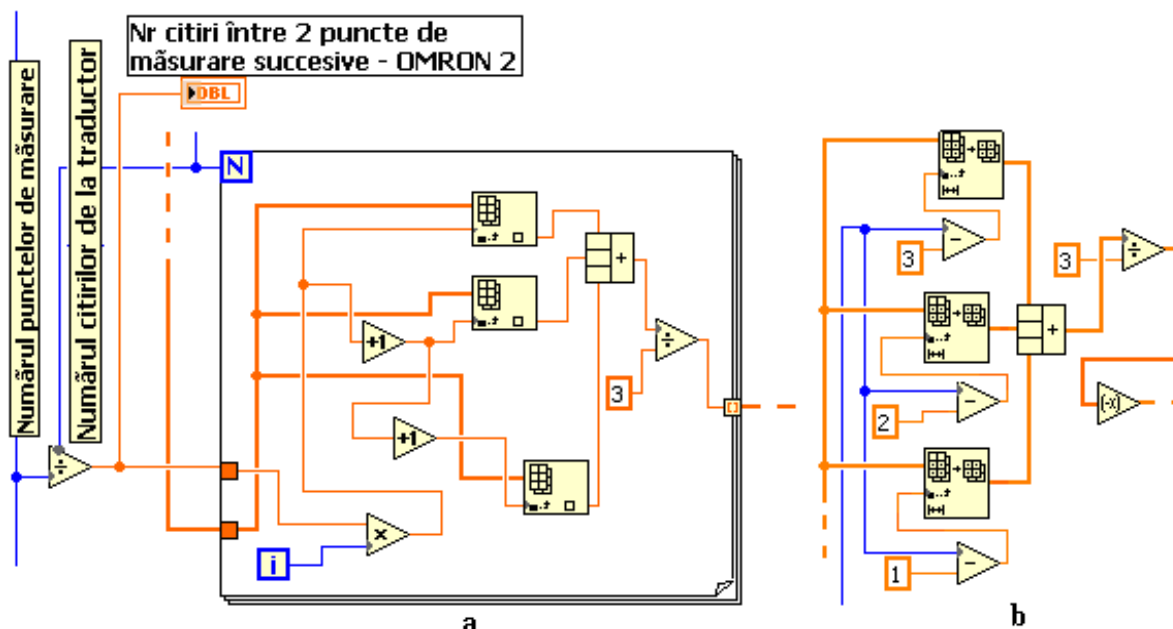


Fig. 2.5.3 Procedura de obținere a valorilor abaterii de formă pentru primele $N-1$ puncte de măsurare

Valorile abaterilor de formă astfel obținute sunt afișate în fereastra panou, împreună cu valorile coordonatelor punctelor de măsurare.

În cazul în care prelucrarea datelor se face în urma măsurării cu traductoarele inductive *MARPOSS*, procedura de obținere a valorilor abaterii pentru fiecare punct de măsurare s-a programat în mod similar. Singura diferență, în acest caz, constă în faptul că pentru extragerea matricei datelor de interes, din matricea de date inițială $2-D$ se elimină primele 14 linii, respectiv primele două și ultimele trei coloane.

În cazul folosirii acestei aplicații în vederea prelucrării datelor măsurate anterior cu cele două tipuri de traductoare de deplasare se obțin exact aceleași informații ca și în cazul rulării aplicației pentru măsurarea în timp real.

Rularea aplicației *I.D.A.D.vi* pentru prelucrarea datelor în urma procesului de măsurare poate fi foarte eficientă în special în cazul producției reperelor în serii mari. În acest caz, operatorul realizează mai întâi inspecția dimensională pentru fiecare piesă din seria respectivă, salvând datele inițiale, după care, cu ajutorul aplicației *I.D.A.D.vi*, poate prelucra fiecare fișier de date. Astfel, pe baza informațiilor obținute, se poate decide asupra reglării parametrilor de prelucrare, dar și asupra operațiilor tehnologice necesare pentru fiecare piesă uzinată din seria respectivă.

2.6 SALVAREA DATELOR ÎN VEDEREA INTERPRETĂRII STATISTICE A ACESTORA

Aplicația *I.D.A.D.vi* oferă posibilitatea utilizatorului să salveze datele numerice privind abaterile dimensionale, în fișiere EXCEL. Aceasta permite prelucrarea și interpretarea datelor din punctul de vedere statistic și metrologic [S3].

Ca urmare, la rularea aplicației, imediat după afișarea tuturor informațiilor privind rezultatul inspecției dimensionale a reperului curent, utilizatorul trebuie să salveze datele într-un fișier. Acesta poate fi de tip EXCEL sau de tip text. În cazul în care se dorește salvarea într-un fișier de tip text

(recomandabil pentru o mai ușoară interpretare a datelor), trebuie specificată și extensia *.xls*, specifică acestor fișiere.

Fișierul salvat conține date numerice, structurate pe două coloane, în prima coloană fiind afișate coordonatele punctelor de măsurare, iar în cea de a doua coloană fiind înscrise valorile abaterilor de formă corespunzătoare fiecărui punct de măsurare.

2.7 FOLOSIREA INSTRUMENTAȚIEI VIRTUALE ÎN SCOPUL MĂSURĂRII ASISTATE DE CALCULATOR ÎN REGIM STATIC

Cercetarea privind optimizarea procesului de inspecție dimensională asistată de calculator a inclus și dezvoltarea unor aplicații create în mediul LabVIEW pentru măsurarea în regim static, rezultatele fiind luate drept informații de referință pentru măsurarea în regimul dinamic. Aceste aplicații au fost realizate pentru cazul măsurării cu traductoarele de deplasare pe principiul inductiv HOTTINGER, cu traductorul de deplasare pe principiul incremental, respectiv cu traductorul pneumatic. Pentru fiecare dintre aceste mijloace de măsurare s-au realizat câte două aplicații LabVIEW, una pentru măsurarea bătăii radiale, în cazul pieselor de revoluție, cealaltă pentru măsurarea abaterilor de formă, în cazul reperelor antrenate în translație. În paragrafele 2.7.1 și 2.7.2 sunt descrise trei aplicații. Acestea sunt: *Inspeția dimensională asistată, în regim static cu traductoarele inductive HOTTINGER, I.D.A.S.1.vi*, *Inspeția dimensională asistată în regim static, cu traductorul incremental HEIDENHAIN, I.D.A.S.2.vi*, respectiv *Inspeția dimensională asistată în regim static, cu traductorul pneumatic, I.D.A.S.3.vi*.

2.7.1 Descrierea aplicației LabVIEW *I.D.A.S.1.vi*, pentru măsurarea asistată cu traductoarele inductive HOTTINGER

În cazul măsurării asistate în regim static cu traductoarele inductive HOTTINGER, s-a programat un contor numeric, cu scopul informării utilizatorului cu privire la momentul în care este necesară rotirea cu un pas a reperului măsurat (figura 2.7.1). În figura 2.7.2 este afișată rutina de programare a indexării automate a contorului numeric pentru informarea asupra necesității rotirii cu câte un pas a piesei, în timpul unui ciclu de măsurare în regim static, punct cu punct [B27].



Fig. 2.7.1 Contorul numeric pentru informarea operatorului asupra necesității rotirii reperului, în scopul măsurării dimensionale punct cu punct

Pentru afișarea valorii numerice a coordonatei unghiulare corespunzătoare fiecărui punct curent de măsurare, s-a programat următorul algoritm: la valoarea pasului unghiular de rotație a reperului s-a

adăugat produsul dintre pasul unghiular și indexul curent al iterației, i . Pasul unghiular s-a calculat prin împărțirea constantei 360 (ce reprezintă valoarea unghiulară pentru o rotație completă a reperului) la numărul punctelor de măsurare (figura 2.7.2).

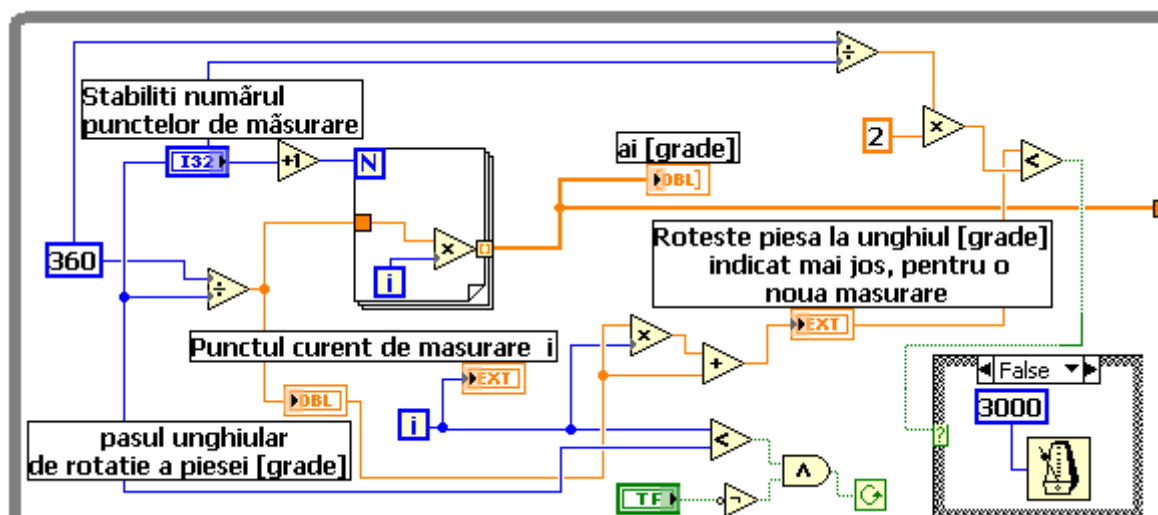
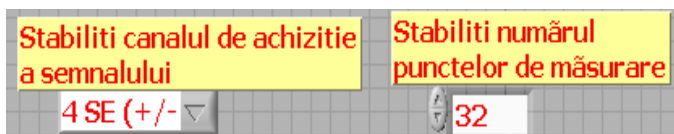


Fig. 2.7.2 Algoritm de programare a rutinei pentru indexarea conturului numeric privind informarea asupra punctului de măsurare curent

Pentru indexarea automată a coordonatei punctului curent de măsurare, specificată prin indicatorul numeric *Rotește piesa la unghiul indicat mai jos, pentru o nouă măsurare*, s-a programat un algoritm de temporizare. Într-o structură booleană *TRUE-FALSE* s-a introdus o temporizare a indexării iterațiilor ciclului condițional *WHILE-LOOP*, pentru afișarea coordonatei unghiulare a următorului punct de măsurare. Această temporizare s-a stabilit după caz, astfel: dacă valoarea coordonatei unghiulare a punctului de măsurare curent este mai mică decât dublul pasului unghiular de rotație al reperului, atunci indexarea să se facă cu o temporizare de o milisecundă (cazul *TRUE*). Dacă valoarea coordonatei unghiulare a punctului de măsurare curent este mai mare sau egală cu dublul pasului unghiular de rotație, indexarea să se facă cu temporizarea de 3 secunde (cazul *FALSE*) (figura 2.7.2). Acest algoritm pentru temporizarea indexării s-a stabilit în urma unui studiu experimental, astfel încât utilizatorul să aibă suficient timp să poziționeze corect reperul pe punctul de măsurare al cărei coordonate este specificată prin indicator.

Reluarea ciclului de indexare, prin bucla *WHILE-LOOP* este restricționată de îndeplinirea următoarei condiții booleene: atâta timp cât indexul este mai mic decât numărul punctelor de măsurare și nu a fost acționat comutatorul virtual boolean *STOP*, în timpul rulării, ciclul trebuie să se reia, pentru indexarea la următorul punct curent de măsurare [B26].

În ceea ce privește stabilirea condițiilor de măsurare asistată, ca și în cazul aplicației *I.D.A.D.vi* pentru inspecția dimensională în regim dinamic, utilizatorul poate să selecteze anumiți parametri, cum ar fi numărul punctelor de măsurare sau numărul canalului de achiziție prin placa *LabJack U12* (figura 2.7.3).



Obținerea informațiilor numerice și grafice, privind rezultatele unui ciclu de măsurare dimensională punct cu punct s-a realizat în

Fig. 2.7.3 Stabilirea parametrilor necesari măsurării asistate în regim static

mod similar cu cazul aplicației *I.D.A.D.vi*, descrisă în subcapitolele 2.1 ÷ 2.6 (figura 2.7.4).

Ca și în cazul aplicației *I.D.A.D.vi*, și în acest caz s-a programat rutina pentru salvarea informațiilor într-un fișier text sau EXCEL.

Coordonatele punctelor de măsurare [grade]	Abaterea de formă pe direcție radială în fiecare punct de măsurare [micrometri]	
0	0	Valoarea maximă a abaterii radiale [micrometri]
11,25	4,59	146,96
22,50	7,73	
33,75	15,45	Valoarea minimă a abaterii radiale [micrometri]
45,00	21,25	-7,73
56,25	21,25	
67,50	27,04	Valoarea totală a abaterii radiale [micrometri]
78,75	30,9	154,68
90,00	30,9	

Fig. 2.7.4 Obținerea informațiilor numerice în urma unui ciclu de măsurare, cu traductorul inductiv HOTTINGER

Atât algoritmul de programare, cât și structura fișierului de date sunt similare cu cazul aplicației *I.D.A.D.vi*. Fișierul de date măsurate în regim static a fost luat drept referință în cadrul aplicației LabVIEW *ST.E.M.D.vi* pentru evaluarea statistică, din punctul de vedere metrologic, a rezultatelor măsurării în regim dinamic (subcapitolul 2.8). Programarea rutinei pentru calculul valorii curente a abaterii de formă măsurate în fiecare punct se regăsește în aplicația *I.D.A.D.vi*, în cazul folosirii acestui tip de traductor.

2.7.2 Descrierea aplicației *I.D.A.S.2.vi*, pentru măsurarea asistată cu traductoarele pe principiul incremental, HEIDENHAIN

În cazul acestei aplicații, indexarea măsurării pentru fiecare punct de măsurare este condiționată de intervenția utilizatorului. Acest lucru a fost posibil datorită modului de achiziție (prin interfața serială) a datelor de la traductor. O altă particularitate constă în faptul că pentru fiecare punct de măsurare, valoarea abaterii este validată după determinarea mediei aritmetice a trei valori succesive citite de la traductor. Prin aceasta a fost posibilă o creștere a preciziei, dar și a rezoluției de măsurare cu acest mijloc.

La baza acestor două avantaje pe care le prezintă aplicația *I.D.A.S.2.vi* a stat următorul algoritm de programare: pentru realizarea a câte trei citiri la fiecare punct de măsurare, s-a folosit o structură de programare repetitivă *FOR-LOOP*, cu trei iterații, în interiorul căreia s-a programat rutina pentru achiziția datelor citite de la traductor, respectiv pentru calculul valorilor instantanee ale abaterilor măsurate (figura 2.7.5). Descrierea programării protocolului de achiziție și prelucrare a datelor acestuia a fost făcută în subcapitolul 2.2. Pentru indexarea la următorul punct de măsurare, la indexul buclei repetitive *FOR-LOOP*, s-a folosit o structură condițională *WHILE-LOOP*, a cărei reluare se face doar la comutarea manuală a butonului virtual, materializat prin controlul boolean *Acționează pentru o nouă măsurare, în punctul următor*.

Obținerea și afișarea rezultatelor în regim static, cu acest traductor, în urma unui ciclu de măsurare se face în mod similar cu cazul aplicației *I.D.A.S.1.vi* (paragraful 2.7.1).

Aplicația *I.D.A.S.2.vi* are prevăzută aceeași rutină de programare pentru salvarea datelor în fișiere de tip text sau EXCEL.

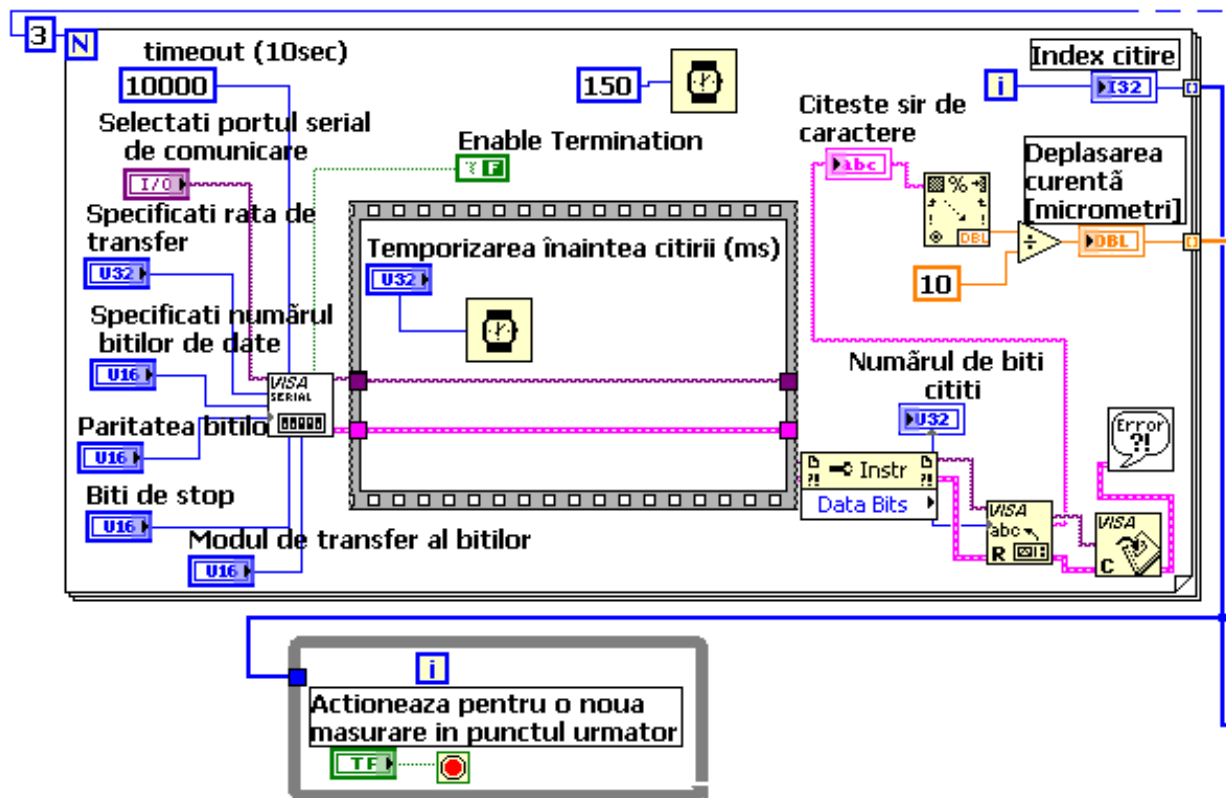


Fig. 2.7.5 Programarea algoritmului pentru generarea a trei valori citite de la traductor, pentru fiecare punct de măsurare

2.7.3 Descrierea aplicației *I.D.A.S._{3.vi}* pentru măsurarea asistată cu traductoarele pneumatice

Programarea și folosirea aplicației *I.D.A.S._{3.vi}* sunt similare cu cazul măsurării asistate cu traductorul incremental, singurul aspect ce diferă fiind legat de rutina de programare pentru calculul celor trei valori instantanee ale abaterii de formă, pentru fiecare punct de măsurare.

2.8 OPTIMIZAREA DIN PUNCTUL DE VEDERE STATISTIC A INSPECȚIEI DIMENSIONALE ASISTATE ÎN REGIM DINAMIC

În scopul unei evaluări statistice rapide a rezultatelor măsurărilor în regim dinamic, din punctul de vedere al preciziei, în mediul *LabVIEW*s-a dezvoltat aplicația *Statistica erorilor de măsurare, induse în regimul dinamic, S.T.E.M.D.vi*, pentru determinarea erorilor de măsurare în cazul fiecărui mijloc de măsurare, pentru toate vitezele de antrenare [B7], [G1].

Ca și în cazul aplicației *I.D.A.D.vi*, programul *S.T.E.M.D.vi* are un caracter flexibil, putând fi folosit cu succes la optimizarea din punctul de vedere metrologic a inspecției dimensionale flexibile. În această idee se pot defini/selecta parametrii de măsurare cu care s-a realizat anterior inspecția dimensională în regim static și dinamic. Aceștia se referă la tipul reperului supus controlului, numărul punctelor de măsurare, precum și parametrii legați de evaluarea din punctul de vedere metrologic a rezultatelor măsurării în regim dinamic (figura 2.8.1).

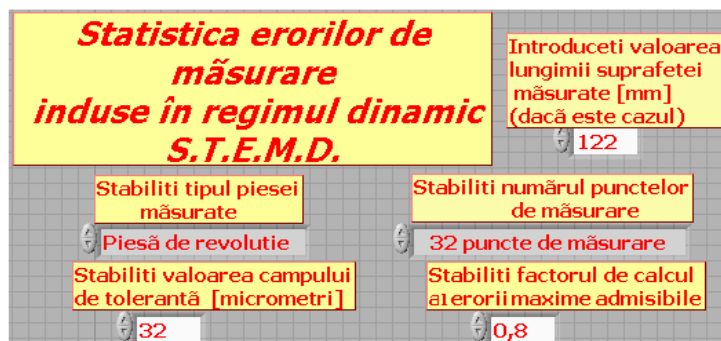


Fig. 2.8.1 Redarea parametrilor în care s-au realizat măsurările asistate în regim static și dinamic

La o rulare a aplicației *ST.E.M.D.vi*, în urma specificării pe rând a fișierelor de date obținute în cazul măsurării în regim static, respectiv în regim dinamic, s-au obținut patru vectori de valori numerice (figura 2.8.2) ce afișează:

- coordonatele punctelor de măsurare;
- valorile abaterilor de formă în punctele de măsurare, pentru regimul static/dinamic;
- erorile de măsurare în regim dinamic [B9].

Punctele curente de măsurare [grade/mm]	Valorile abaterii măsurate în regim static [micrometri]	Valorile abaterii măsurate în regim dinamic [micrometri]	Valorile erorilor de măsurare induse de regimul dinamic [micrometri]
0	11,25	14	8,8
90	100,6	102,8	2,2
101,25	118	112,73	5,27
112,5	118,8	122,47	3,67
123,75	133,2	127,93	5,27
135	142,4	136,93	5,47
146,25	147,6	142,47	5,13
157,5	144,8	145,93	1,13
348,75	-9,6	-5,67	3,93
360	0	-3,67	3,67

Fig. 2.8.2 Generarea informațiilor numerice privind diferențele valorilor măsurate ale abaterilor de formă în regim dinamic, comparativ cu regimul static

Valorile erorilor de măsurare s-au obținut prin calculul în valoare absolută a diferenței dintre valorile abaterilor în regim dinamic și cele în regim static. Pentru acest algoritm de calcul s-a folosit o structură secvențială, cu două secvențe de calcul (figura 2.8.3).

În prima secvență s-au generat valorile abaterilor de formă în regim static, pe baza citirii din fișier a datelor măsurate. Din acest fișier s-au extras doar valorile referitoare la abaterile de formă corespunzătoare fiecărui punct de măsurare. Pentru aceasta s-au folosit două funcții specifice operațiilor cu matrice. Prima funcție, *Reshape Array*, concatenează cele două șiruri de valori (structurate pe două coloane) ale fișierului obținut la măsurarea în regim static (coordonatele punctelor de măsurare și valorile abaterilor de formă corespunzătoare).

Cea de a doua funcție, *Split 1-D Array*, extrage ultimele valori, reprezentând valorile abaterilor de formă pentru fiecare punct. În mod similar s-a procedat în cea de a doua secvență, pentru obținerea valorilor abaterilor în puncte, în regim dinamic, dar cu mențiunea că pentru citirea din fișierul de date măsurate în regim dinamic s-a programat o temporizare de șase secunde, pentru a se stabili o ordine cronologică de citire din cele două fișiere. Cele două șiruri de valori au fost supuse algoritmului de calcul pentru determinarea erorilor de măsurare în regim dinamic, potrivit procedurii descris mai sus (figura 2.8.3). Pe baza valorilor erorilor de măsurare, generate, în cadrul rulării aplicației *ST.E.M.D.vi*, s-a putut obține valoarea maximă și cea medie a erorii de măsurare în regim dinamic [R4].

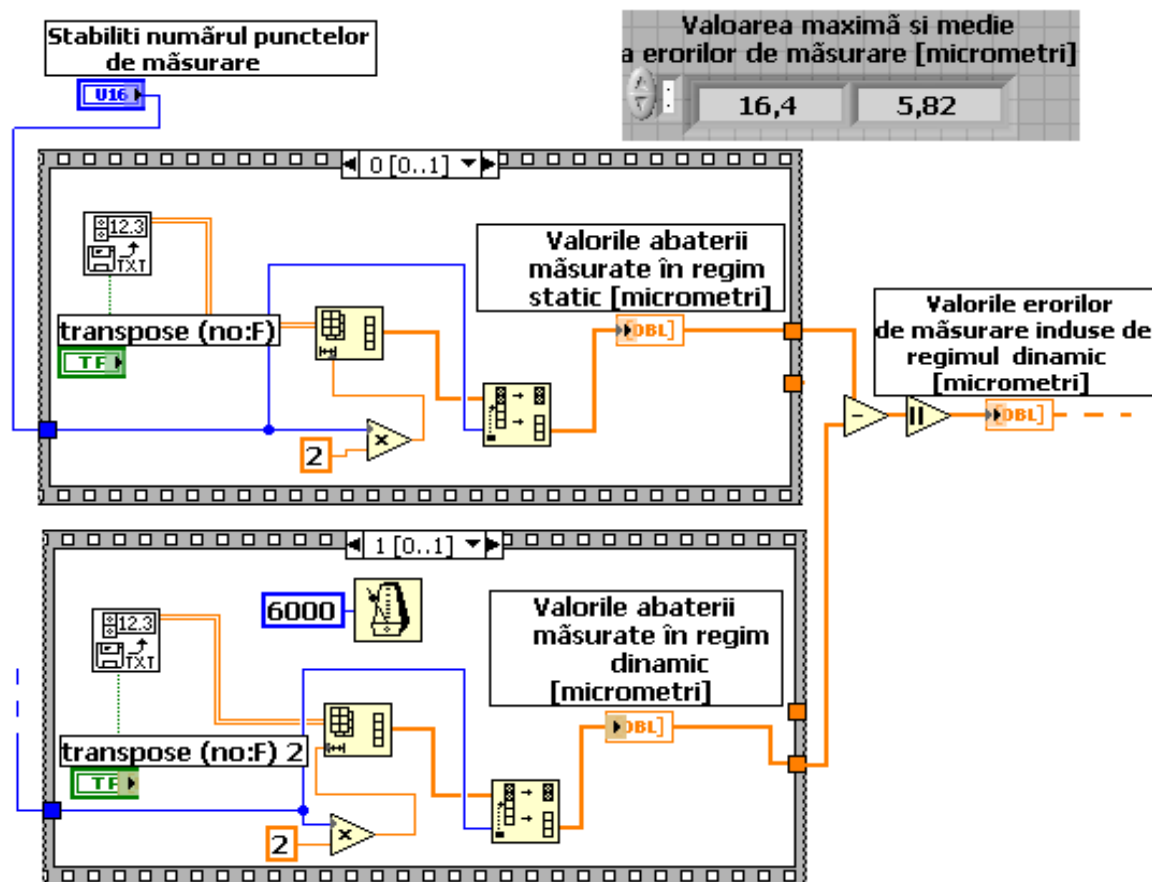


Fig. 2.8.3 Secvențele necesare calculului erorilor de măsurare în regim în scopul obținerii informațiilor de interes privind erorile de măsurare în regim dinamic

Programul *ST.E.M.D.vi* are și un caracter de diagnosticare în ceea ce privește calitatea măsurărilor în regim dinamic, din punctul de vedere al preciziei. În acest scop s-a folosit un indicator numeric pentru afișarea valorii maxime admisibile a erorii de măsurare. Pentru determinarea acestei valori-limită a erorii s-a stabilit un algoritm de calcul, pornindu-se de la valoarea câmpului de toleranță. Programarea acestei rutine este prezentată în figura 2.8.4.

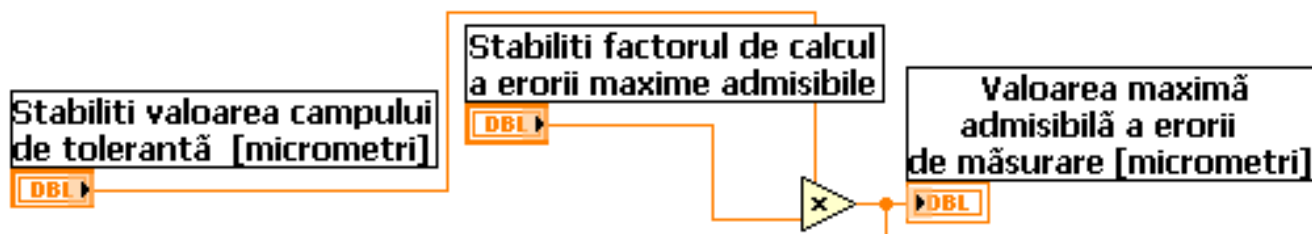


Fig. 2.8.4 Programarea rutinei de calcul a valorii admisibile a erorii de măsurare

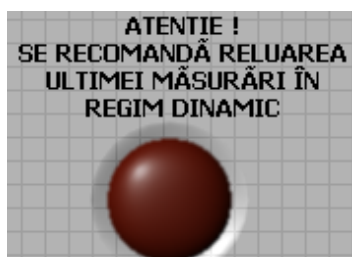


Fig. 2.8.5 Informarea operatorului asupra calității procesului de măsurare în regim dinamic

În afară de indicatorul numeric, diagnosticarea asupra preciziei este completată de un LED de stare, ce informează operatorul asupra calității procesului de măsurare dimensională în regim dinamic, pentru fiecare regim de viteză în parte (figura 2.8.5).

Printr-un indicator de tip grafic se generează diagrama de distribuție a erorilor de măsurare în regim dinamic, în raport cu valoarea maximă admisibilă a erorii de măsurare (figura 2.8.6).

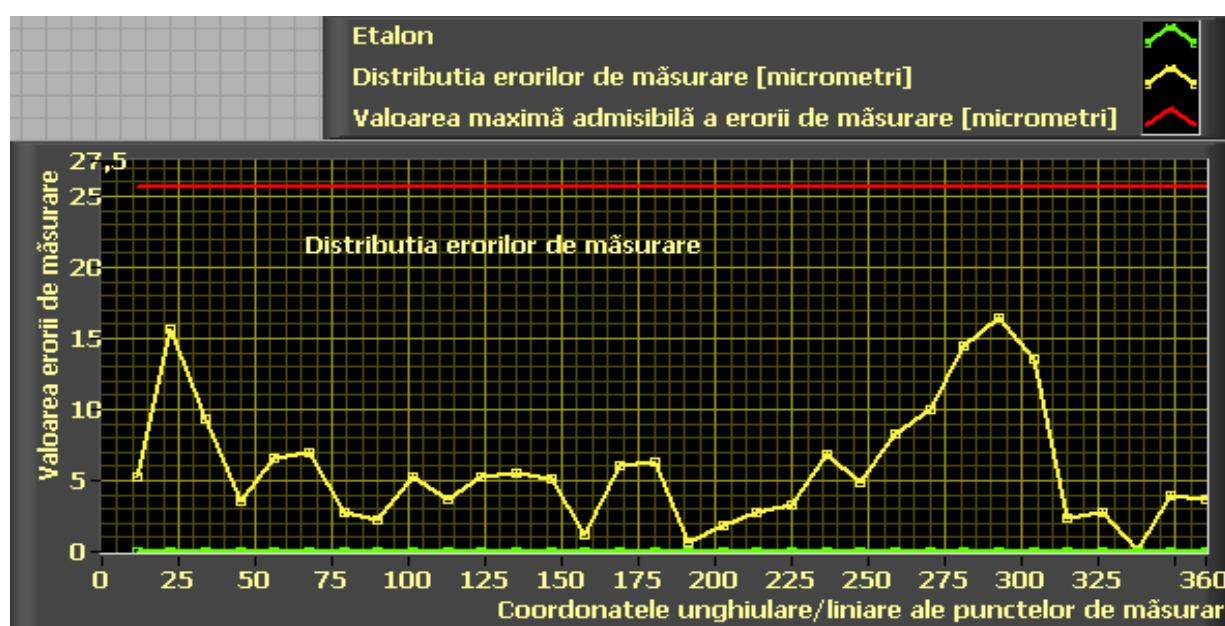


Fig. 2.8.6 Generarea diagramei de distribuție a erorilor de măsurare în regim dinamic, la o rulare a programului ST.E.M.D.vi

Algoritmul de programare pentru obținerea diagramei, prezentat în figura 2.8.7, constă în suprapunerea intrărilor unor funcții de multiplexare, *Build Array*.

Pentru trasarea primului grafic, reprezentând prima intrare la funcția de multiplexare, prin intermediul funcției *Bundle s*-au grupat două perechi de valori, prima reprezentând coordonatele punctelor de măsurare, cea de a doua reprezentând vectorul ce conține valoarea zero a erorii, ca etalon. Acest vector conține un număr de iterații egal cu numărul punctelor de măsurare, fiind generat la ieșirea unei structuri repetitive, *FOR – LOOP*, în care *s*-a înscris valoarea zero (figura 2.8.7).

Cel de al treilea grafic este reprezentat de cea de a treia intrare la multiplexor și constă de asemenea în două șiruri de valori grupate, primul fiind cel al coordonatelor punctelor de măsurare, iar cel de al doilea fiind vectorul ce conține valoarea erorii maxime admisibile.

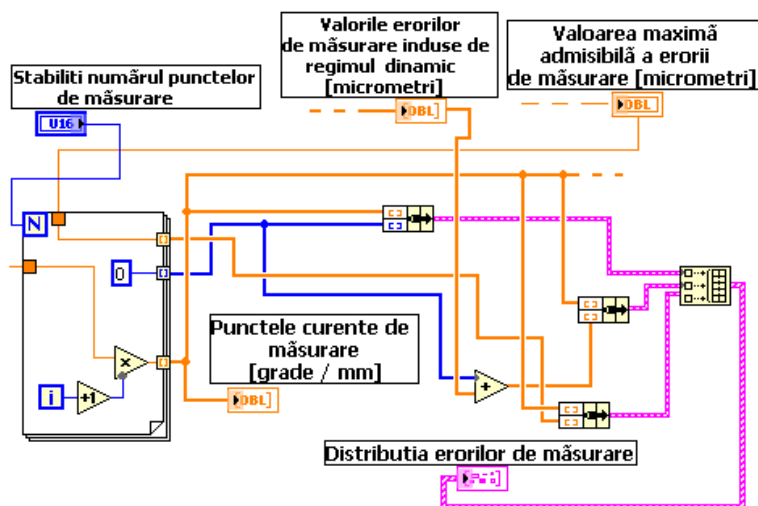


Fig. 2.8.7 Rutina de program pentru generarea diagramei de distribuție a erorilor de măsurare în regim dinamic

Pentru cel de al doilea grafic, s-a adresat cea de a doua intrare la funcția de multiplexare, aceasta conținând de asemenea două șiruri de valori, grupate prin funcția *Bundle*. Primul șir definește coordonatele punctelor de măsurare, iar cel de al doilea, valorile erorilor de măsurare în regimul dinamic.

Și acest vector conține un număr de iterații egal cu numărul punctelor de măsurare, fiind generat la ieșirea aceleiași structuri repetitive în care s-a generat valoarea erorii de măsurare maxime admisibile.

La rularea aplicației *ST.E.M.D.vi*, rezultatele privind erorile de măsurare în regim dinamic sunt salvate într-un fișier de tip text sau EXCEL, după același procedeu ca și cel descris în cadrul aplicațiilor *I.D.A.D.vi*, *I.D.A.S₁.vi*, *I.D.A.S₂.vi* și *I.D.A.S₃.vi*.

O rulare a programului corespunde evaluării preciziei de măsurare, în cazul antrenării reperului testat cu o anumită viteză, în cazul inspecției dimensionale cu un anumit traductor de deplasare. Astfel, fiecare fișier de date măsurate în regim dinamic corespunde unei viteze de antrenare a reperului, în cazul măsurării cu fiecare traductor de deplasare, în parte. În acest mod s-au obținut fișierele *EXCEL* privind rezultatele asupra preciziei de măsurare în regim dinamic, în cazul folosirii tuturor mijloacelor, pentru toate vitezele de antrenare, în cazul ambelor repere supuse studiului. Aceste fișiere au fost sintetizate în tabelele de date specifice preciziei cu fiecare mijloc de măsurare, în parte.

2.9 CONCLUZII PRIVIND AVANTAJELE SOLUȚIEI PROPUSE, PRIN APLICAȚIA *I.D.A.D.VI*

Prin structura sa, aplicația LabVIEW *I.D.A.D.vi* permite o îmbunătățire a procesului de inspecție dimensională, datorită următoarelor avantaje:

- la o rulare a programului, operatorul obține toate informațiile necesare privind rezultatele măsurării dimensionale a unui reper aflat în faza de prelucrare;
- aplicația are un caracter flexibil prin faptul că utilizatorul poate să-și aleagă, după situație, mijlocul de măsurare, tipul de reper supus controlului, parametrul geometric, precum și parametrii de măsurare;
- datorită faptului că aplicația delimitează foarte precis ciclul de măsurare (momentul începerii și al terminării fiind condiționate de evenimente logice), acest proces se poate face cu precizie ridicată;
- această aplicație este ușor de folosit, atât în cazul producției de serie mare, cât și în cazul reperelor fabricate în serii mici.

2.10 OPTIMIZAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A ECHIPAMENTULUI ȘI A PARAMETRILOR DE MĂSURARE

În cadrul cercetărilor privind optimizarea procesului de inspecție dimensională pe automatele industriale, în completarea aplicației *I.D.A.D.vi*, s-a dezvoltat o altă aplicație LabVIEW, cu denumirea *Optimizarea echipamentului de măsurare asistată, O.E.M.A.vi*. Aceasta are drept scop optimizarea echipamentului de măsurare din punctul de vedere al eficienței și al costurilor. Aplicația *O.E.M.A.vi* și-a propus abordarea problemei de optimizare a procesului din punctul de vedere al stabilirii mijlocului de măsurare optim, în funcție de criteriilor: productivitate¹², precizie de măsurare, domeniu de măsurare al mijloacelor și costuri [Q1]. În figura 2.10.1 este prezentată structura aplicației *O.E.M.A.vi*, din punctul de vedere al criteriilor de optimizare a procesului de inspecție dimensională.

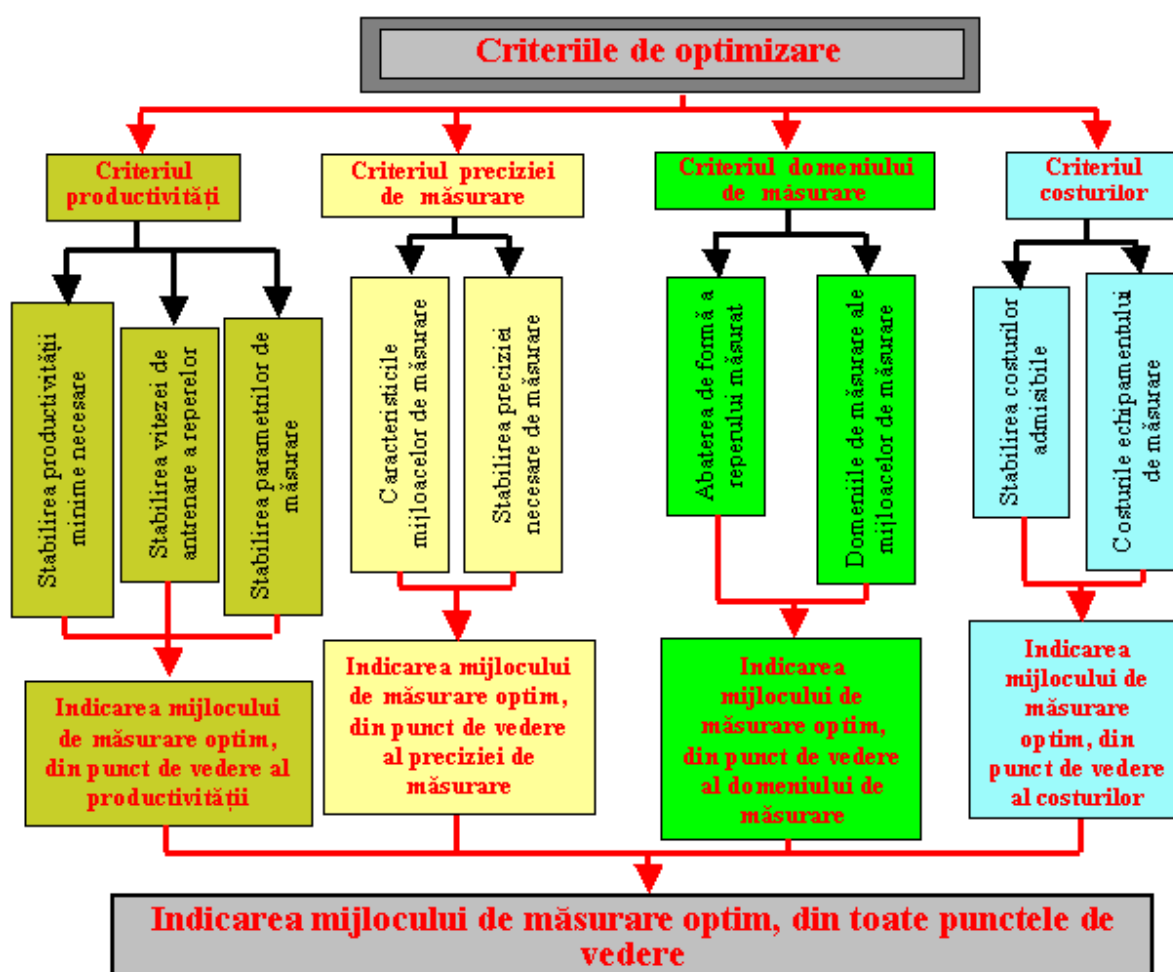


Fig. 2.10.1 Structura aplicației *O.E.M.A.vi*, din punctul de vedere al criteriilor de optimizare al mijloacelor de măsurare

În vederea obținerii de informații privind alegerea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al tuturor criteriilor, la rularea aplicației trebuie parcurse următoarele etape:

- stabilirea, în funcție de situație, a criteriilor de optimizare a echipamentului de măsurare (figura 2.10.2, a);

¹² În acest context, prin *productivitate* se înțelege numărul de repere testate pe oră

- stabilirea parametrilor geometrici ai reperelor supuse măsurării (figura 2.10.2, b);
- specificarea condițiilor de asigurare a inspecției dimensionale (figura 2.10.3, a); aici se alege mijlocul de măsurare ce urmează a fi evaluat din punctul de vedere al celor patru criterii;
- specificarea costurilor necesare procesului de inspecție dimensională (figura 2.10.3, b);
- stabilirea parametrilor dinamici ai procesului de inspecție dimensională (figura 2.10.4);
- specificarea caracteristicilor tehnice ale mijloacelor de măsurare (figura 2.10.5).

OPTIMIZAREA ECHIPAMENTULUI DE MĂSURARE ASISTATĂ, O.E.M.A

STABILIREA CRITERIILOR DE OPTIMIZARE A ECHIPAMENTULUI DE MĂSURARE ASISTATĂ

Stabiliti productivitatea minimă necesară [număr reperi testate/oră] **120**

Estimați abaterea totală de formă a reperului [mm] **0,2**

Stabiliti eroarea maximă admisibilă [micrometri] **6**

Stabiliti valoarea maximă admisibilă a costului procesului de inspecție dimensională asistată [Euro] **3300**

STABILIREA PARAMETRILOR GEOMETRICI AI REPERELOR MĂSURATE

Introduceți raza reperului [mm] **75**

Introduceți lungimea suprafeței de măsurare a reperului [mm] **125**

Introduceți numărul de puncte de măsurare pe lungimea scanată **30**

Fig. 2.10.2 Stabilirea criteriilor de optimizare a echipamentului de măsurare

SPECIFICAREA CONDIȚIILOR DE REALIZARE A INSPECȚIEI DIMENSIONALE

Alegeti tipul de reper supus inspecției dimensionale, din lista de mai jos
Reper antrenat în rotație

Reperul testat este confectionat din: (vezi listă)
Material nedeformabil

Alegeti din listă un tip de traductor
Traductor cu sursă laser

Alegeti din listă regimul în care are loc inspecția dimensională
Dinamic - antrenare cu viteze mari (peste 10 mm/s)

Care este gradul de strălucire al suprafeței reperului? (vezi listă)
Suprafață mată

COSTURILE NECESARE PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ

TRADUCTOARELE INDUCTIVE

Introduceți valoarea estimativă a costului necesar cuplării traductoarelor inductive la postul de control, respectiv la calculator [Euro] **110**

Introduceți valoarea estimativă a costului unui traductor inductiv [Euro] **280**

Introduceți valoarea estimativă a costului necesar cursurilor de instruire privind familiarizarea cu mediul software cu care traductoarele inductive au fost livrate [Euro] **580**

Figura 2.10.3 Specificarea costurilor și condițiilor de exploatare a diferitor categorii de mijloace de măsurare: a) specificarea condițiilor în care are loc procesul de inspecție dimensională; b) Specificarea costurilor necesare procesului de inspecție dimensională, în cazul folosirii ca mijloace de măsurare a traductoarelor de deplasare inductive

STABILIREA PARAMETRILOR DINAMICI AI PROCESULUI

Introduceți valoarea vitezei tangențiale/liniare de antrenare a reperului [mm/s] **22,75**

Selectați din listă durata maximă ce poate fi alocată într-o zi procesului de inspecție dimensională [ore] **4**

Fig. 2.10.4 Stabilirea parametrilor dinamici ai procesului de inspecție dimensională

Aplicația propusă furnizează informații pentru trei situații distincte:

- în dotare există un singur tip de mijloc de măsurare, caz în care aplicația indică faptul că acel mijloc poate fi folosit cu succes, dacă sunt îndeplinite toate criteriile (figura 2.10.5);
- în dotare există cel puțin două tipuri de mijloace de măsurare, în acest caz aplicația *O.E.M.A.vi* indicând mijlocul optim din punctul de vedere al îndeplinirii tuturor criteriilor (figurile 2.10.6 ÷ 2.10.11);
- în cazul în care nu există nici un traductor în dotare sau nici unul dintre mijloacele de măsurare existente nu satisface toate criteriile impuse, atunci aplicația îi permite utilizatorului să verifice dacă acestea ar fi îndeplinite în cazul achiziționării altor tipuri de mijloace de măsurare și alegerea mijlocului de măsurare optim.

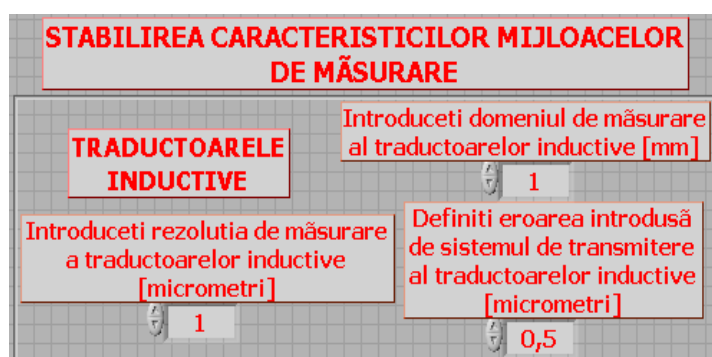


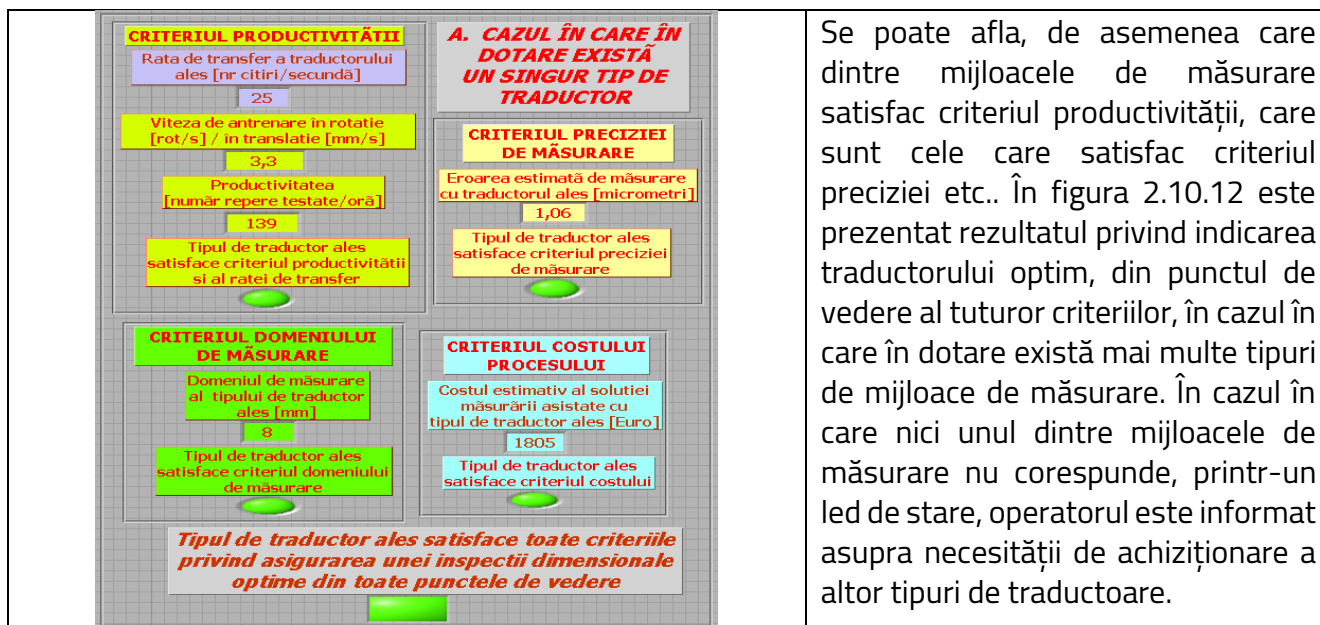
Fig. 2.10.5 Specificarea caracteristicilor tehnice, în cazul în care ca mijloace de măsurare se folosesc traductoarele inductive de deplasare

În prima situație, este necesară introducerea datelor privind criteriile de optimizare, a condițiilor de asigurare a măsurării, respectiv costul și caracteristicile echipamentului de măsurare. La rularea aplicației *O.E.M.A.vi*, utilizatorul va ști dacă acel mijloc de măsurare satisface toate criteriile impuse,

În acest mod, inspecția dimensională se va face eficient, cu precizie și cu costuri reduse (figura 2.10.6). Informațiile sunt defalcate pe categorii.

În cea de a doua situație, procedura de utilizare a aplicației este aceeași, cu deosebirea că trebuie introduse datele privind costul și caracteristicile tuturor mijloacelor de măsurare existente în dotare. În acest caz, la rularea aplicației, utilizatorul va ști care dintre mijloacele de măsurare este optim, din punctul de vedere al fiecărui criteriu (figurile 2.10.6 ÷ 2.10.11).

Pentru mijlocul de măsurare optim din toate punctele de vedere, aplicația *O.E.M.A.vi* permite salvarea informațiilor legate de cele patru criterii, sub forma unor fișiere *EXCEL*.



Se poate afla, de asemenea care dintre mijloacele de măsurare satisfac criteriul productivității, care sunt cele care satisfac criteriul preciziei etc.. În figura 2.10.12 este prezentat rezultatul privind indicarea traductorului optim, din punctul de vedere al tuturor criteriilor, în cazul în care în dotare există mai multe tipuri de mijloace de măsurare. În cazul în care nici unul dintre mijloacele de măsurare nu corespunde, printr-un led de stare, operatorul este informat asupra necesității de achiziționare a altor tipuri de traductoare.

Fig. 2.10.6 Cazul în care în dotare există un singur tip de mijloc de măsurare, acesta corespunde din toate punctele de vedere



Fig. 2.10.7 Indicarea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al criteriului productivității

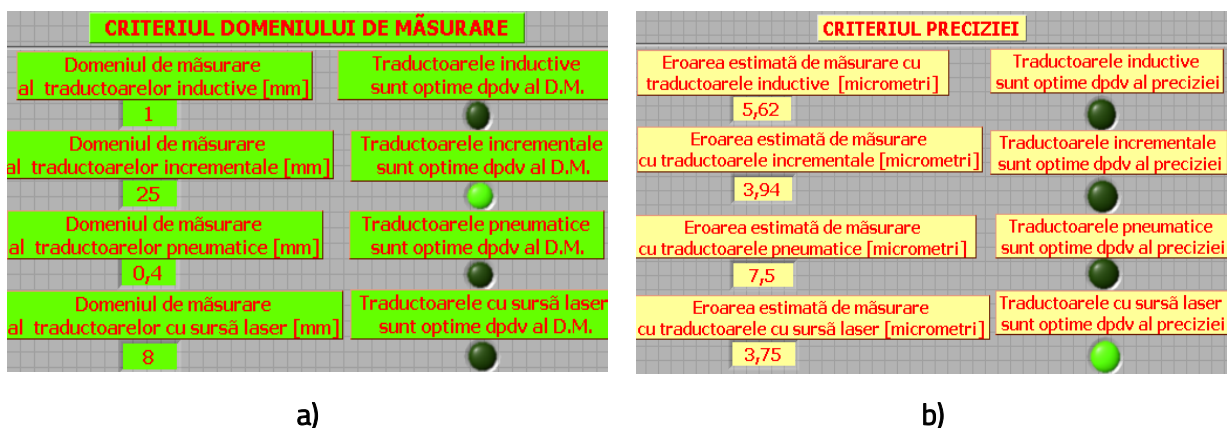


Fig. 2.10.8 Secvențele din interfață prin care sunt indicate mijloacele optime de măsurare din punctul de vedere al criteriului domeniului de măsurare și al preciziei: a) criteriul domeniului de măsurare; b) criteriul preciziei

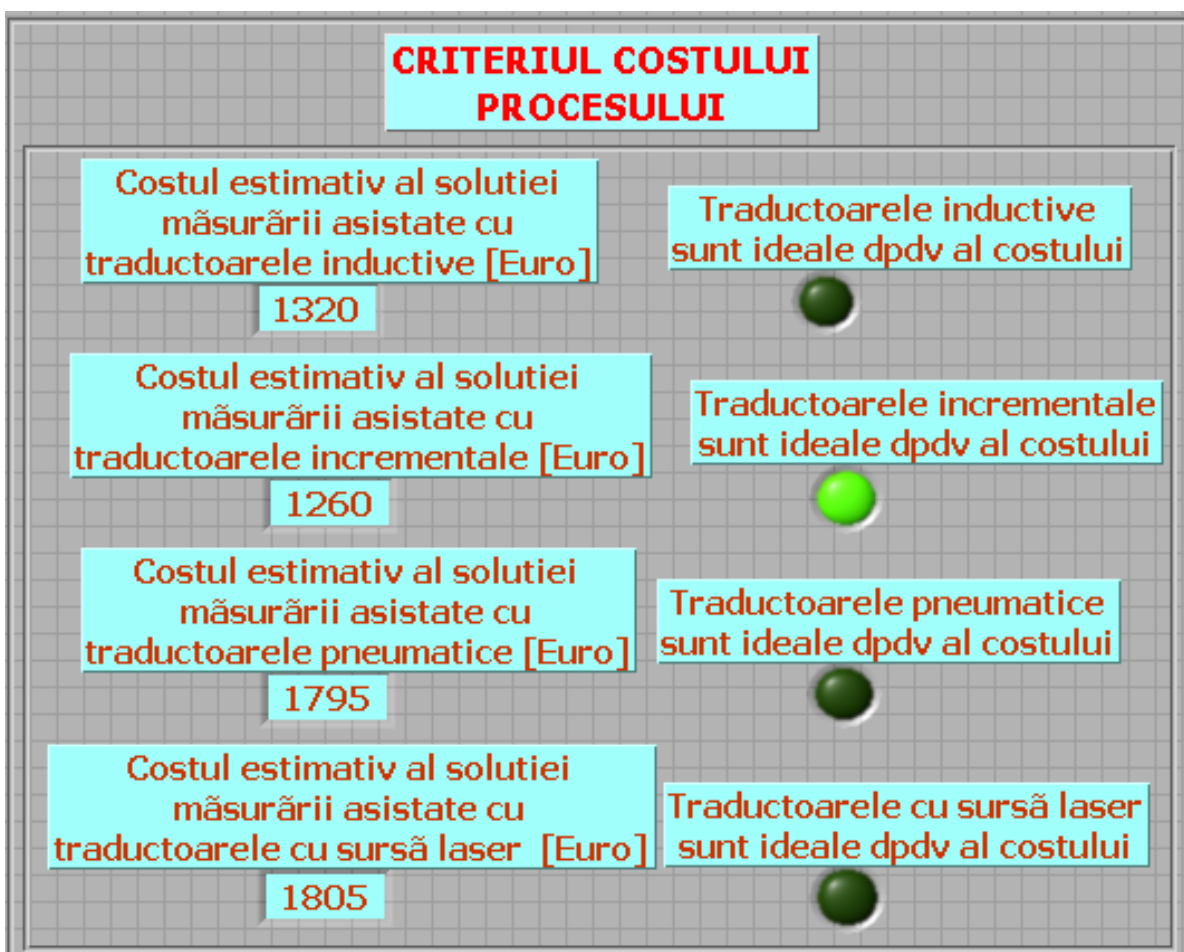


Fig. 2.10.9 Indicarea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al criteriului costului



Fig. 2.10.10 Recomandarea pe criterii a mijloacelor de măsurare adecvate

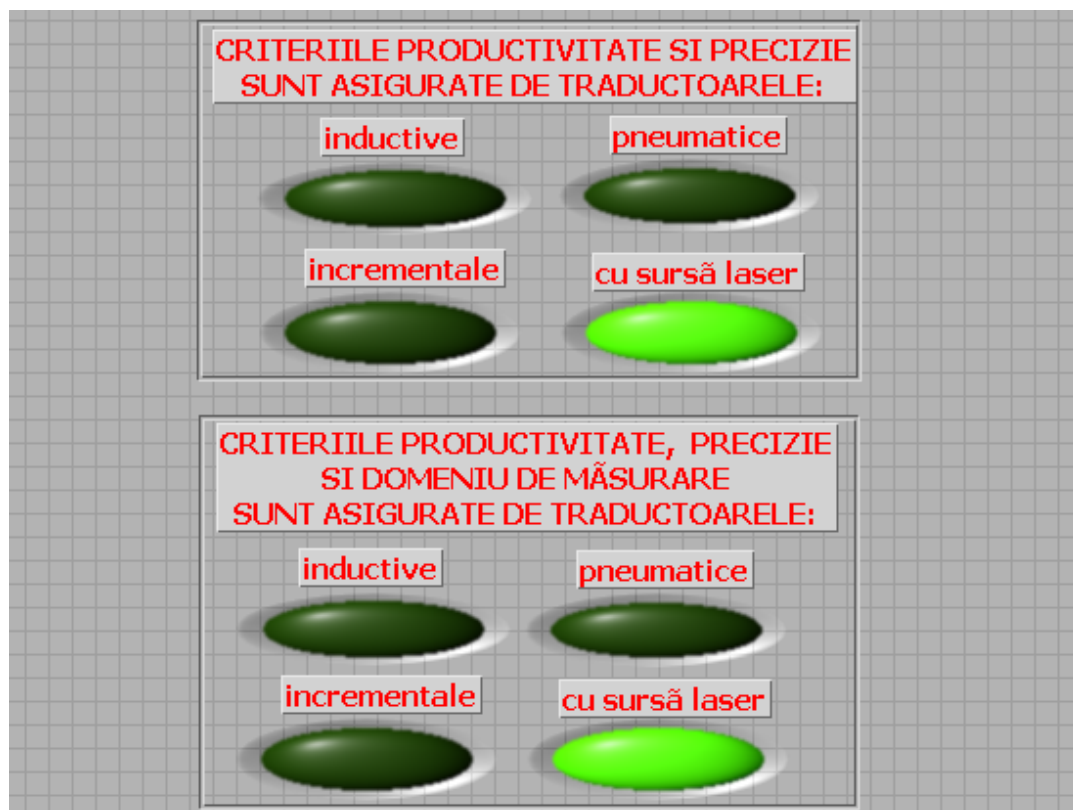


Fig. 2.10.11 Indicarea mijloacelor de măsurare care satisfac unul sau mai multe criterii de optimizare a procesului de inspecție dimensională



Fig. 2.10.12 Indicarea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al tuturor criteriilor

În figurile 2.10.13 și 2.10.14 sunt prezentate aspecte ale ferestrei-panou a aplicației *O.E.M.A.vi*, ce țin de situația în care este necesară achiziționare altor tipuri de mijloace de măsurare decât cele existente în dotare. Aplicația răspunde și cazurilor în care este necesară măsurarea unor repere confecționate din materiale deformabile, în acest caz aspectele ce țin de mijloacele de măsurare cu contact fiind irelevante.

Ca algoritm de programare a aplicației *O.E.M.A.vi* s-a folosit câte o structură casuală *CASE*, pentru determinarea rezultatelor privind fiecare criteriu de optimizare.

În mod asemănător s-a procedat pentru programarea algoritmilor pentru indicarea celorlalte informații privind criteriile de optimizare a mijloacelor de măsurare.

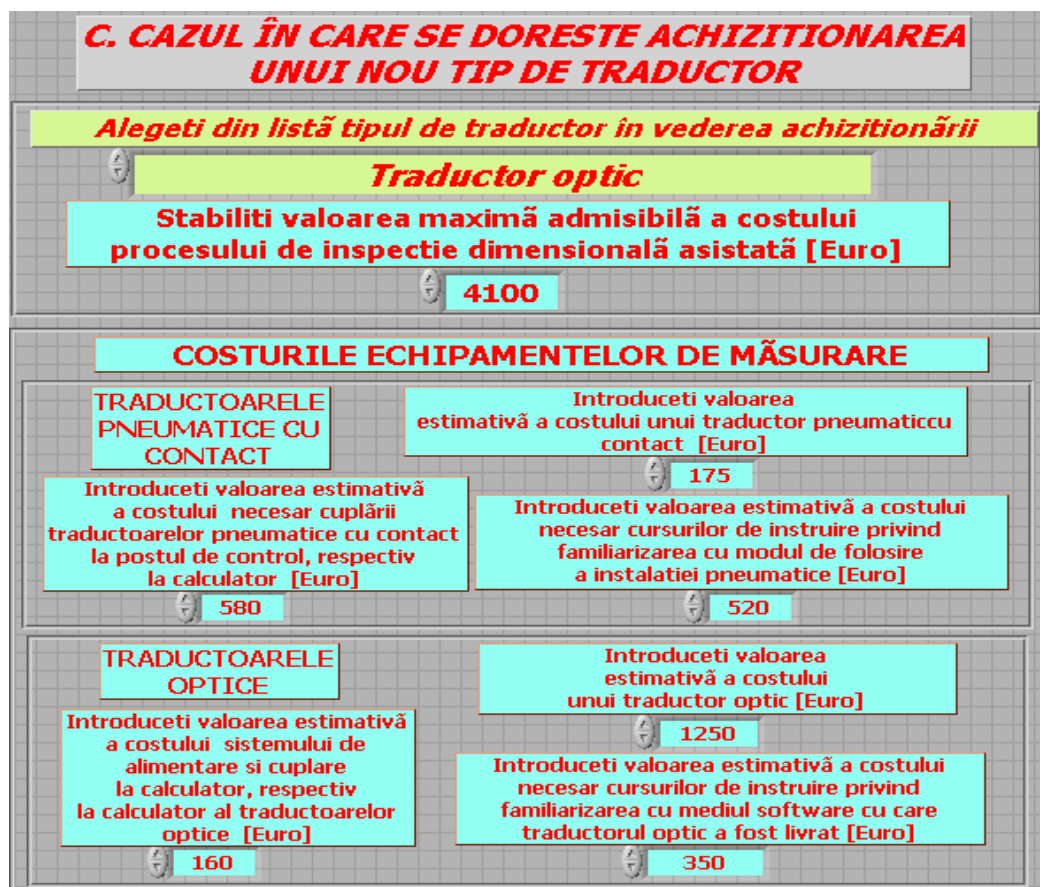


Fig. 2.10.13 Specificarea costurilor mijloacelor de măsurare propuse spre a fi achiziționate

CARACTERISTICILE MIJLOACELOR DE MĂSURARE

TRADUCTOARELE PNEUMATICE CU CONTACT

Introduceti domeniul de măsurare al traductoarelor pneumatice [mm] **3**

Introduceti rezoluția de măsurare a traductoarelor pneumatice [micrometri] **2**

TRADUCTOARELE OPTICE

Introduceti domeniul de măsurare al traductoarelor optice [mm] **8**

Introduceti rezoluția de măsurare a traductoarelor optice [micrometri] **0,5**

Fig. 2.10.14 Specificarea costurilor și a caracteristicilor mijloacelor de măsurare propuse spre a fi achiziționate

CRITERIUL PRODUCTIVITĂȚII

Traductorul propus spre achiziționare ar satisface criteriul productivității

Productivitatea [număr reperi testate/oră] **165**

CRITERIUL PRECIZIEI DE MĂSURARE

Eroarea de măsurare cu traductorul propus spre achiziționare ar fi: [micrometri] **0,75**

Traductorul propus spre achiziționare ar satisface criteriul preciziei

CRITERIUL DOMENIULUI DE MĂSURARE

Domeniul de măsurare [mm] **8**

Traductorul ar satisface criteriul domeniului de măsurare

CRITERIUL COSTULUI PROCESULUI

Costul echipamentului necesar în cazul în care s-ar achiziționa traductorul specificat din listă **2110**

Traductorul ar satisface criteriul costului

Traductorul propus spre achiziționare ar satisface toate criteriile impuse

Fig. 2.10.15 Cazul în care mijlocul de măsurare propus spre achiziționare ar corespunde din toate punctele de vedere

Principalele avantaje pe care le prezintă aplicația propusă, *O.E.M.A.vi*, pentru optimizarea echipamentului de măsurare folosit în cadrul procesului de inspecție dimensională sunt următoarele:

- flexibilitatea (aplicația ajută utilizatorul să ia o decizie în diferite situații reale);
- timpul scurt de răspuns (specificând informațiile cunoscute legate de mijloacele de măsurare, respectiv condițiile necesare procesului de măsurare, la o rulare a programului, operatorul are la dispoziție toate informațiile necesare luării unei decizii).

2.11 ARGUMENTE ÎN FAVOAREA FOLOSIRII MEDIULUI DE INSTRUMENTAȚIE VIRTUALĂ LABVIEW

Folosirea mediului de programare grafică *LabVIEW*, dezvoltat de compania *National Instruments*, în scopul optimizării procesului de inspecție dimensională s-a făcut datorită faptului că acesta prezintă următoarele avantaje:

- oferă posibilitatea cuplării la calculator, prin intermediul plăcilor de achiziție, a diferitelor echipamente de măsurare [J4];
- acest mediu software permite adresarea oricărei interfețe de comunicare cu sistemele de achiziție cuplate la traductoarele de măsurare;
- permite simularea de procese și fenomene fizice, mecanice, electronice, chimice etc.;
- este foarte potrivit pentru realizarea de aplicații cu caracter flexibil în domeniul măsurărilor parametrilor fizici și mecanici ai oricărui proces;
- permite crearea de aplicații atât pentru controlul proceselor foarte complexe, în timp real, cât și pentru simularea acestora sau controlul în urma proceselor sau fenomenelor, pe baza importării de fișiere de date generate anterior;
- permite crearea așa numitelor instrumente virtuale, care pot înlocui cu succes o gamă foarte largă de instrumentație sau aparatură necesară în controlul sau măsurarea diferitor parametri.

Din toate aceste motive, soluția folosirii mediului *LabVIEW* se dovedește practică, eficientă și ieftină pentru foarte multe cazuri în care este necesară monitorizarea unor procese complexe, întâlnite în viața de zi cu zi.

Aceste avantaje majore sunt valabile și în cazul inspecției dimensionale, fie că este vorba de procesul realizat instantaneu, fie că este vorba doar de o interpretare a rezultatelor măsurate anterior folosind alte sisteme software.

CAPITOLUL 3

CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND STABILIREA UNOR CONDIȚII-LIMITĂ LA INSPECȚIA DIMENSIONALĂ

3.1 OBIECTUL CERCETĂRII TEORETICE

În scopul unei optimizări cât mai fundamentate a procesului de inspecție dimensională în cadrul automatizărilor industriale, s-a realizat un studiu analitic privind influența condițiilor-limită în care se asigură inspecția dimensională asupra preciziei de măsurare.

Cercetarea teoretică a avut ca principal obiect studiul analitic al influenței contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața măsurată, în regim dinamic, fiind tratate două aspecte:

- studiul influenței vitezei de antrenare a reperelor testate asupra contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața supusă inspecției dimensionale [C19], [R7];
- studiul privind gradul de deformare a reperelor de mici dimensiuni în cazul măsurării cu mijloace bazate pe contactul cu suprafața supusă inspecției dimensionale.

Primul aspect al cercetării a avut drept scop stabilirea limitelor în ceea ce privește viteza de antrenare a reperelor măsurate, pentru care nu are loc întreruperea contactului dintre palpatorul mijlocului de măsurare și suprafața piesei.

În ceea ce privește cel de al doilea aspect al cercetării, s-a urmărit determinarea limitei dimensionale în cazul reperelor miniaturale, pentru care gradul de deformare a acestora prin contactul cu traductorul, nu influențează precizia de măsurare. Acest studiu s-a realizat în scopul stabilirii mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al contactului cu suprafața.

Ambele studii au avut drept scop principal stabilirea mijlocului și a condițiilor de măsurare optime, pentru o gamă cât mai largă de componente funcționale ale produselor finite, în contextul inspecției dimensionale asistate cu caracter flexibil.

3.2 STUDIUL PRIVIND INFLUENȚA VITEZEI DE ANTRENARE ASUPRA CONTACTULUI DINTRE MIJLOCUL DE MĂSURARE ȘI SUPRAFAȚA REPERULUI SUPUS INSPECȚIEI DIMENSIONALE ÎN REGIM DINAMIC

În cazul măsurărilor prin contact cu piesa s-a realizat un studiu analitic pentru determinarea vitezei-limită până la care se păstrează contactul dintre piesă și mijlocul de măsurare.

Drept obiect al studiului s-a luat cazul măsurării în regim dinamic a reperelor antrenate în mișcare de rotație (arbori, rulmenți, fulii, volanți etc.), respectiv al celor antrenate în translație (ghidaje, carcase, rigle etc.).

3.2.1 Studiul analitic al comportării în regim dinamic, în cazul pieselor de revoluție

În vederea adaptării studiului analitic pentru cazurile generale, s-au considerat următoarele ipoteze:

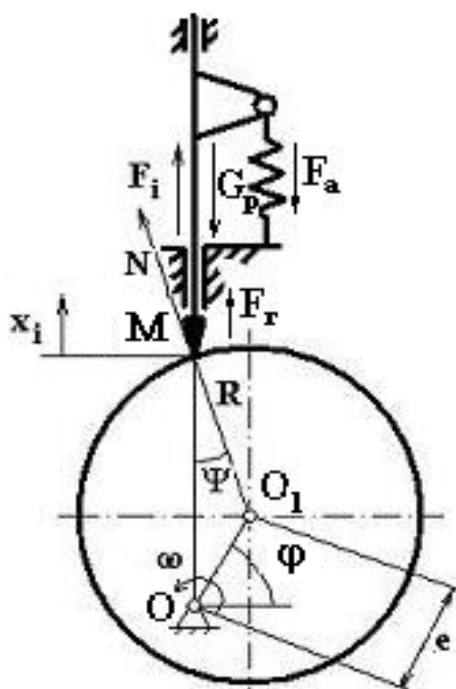
- în cazul reperelor ce necesită precizie ridicată de prelucrare a suprafeței, influența rugozității poate fi neglijată, deoarece raza vârfului de palpate (maxim 0,5 mm) este mult mai mare decât mărimea micro-neregularităților suprafeței măsurate [A6], [D3], [G1], [K1];

- parametrul care poate conduce la desprinderea palpatorului în regim dinamic este excentricitatea, incluzând abaterile de suprafață, mai ales în cazul reperelor antrenate în rotație [C19], [D5].

În cazul reperelor antrenate în rotație, la modelarea contactului în regim dinamic s-a ținut cont de eroarea de centrare a reperului măsurat (e),

În cadrul studiului analitic aplicat asupra pieselor antrenate în mișcarea de rotație, s-au tratat două cazuri distincte: cazul dispunerii palpatorului în plan vertical și orizontal.

3.2.1.1 Dispunerea palpatorului în plan vertical (figura 3.2.1)



Semnificațiile mărimilor fizice și mecanice sunt:

G_p - greutatea elementului de palpare; F_a - forța arcului; F_i - forța de inerție a ansamblului palpator - arc;

N - reacțiunea piesei;

e - excentricitatea piesei;

ω - viteza de rotație a piesei; O_1 - centrul geometric al piesei;

O - centrul de rotație al piesei.

Ca urmare a existenței unei erori de centrare și de formă a reperului, oricât de precis ar fi dispozitivul de fixare în postul de control, între centrul geometric al piesei și axa sa de rotație apare o excentricitate e .

Fig. 3.2.1 Modelarea contactului palpator piesă de revoluție, în regim dinamic în cazul măsurării cu traductoarele pe principiul contactului cu suprafața, pentru dispunerea palpatorului pe direcție verticală [B18], [C19]

Aceasta face ca poziția punctului de contact M , dintre piesă și palpator, să se modifice periodic [C19]. Punctele O , O_1 , M formează un mecanism bielă - manivelă excentric [D3]. Pe acest considerent se poate exprima coordonata x de forma:

$$x = e \cdot \sin \varphi + R \cdot \sqrt{1 - \frac{e^2}{R^2} \cdot \cos^2 \varphi} - R. \quad (3.2.1)$$

Dacă excentricitatea piesei este foarte mică în raport cu raza piesei, R , atunci se poate face simplificarea:

$$\frac{e^2}{R^2} \cong 0. \quad (3.2.2)$$

De aici, coordonata x devine:

$$x = e \cdot \sin \varphi \quad (3.2.3)$$

Dacă se exprimă unghiul φ în funcție de viteza de rotație a piesei, atunci:

$$x = e \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (3.2.4)$$

Ecuția de echilibru dinamic a palpatorului pe direcția x , în cazul în care piesa este dispusă vertical este exprimată în relația (3.2.5).

$$F_r + F_i - G_p - F_a = 0, \quad (3.2.5)$$

unde F_r reprezintă forța de reacțiune a piesei asupra palpatorului. Datorită rugozității foarte mici a tijei palpatoare a traductorului (de până la 1 μm), forțele de frecare a acesteia cu lagărele proprii pot fi considerate neglijabile. Prin exprimarea forțelor în funcție de deplasarea tijei, ecuația devine:

$$N \cdot \cos\Psi + F_i - G_p - F_a = 0, \quad (3.2.6)$$

unde Ψ reprezintă unghiul forței de reacțiune față de direcția normală la suprafața de contact.

Dacă se notează coeficientul de elasticitate al arcului cu k , forța elastică curentă ce se dezvoltă poate fi scrisă sub forma:

$$F_a = F_{a_{med}} + k \cdot x = F_{a_{min}} + k \cdot e + k \cdot x, \quad (3.2.7)$$

unde $F_{a_{med}}$ este forța medie ce se dezvoltă în arc, iar $F_{a_{min}}$ reprezintă forța minimă a arcului. Forța de inerție a palpatorului se poate exprima și ea în funcție de deplasarea x a acestuia:

$$F_i = -m \cdot \ddot{x} = -m \cdot \frac{d^2}{dt^2}(e \cdot \sin(\omega \cdot t)) = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (3.2.8)$$

Din relațiile (4.6), (4.7) și (4.8) se obține ecuația dinamică de mișcare a palpatorului:

$$N \cdot \cos\Psi + m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) - G_p - F_{a_{min}} - k \cdot e - k \cdot x = 0. \quad (3.2.9)$$

Considerând că, pentru o valoare foarte redusă a excentricității e , unghiul $\Psi \rightarrow 0$, se poate face aproximarea $\cos\Psi \cong 1$ și, de aici, reacțiunea N se exprimă sub forma:

$$N = F_{a_{min}} + k \cdot e + k \cdot x - m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) + G_p. \quad (3.2.10)$$

Condiția de realizare a contactului între palpator și piesa de măsurat este ca reacțiunea N să fie pozitivă, nenulă, de unde ea se poate scrie:

$$F_{a_{min}} + k \cdot e + k \cdot x - m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) + G_p \geq 0. \quad (3.2.11)$$

Notându-se cu $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ pulsația proprie a sistemului, se obține:

$$F_{a_{min}} + k \cdot e + m \cdot \omega_0^2 \cdot e \cdot \sin(\omega \cdot t) - m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) + G_p \geq 0, \quad (3.2.12)$$

sau

$$F_{a_{min}} + k \cdot e + m \cdot e \cdot (\omega_0^2 - \omega^2) \sin(\omega \cdot t) + G_p \geq 0. \quad (3.2.13)$$

În timpul rotației piesei, cazul cel mai nefavorabil, adică cel care prezintă risc maxim de desprindere a palpatorului de piesă apare atunci când piesa se poziționează pe direcție ortogonală față de direcția de palpate (unghiul $\varphi = 90^\circ$) ($\sin(\omega t) = 1$) și $\omega > \omega_0$. În această situație deplasarea palpatorului de face

pe o distanță egală cu deplasarea dată de excentricitate ($x = e$), și forța minimă din arc trebuie să îndeplinească următoarea condiție:

$$F_{amin} \geq e \cdot (m \cdot \omega^2 - 2 \cdot k) - G_p, \quad (3.2.14)$$

de unde

$$F_{amin} \geq (\omega^2 - 2 \cdot \omega_0^2) \cdot m \cdot e - G_p. \quad (3.2.15)$$

Relația (4.15) permite determinarea forței elastice minime F_{amin} necesare în arc pentru menținerea contactului între palpator și suprafața reperului măsurat.

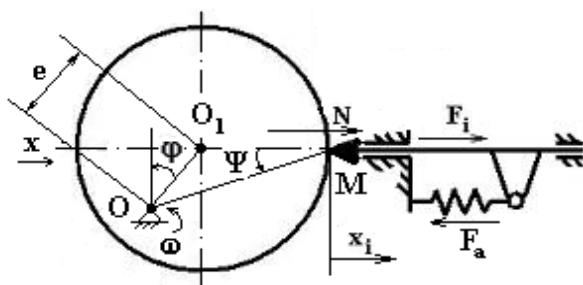
Pe baza relației (3.215), se poate determina viteza de rotație maximă ce poate asigura funcționarea sistemului:

$$\omega \leq \sqrt{\frac{F_{amin} + G_p}{m \cdot e} + \frac{2 \cdot k}{m}}. \quad (3.2.16)$$

Pentru determinarea forței minime din arc, se va ține seama de caracteristicile tehnice ale acestuia, conform relației (3.2.17):

$$n = \frac{G}{8} \cdot \frac{d^4 \cdot f}{D_m^3 \cdot (F_a - F_0)}, \quad (3.2.17)$$

unde G este modulul de elasticitate transversală al materialului din care este confecționat arcul, d - diametrul spirei arcului, f - săgeata arcului, D_m - diametrul mediu al arcului, iar F_0 reprezintă forța arcului în stare de pretensionare.



Aceasta se exprimă, la rândul ei în funcție de constanta de pretensionare a arcului, τ_0 [D4], [D5].

Coordonata x se poate exprima prin relația (3.2.4), din aceleași considerente cu cele expuse anterior (figura 3.2.2).

Fig. 3.2.2 Modelarea contactului palpatorei-piesă de revoluție, în regim dinamic, în cazul măsurării cu traductoarele pe principiul contactului cu suprafața - dispunerea pe direcție orizontală [C19]

$$F_0 = \frac{5 \cdot d^3}{8 \cdot C \cdot D_m} \cdot \tau_0, \quad (3.2.18)$$

unde C reprezintă constanta arcului și se exprimă în funcție de raportul

$$\frac{D_m}{d} = i. \quad (3.2.19)$$

Tensiunea de pretensionare a arcului (τ_0) se calculează după relația de mai jos [D4]:

$$\frac{30}{i} \leq \tau_0 \leq \frac{30}{i} + 6. \quad (3.2.20)$$

Forța minimă din arc se poate exprima din relația (3.2.7), pentru cazul cel mai defavorabil, când $x = e$.

3.2.1.2 Dispunerea palpatorului în plan orizontal (figura 3.2.2)

$$x = e \cdot \sin \varphi = e \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (3.2.21)$$

Ecuția de echilibru devine:

$$N + F_i - F_a = 0. \quad (3.2.22)$$

Ținând cont de relațiile (3.2.7) și (3.2.8), ecuația echilibrului de forțe devine:

$$N + m \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) - F_{a_{min}} - k \cdot e - k \cdot x = 0. \quad (3.2.23)$$

De aici rezultă că reacțiunea suprafeței de contact este:

$$N = F_{a_{min}} + k \cdot e + k \cdot x - m \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (3.2.24)$$

și condiția de menținere a contactului dintre palpator și piesă, $N \geq 0$ va fi:

$$F_{a_{min}} + k \cdot e + m \cdot \omega_0^2 \cdot e \cdot \sin(\omega \cdot t) - m \cdot \omega^2 \cdot e \cdot \sin(\omega \cdot t) \geq 0, \quad (3.2.25)$$

adică

$$F_{a_{min}} + k \cdot e + m \cdot e \cdot (\omega_0^2 - \omega^2) \sin(\omega \cdot t) \geq 0. \quad (3.2.26)$$

Dacă $\sin(\omega \cdot t) = 1$, atunci

$$F_{a_{min}} + 2 \cdot k \cdot e - m \cdot e \cdot \omega^2 \geq 0, \quad (3.2.27)$$

ceea ce înseamnă că viteza de rotație – limită până la care nu are loc întreruperea contactului palpator piesă este:

$$\omega \leq \sqrt{\frac{F_{a_{min}} + 2 \cdot k \cdot e}{m \cdot e}}. \quad (3.2.28)$$

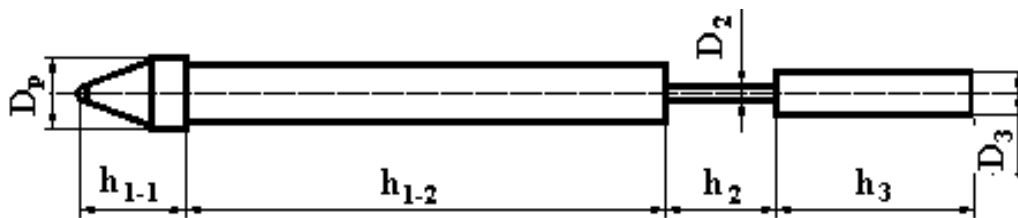
Pe baza stabilirii pe cale analitică a vitezei maxime de rotație pentru care contactul este perfect, s-a pus problema determinării vitezelor-limită pentru trei cazuri concrete, și anume cele trei tipuri de traductoare folosite în cadrul cercetării experimentale. Acest studiu a servit stabilirii condițiilor de realizare a determinărilor experimentale, sub aspectul dinamic.

În mediul de programare LabVIEW s-a realizat aplicația **Modelarea analitică a comportării dinamice pentru piesele antrenate în rotație, M.A.D.R.vi**, privind simularea comportării dinamice a contactului palpator – piesă. S-a luat în considerare o gamă cât mai largă de valori ce descriu caracteristicile tehnice și funcționale ale elementelor ce compun modelul prezentat în figurile 3.2.1 și 3.2.2.

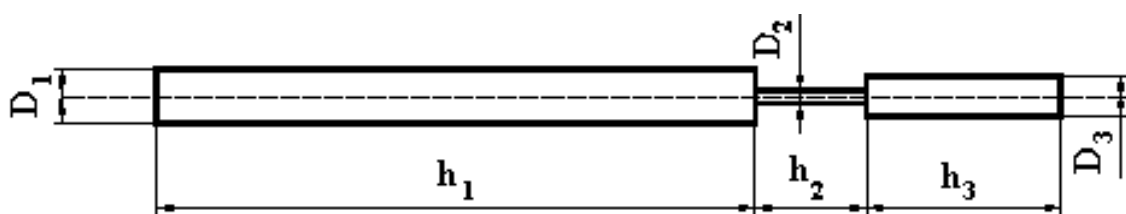
În cele ce urmează sunt descrise modelele geometrice ale tijelor palpatoare pentru fiecare tip de traductor, valorile dimensionale regăsindu-se ca date de intrare în aplicația **M.A.D.R.vi**.

a) Modelarea contactului în regim dinamic în cazul măsurării cu traductoarele inductive HOTTINGER

În figura 3.2.3 a) este prezentat modelul geometric al tijei palpatoare a traductoarelor inductive din seria HOTTINGER.



a)



b)

Fig. 3.2.3 Geometria tijei palpatoare a traductorului inductiv HOTTINGER: a) geometria reală; b) geometria modelului echivalent [H1]

Pentru simplificarea calculelor s-a considerat un model geometric echivalent, compus din trei cilindri, având configurația din figura 3.2.3 b), unde $h_1 \cong h_{1-2} + (0,9) \cdot h_{1-1}$, iar $D_1 \cong (0,95) \cdot D_p$.

Volumul total fiind exprimat prin suma celor trei volume, se exprimă prin relația (3.2.29).

$$V_t = \sum_{i=1}^3 V_i = \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^3 (d_i^2 \cdot h_i), \quad (3.2.29)$$

unde h_i și d_i reprezintă înălțimile și diametrele generatoarelor tronsoanelor cilindrice ale modelului echivalent. Exprimându-se în funcție de volum și densitate, masa tijei se poate calcula cu relația (3.2.30).

$$m = \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^3 (d_i^2 \cdot h_i). \quad (3.2.30)$$

Știindu-se faptul că tija este confecționată din invar (aliaj 64% Fe, 36% Ni), densitatea acesteia este $\rho = 8,6 \text{ g/cm}^3$ [T5].

Pe baza acestor date tehnice, prin rularea aplicației *M.A.D.R.vi*, s-au obținut datele privind turația – limită de antrenare a piesei, masa redusă a sistemului palpator–arc, precum forța minimă din arc. Rularea aplicației s-a făcut pentru diferite valori ale excentricității e .

b) Modelarea contactului în regim dinamic în cazul măsurării cu traductoarele inductive MARPOSS

Modelul geometric al tijei palpatoare a traductoarelor inductive din seria MARPOSS este prezentat în figura 3.2.4. Și în acest caz, în vederea simplificării calculului, s-a considerat un model echivalent, compus din patru cilindri ai căror volume pot fi ușor de calculat, după configurația din figura 3.2.3 b). Procedura de calcul a fost similară cu cazul traductoarelor HOTTINGER, în aplicația *M.A.D.R.vi* fiind introduse datele tehnice care intervin în cazul traductoarelor MARPOSS.

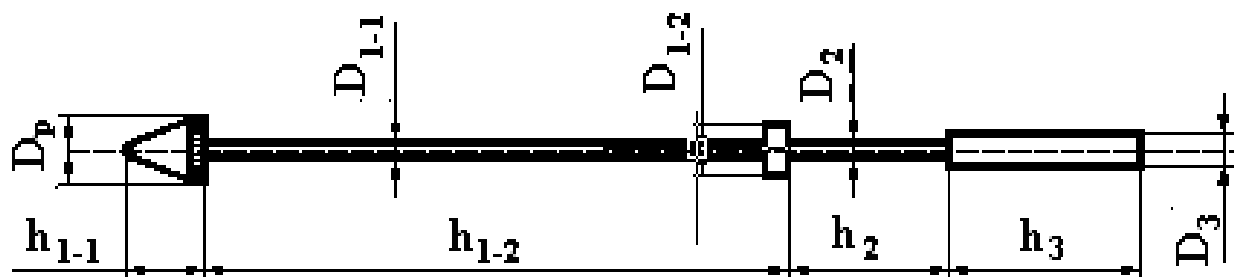


Fig. 3.2.4 Geometria tijei palpatoare a traductorului inductiv MARPOSS [M18]

c) Modelarea contactului în regim dinamic în cazul măsurării cu traductoarele pe principiul incremental HEIDENHAIN

Modelul geometric al palpatorului este prezentat în figura 3.2.5.

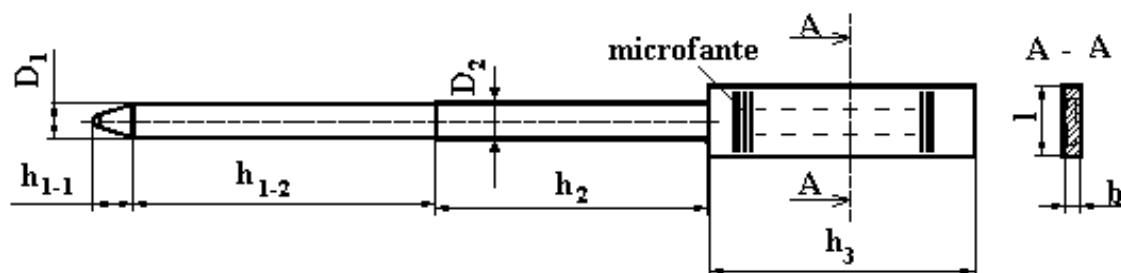


Fig. 3.2.5 Geometria tijei palpatoare a traductorului incremental HEIDENHAIN [H3], [H4]

Relația de calcul a masei tijei palpatoare, în cazul traductorului incremental, ține cont de volumul tronsonului cilindric, respectiv al tronsonului de formă paralelipipedică, ce compun modelul geometric echivalent al tijei palpatoare pentru cazul traductorului incremental.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot h_1 + \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot h_2 + l \cdot b \cdot h_3. \quad (3.2.31)$$

În calculul masei reduse a ansamblului tijă – arc, intervin densitățile materialelor din care este confecționată tija, δ_1 și δ_2 .

Din documentația tehnică a traductorului, se cunoaște faptul că elementul incremental, în care sunt practicate microfantele este confecționat dintr-un material special, numit diadur, a cărui densitate este $\delta_2 = 2,9 \text{ g/cm}^3$ [T5].

Și pentru acest tip de traductor au fost introduse datele tehnice ce intervin în modelul dinamic, ca date de intrare în cadrul aplicației *M.A.D.R.vi*.

3.2.2 Studiul analitic al comportării în regim dinamic, în cazul piesei antrenate în translație

În cazul măsurării în regim dinamic a abaterii de formă a unui reper antrenat în translație, modelul dinamic al contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața reperului este cel prezentat în figura 3.2.6.

Lungimea de măsurare fiind cunoscută, în vederea simplificării procedurii de calcul, pentru studiul analitic, s-a luat în considerare un model echivalent, sub forma unui reper antrenat în rotație (figura 3.2.1), ce îndeplinește următoarea condiție geometrică: lungimea cercului desfășurat al reperului echivalent trebuie să fie egală cu lungimea de măsurare a reperului real. Relația de calcul a acesteia este următoarea:

$$L_{ce} = 2 \cdot \pi \cdot R_e. \quad (3.2.32)$$

unde L_{ce} reprezintă lungimea cercului reperului echivalent, L fiind lungimea de măsurare a reperului real. Ecuația echilibrului de forțe este dată de relația 3.2.5.

În acest caz este necesar să se facă ipoteza că eroarea de centrare e a reperului de revoluție corespunde erorii de formă a reperului antrenat în translație.

Cazul cel mai nefavorabil este acela când bătaia radială a modelului dinamic echivalent este determinată în întregime de eroarea de centrare, adică $e = x_i$.

În aceste condiții, se poate determina viteza de rotație ω_e a reperului echivalent, prin analogie cu relația (3.2.28), obținută în cazul antrenării în rotație.

$$\omega_e \leq \sqrt{\frac{F_a}{m \cdot e}} \quad (3.2.33)$$

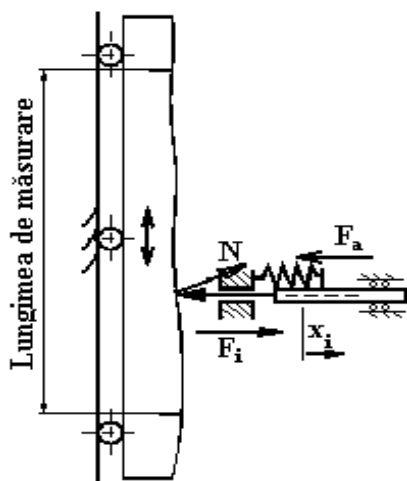


Fig. 3.2.6 Modelul dinamic al contactului palpator – piesă, la măsurarea abaterii de formă a reperelor antrenate în translație, în cazul dispunerii palpatorului în plan orizontal [S10]

Se cunoaște faptul că viteza liniară a reperului antrenat în translație se poate exprima în funcție de raza reperului în cazul modelului dinamic echivalent (R_e).

Și în cazul antrenării în translație, s-a procedat la aplicarea relației de calcul analitic pentru cele trei tipuri de traductoare. În acest scop în mediul virtual LabVIEW s-a programat aplicația Modelarea analitică a comportării dinamice a reperelor antrenate în translație, M.A.D.T.vi.

$$v \leq \omega_e \cdot R_e \quad (3.2.34)$$

Exprimând raza cercului echivalent în funcție de lungimea suprafeței măsurate

$$R_e = \frac{L}{2 \cdot \pi} \quad (3.2.35)$$

rezultă că viteza – limită ce asigură contactul dintre palpator și piesă este:

$$v \leq \omega_e \cdot R_e = \frac{L}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_a}{m \cdot e}} \quad (3.2.36)$$

3.2.3 Concluzii privind rezultatele simulării contactului palpator–piesă, în regim dinamic

Simularea comportării în regim dinamic, atât în cazul reperelor antrenate în rotație, cât și în cazul celor în translație, s-a făcut pentru trei valori ale excentricității / erorii de ghidare e , din șirul de valori predefinite în cadrul celor două aplicații LabVIEW. Prima simulare s-a făcut pentru o valoare minimă predefinită a excentricității ($e = 0,001 \text{ mm}$). Cea de a doua simulare a luat în calcul o valoare aproximativă a excentricității volantului ce reprezintă obiectul cercetării experimentale, măsurată în prealabil, în regim static ($e \cong 0,15 \text{ mm}$). Această simulare este cea de maxim interes.

A treia simulare s-a făcut pentru o valoare a excentricității presupusă a fi maximă pentru care aceasta poate fi considerată neglijabilă în raport cu raza piesei.

Cele trei simulări s-au făcut pentru fiecare tip de traductor în parte, procedeul fiind repetat și în cazul reperelor antrenate în translație.

Datele de intrare în cadrul aplicațiilor *M.A.D.R.vi* și *M.A.D.T.vi*, ce reprezintă caracteristicile constructive și funcționale ale sistemului mobil din componența celor trei tipuri de traductoare au fost introduse sub formă de vectori de valori.

Prima diagramă se referă la reperate antrenate în rotație, iar cea de a doua, la piesele antrenate în translație, pentru simularea în cazul unei excentricități / erori de ghidare $e = 0,15 \text{ mm}$ (figura 3.2.7). Zona încadrată se referă la cazul gamelor dimensionale ale traductoarelor folosite la determinările experimentale.

În urma simulării pentru cazul rotației și al translației, cu fiecare dintre cele trei tipuri de traductoare, s-a constatat că pentru o valoare maximă a excentricității / erorii de ghidaj de 1 mm , viteza limită de rotație pentru care contactul palpator – piesă este menținut este de $1,19 \text{ rot/s}$. Viteza – limită de translație, pentru aceeași valoare a excentricității este de $0,15 \text{ m/s}$.

Pentru cazul real al traductoarelor cu contact folosite în cadrul celor două standuri experimentale, în urma simulării s-au obținut valorile-limită de $2,12 \text{ rot/s}$, respectiv $0,26 \text{ m/s}$, pentru antrenarea celor două reperate ce fac obiectul cercetării experimentale.

În urma acestor constatări s-a tras concluzia că în vederea realizării determinărilor experimentale, trebuie să se țină seama de următoarele limitări în ceea ce privește vitezele maxime de antrenare:

- pentru piesa de rotație, turația maximă de antrenare trebuie să fie de maxim 2 rot/s ,
- pentru piesa de translație, viteza maximă de antrenare trebuie să nu depășească $0,25 \text{ m/s}$.

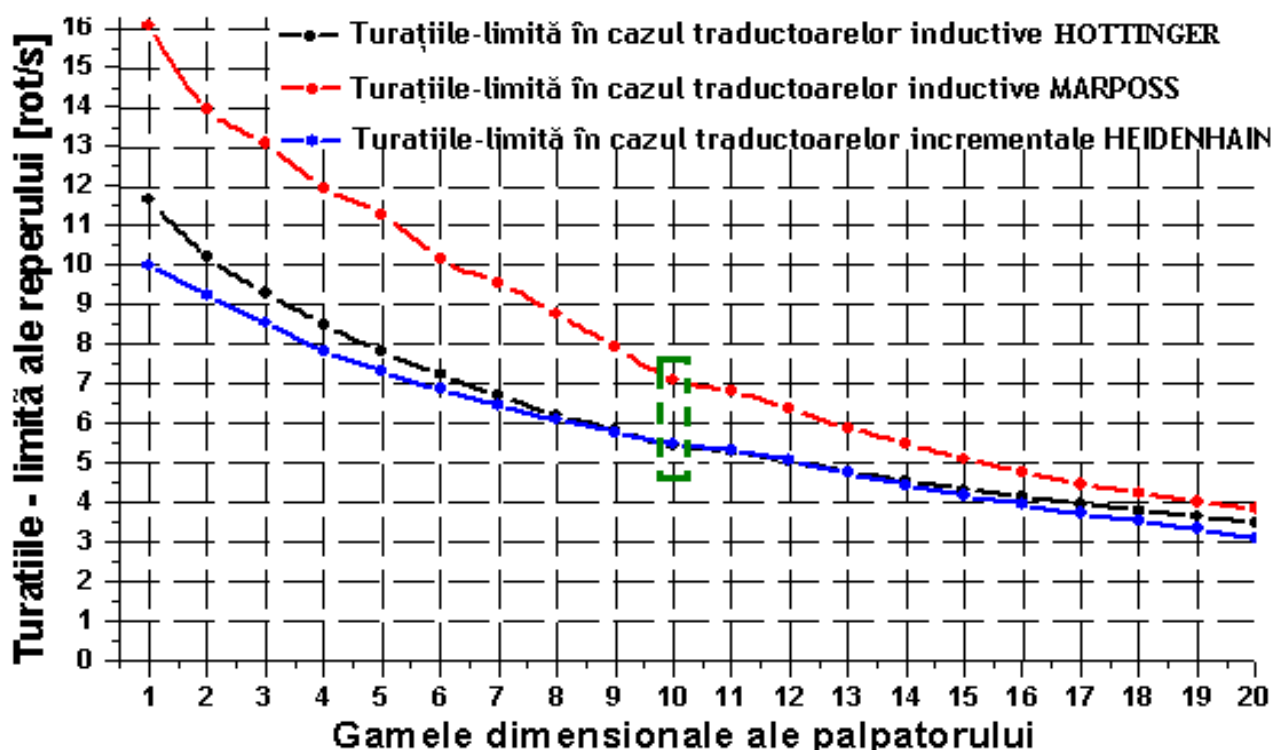


Fig. 3.2.7 Diagramele de distribuție, în cazul reperelor antrenate în rotație, în cazul dispunerii palpatorului în plan orizontal

Gamele dimensionale ale palpatorului se referă dimensiunile geometrice ale acestuia.

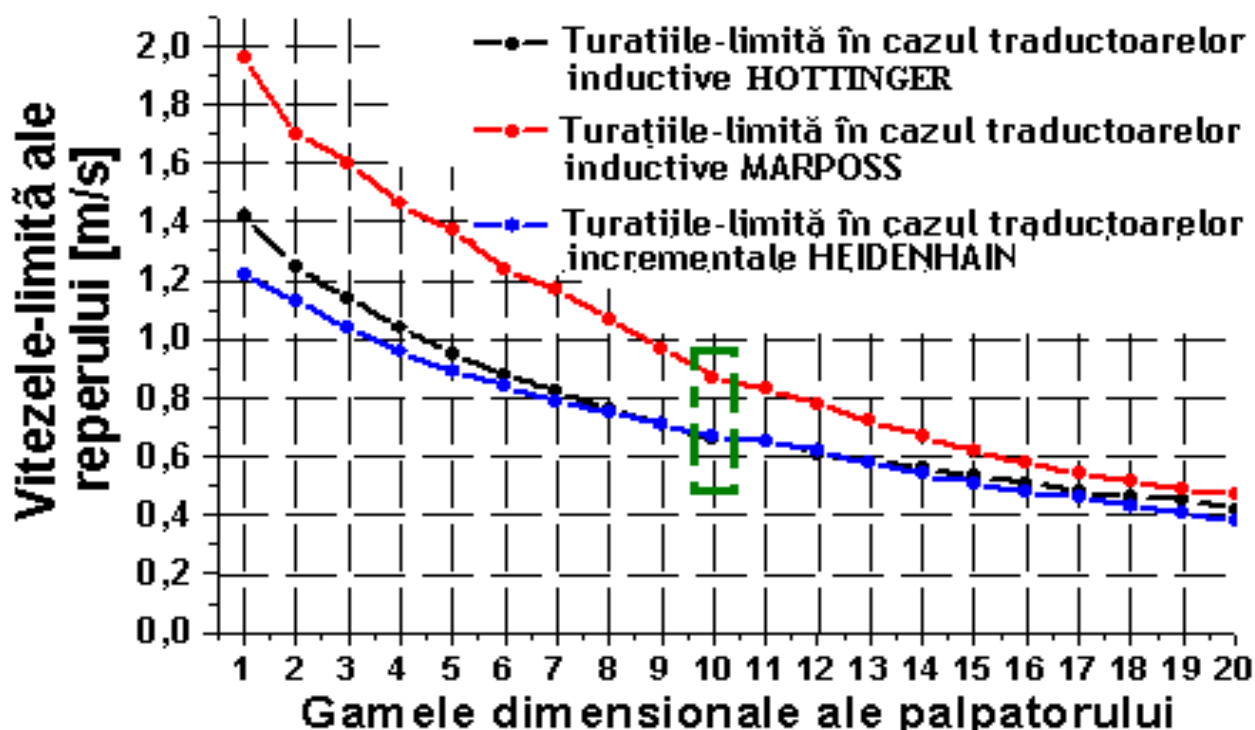


Fig. 3.2.8 Diagramele de distribuție, în cazul reperelor antrenate în translație, în cazul dispunerii palpatorului în plan orizontal

De aceste constatări s-a ținut seama la stabilirea regimurilor de viteză pentru cele două reperi supuse studiului experimental.

3.3 STUDIUL PRIVIND INFLUENȚA GRADULUI DE DEFORMARE A REPERELOR DE MICI DIMENSIUNI ÎN CAZUL CONTACTULUI CU MIJLOCUL DE MĂSURARE

3.3.1 Obiectul studiului analitic privind optimizarea inspecției dimensionale a reperelor de mici dimensiuni

Un alt aspect al optimizării teoretice a procesului de inspecție dimensională automatizată s-a referit la extinderea domeniului aplicațiilor privind inspecția dimensională din punctul de vedere al gamele dimensionale ale reperelor. În acest sens, s-a făcut un studiu privind gradul de deformare a reperelor de mici dimensiuni, în cazul în care acestea sunt supuse inspecției dimensionale cu mijloace pe principiul contactului cu suprafața.

Extinderea cercetării asupra pieselor de mici dimensiuni este motivată de tendința actuală de miniaturizare a produselor finite în diverse domenii: medicină, componente hardware, industrie alimentară, protecția mediului, micro-mecanică, micro-robotică etc. [B17], [C17].

Obiectul studiului l-au constituit *inelele de rulmenți miniaturali* supuși inspecției dimensionale, acesta fiind un exemplu reprezentativ în ceea ce privește micro-componentele funcționale în cazul micro-roboticii sau al micro-motoarelor de acționare [C2]. Ca urmare a faptului că aceste reperi sunt foarte pretențioase din punctul de vedere al preciziei de dispunere și mai ales de funcționare, ele necesită o inspecție dimensională foarte strictă în cadrul procesului de fabricație [C10], [C16], [C18],[F3], [O9].

În acest context s-a urmărit stabilirea gradului de deformare, în raport cu dimensiunea reperului, ca urmare a contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața măsurată. Problema care s-a pus în cadrul acestui studiu a fost aceea de a stabili care este limita dimensională a inelelor de rulmenți, pentru care, în cazul măsurării bazate pe contact, gradul de deformare nu influențează precizia de măsurare.

Din punctul de vedere constructiv, obiectul studiului l-au făcut două categorii de rulmenți miniaturali, aceștia fiind cei mai întâlniți, ca urmare a eficienței în ceea ce privește preluarea sarcinilor în timpul funcționării:

- rulmenți miniaturali radiali cu bile;
- rulmenți miniaturali cu role cilindrice.

Pentru fiecare dintre aceste categorii, studiul analitic a fost realizat pe mai multe tipodimensiuni, în vederea stabilirii valorilor-limită ale diametrelor și lățimilor inelelor de rulmenți până la care deformarea nu influențează precizia de măsurare [C21], [E1].

3.3.2 Modelarea inspecției dimensionale cu contact pentru inelele de rulmenți miniaturali

Pentru determinarea deformării reperelor de mici dimensiuni, supuse inspecției dimensionale, s-a folosit metoda analizei cu element finit a inelelor interioare și exterioare din componența rulmenților miniaturali [F2].

În scopul unui studiu cât mai eficient în ceea ce privește comportarea inelelor de rulmenți supuse inspecției dimensionale automatizate, pentru o cât mai bună centrare a inelului și pentru o cât mai corectă dispunere a mijlocului de măsurare în raport cu calea de rulare, inelul este fixat în trei puncte de sprijin. Acestea sunt dispuse echidistant pe circumferință, la unghiuri de 120° (figura 3.3.1). Două dintre reazeme sunt fixe, iar cel de al treilea (în legătură cu mijlocul de măsurare) este mobil [C7], [F4], [V1], [V4].

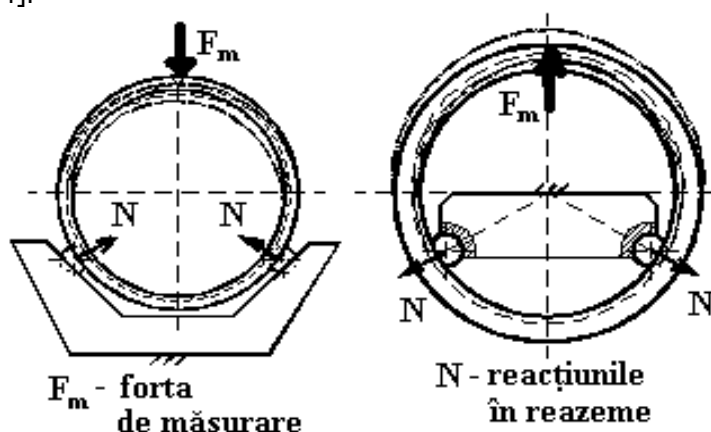


Fig. 3.3.1 Dispunerea inelelor de rulment în postul de măsurare [C15]

Parametrul geometric supus studiului a fost bătaia radială a căii de rulare, în cazul inelelor interioare și exterioare de rulmenți miniaturali, pentru diferite dimensiuni și variante constructive, deoarece acest parametru joacă un rol esențial în funcționarea corectă și îndelungată a rulmenților [O1].

În privința metodei folosite pentru modelarea comportării inelelor de rulmenți miniaturali, s-au urmat următoarele trei etape:

- construcția 3-D a modelului inelului de rulment, în mediul software de proiectare *Pro Engineer Wildfire* (figura 3.3.2);
- importarea modelului în mediul software *ANSYS 8.1*, pentru analiza comportării structurilor mecanice la diferite solicitări [H6];

- obținerea rezultatului privind gradul de deformare a modelului, în urma specificării condițiilor și a solicitărilor aplicate [E3].

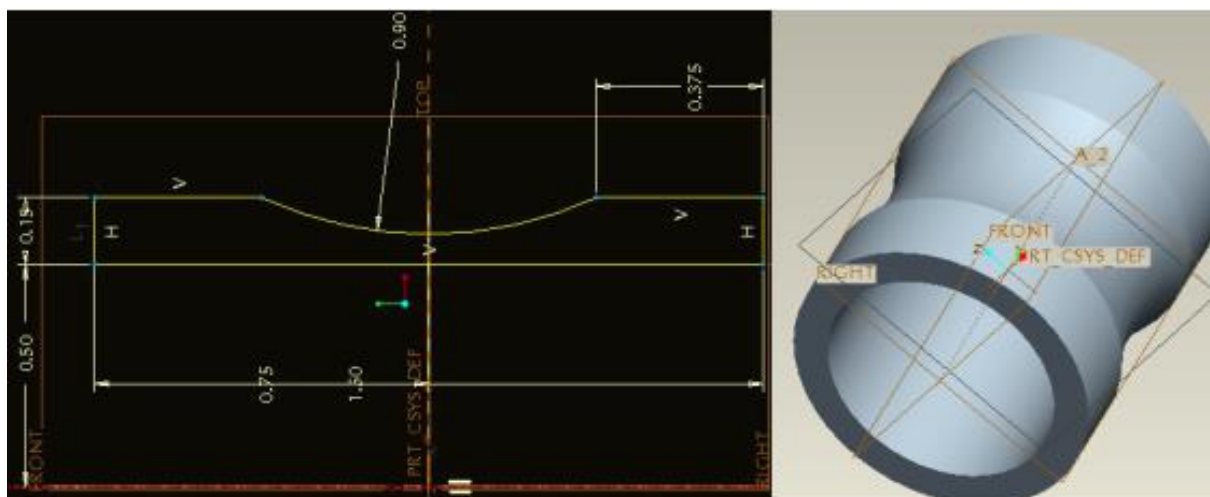


Fig. 3.3.2 Realizarea în mediul *Pro Engineer*, a modelului 3 – D al inelului supus studiului analitic

Pentru realizarea în mediul *Pro Engineer* a modelului corespunzător reperului supus studiului, s-au parcurs două etape: realizarea, sub formă de schiță, într-un plan definit, a conturului modelului și generarea modelului tridimensional, prin revoluția conturului schițat în jurul unei axe de simetrie (figura 3.3.2).

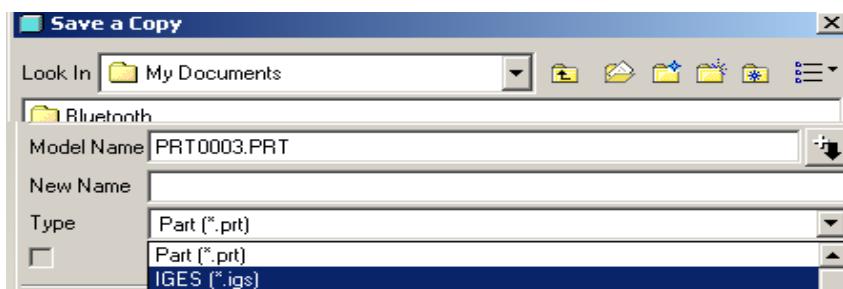


Fig. 3.3.3 Salvarea fișierului de lucru în format *IGES*, în vederea importării modelului în mediul de analiză *ANSYS*

În vederea importării modelului în *ANSYS*, în mediul *ProEngineer*, fișierul de lucru curent s-a salvat ca fișier *IGES* (figura 3.3.3), acesta fiind un format compatibil cu mediul de calcul analitic *ANSYS*[S7].

În mediul *ANSYS* a fost importat fișierul în format *IGES* pentru modelul supus analizei cu element finit, după procedeul specificat în figura 3.3.4.

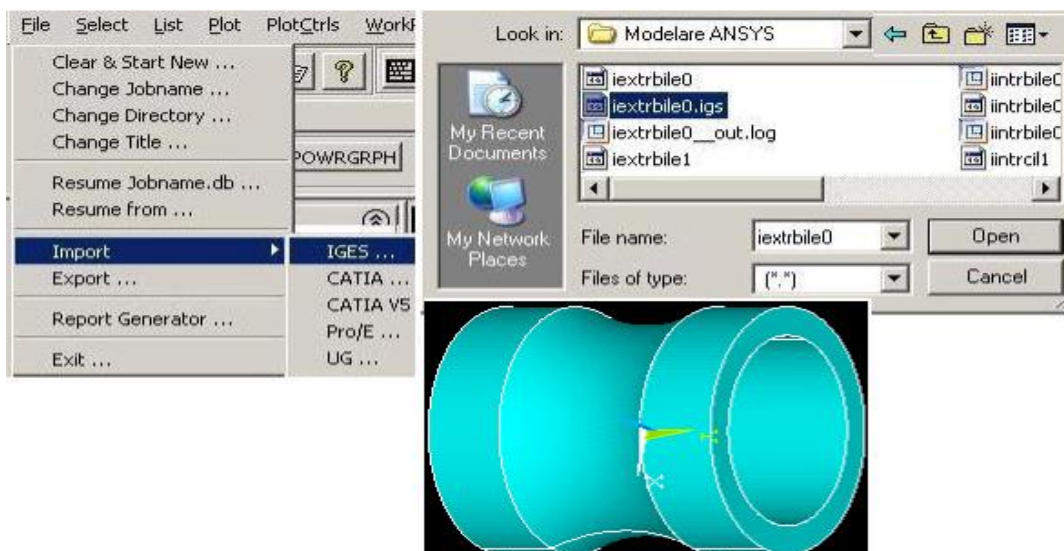


Fig. 3.3.4 Etapele necesare importării modelului în mediul ANSYS

Odată importat modelul în ANSYS, s-au stabilit toate condițiile necesare simulării comportării ansamblului piesă – mijloc de măsurare, conform ipotezelor specificate la paragraful 3.3.3. În acest scop au fost necesare următoarele etape:

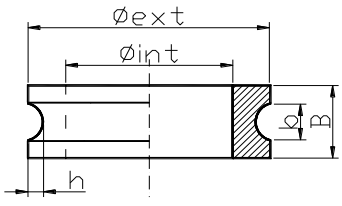
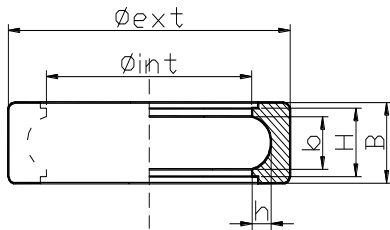
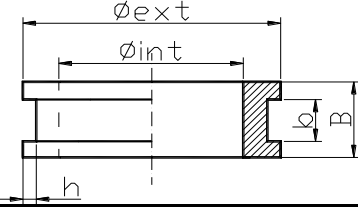
- stabilirea tipului de elemente ce intră în componența modelului (solid, structurat pe elemente finite);
- stabilirea proprietăților materialului din care este confecționat reperul (structura materialului coeficientul lui Poisson ν , modulul de elasticitate pe direcție longitudinală E etc.). În cazul de față, fiind vorba de inele de rulmenți, materialul este elastic și izotrop, cu modulul de elasticitate $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0,3$;
- crearea volumelor elementelor de discretizare a modelului: acestea au fost alese în mod arbitrar, împărțirea modelului în elemente finite fiind în acest caz cea mai rapidă și eficientă;
- definirea sarcinilor și a constrângerilor¹³ ce apar la nivelul modelului, în vederea simulării cât mai corecte a comportării reperului de tip inel de rulment miniatural sub acțiunea forței de măsurare [E2].

3.3.3 Rezultatele obținute și interpretarea lor

În cadrul studiului analitic privind modelarea fenomenului de deformare, s-au avut în vedere patru tipuri de micro-repere ce intră în componența lagărelor de rostogolire, ale căror caracteristici tehnice sunt specificate în tabelul 3.3.1 [O2], .

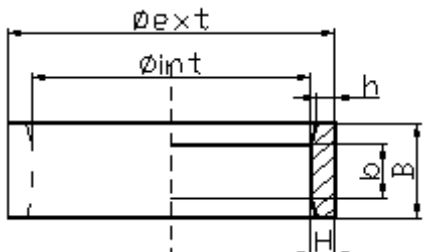
¹³ Prin *constrângeri*, se înțeleg forțele de reacțiune ce apar în elementele de tip reazem ale reperului (figura 4.10)

Tabelul 3.3.1 Caracteristicile tehnice ale reperelor miniaturale studiate

Tipul reperului	Dimensiunile geometrice ale reperului [mm]	Valorile câmpului de toleranță ¹⁴ impus la inspecția dimensională, T [micrometri]
<p><i>Inele interioare de rulmenți radiali cu bile, de tip N [R6], [S6]</i></p> 	$\phi_{ext} = 1,3; \phi_{int} = 1; B = 1,5; b = 0,87; h = 0,06$	5
	$\phi_{ext} = 2,7; \phi_{int} = 2; B = 2,3; b = 1,3; h = 0,14$	5
	$\phi_{ext} = 3,4; \phi_{int} = 2,3; B = 2,6; b = 1,5; h = 0,2$	6
	$\phi_{ext} = 4; \phi_{int} = 2,6; B = 3,2; b = 1,9; h = 0,3$	6
	$\phi_{ext} = 5,5; \phi_{int} = 3; B = 3,2; b = 1,8; h = 0,5$	7
<p><i>Inele exterioare de rulmenți radiali, cu bile [R6], [S6]</i></p> 	$\phi_{ext} = 2; \phi_{int} = 1,7; B = 1,5; b = 0,87; h = 0,06; H = 1$	5
	$\phi_{ext} = 4,2; \phi_{int} = 3,4; B = 2,3; b = 1,25; h = 0,08; H = 1,5$	6
	$\phi_{ext} = 5,2; \phi_{int} = 4; B = 2,6; b = 1,4; h = 0,12; H = 1,75$	6,5
	$\phi_{ext} = 6,2; \phi_{int} = 4,5; B = 3,2; b = 1,7; h = 0,17; H = 2,1$	7
	$\phi_{ext} = 8,5; \phi_{int} = 5,2; B = 3,2; b = 1,7; h = 0,33; H = 2,1$	8
<p><i>Inele interioare de rulmenți radiali cu role cilindrice, de tip N [R6], [S6]</i></p> 	$\phi_{ext} = 3,4; \phi_{int} = 2,3; B = 2,6; b = 1,75; h = 0,18$	5,5
	$\phi_{ext} = 4; \phi_{int} = 2,6; B = 3,2; b = 2,1; h = 0,23$	6
	$\phi_{ext} = 5,5; \phi_{int} = 3; B = 3,2; b = 2,1; h = 0,42$	6,5
<p><i>Inele exterioare de rulmenți radiali, cu role cilindrice, de tip N [R6], [S6]</i></p>	$\phi_{ext} = 5,2; \phi_{int} = 4; B = 2,6; b = 1,75; H = 0,6; h = 0,4$	6
	$\phi_{ext} = 6,2; \phi_{int} = 4,5; B = 3,2; b = 2,1; H = 0,85; h = 0,57$	7

¹⁴ Prin câmp de toleranță se înțelege valoarea maximă a abaterii de formă a căilor de rulare a inelelor, până la care nu este afectată corectă funcționare a rulmentului

Tabelul 3.3.1 Caracteristicile tehnice ale reperelor miniaturale studiate

Tipul reperului	Dimensiunile geometrice ale reperului [mm]	Valorile câmpului de toleranță ¹⁴ impus la inspecția dimensională, T [micrometri]
	$\phi_{ext} = 8,5; \phi_{int} = 5,2; B = 3,2;$ $b = 2,1; H = 1,65; h = 1,1$	8

Dimensiunile micro-reperelor analizate s-au luat prin similitudine față de cele ale unui rulment cunoscut.

Alegerea acestor repere pentru studiu s-a bazat pe faptul că acestea constituie cazurile cele mai reprezentative în ceea ce privește modelarea contactului cu mijloacele de măsurare dispuse pe direcție radială în raport cu suprafața.

În vederea simulării gradului de deformare al acestor repere sub acțiunea forței de măsurare, determinările în mediul ANSYS s-au reluat pentru încărcări gradate, astfel încât să fie acoperit domeniul forțelor ce apar în cazul măsurării cu contact, pe un ciclu complet. În acest scop, simulările deformării s-au realizat pentru următoarele valori ale încărcărilor: $F_m = 1,5 N; 1,8 N; 2N; 2,5 N; 2,8 N$. Prin determinări repetate s-a constatat că acestea sunt cele mai reprezentative din punctul de vedere al rezultatelor.

La realizarea simulărilor în ANSYS s-a pornit de la următoarele ipoteze:

- deși contactul dintre suprafața de măsurare și palpatorul traductorului este teoretic punctiform, practic s-a considerat că forța de măsurare este aplicată pe o suprafață circulară (figura 3.3.5);
- în cazul inelelor de rulmenți radiali cu bile, datorită faptului că, pentru o cât mai bună centrare, reazemele sunt sferice, cu diametrul egal cu cel al bilelor, din aceleași rațiuni ca și în cazul aplicării sarcinilor, s-a considerat că distribuția reacțiunilor se face după o suprafață circulară;
- în cazul inelelor de rulmenți radiali cu role cilindrice, contactul cu reazemele (acestea având dimensiunile roletelor) fiind liniar, suprafața de aplicare a constrângerilor impuse de forțele de reacțiune s-a considerat un dreptunghi;
- determinarea deformației reperelor s-a făcut după direcția de aplicare a forței de măsurare, după această axă amplitudinea deformației fiind maximă (figura 3.3.5) [12], [L7];
- pentru simularea comportării la deformarea elastică a fiecărui reper, s-au realizat câte patru determinări. Cele patru simulări s-au făcut pentru valori graduale ale forței ($F_{m\ min} = 1,5 N, F_m = 2 N, F_m = 2,5 N$ și $F_{m\ max} = 2,8 N$).

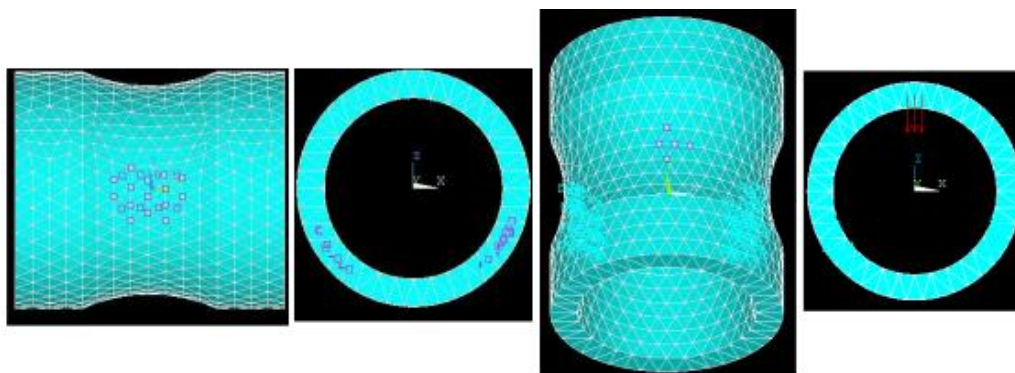


Fig. 3.3.5 Aplicarea constrângerilor și a sarcinilor asupra modelului, ținând cont de ipotezele necesare unei simulări optime

În ceea ce privește modelarea contactului s-a ținut cont de valorile toleranțelor impuse reperelor, pe baza cărora s-a determinat gradul de deformare admisibilă (δ_{adm}) [O2].

$$\delta_{adm} \cong (10\% \div 20\%) * T, \quad (3.3.1)$$

unde T reprezintă valoarea impusă a toleranței de prelucrare a reperului uzinat. În aceste condiții s-au obținut rezultatele privind comportarea fiecărui tip de reper în parte, în condițiile variației forței de măsurare (tabelul 3.3.2).

Tabelul 3.3.2 Rezultatele simulărilor privind gradul de deformare sub acțiunea forței de măsurare, în timpul procesului de inspecție dimensională, pentru reperate supuse studiului

Reperul studiat	Dimensiunile geometrice ale reperului [mm]	Câmpul de toleranță (T) [micrometri]	Valoarea forței de măsurare (F_m) [N]	Deformarea reperului sub acțiunea forței de măsurare (δ) [micrometri]	Valoarea admisibilă a deformării reperului (δ_{adm}) [micrometri]
Inel interior de rulment radial cu bile, tip N	$\phi_{ext} = 1,3;$ $\phi_{int} = 1; B = 1,5;$ $b = 0,87;$ $h = 0,06$	5	1,5	4,56	0,6
			2	6,08	
			2,5	7,6	
			2,8	8,51	
	$\phi_{ext} = 2,7;$ $\phi_{int} = 2; B = 2,3;$ $b = 1,3;$ $h = 0,14$	5	1,5	4,07	0,6
			2	5,42	
			2,5	6,78	
			2,8	7,59	
	$\phi_{ext} = 3,4;$ $\phi_{int} = 2,3; B = 2,6;$ $b = 1,5; h = 0,2$	6	1,5	1,4	0,75
			2	1,87	
			2,5	2,34	
			2,8	2,62	
			1,5	0,72	

Tabelul 3.3.2 Rezultatele simulărilor privind gradul de deformare sub acțiunea forței de măsurare, în timpul procesului de inspecție dimensională, pentru reperele supuse studiului

Reperul studiat	Dimensiunile geometrice ale reperului [mm]	Câmpul de toleranță (T) [micrometri]	Valoarea forței de măsurare (F_m) [N]	Deformarea reperului sub acțiunea forței de măsurare (δ) [micrometri]	Valoarea admisibilă a deformării reperului (δ_{adm}) [micrometri]
	$\phi_{ext} = 4;$ $\phi_{int} = 2,6;$ $B = 3,2;$ $b = 1,9; h = 0,3$	6	2	0,97	0,75
			2,5	1,21	
			2,8	1,35	
	$\phi_{ext} = 5,5;$ $\phi_{int} = 3;$ $B = 3,2;$ $b = 1,8; h = 0,5$	7	1,5	0,19	0,85
			2	0,25	
			2,5	0,32	
			2,8	0,36	
	Inel exterior de rulment radial cu bile, tip N	$\phi_{ext} = 2; \phi_{int} = 1,7;$ $B = 1,5;$ $b = 0,87;$ $h = 0,06; H = 1$	5	1,5	5,96
2				7,94	
2,5				9,93	
2,8				11,12	
$\phi_{ext} = 4,2;$ $\phi_{int} = 3,4;$ $B = 2,3;$ $b = 1,25;$ $h = 0,08; H = 1,5$		6	1,5	2,31	0,75
			2	3,08	
			2,5	3,85	
			2,8	4,31	
$\phi_{ext} = 5,2;$ $\phi_{int} = 4; B = 2,6;$ $b = 1,4;$ $h = 0,12; H = 1,75$		6,5	1,5	1,29	0,8
			2	1,72	
			2,5	2,15	
			2,8	2,41	
$\phi_{ext} = 6,2; \phi_{int} = 4,5; B = 3,2;$ $b = 1,7 h = 0,17;$ $H = 2,1$		7	1,5	0,78	0,85
			2	1,04	
			2,5	1,3	
			2,8	1,45	
	$\phi_{ext} = 8,5;$		1,5	0,26	

Tabelul 3.3.2 Rezultatele simulărilor privind gradul de deformare sub acțiunea forței de măsurare, în timpul procesului de inspecție dimensională, pentru reperele supuse studiului

Reperul studiat	Dimensiunile geometrice ale reperului [mm]	Câmpul de toleranță (T) [micrometri]	Valoarea forței de măsurare (F_m) [N]	Deformarea reperului sub acțiunea forței de măsurare (δ) [micrometri]	Valoarea admisibilă a deformării reperului (δ_{adm}) [micrometri]
	$\phi_{int} = 5,2$; $B = 3,2$; $b = 1,7$; $h = 0,33$; $H = 2,1$	8	2	0,35	1
			2,5	0,43	
			2,8	0,48	
Inel interior de rulment radial cu role cilindrice, tip N	$\phi_{ext} = 3,4$; $\phi_{int} = 2,3$; $B = 2,6$; $b = 1,75$; $h = 0,18$	5,5	1,5	0,65	0,67
			2	0,87	
			2,5	1,09	
			2,8	1,22	
	$\phi_{ext} = 4$; $\phi_{int} = 2,6$; $B = 3,2$; $b = 2,1$, $h = 0,23$	6	1,5	0,4	0,75
			2	0,54	
			2,5	0,67	
			2,8	0,75	
	$\phi_{ext} = 5,5$; $\phi_{int} = 3$; $B = 3,2$; $b = 2,1$; $h = 0,42$	6,5	1,5	0,15	0,8
			2	0,2	
			2,5	0,25	
			2,8	0,28	
Inel exterior de rulment radial cu role cilindrice, tip N	$\phi_{ext} = 5,2$; $\phi_{int} = 4$; $B = 2,6$; $b = 1,75$; $H = 0,6$; $h = 0,4$	6	1,5	1,15	0,75
			2	1,53	
			2,5	1,92	
			2,8	2,15	
	$\phi_{ext} = 6,2$; $\phi_{int} = 4,5$; $B = 3,2$; $b = 2,1$; $H = 0,85$; $h = 0,57$	7	1,5	0,65	0,85
			2	0,86	
			2,5	1,08	
			2,8	1,21	
	$\phi_{ext} = 8,5$; $\phi_{int} = 5,2$; $B = 3,2$; $b = 2,1$; $H = 1,65$; $h = 1,1$	8	1,5	0,22	1
			2	0,29	
			2,5	0,36	
			2,8	0,4	

3.3.4 Concluzii privind folosirea mijlocului măsurare adecvat din punctul de vedere al contactului cu reperul testat

Pe baza rezultatelor sintetizate în tabelul 3.3.2 s-a constatat că dimensiunile – limită până la care gradul de deformare nu influențează precizia de măsurare în cadrul inspecției dimensionale, sunt următoarele:

- $\phi_{ext} = 5,5 \text{ mm}$; $\phi_{int} = 3 \text{ mm}$; $B = 3,2 \text{ mm}$ – pentru *inelele interioare* ale *rulmenților radiali cu bile*, de tip N;
- $\phi_{ext} = 4 \text{ mm}$; $\phi_{int} = 2,6 \text{ mm}$; $B = 3,2 \text{ mm}$ – pentru *inelele interioare* ale *rulmenților radiali cu role cilindrice*, de tip N;
- $\phi_{ext} = 8,5 \text{ mm}$; $\phi_{int} = 5,2 \text{ mm}$; $B = 3,2 \text{ mm}$ – pentru *inelele exterioare* ale *rulmenților radiali cu bile*, de tip N;
- $\phi_{ext} = 8,5 \text{ mm}$; $\phi_{int} = 5,2 \text{ mm}$; $B = 3,2 \text{ mm}$ – pentru *inelele exterioare* ale *rulmenților radiali cu role cilindrice*, de tip N;

Tabelul 3.3.3 Specificarea gamelor dimensionale ale categoriilor de rulmenți miniaturali studiați, pentru care gradul de deformare la contactul cu mijlocul de măsurare nu afectează precizia inspecției dimensionale

<i>Tipul rulmentului</i>	<i>Dimensiunile inelului interior [mm]</i>	<i>Dimensiunile inelului exterior [mm]</i>
rulment radial cu bile	$\phi_{ext} = 5,5$; $\phi_{int} = 3$; $B = 3,2$	$\phi_{ext} = 8,5$; $\phi_{int} = 5,2$; $B = 3,2$
rulment radial cu role cilindrice	$\phi_{ext} = 4$; $\phi_{int} = 2,6$; $B = 3,2$	$\phi_{ext} = 8,5$; $\phi_{int} = 5,2$; $B = 3,2$

Pe baza obținerii și interpretării rezultatelor privind gradul de deformare al reperelor studiate, s-a putut trage următoarea concluzie: ***În cazul rulmenților radiali cu bile, respectiv cu role cilindrice, dimensiunile minime ale acestora pentru care se poate aplica soluția măsurării dimensionale bazate pe contactul cu suprafața reperului sunt cele specificate în tabelul 3.3.3.***

CAPITOLUL 4

CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ

4.1 OBIECTUL CERCETĂRII EXPERIMENTALE

Obiectul cercetării experimentale în scopul optimizării procesului de inspecție dimensională l-a constituit măsurarea abaterii de formă a două tipuri de repere funcționale de fabricație: piesele de revoluție și piesele care din punctul de vedere geometric prezintă cel puțin o suprafață plană. Studiul s-a axat pe cele două categorii de piese datorită faptului că acestea sunt cele mai relevante cazuri din punctul de vedere al reperelor constructive și funcționale ale diferitor produse tehnologice. În acest sens, reperele din prima categorie pot servi drept subansambluri constructive sau funcționale ale unor componente de tip:

- arbori de antrenare;
- volanți;
- fulii sau roți de curea;
- lagăre de alunecare (cuzineți) ;
- lagăre de rostogolire (rulmenți) etc. [M12], [C18], [C9], [C20].

Cea de a doua categorie de piese poate reprezenta anumite componente funcționale sau constructive de tip:

- carcase ale unor componente pneumatice sau hidraulice;
- sănii;
- axe de motoare liniare;
- ghidaje etc.

Ambele categorii de piese au fost supuse măsurărilor experimentale, privind abaterile de formă, cu diferite mijloace de măsurare, în diferite condiții.

Din aceste două categorii s-a ales câte un caz reprezentativ, ce a permis îndeplinirea tuturor condițiilor necesare unor determinări cât mai precise, indiferent de condițiile și mijloacele de măsurare folosite. Astfel, din prima categorie, obiectul studiului l-a constituit o piesă de revoluție din componența sistemelor de distribuție de la autocamioane, dispus pe un ax centrat pe doi rulmenți radial-axiali cu bile, având raza de 79 mm . În acest caz, parametrul geometric supus analizei a fost bătaia radială a reperului, suprafața măsurată având o rugozitate de aproximativ $0,01\text{ mm}$ [G2]. În ceea ce privește cea de a doua categorie de repere, cercetarea experimentală s-a realizat pe un reper de formă prismatică, reprezentând un tronson al unei rigle tehnologice. Parametrul geometric analizat a fost abaterea de formă a uneia dintre fețele de așezare ale acesteia, acestea având o rugozitate de aproximativ $0,005\text{ mm}$.

4.2 OBIECTIVELE CERCETĂRII EXPERIMENTALE

Aceasta a avut drept scop optimizarea procesului de inspecție dimensională în cadrul liniilor automatizate de fabricație și se referă la următoarele aspecte:

- scăderea semnificativă a timpului necesar operației de control al calității, în scopul unei cât mai bune integrări în fluxul de fabricație;
- creșterea preciziei de măsurare dimensională, în scopul extinderii procesului de control pentru reperi pretențioase, ce necesită precizii de prelucrare înalte (calea de rulare a inelelor de rulmenți, cuzineți, ghidaje etc.);
- adaptarea optimă a echipamentului de inspecție dimensională la seria de reperi prelucrați, în funcție de costurile mijloacelor de măsurare, dar și de aplicațiile funcționale ale reperului testat și, implicit de precizia de prelucrare necesară acestuia.

În cadrul studiului realizat s-au urmărit următorii parametri, ce au stat la baza atingerii obiectivelor:

- stabilirea vitezei de antrenare optime a reperului în dispozitivul de control, din punctul de vedere al productivității pe liniile tehnologice, astfel încât precizia de măsurare să nu fie afectată;
- stabilirea mijlocului de măsurare optim în raport cu natura și aplicațiile funcționale ale reperului prelucrat.

Pentru realizarea obiectivelor propuse privind creșterea calității inspecției dimensionale, s-a avut în vedere o repetare a măsurărilor dimensionale, la diferite viteze de antrenare a reperului în postul de control și cu diferite mijloace de măsurare. Fiecare serie de măsurători a avut loc pentru același parametru geometric (vezi subcapitolul 5.5).

Evident, în același scop, toate măsurările au avut loc respectându-se condițiile metrologice impuse, privind sursele de vibrații, corecta dispunere a standului de măsurare, temperatura și umiditatea mediului în care au avut loc determinările experimentale (vezi subcapitolul 4.3).

4.3 STANDURILE DE MĂSURARE FOLOSITE ÎN SCOPUL EXPERIMENTELOR PENTRU OPTIMIZAREA PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ

Un motiv pentru care cercetarea experimentală s-a axat pe cele două categorii de reperi (vezi subcapitolul 4.1) îl reprezintă și faptul că acestea au putut fi centrate și fixate foarte precis pe standuri specifice operațiilor metrologice de etalonare a unor reperi sau chiar a mijloacelor de măsurare. Aceste standuri prezintă marele avantaj că, prin construcția lor, permit adaptarea și poziționarea corectă a oricărui mijloc de măsurare dimensională, în scopul controlului diferiților parametri geometrici ai reperelor măsurate. De asemenea acestea pot fi considerate ca elemente componente din structura posturilor de control.

4.3.1 Standul experimental pentru inspecția dimensională a pieselor de revoluție

Pentru optimizarea controlului pieselor de revoluție s-a folosit un stand pe care au fost dispuse pe rând diferite traductoare de deplasare, ca mijloace de măsurare (figura 4.3.1). Așezarea și orientarea piesei pe diametrul interior (figura 4.3.1, a) se realizează prin deformarea elastică a unui dorn de centrare, provocată de masa de hidroplast¹⁵ aflată în interiorul acestuia, prin presiunea creată la deplasarea unui șurub cu cap imbus. Reperul (1) este astfel corect fixat și centrat pe axul de rotație (5), care, la rândul său este dispus pe doi rulmenți radial-axiali cu bile, fixați în interiorul carcasei (6). Aceasta este compusă din două părți: un capac detașabil (în partea inferioară), cu rolul de a proteja axul mobil

¹⁵ *Hidroplastul* este un material plastic, cu proprietăți elastice la temperaturi cuprinse între 18 și 20°C, având proprietatea de a transmite presiunea în mod constant în orice direcție.

contra agenților exteriori și un corp prevăzut cu flanșă de prindere pe plăcile de bază (2). De acesta sunt fixați cei doi rulmenți, ce asigură o mișcare de rotație lină și fără jocuri a piesei. Prin sistemul de ghidare, dar și greutatea plăcilor, respectiv a axului și a corpului de fixare, se asigură o ortogonalitate a axului acestuia, erorile de poziționare nedepășind $0,2 \text{ micrometri}$. Sistemele de prindere a mijloacelor de măsurare (3) sunt reglabile după o direcție axială, respectiv radială (prin sistemul de ghidare (4)), asigurând o corectă poziționare în raport cu piesa de rotație. Dispunerea sistemelor de prindere permite măsurarea atât a abaterilor de formă pe direcție radială, cât și a abaterilor de formă pe direcție axială a cotelor exterioare, respectiv interioare ale reperului.

În scopul optimizării procesului de măsurare dimensională standul existent a fost adaptat astfel încât să permită antrenarea piesei cu diferite viteze de rotație, în timpul procesului de control (figura 4.3.1, b). În acest sens, pe axul de rotație al reperului a fost dispus un moto-reductor pentru ștergătoarele de parbriz, folosit la autoturismele *Dacia 1310*. La baza alegerii acestui motor au stat două motive:

- acesta permite antrenarea reperului cu viteze ce se încadrează în gama impusă în calculul analitic, referitoare la vitezele maxime pentru care nu are loc desprinderea contactului dintre piesă și mijlocul de măsurare;
- costul acestor motoare este mai mic decât al altor motoare în curent continuu sau alternativ, de putere mai mare.

În construcția standului, fixarea motorului s-a făcut astfel încât să fie eliminate vibrațiile transmise axului de antrenare. Pentru aceasta, motorul a fost fixat de stand prin intermediul a trei brațe de prindere, echidistante, prevăzute cu manșoane din cauciuc.

Din punctul de vedere al dispunerii corecte a standului de măsurare, acesta a fost așezat pe masa din granit al unei mașini de măsurare în coordonate (figura 4.3.2, b). Datorită greutateii masei din granit (aproximativ 750 kg), standul a putut fi complet izolat de orice sursă de vibrații cauzate de factori externi (trafic, prezența altor persoane în încăpere, funcționarea altor echipamente sau instalații în alte încăperi etc.). Pe de altă parte, prin reglarea piulițelor dispuse în partea inferioară a tijelor filetate, a fost posibilă asigurarea orizontalității standului și, implicit a reperului supus inspecției dimensionale.

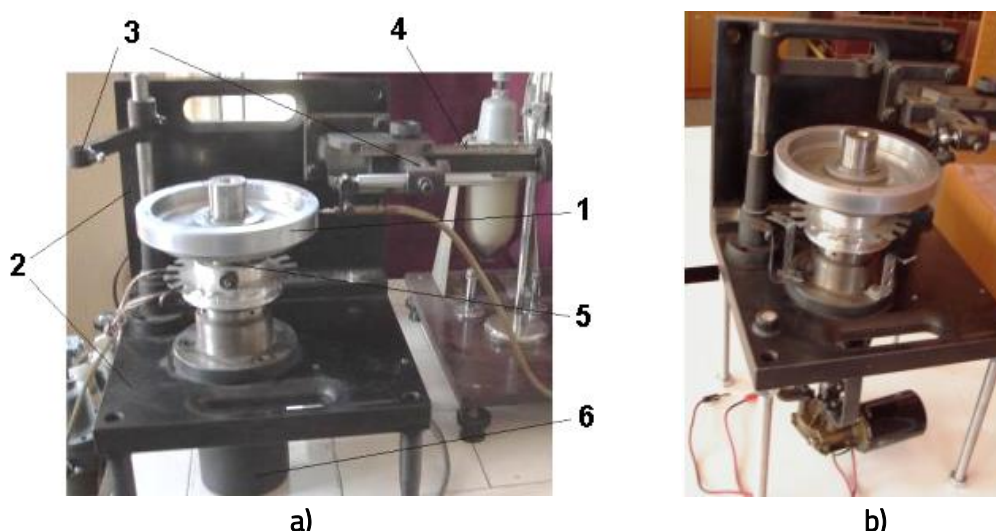
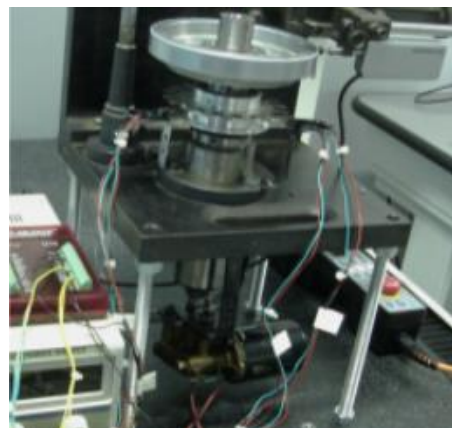


Fig. 4.3.1 Standul pentru măsurarea dimensională a abaterilor de formă a pieselor de revoluție a-standul inițial; b-standul adaptat

Aceeași problemă, a dispunerii corecte s-a pus și în cadrul traductoarelor folosite la măsurarea dimensională a reperului. S-a asigurat ortogonalitatea între tija palpatoare a traductorului și suprafața supusă măsurării [M7]. Acest lucru a fost posibil prin reglarea sistemelor de prindere a traductoarelor, cu care standul este prevăzut. Dispunerea corectă a mijloacelor de măsurare (traductoarele de deplasare) s-a realizat prin intermediul a două cuple cinematice, la nivelul elementelor de fixare: o cuplă de gradul doi, pentru poziționarea ansamblului traductor-element de fixare și o cuplă sferică, pentru ajustarea poziției traductorului față de suprafața de măsurat (figura 4.3.2, a) [RO 98].



a)



b)

Fig. 4.3.2 Elementul de fixare și reglare a poziției mijlocului de măsurare

Sub aspectul optimizării procesului de inspecție dimensională din punctul de vedere al echipamentului experimental, s-a pus problema monitorizării a doi parametri de bază: precizie de măsurare și viteză de antrenare în rotație a reperului măsurat. Pentru aceasta, standul a fost prevăzut cu 4 senzori magnetici de tip *Hall*¹⁶ ce au permis măsurarea cu precizie a turației piesei de rotație. Primii doi senzori au fost dispuși la 360° , pentru a se contoriza începutul și sfârșitul unui ciclu de măsurare (figura 4.3.3), iar ceilalți senzori au fost dispuși la un unghi de aproximativ 270° , pentru măsurarea turației piesei.



Fig. 4.3.3 Dispunerea senzorilor magnetici pentru contorizarea unei rotații complete a reperului

Pentru corecta dispunere a senzorilor Hall, în raport cu magnetul permanent de activare a acestora, standul a fost prevăzut cu două sisteme speciale:

- un disc din material feros pentru auto-fixarea magnetului;
- trei brațe pentru fixarea și poziționarea senzorilor *Hall* (figura 4.3.3).

Poziționarea și fixarea brațelor s-a făcut astfel încât să se asigure o distanță optimă între magnet și senzor, $d = 1,5 \div 3 \text{ mm}$, pentru corecta sesizare a prezenței magnetului.

¹⁶ senzorii magnetici *Hall* au proprietatea de a furniza un semnal de tip impuls, la trecerea unui magnet în dreptul acestora

Totodată se evită riscul atingerii sensorului de către magnet, în cazul vitezelor de rotație mari.

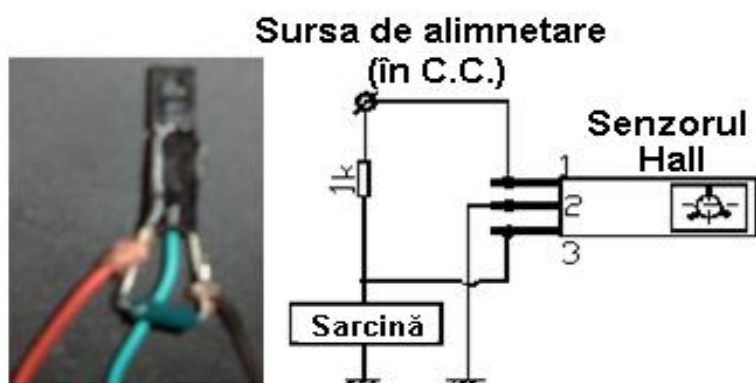


Fig. 4.3.4 Schema de montaj pentru alimentarea senzorilor Hall

Realizarea circuitului electronic de alimentare al senzorilor magnetici a constituit o altă etapă în optimizarea standului experimental pentru măsurarea pieselor de revoluție în regim dinamic. Schema de montaj este prezentată în figura 4.3.4.

Senzorii Hall au fost alimentați la tensiunea de 5 V, în curent continuu, de la o sursă dublă, iar cuplarea acestora la calculator s-a făcut printr-o placă de achiziție, LabJack U12, conform schemei din figura 4.3.5.

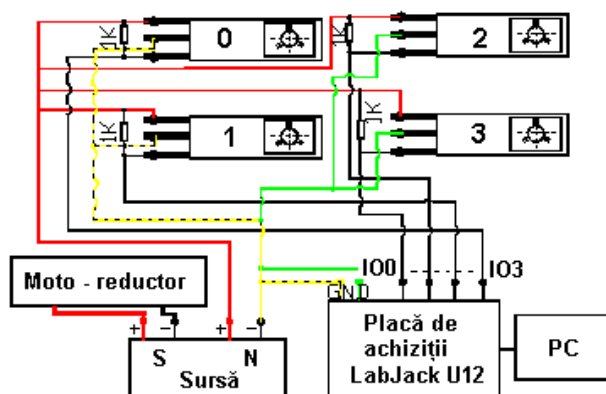


Fig. 4.3.5 Cuplarea senzorilor magnetici la sursa de tensiune dublă, respectiv la placa de achiziție

Sursa dublă de alimentare, realizată de compania PROTEC (Taiwan), este prezentată în figura 4.3.6. Senzorii Hall au fost alimentați la bornele MASTER ale sursei, la bornele SLAVE fiind legat moto-reductorul de antrenare în rotație a piesei. Configurația și caracteristicile plăcii de achiziții LabJack U12 (vezi paragraful 4.4) au permis legarea conectorilor în sarcină ai senzorilor magnetici la canalele digitale pentru intrări / ieșiri $IO_0 \div IO_3$.

De la borna comună de masă a senzorilor, s-au legat terminalele de împământare (GND) ale plăcii de achiziție (figura 4.3.6).

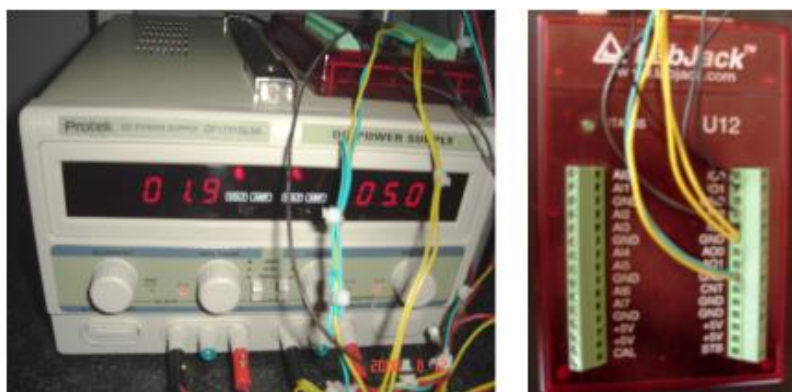


Fig. 4.3.6 Sursa dublă de alimentare în curent continuu a moto-reductorului și a senzorilor Hall

Placa de achiziții a fost cuplată la calculator, printr-un conector USB, unde, cu ajutorul aplicației *I.D.A.D.vi*, create în mediul LabVIEW (vezi capitolul 2, subcapitolul 2.3), au fost preluate semnalele de la senzorii magnetici.

Canalele $IO_0 \div IO_3$ au fost folosite ca intrări digitale, astfel încât semnalul să aibă valoare booleană, după cum urmează: dacă senzorii sesizează prezența magnetului, atunci semnalul de intrare la placă are valoarea „1” logic, iar în absența magnetului, semnalul are valoarea „0” logic. Preluarea semnalelor digitale prin intermediul calculatorului servește la monitorizarea procesului de inspecție dimensională, prin comanda unui ciclu de măsurare [L4].

4.3.2 Standul experimental pentru inspecția dimensională a reperelor speciale, antrenate în mișcare de translație

Aceste reperi joacă fie roluri funcționale, fie roluri constructive importante în componența produselor finite, ca de exemplu:

- ghidaje;
- axe de motoare liniare;
- sănii;
- carcase ale unor componente pneumatice sau hidraulice.

Din punctul de vedere al geometriei acestor tipuri de reperi, cercetarea experimentală s-a axat pe piese cu una sau două suprafețe plane, antrenate în mișcare de translație în timpul procesului de inspecție dimensională. Scopul studiului a fost acela de a crește flexibilitatea procesului de inspecție dimensională în regim automat, în scopul acoperirii cât mai multor cazuri, în ceea ce privește controlul calității componentelor produselor finite, în cadrul etapei de producție.

În acest context, obiectul cercetării experimentale l-a făcut un reper având forma paralelipipedică, reprezentând un tronson al unei rigle tehnologice, confecționată din oțel. Parametrul măsurat este abaterea de formă la nivelul uneia dintre a suprafețele reperului.

Pentru automatizarea procesului de inspecție dimensională, antrenarea în translație a reperului în postul de control, s-a realizat cu ajutorul unei axe liniare, dezvoltate de compania japoneză YAMAHA (figura 4.3.7, a). Principiul de funcționare constă în antrenarea în mișcarea de translație a unei sănii dispuse pe un șurub cu bile, cu pasul de 1,5 mm, acesta din urmă fiind antrenat de un motor alimentat în curent continuu.



a)



b)



c)

Fig. 4.3.7 Axa liniară YAMAHA pentru antrenarea în translație a reperului măsurat

Principalele avantaje ale folosirii acestei axe liniare unidirecționale sunt următoarele:

- axa liniară poate fi programată astfel încât sania de antrenare a reperului să poată fi

deplasată pe distanța și cu viteza necesare, în funcție de necesitate;

- precizia de deplasarea saniei este foarte ridicată (0,1 ÷ 0,2 micrometri).

Cursa maximă a acestui robot liniar este de 600 mm, iar viteza maximă este de 0,81 m/s, viteza minimă fiind de $6,82 \cdot 10^{-3}$ m/s. Între aceste valori, viteza de deplasare a saniei poate fi programată, în procente de la 1 la 100 %.

Alimentarea axei robotizate se face prin intermediul unui bloc electronic (figura 4.3.7, b), ce se cuplează la blocul de comunicație cu calculatorul (figura 4.3.7, c). Blocul electronic de comunicare cu calculatorul transferă informația către PC, prin intermediul unui conector de serială RS – 232.

Din punctul de vedere al interfeței software, aceasta prezintă avantajul că este foarte ușor de folosit pentru programarea axei liniare, pentru orice aplicație, prin simpla apelare a instrucțiunilor și a parametrilor de programare. Pentru identificarea portului de comunicație serială, la accesarea mediului software al axei liniare, se alege opțiunea *Connect Robot Controller*. Printr-o fereastră de dialog se poate stabili portul de comunicație serială cu calculatorul, pentru programarea axei liniare (figura 4.3.8). Odată stabilit portul de comunicație, fereastra *POPCOM Windows* permite accesarea fiecăruia dintre programele introduse, prin selectarea unui număr în dreptul căsuței de dialog *Exe. Program*. Opțiunea *Show Exe Program* permite vizualizarea liniilor de program [Y1]. Fiecare program introdus comandă un ciclu de secvențe pentru acționarea saniei mobile a axei, iar pentru pornirea acestuia este necesară comanda deplasării saniei în originea axei. Aceasta se face prin selectarea opțiunii *Origin*.



Fig. 4.3.8 Fereastra de dialog pentru selectarea portului de comunicație cu calculatorul

Pentru comanda unui ciclu de secvențe, se accesează opțiunea *Start*, iar pentru oprirea acestuia se acționează comanda *Stop*. Opțiunea *Step* permite urmărirea și identificarea pas cu pas a fiecărei secvențe dintr-un ciclu de programare.

Ținând cont de faptul că un program comandă acționarea saniei mobile, prin deplasarea acesteia în puncte de coordonate stabilite, caseta de dialog *Online Edit* permite și editarea punctelor de coordonate, adică definirea coordonatelor acestora, în scopul apelării lor în programele de comandă. Pentru aceasta s-a ales opțiunea *PNT*, pentru editarea coordonatelor noilor puncte de deplasare ale saniei, sau pentru modificarea coordonatelor punctelor predefinite (figura 4.3.9).

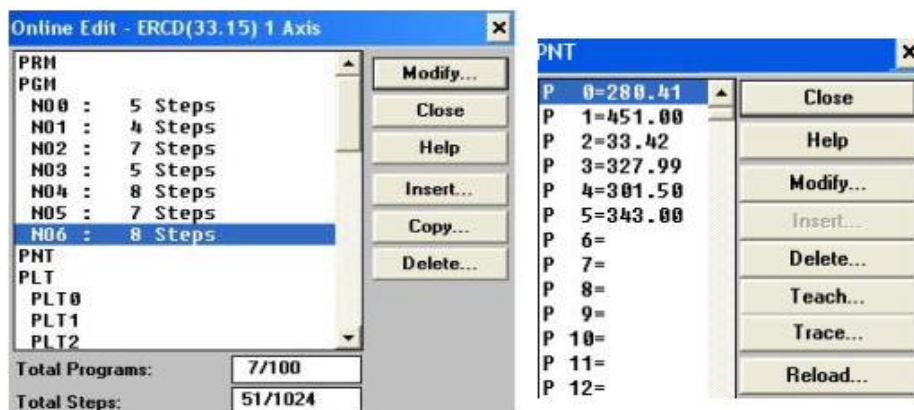


Fig. 4.3.9 Fereastra de dialog pentru scrierea sau modificarea unui program de comandă a axei liniare

Opțiunea *PGM* permite deschiderea unui nou fișier pentru scrierea unui nou program de comandă, iar pentru modificarea unui program existent, se procedează la selectarea numărului de program și accesarea opțiunii *Modify*.

Ca și în cazul standului experimental descris la paragraful 4.3.1, s-a pus problema asigurării orizontalității. În acest scop, axa a fost fixată de masa din granit a mașinii de măsurat în coordonate DEA GLOBAL. În vederea fixării axei de masa din granit, s-a folosit o placă specială de prindere a acesteia, (figura 4.3.7, a). În urma fixării ansamblului placă–axă liniară, în scopul asigurării unor determinări de mare precizie, s-a verificat atât orizontalitatea plăcii, cât și a saniei transportoare cu care este prevăzută axa liniară.

Pentru măsurarea abaterii de formă, s-a procedat la o fixare cât mai precisă și cât mai rigidă a acestuia de sania axei liniare. Sania fiind prevăzută cu patru alezaje filetate pentru fixarea reperelor, acestea au fost folosite pentru fixarea piesei (figura 4.3.10).



Fig. 4.3.10 Disponerea și fixarea reperului măsurat pe sania axei robotizate, antrenată în translație

Pentru comanda și monitorizarea procesului de inspecție dimensională s-au folosit patru senzori Hall, doi pentru comanda începutului și sfârșitului ciclului de măsurare și alți doi pentru măsurarea vitezei de deplasare a reperului în dreptul postului de control.

Disponerea acestora s-a făcut, ca și în cazul standului pentru controlul pieselor de revoluție, prin intermediul a patru console speciale, confecționate din platbandă perforată din aluminiu, cu grosimea de 1 mm și lățimea de 16 mm.

Senzorii Hall (notați cu S_0 și S_1) dispuși la interior servesc la comanda unui ciclu de măsurare, astfel: atunci când magnetul (fixat pe reperul supus controlului) se poziționează în dreptul sensorului magnetic de început de cursă (S_0), are loc declanșarea ciclului de măsurare, iar poziționarea magnetului în dreptul sensorului de sfârșit de cursă (S_1), corespunde cu finalul ciclului de măsurare (vezi capitolul

2, subcapitolul 2.3). Distanța dintre acești senzori este egală cu lungimea suprafeței pentru care s-a făcut măsurarea abaterii de formă ($L = 122 \text{ mm}$). Ceilalți doi senzori (notați cu S_3 și S_2), dispuși la exterior, servesc la determinarea timpului scurs între poziționarea magnetului în dreptul primului senzor (S_3) și poziționarea acestuia în dreptul celui de al doilea senzor (S_2). Cunoscându-se intervalul de timp necesar parcurgerii distanței dintre cei doi senzori, și distanța dintre aceștia, printr-o rutină a aplicației LabVIEW *I.D.A.D..vi* (subcapitolul 2.3), s-a determinat viteza de antrenare a reperului în postul de control. Distanța dintre acești doi senzori a fost stabilită mult mai mare decât lungimea suprafeței de măsurare ($D = 400 \text{ mm}$), pentru ca precizia de măsurare a vitezei de antrenare a piesei testate să fie cât mai mare.

Pentru asigurarea unui interstițiu optim între senzori și magnet ($1,5 \div 3 \text{ mm}$), senzorii au fost amplasați pe console realizate din platbandă perforată din aluminiu, cu grosimea și lățimea specificate mai sus (figura 4.3.10). Avantajul acestor console este acela că datorită flexibilității, ele pot fi reglate pentru stabilirea poziției optime a senzorilor față de magnet.

Tot în vederea asigurării condițiilor optime pentru realizarea unor măsurători de precizie, și în cazul pieselor antrenate în translație, s-a pus problema asigurării dispunerii corecte a mijloacelor de măsurare în raport cu suprafața supusă controlului. În acest scop, s-au folosit sisteme speciale de orientare și fixare a traductoarelor de deplasare folosite, astfel încât să se obțină o direcție de măsurare perfect ortogonală în raport cu suprafața de măsurat.

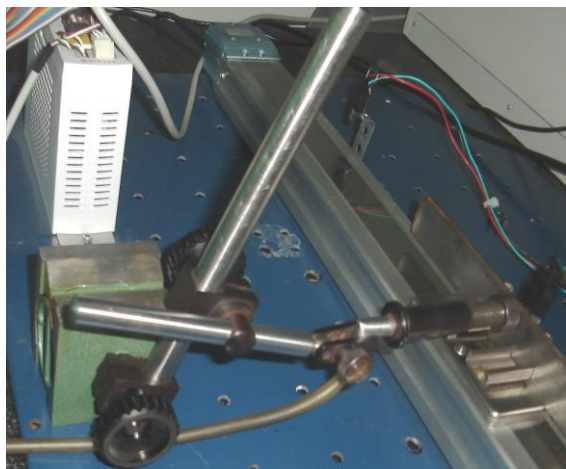


Fig. 4.3.11 Sistemul folosit pentru fixarea și orientarea corectă a mijlocului de măsurare

Prin acest procedeu s-au redus considerabil erorile instrumentale, care pot apărea în timpul procesului de inspecție dimensională. Sistemul folosit pentru orientarea și fixarea traductoarelor constă într-un suport magnetic, prevăzut cu un ghidaj, de care, prin intermediul unui mecanism format dintr-o cuplă de translație și una de rotație, se poate fixa sistemul de prindere al mijlocului de măsurare. Acesta din urmă este prevăzut, la rândul său, cu o cuplă de rotație pentru fixarea și orientarea traductorului (figura 4.3.11).

4.4 METODELE ȘI A MIJLOACELE DE MĂSURARE UTILIZATE ÎN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ

În cazul ambelor standuri de inspecție dimensională, în scopul adaptării procesului la sistemul de calcul, s-a implementat lanțul de măsurare, sintetizat schematic în figura 4.4.1.

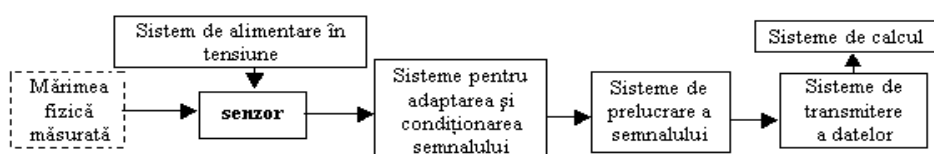


Fig. 4.4.1 Schema-bloc a lanțului de măsurare asistată de calculator

În vederea optimizării procesului de inspecție dimensională s-a folosit o gamă cât mai largă de traductoare de deplasare, în scopul unei evaluări complete și precise a performanțelor fiecărui sistem de măsurare în parte. Aceste performanțe au fost stabilite impunându-se condiția respectării aceluiași condiții și parametri de măsurare (vezi subcapitolul 4.5) în cazul fiecăruia dintre cele două standuri de măsurare prezentate în subcapitolul 4.3.

Având drept scop optimizarea procesului de control asistat de calculator, cercetarea a avut în vedere folosirea unor traductoare de deplasare pe diferite principii de funcționare, dar cu posibilitatea interfațării cu calculatorul. Din punctul de vedere al modului de preluare a semnalului de la reperul măsurat, traductoarele folosite se împart în două categorii:

- cu contact cu suprafața măsurată:
 - pe principiul inductiv (două tipuri funcționale),
 - pe principiul incremental;
- fără contact cu suprafața măsurată: - pe principiul pneumatic,
 - pe principiul optic (cu sursă LASER).

Fiecare traductor de deplasare folosit a fost adaptat la calculator prin intermediul propriului sistem de achiziție și interfațare.

4.4.1 Traductoarele de deplasare pe principiul inductiv

În cadrul cercetării experimentale s-au folosit două tipuri de traductoare inductive:

- traductoarele inductive *HOTTINGER*, asamblate la Întreprinderea de Mecanică Fină București (figura 4.4.2, a);
- traductoarele inductive *Easy Box*, produse de compania *Marposs*, cu reprezentanțe în Europa, America, Australia și Asia (figura 4.4.2, b) [B16].



Fig. 4.4.2 Traductoarele de deplasare pe principiul inductiv, folosite în cadrul cercetării experimentale a - traductoarele *HOTTINGER*, b - traductoarele *Easy Box*

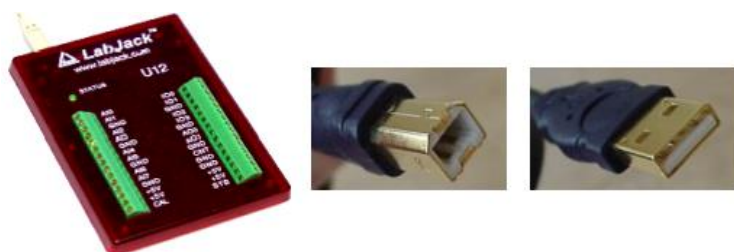


Fig. 4.4.3 Placa de achiziție de date, folosită în scopul adaptării la calculator a traductoarelor de deplasare inductive din seria *HOTTINGER*

Din punctul de vedere al adaptării la calculator, traductoarele inductive din seria *HOTTINGER* au fost cuplate la o placă de achiziție de date, *LabJack U12* (figura 4.4.2), comunicarea făcându-se printr-o mufă *USB* (Universal Serial Bus) [B25].

Placa de achiziții *LabJack U12* este prevăzută cu 8 canale analogice pentru semnalele de intrare ($AI_0 \div AI_7$), 2 canale analogice pentru semnalele de ieșire (AO_0 și AO_1) și 4 canale digitale pentru achiziția semnalelor de intrare și ieșire (tabelul 4.4.1).

Caracteristicile tehnice și funcționale ale acestor tipuri de traductoare au fost determinate experimental, în regim static, în puncte echidistante ale cursei palpatorului, cunoscându-se deplasarea acestuia și tensiunea de ieșire corespunzătoare [B11], [D2]. Caracteristicile au fost approximate prin metoda celor mai mici pătrate.[D2], [L2].

Tabelul 4.4.1. Rolul, simbolizarea și numărul terminalelor plăcii LabJack U12

Destinația terminalului	Simbolul terminalului	Natura semnalelor	Numărul de terminale
intrări analogice	AI ₀ – AI ₇	analogice	8
ieșiri analogice	AO ₀ și AO ₁	analogice	2
intrări / ieșiri digitale	IO ₀ – IO ₃	digitale	4
împământare	GND	analogice	8
numărător	CNT	digitale, pe 32 de biți	1

Alimentarea traductoarelor *HOTTINGER* s-a realizat printr-un bloc electronic, realizat la Întreprinderea de Mecanică Fină București (figura 4.4.4, a). Cele două potențiometre ale blocului electronic au fost legate la placa de achiziție, prin intermediul unui cablu ecranat, astfel: un conector al cablului a fost legat la una dintre intrările analogice AI₀ ÷ AI₇, iar conectorul de masă a fost legat la terminalul de împământare (*GND*).

Traductoarele de deplasare inductive *Marposs Easy Box*, au fost adaptate la calculator prin intermediul unui circuit de alimentare, de tip multiplexor, prevăzut cu 4 canale, comunicația făcându-se tot printr-o mufă USB (figura 4.4.4, b).



Fig. 4.4.4 Blocul electronic pentru alimentarea senzorilor inductivi *HOTTINGER* și *Marposs Easy Box* [M2]

4.4.2 Traductorul de deplasare pe principiul incremental

Un alt tip de traductor de deplasare folosit în cadrul cercetării experimentale este traductorul pe principiul incremental, produs de compania germană *HEIDENHAIN*, seria *MT 2571* (figura 4.4.5) [H2]. Deoarece semnalele de ieșire de la acest tip de traductor sunt digitale, pentru cuplarea acestora la calculator s-a folosit un circuit de decodificare, prevăzut cu microprocesor *PIC18F452*[M3], [M6], [S8].



Fig. 4.4.5 Folosirea traductoarelor incrementale HEIDENHAIN în cadrul cercetării experimentale privind optimizarea inspecției dimensionale asistată

Calitatea semnalelor este asigurată de principiul de scanare și de gradația foarte fină a riglei incrementale, obținută cu ajutorul tehnologiei de obținere a materialului DIADUR¹⁷ [G4], [H4], [S2], [Z1].

Schema bloc și fotografia circuitului sunt prezentate în figura 4.4.6. Alimentarea traductorului se face de la sursă, prin intermediul unui adaptor, prevăzut cu o mufă „Jack”, ce se cuplează la circuitul de adaptare.

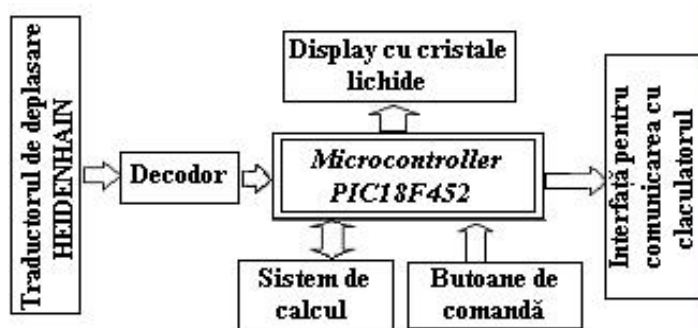


Fig. 4.4.6 Schema-bloc a circuitului de adaptare la calculator a traductorului incremental

Acest sistem este prevăzut cu un buton de resetare, pentru aducerea la zero a valorii afișate, în vederea etalonării traductorului înaintea fiecărui ciclu de măsurare și un buton pentru schimbarea rezoluției de afișare (modul X_1 , pentru rezoluția de 0,4 micrometri, modul X_2 pentru rezoluția de 0,2 micrometri și modul X_4 pentru rezoluția de 0,1 micrometri). Comunicarea cu calculatorul se face printr-un cablu de comunicație serială RS – 232.

4.4.3 Traductorul de deplasare pe principiul pneumatic

Acesta a fost combinat cu traductorul incremental, pentru a putea fi cuplat la calculator. El constă într-o duză pneumatică pe principiul măsurării fără contact cu suprafața (figura 4.4.7, a), fiind în legătură cu o instalație pneumatică, prezentată în figura 4.4.7, b).

¹⁷ DIADUR reprezintă un material metalo-ceramic dur, obținut prin sinterizarea pulberilor metalice din Wolfram sau Titan, la temperaturi înalte. Se folosește în general la confecționarea riglelor incrementale ale traductoarelor de deplasare

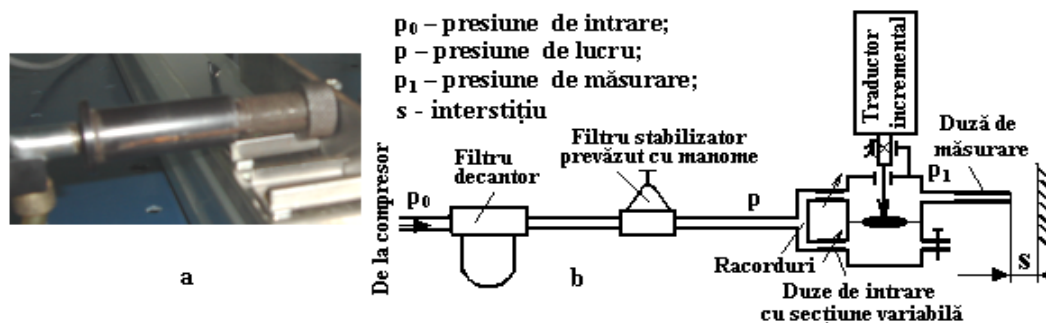


Fig. 4.4.7 Traductorul de deplasare pe principiul pneumatic și schema instalației pneumatice pe care a fost dispus traductorul [04]



Fig. 4.4.8 Dispunerea traductorului de deplasare incremental pe instalația pneumatică

Pentru adaptarea traductorului incremental la instalația pneumatică, acesta a fost dispus în locul ceasului comparator cu care inițial era prevăzută instalația (figura 4.4.8).

4.4.4 Traductorul optic de deplasare cu sursă LASER

În scopul completării informațiilor experimentale privind performanțele mijloacelor de măsurare pe principiul fără contact cu suprafața, s-a folosit și un traductor de deplasare cu sursă LASER, realizat de compania japoneză *OMRON*, seria *ZX-LD40* [B4] (figura 4.4.9).



Fig. 4.4.9 Folosirea traductorului cu sursă LASER în cadrul cercetării experimentale privind inspecția dimensională pe principiul fără contact

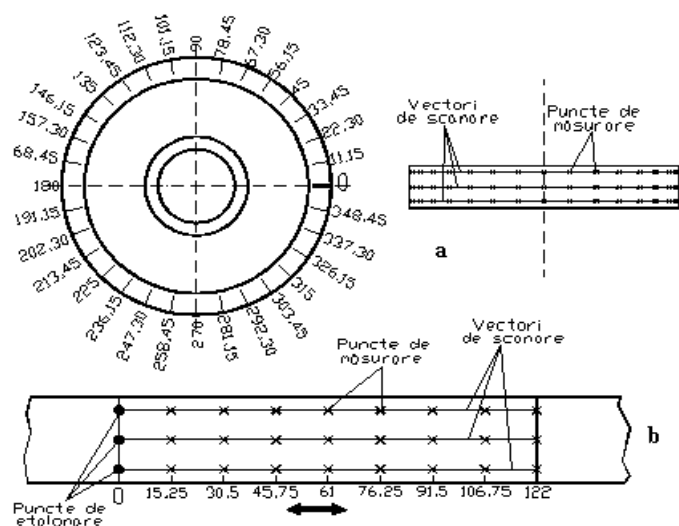
Pentru adaptarea la calculator, aceste traductoare au fost livrate cu un sistem de comunicație prevăzut cu o interfață serială *RS-232*. Acest sistem de comunicație este dispus împreună cu sistemul de afișare [B4].

4.5 MODUL DE OBTINERE A REZULTATELOR EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETAREA ACESTORA

4.5.1 Stabilirea ipotezelor privind modul de realizare a determinărilor experimentale privind măsurarea dimensională a abaterilor de formă

În scopul obținerii unor rezultate cât mai concludente, într-un timp cât mai scurt, s-a procedat la realizarea de măsurări ale abaterii de formă în puncte dispuse echidistant pe suprafețele reperelor testate. Cu excepția cazului folosirii traductoarelor pneumatice de deplasare, cercetarea experimentală s-a axat pe măsurarea dimensională după trei vectori, pentru fiecare dintre aceștia fiind stabilit același număr de puncte echidistante de măsurare (figura 4.5.1). Stabilirea numărului de vectori de scanare a fost determinată de geometria reperelor supuse studiului, experimental observându-se că un număr

mai mare de vectori de scanare nu oferă informații mai concludente privind performanțele mijloacelor și metodelor de măsurare folosite. Același raționament s-a aplicat și în privința stabilirii numărului punctelor de măsurare pentru fiecare vector de scanare.



- folosirea la testare a unor repere având o rugozitate a suprafeței care să influențeze cât mai puțin eventualele erori de poziționare a traductorului pentru fiecare punct de măsurare [G2], [R3];

Cea de a doua etapă a cercetării experimentale a constat în măsurarea dimensională a acelorași parametri geometrici, în aceleași puncte, cu aceleași mijloace instrumentale, în aceleași condiții, dar în regim dinamic.

Pentru obținerea și interpretarea rezultatelor din punctul de vedere al performanțelor soluției alese, s-au determinat toți parametrii de timp și de precizie ai procesului de inspecție dimensională automatizat, prin raportarea la același proces în regim static (vezi capitolul 5).

4.5.2 Procedeu folosit pentru inspecția dimensională, în regim static cu fiecare mijloc de măsurare în parte

4.5.2.1 Măsurarea cu traductoarele de deplasare inductive

În cazul folosirii traductoarelor inductive *HOTTINGER*, în lipsa unui sistem software propriu, s-au folosit aplicațiile *LabVIEW - I.D.A.S.1.vi* și *I.D.A.S.2.vi*, pentru măsurarea punct cu punct. Aceasta se bazează pe accesarea protocolului de comunicație prin placa de achiziție *Lab Jack U12*.

În cazul piesei de revoluție, aceasta a fost decuplată în prealabil de moto-reductorul de antrenare, pentru a putea fi rotită manual, punct cu punct. Pentru punctul inițial (dispus la 0° pe direcție radială, s-a procedat la calibrarea traductorului inductiv, nivelul tensiunii de ieșire fiind adus la o valoare cât mai apropiată de zero (aproximativ 4,5 mV)). Urmărirea nivelului de tensiune a fost posibilă cu ajutorul rulării în regim continuu a unei rutine simple în *LabVIEW*, pentru achiziția pe canalele analogice de intrare ale plăcii *Lab Jack U12* (figura 4.5.2).

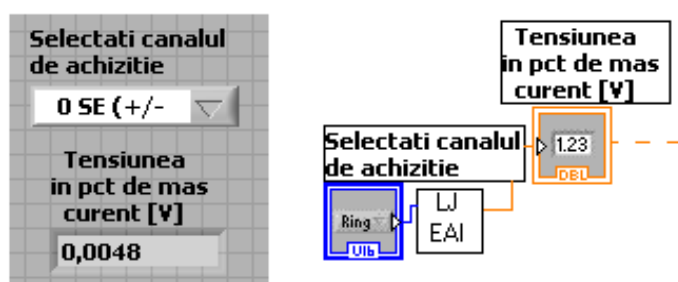


Fig. 4.5.2 Verificarea calibrării traductorului, prin urmărirea continuă a nivelului tensiunii de ieșire

În urma etalonării, s-a procedat la rularea aplicației *LabVIEW, I.D.A.S.1.vi*, rotirea manuală punct cu punct a piesei făcându-se numai la indexarea indicatorului numeric *Rotește piesa la unghiul [grade] indicat, pentru o nouă măsurare.*

În urma unui ciclu complet de măsurare, s-a generat un fișier *EXCEL*, conținând coordonatele unghiulare ale punctelor și valorile abaterilor de formă corespunzătoare ale acestora. Aceste valori ale abaterilor au fost luate drept referință pentru măsurarea aceluiași parametru, cu același traductor, dar în regim dinamic. Acest procedeu de măsurare în regim static s-a reluat pentru fiecare dintre cei trei vectori de scanare dispuși echidistant pe înălțimea generatoarei reperului antrenat în rotație (figura 4.5.1, a).

Pentru piesa antrenată în translație, procedeu a fost același, cu deosebirea că în acest caz s-a folosit o aplicație *Lab VIEW* similară, care a permis afișarea și salvarea datelor sub forma a două coloane, astfel: în prima coloană au fost afișate valorile coordonatelor în sistem cartezian ale punctelor de măsurare. În cea de a doua coloană au fost afișate valorile abaterilor de formă pe suprafața măsurată, pentru fiecare vector de scanare curent. Deplasarea piesei s-a făcut manual (axa liniară

nefiind conectată la sursa de curent), la indexarea indicatorului numeric *Deplasează piesa în punctul de măsurare [mm] indicat mai jos.*

b) În cazul folosirii traductoarelor de deplasare inductive *MARPOSS Easy Box*, s-a folosit sistemul software propriu cu care a fost livrat traductorul, *TopGage*. Pentru fiecare vector de scanare s-a procedat în felul următor: în punctul de etalonare *O*, s-a realizat calibrarea traductorului, cu ajutorul butonului virtual de calibrare, *F7* (figura 4.5.3).

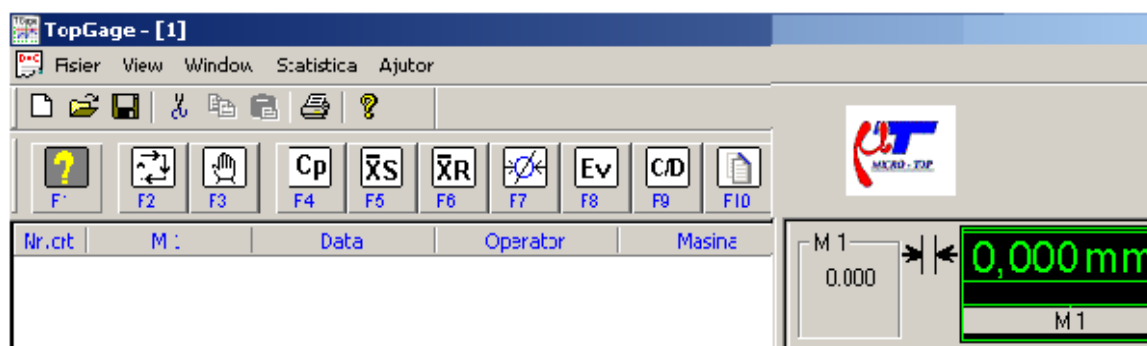


Fig. 4.5.3 Meniul principal al sistemului software *Top Gage* pentru măsurarea în timp real cu traductorul inductiv *MARPOSS Easy Box*

Pentru măsurarea în regim manual s-a folosit butonul virtual *F3* (figura 4.5.3), pentru validarea valorilor abaterilor dimensionale corespunzătoare fiecărui punct de măsurare. Datele sintetizate în tabel au putut fi salvate într-un fișier *EXCEL*, folosind meniul *Fișier – Salvare ca*. Procedeu a fost similar pentru fiecare vector de scanare în parte. Metoda de măsurare în timp real cu traductorul inductiv *MARPOSS* a fost aplicată după același procedeu atât în cazul piesei de revoluție, cât și în cazul piesei antrenate în mișcare de translație.

4.5.2.2 Măsurarea cu traductoarele de deplasare pe principiul incremental și pneumatic

Ca urmare a faptului că traductorul incremental *HEIDENHAIN*, seria *2571*, nu a fost achiziționat cu sistem software propriu, și în acest caz, la măsurarea statică în timp real s-a folosit aplicația *I.D.A.S₂.vi*, creată în mediul *LabVIEW*, descrisă în paragraful 2.7.2. Aceasta a servit măsurării punct cu punct a abaterilor pe direcție radială a suprafeței piesei de revoluție. Pentru piesa antrenată în translație, aplicația *I.D.A.S₂.vi* a fost adaptată după procedeu descris la paragraful 4.2.2.1, în cazul măsurării cu traductorul inductiv *HOTTINGER*.

În acest caz, aplicațiile *LabVIEW* au putut fi îmbunătățite, astfel încât, pentru fiecare punct de măsurare, protocolul de măsurare asistată să permită medierea a trei valori citite de la traductor (vezi paragraful 2.7.2).

Conform algoritmului de programare al aplicației în cazul folosirii traductorului incremental (*I.D.A.S₂.vi*), procedeu de măsurare este următorul: pentru fiecare punct de măsurare, utilizatorul trebuie să comute un buton virtual care să permită validarea datelor măsurate pentru punctul curent și trecerea la următorul punct de măsurare. Acest principiu prezintă următoarele două avantaje comparativ cu metoda folosită în cazul traductorului inductiv *HOTTINGER*:

- permite utilizatorului un timp suficient pentru o poziționare cât mai corectă a mijlocului de măsurare în dreptul fiecărui punct;

- în cazul în care, din diferite motive utilizatorul este nevoit să părăsească postul de măsurare, reluarea ciclului se poate face din punctul în care a fost întrerupt, prin simpla validare a măsurării în punctul curent.

Procedeele de calibrare a traductorului și de obținere a fișierelor de date sunt identice cu cele folosite în cazul utilizării traductoarelor de deplasare pe principiul inductiv.

În cazul folosirii traductoarelor de deplasare pe principiul pneumatic, procedeul a fost similar, cu deosebirea că aici aplicația *LabVIEW I.D.A.S₃.vi*, a fost adaptată astfel încât algoritmul de calcul a valorilor abaterilor de formă a fost puțin modificat, ținându-se cont de caracteristica traductorului pneumatic.

Ca urmare a faptului că, prin forma constructivă a traductorului pneumatic, jetul de aer prin duza de ieșire trebuie să fie în întregime acoperită de suprafața ce opune rezistență, măsurarea s-a putut realiza doar pe vectorul median al suprafeței.

4.5.2.3 Măsurarea în regim static cu traductoarele de deplasare cu sursă LASER

Produsul software *Smart Monitor 3*, cu care a fost achiziționat traductorul de deplasare *OMRON*, a permis măsurarea punct cu punct, în timp real, a abaterilor de formă a suprafețelor celor două repere. În punctul de etalonare, s-a procedat la calibrarea traductorului, prin aducerea valorii afișate la zero, în dreptul câmpului *Measured value*, prin acționarea butonului virtual ZERO dispus în fereastra principală a aplicației (figura 4.5.4).



Fig. 4.5.4 Fereastra principală a aplicației software *Smart Monitor 3*, pentru măsurarea asistată în timp real cu traductorul cu sursă LASER *OMRON*

Pentru fiecare punct de măsurare, s-a procedat la generarea câte unui șir de date, salvate în fișiere *EXCEL*. Datorită faptului că aplicația este configurată să realizeze câte o citire de la traductor la fiecare milisecundă, pentru un ciclu de măsurare, corespunzător unui singur punct, s-au realizat mai multe citiri. În aceste condiții, pentru determinarea valorii abaterii dimensionale corespunzătoare fiecărui punct de măsurare, la nivelul fiecărui fișier *EXCEL* generat s-a calculat media aritmetică a valorilor citite de la traductor.

Procedeul de măsurare în regim static cu traductorul cu sursă LASER a putut fi aplicat atât în cazul piesei de revoluție, cât și pentru reperul antrenat în translație.

4.5.3 Inspecția dimensională în regim dinamic pentru fiecare mijloc de măsurare în parte

În cazul măsurării în regim dinamic s-au considerat următoarele ipoteze:

- evaluarea valorilor abaterilor de formă s-a făcut în aceleași puncte de măsurare, ca și în cazul măsurării statice;
- și în acest caz, pentru ca studiul experimental să fie cât mai complet, s-a procedat la măsurarea suprafețelor după cei trei vectori de scanare (exceptând cazul traductoarelor pneumatice);
- pentru o evaluare cât mai completă și eficientă a performanțelor mijloacelor și metodei de măsurare folosite, în regim dinamic, măsurarea abaterilor dimensionale s-a făcut pentru o gamă cât mai largă

- de viteze de antrenare a reperelor în postul de control; această gamă s-a stabilit în domeniul impus pe baza studiului teoretic (vezi paragraful 3.2);
- pentru micșorarea erorilor instrumentale, pentru fiecare vector de scanare, în parte, odată ce mijlocul de măsurare a fost corect poziționat și fixat în raport cu suprafața piesei, mai întâi s-a procedat la măsurarea în regim static, apoi la măsurarea în regim dinamic, cu viteze de antrenare progresive;
 - statistica erorilor de măsurare în regim dinamic s-a făcut în raport cu abaterea de formă în regim static, măsurată cu fiecare traductor în parte;
 - pentru reducerea erorilor sistematice și instrumentale, atât în cazul piesei de revoluție, cât și în cazul piesei antrenate în translație, viteza maximă a fost stabilită în funcție de doi factori importanți: riscul întreruperii contactului dintre suprafața piesei și traductor (capitolul 3, subcapitolul 3.2) și rata maximă de transfer a semnalelor de la traductor. S-a ținut cont de următoarele aspecte importante:
 - concluziile cercetărilor analitice privind vitezele – limită de antrenare a reperelor, până la care nu are loc întreruperea contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața piesei (vezi subcapitolul 3.2);
 - constatările experimentale privind transferul de date de la traductoare;
 - stabilirea empirică a vitezelor de antrenare pentru care măsurările s-au putut realiza corect și precis;
 - pentru fiecare regim de viteză de antrenare, reluarea procesului de măsurare asistată s-a făcut de mai multe ori, până când s-a constatat o repetare fidelă a valorilor abaterilor de formă, în aceleași condiții de măsurare; numai în urma constatării unei reproduceri fidele¹⁹ a valorilor abaterilor corespunzătoare punctelor de măsurare, fișierele de date privind abaterea dimensională au fost validate.

În scopul obținerii valorilor abaterilor dimensionale care să corespundă exact punctelor de măsurare, aplicația LabVIEW *I.D.A.D.vi* a fost programată astfel încât din șirul de valori să fie extrase doar cele de interes.

Pentru optimizarea procesului de inspecție dimensională asistată de calculator, indiferent de mijlocul de măsurare și de parametrul geometric măsurat, s-a folosit aplicația LabVIEW *I.D.A.D.vi*, dezvoltată în cadrul cercetării, descrise în capitolul 2.

În scopul obținerii unor performanțe maxime, din punctul de vedere metrologic, ale soluției de inspecție dimensională asistată, s-a urmărit ca viteza reală de rotație a piesei să fie cât mai apropiată de viteza de rotație stabilită în fereastra panou a aplicației LabVIEW *I.D.A.D.vi*. Pentru aceasta s-au alimentat de la sursa dublă de tensiune cei doi senzori magnetici (S_2 și S_3), respectiv moto-reductorul dispus pe axul piesei de revoluție. Astfel, pentru fiecare regim de viteză de rotație, înaintea rulării aplicației LabVIEW *I.D.A.D.vi*, pentru măsurarea dinamică asistată, reperul a fost antrenat în rotație, viteza fiind reglată din potențiometrul sursei *SLAVE*. Pentru determinarea vitezei reale de antrenare a reperului, în urma rulării aplicației *I.D.A.D.vi*, s-au specificat și canalele de comunicație ale senzorilor *Hall*.

¹⁹ prin *reproducere fidelă* a valorilor măsurate se înțelege obținerea unor valori numerice ce se apropie foarte mult de la ciclul de măsurare la altul, respectând aceleași condiții (viteză de antrenare, mijlocul de măsurare etc.)

4.5.3.1 Măsurarea în regim dinamic cu traductoarele de deplasare pe principiul inductiv

În cazul folosirii traductoarelor inductive *HOTTINGER* (figura 4.5.5), în cadrul aplicației *I.D.A.D.vi*, în fereastra-panou s-a ales ca mijloc de măsurare traductorul inductiv *HOTTINGER*. De asemenea s-a ales și seria acestuia, respectiv canalul de achiziție a semnalului.



Fig. 4.5.5 Măsurarea în regim dinamic cu traductorul pe principiul inductiv, *HOTTINGER*

Conform ipotezelor stabilite privind metodele de măsurare, s-a ales numărul punctelor de măsurare egal cu 32 și vitezele de antrenare în rotație a piesei în timpul inspecției dimensionale.

Astfel, pentru fiecare regim de viteză de antrenare a piesei, ciclul de măsurare s-a reluat, de fiecare dată fiind selectată viteza de rotație (4 rotații / minut, 8 rotații / minut etc.)

În timpul rulării aplicației *LabVIEW I.D.A.D.vi*, s-a putut urmări valoarea afișată a vitezei de rotație a piesei, în timpul reglării acesteia (figura 4.5.6).



Fig. 4.5.6 Aspectul aplicației *I.D.A.D.vi* pentru monitorizarea vitezei de antrenare a piesei

Ajustarea din potențiomtru a vitezei de rotație s-a realizat urmărind fereastra-panou a aplicației *I.D.A.D.vi*, până când valoarea afișată a vitezei de rotație a fost cea mai apropiată de valoarea prestabilită a vitezei de antrenare, aplicația *I.D.A.D.vi*

De asemenea s-a urmărit ca viteza de antrenare a reperului să se mențină constantă. Și acest aspect a putut fi monitorizat prin aplicația *I.D.A.D.vi*, urmărindu-se eventualele variații ale vitezei de antrenare. Începerea măsurării în tip real, în regim dinamic, pentru regimul de viteză stabilit, a avut loc numai în urma ajustării cât mai precise a vitezei de rotație și numai după ce aceasta s-a stabilizat.

În vederea realizării unui ciclu de măsurare asistată în regim dinamic, pentru un vector de scanare, s-a procedat în felul următor: în urma reglării și stabilizării vitezei de rotație a piesei, s-a pornit rularea aplicației *I.D.A.D.vi*, pentru o poziție neutră a magnetului în raport cu senzorii magnetici S_0 și S_1 . Astfel, în timpul rulării aplicației, la trecerea magnetului în dreptul sensorului S_1 , a avut loc declanșarea ciclului de citire de la traductor, întrerupt în momentul în care magnetul a ajuns în dreptul sensorului S_0 , în urma unei rotații complete a reperului (vezi subcapitolul 2.3). La terminarea rutinei de citire a datelor de la traductor, aplicația a fost programată să mai ruleze până la terminarea iterațiilor stabilite în bucla condițională repetitivă, numărul lor fiind programat în concordanță cu viteza de antrenare a piesei. Această măsură a fost luată în scopul acoperirii ciclului de citire efectivă de la traductor.

La sfârșitul rulării aplicației *I.D.A.D.vi*, pentru un ciclu de măsurare, fereastra de dialog apărută a permis salvarea datelor în fișiere *EXCEL*, de unde apoi acestea au fost preluate și prelucrate statistic. Prima coloană conține valorile coordonatelor unghiulare ale punctelor de măsurare, cea de a doua

coloană afișează valorile abaterilor de formă corespunzătoare fiecărui punct de măsurare în parte, iar cea de a treia coloană oferă informații privind viteza de antrenare a piesei de revoluție (prima linie), respectiv intervalul de timp în care magnetul (solidar cu piesa) parcurge distanța delimitată de senzorii Hall S_3 și S_2 , pentru monitorizarea regimului dinamic.

Pentru aceeași viteză de rotație, ciclul de măsurare s-a reluat, obținându-se mai multe fișiere de date, pentru ca ulterior să fie prelucrate doar datele concludente pentru regimul respectiv de viteză. În acest scop au fost păstrate doar fișierele de date având valori asemănătoare între ele, celelalte fiind excluse.

La fiecare viteză de antrenare a piesei de revoluție, înaintea rulării aplicației *I.D.A.D.vi*, pentru un ciclu de măsurare, s-a procedat la stabilirea vitezei de antrenare a piesei (capitolul 2, subcapitolul 2.2). Procedura de măsurare asistată în regim dinamic a abaterii de formă a piesei de revoluție, pentru același vector de scanare, a fost aceeași pentru fiecare regim de viteză de antrenare în parte. Evident, de fiecare dată s-a procedat la monitorizarea vitezei de rotație, în scopul corecției și stabilizării acesteia, după metoda descrisă mai sus.

În mod similar s-a procedat la măsurarea asistată după ceilalți doi vectori, după ce în prealabil a fost asigurată poziționarea și fixarea corectă a senzorului în dispozitiv. De asemenea, de fiecare dată s-a procedat în mod similar pentru verificarea justeții și a constanței vitezei de antrenare a reperului.

În cazul piesei antrenate în translație, procedeul de măsurare în regim dinamic a fost asemănător, cu deosebirea că aici antrenarea reperului în dreptul postului de control s-a făcut prin programarea axei liniare *YAMAHA* (figura 4.5.7, b).

Folosirea axei robotizate a oferit următoarele avantaje:

- precizia ridicată de poziționare a saniei (*0,2 micrometri*);
- flexibilitatea mare în ceea ce privește programarea.

Caracteristicile tehnice și funcționale ale acestei axe liniare sunt prezentate în tabelul 4.5.1.

Tabelul 4.5.1 Caracteristicile tehnice ale axei robotizate *YAMAHA*

<i>Lungimea maximă a cursei saniei transportoare [mm]</i>	600
<i>Precizia de poziționare a saniei [μm]</i>	0,2
<i>Viteza maximă de antrenare în translație a saniei [m/s]</i>	0,81
<i>Viteza minimă de antrenare în translație a saniei [m/s]</i>	$6,82 \cdot 10^{-3}$
<i>Sistemul de comunicație cu calculatorul</i>	Conector RS-232

Prin folosirea axei robotizate pentru antrenare nu a mai fost nevoie de folosirea bornelor *SLAVE* ale sursei duble de alimentare, fiind nevoie doar de bornele *MASTER*, pentru alimentarea senzorilor Hall. Alimentarea axei robotizate s-a făcut prin intermediul unui bloc electronic ce se cuplează la blocul de comunicație cu calculatorul.

Antrenarea reperului testat s-a făcut astfel încât, pentru un ciclu de măsurare, sania să parcurgă o distanță cu o viteză oarecare până în punctul 1 (tabelul 4.5.2), situat la distanța de *510 mm* față de originea axei. Acest punct de coordonate a fost programat să marcheze sfârșitul mișcării de avans și, totodată începutul retragerii saniei. Cursa de retragere a fost programată să includă ciclul de măsurare dimensională, această cursă făcându-se în trei etape, după cum urmează: din punctul de capăt de cursă 1, retragerea să se facă până în punctul intermediar 3 (situat la *450 mm* de origine), cu o viteză

prestabilită, mai mare decât cea de avans. Primul punct intermediar 3 reprezintă începutul tronsonului corespunzător unui ciclu de măsurare, pentru care viteza de antrenare a saniei poate fi variată, în funcție de regimul de viteză aferent controlului în regim dinamic. Sfârșitul acestui tronson este marcat de punctul 4, situat la distanța de 100 mm de originea axei. Din acest punct, retragerea saniei se face cu o viteză egală cu cea corespunzătoare primului tronson, până în punctul 2, reprezentând finalul cursei de retragere (figura 4.5.7, a), acesta fiind definit la distanța de 20 mm față de origine. Amplasarea senzorilor a fost stabilită în concordanță cu punctele de coordonate definite, în scopul monitorizării corecte a ciclului de inspecție dimensională. Aceștia au fost dispuși astfel: senzorii S_2 și S_3 , la exterior amplasați în intervalul delimitat de punctele 1 și 4, în imediata vecinătate a celor două puncte de coordonate. Definirea coordonatelor acestor puncte s-a făcut astfel încât să permită dispunerea senzorilor S_2 și S_3 la o distanță cât mai mare, deoarece aceștia permit măsurarea timpului în care sania parcurge distanța dintre cei doi senzori și, implicit, viteza de antrenare. Cu cât distanța dintre senzori este mai mare, cu atât precizia de calcul a vitezei este mai ridicată. Ceilalți doi senzori magnetici, S_0 și S_1 , marchează începutul și sfârșitul lungimii suprafeței măsurate a reperului, aceștia fiind amplasați în interiorul intervalului delimitat de senzorii S_3 și S_2 , în imediata vecinătate a acestora. Distanța dintre senzorii S_0 și S_1 a fost stabilită egală cu lungimea suprafeței de măsurare pentru reperul testat ($l = 122\text{ mm}$) (figura 4.5.7, a). Aplicația comandă totodată revenirea saniei transportoare în punctul inițial, pentru o eventuală reluare a ciclului de măsurare, cu aceeași viteză de antrenare (vezi tabelul 4.5.2). Particularitatea constă în faptul că aceasta permite reluarea deplasării saniei într-un ciclu repetitiv. Punctele de referință stabilite în rutina de program au fost definite în modul „off-line” al mediului software al axei *YAMAHA*, fiindu-le stabilite și coordonatele după axa de deplasare a saniei. Acestea s-au stabilit în funcție de amplasarea senzorilor magnetici în dreptul saniei transportoare.

S-a urmărit ca senzorii S_2 și S_3 , care monitorizează viteza de antrenare a saniei să fie amplasați la distanța maximă posibilă în raport cu lungimea activă a axei liniare. Dacă lungimea cursei active a saniei este de 600 mm , distanța dintre cei doi senzori a fost stabilită la 400 mm . Din punctul de vedere al asigurării preciziei de citire a valorilor abaterii de formă în raport cu punctele de măsurare, și în cazul piesei antrenate în translație s-a procedat la stabilizarea vitezei de antrenare a reperului. Pentru aceasta s-a folosit rutina aplicației *LabVIEW I.D.A.D.vi*, pentru urmărirea continuă a vitezei reale de translație. Și în acest caz s-a urmărit atât stabilizarea vitezei de antrenare, cât și urmărirea corelării acesteia în raport cu viteza stabilită de utilizator, în cadrul aplicației *I.D.A.D.vi* pentru controlul asistat (descrisă în capitolul 2).

Ca parametru geometric de măsurat s-a ales abaterea de formă. Și în acest caz momentul pornirii unui ciclu de măsurare coincide cu momentul pornirii rulării aplicației *I.D.A.D.vi*. Din punctul de vedere al comenzii procesului de achiziție a datelor de la traductor, momentul pornirii ciclului de măsurare a fost cel corespunzător poziției magnetului în tronsonul 1-3 (figura 4.5.7, a).

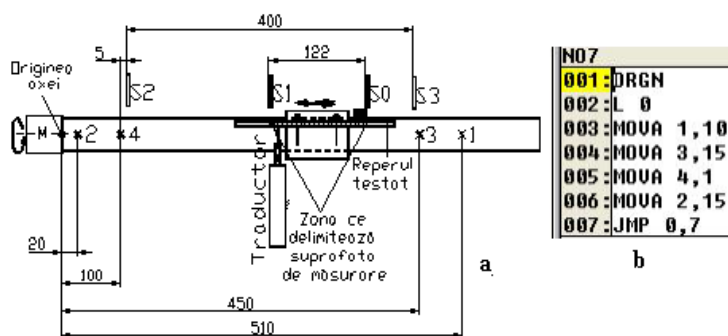


Fig. 4.5.7 Programarea ciclului repetitiv de antrenare a saniei pe baza stabilirii coordonatelor ciclului de măsurare

Procedeu de măsurare dimensională cu acest traductor, a piesei antrenate în translație, este similar cu cel aplicat în cazul reperului de revoluție, ceea ce diferă aici fiind faptul că, pentru măsurarea asistată, în vederea utilizării aplicației *I.D.A.D.vi*, s-a ales ca reper piesă de translație

Tabelul 4.5.2. Simbolul și semnificația liniilor de program pentru comanda antrenării piesei în dreptul postului de măsurare

Linia de program	Semnificația
<i>ORGV</i>	Inițializează ciclul mișcărilor din originea sistemului de coordonate a axei liniare
<i>LO</i>	Atribuie o etichetă programului în curs
<i>MOVA 1,10</i>	Deplasează sania în punctul 1, cu 10% din viteza maximă de deplasare a saniei pe axa liniară
<i>MOVA 3,15</i>	Deplasează sania în punctul 3, cu 15% din viteza maximă de deplasare a saniei
<i>MOVA 4,1</i>	Deplasează sania pe distanța corespunzătoare ciclului de măsurare, până în punctul 4, cu viteza minimă de antrenare (1% din viteza maximă de deplasare a saniei)
<i>JMP 0,7</i>	Sare la prima linie de program din aplicația curentă, pentru reluarea ciclului de deplasare a saniei

La fiecare dintre cei trei vectori de scanare, acest procedeu s-a aplicat pentru fiecare viteză de antrenare. Și în acest caz, pentru fiecare suprafață de scanare, mai întâi s-a procedat la măsurarea în regim static (punct cu punct), după care aceasta s-a realizat în regim dinamic, cu viteze de antrenare programate gradat. Acest lucru s-a realizat prin întreruperea rulării programului repetitiv de comandă a translatării pe axa liniară și intervenția asupra liniei 5 din program, în care s-a modificat parametrul ce definește viteza de deplasare a saniei din punctul 3 în punctul 4 (*MOVA 4,1* → *MOVA 4,2*; *MOVA 4,3*; ... *MOVA 4,15*).

Pentru micșorarea erorilor sistematice, s-a luat următoarea măsură: atât în cazul piesei de revoluție, cât și în cazul piesei antrenate în translație, viteza maximă a fost stabilită atât în funcție de riscul întreruperii contactului dintre suprafața piesei și traductor (capitolul 3), cât și de rata maximă de transfer a semnalelor de la traductor.

Pentru măsurarea cu traductoarele inductive *MARPOSS – Easy Box* (figura 4.5.8), din punctul de vedere al monitorizării vitezelor de antrenare a reperelor, s-a procedat în mod similar cu cazul folosirii traductorului inductiv *HOTTINGER*



Fig. 4.5.8 Măsurarea în regim dinamic cu traductorul inductiv, MARPOSS

În ceea ce privește folosirea aplicației *I.D.A.D.vi* pentru inspecția dimensională asistată, înaintea rulării acesteia, în fereastra-panou, s-a ales traductorul de deplasare corespunzător.

Acest traductor fiind prevăzut cu propria aplicație software pentru măsurarea asistată de calculator (*TopGage*), aplicația LabVIEW *I.D.A.D.vi*, a fost folosită doar pentru prelucrarea post proces a datelor achiziționate de la traductor (vezi subcapitolul 2.5). Procesul de măsurare asistată s-a desfășurat în două etape. În prima etapă s-a procedat la măsurarea în timp real cu traductorul, pentru fiecare regim de viteză de antrenare. În acest scop, înaintea rulării aplicației *I.D.A.D.vi*, pentru fiecare viteză de antrenare, s-a stabilit frecvența de achiziție a valorilor citite de la traductor, cu ajutorul unei ferestre de dialog, *Opțiuni Salvare*. Și în acest caz, înaintea măsurării în timp real s-a procedat în mod similar la ajustarea și/sau stabilizarea vitezei de antrenare a reperului. Pentru rularea aplicației *I.D.A.D.vi* s-a procedat în mod similar ca și în cazul măsurării în regim static, cu deosebirea că în acest caz, achiziția de date s-a realizat în mod automat (prin comutarea tastei virtuale *F2*, pentru începerea și terminarea ciclului de măsurare. Începutul și sfârșitul unui ciclu de măsurare în timp real a fost condiționat de aprinderea ledurilor de stare a aplicației *LabVIEW Comandă măsurare, CMD.M.vi*, pentru monitorizarea vitezei de antrenare în translație a piesei testate (figura 4.5.9).



Fig. 4.5.9 Semnalizarea începutului și a sfârșitului unui ciclu de măsurare

Aprinderea ledurilor este determinată de trecerea magnetului în dreptul senzorilor S_0 și S_1 , ce delimitează lungimea suprafeței de măsurare pentru reperul studiat. Salvarea datelor s-a făcut în fișiere *EXCEL*, acestea fiind ulterior convertite în fișiere de tip text, pentru a putea fi complet și corect importate în aplicația LabVIEW *Statistica erorilor induse în regimul dinamic, ST.E.M.D.vi*, pentru prelucrare.

Cea de a doua etapă a măsurării asistate a constat în rularea aplicației *I.D.A.D.vi*, în scopul generării paletelor complete de informații privind rezultatele măsurării în regim dinamic cu acest tip de traductor. Rularea aplicației *I.D.A.D.vi* s-a făcut pentru fiecare fișier de date în parte, corespunzător câte unui regim de viteză. În urma prelucrării datelor s-au generat alte fișiere de date, pentru evaluarea lor ulterioară. Procedura de măsurare asistată în regim dinamic, urmând cele două etape, a fost aplicată în mod similar atât în cazul piesei de revoluție, cât și în cazul piesei antrenate în translație.

4.5.3.2 Măsurarea în regim dinamic cu traductoarele incrementale

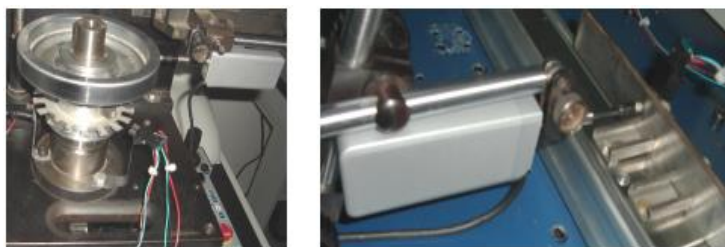


Fig 4.5.10 Măsurarea în regim dinamic cu traductorul incremental HEIDENHAIN

Procedeul de măsurare a fost similar cu cel descris în cazul folosirii traductoarelor inductive *HOTTINGER*, cu deosebirea că în cadrul aplicației *I.D.A.D.vi* s-a selectat traductorul *HEIDENHAIN*.

Privind protocolul de achiziție, s-a stabilit rata de transfer a semnalului, paritatea biților, canalul de comunicație serială etc.

4.5.3.3 Măsurarea în regim dinamic cu traductoarele pneumatice (figura 4.5.11)

În cazul folosirii acestui traductor, procedeul de realizare a determinărilor a fost similar cu cel aplicat pentru măsurarea cu traductoarele incrementale. Din motive de asigurare a preciziei în măsurare, traductorul de tip duză a fost poziționat în dreptul vectorului median de scanare, în cazul ambelor tipuri de repere (figura 4.5.11, b). Deoarece traductorul pneumatic a fost folosit în combinație cu traductorul incremental, procedeul de măsurare asistată a fost similar cu cel aplicat în cazul traductoarelor incrementale. Singurul aspect ce diferă aici este că, înaintea rulării aplicației *I.D.A.D.vi* s-a selectat traductorul pneumatic. Și în acest caz s-au stabilit parametrii de comunicație similari cu cei folosiți la traductoarele incrementale.

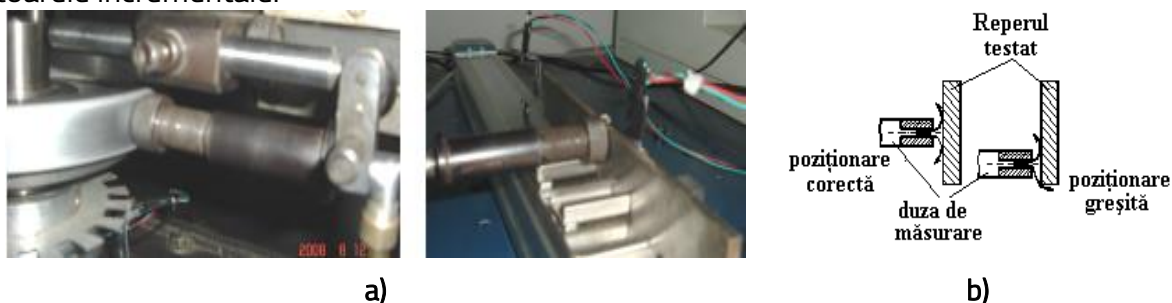


Fig. 4.5.11 Măsurarea cu traductoarele de deplasare pneumatice

4.5.3.4 Măsurarea în regim dinamic cu traductoarele cu sursă LASER



Fig. 4.5.12 Măsurarea cu traductorul de deplasare cu sursă LASER

Procedeul de măsurare în cazul folosirii acestui traductor a fost similar cu cel aplicat în cazul măsurării cu traductorul inductiv marposs, fiind necesare cele două etape:

măsurarea asistată în timp real și prelucrarea datelor post proces, cu ajutorul aplicației LabVIEW *I.D.A.D.vi*.

Pentru măsurarea cu traductorul *OMRON* în timp real, s-a folosit aplicația software *Smart3*, specifică acestuia, procedeul aplicat fiind același cu cel aplicat pentru măsurările în puncte, în regim static. Deosebirea a constat în faptul că perioada unui ciclu de citire a datelor a corespuns duratei necesare parcurgerii lungimii de scanare.

De asemenea datele au fost salvate în fișiere *EXCEL*, care, ulterior au fost convertite în fișiere de tip text, pentru a fi apoi prelucrate cu ajutorul aplicației *I.D.A.D.vi*. Pentru aceasta, înaintea rulării programului LabVIEW, în fereastra-panou s-a selectat traductorul de deplasare cu sursă LASER, *OMRON*.

Ca urmare a faptului că traductorul cu sursă LASER *OMRON* prezintă dezavantajul că precizia măsurării depinde de strălucirea suprafeței de reflexie, în cazul piesei antrenate în translație (având suprafețe lucioase) s-a procedat la realizarea determinărilor în două cazuri distincte:

- cu suprafața liberă;
- cu suprafața acoperită.

În cazul măsurătorilor reperului cu suprafața de reflexie acoperită, s-a procedat la lipirea unei fâșii de hârtie mată auto-colantă pe suprafața supusă inspecției dimensionale fără contact [Z3]. Acest studiu suplimentar a fost realizat în scopul evidențierii gradului de influență a strălucirii asupra preciziei de măsurare, pentru obținerea unor concluzii privind metoda de măsurare optimă, în raport cu necesitățile reale privind procesul de fabricație. Procedeul de realizare a măsurătorilor a fost identic ca în cazul piesei cu suprafața liberă.

4.6 STOCAREA, PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA INFORMAȚIILOR PRIVIND REZULTATELE DETERMINĂRIILOR EXPERIMENTALE

4.6.1 Salvarea informațiilor

În urma fiecărui ciclu de măsurare, cu un anumit traductor de deplasare, corespunzător unui vector de scanare, rularea aplicației *I.D.A.D.vi* a generat o fereastră de dialog pentru salvarea rezultatelor sub forma unor fișiere *EXCEL*. Salvarea informațiilor s-a realizat pe categorii, pentru o recunoaștere ulterioară mai ușoară a corespondenței dintre fișierele de date și mijloacele de măsurare folosite.

4.6.2 Prelucrarea informațiilor privind rezultatele determinărilor experimentale

În scopul obținerii unei sinteze cât mai concludente privind rezultatele determinărilor experimentale, fișierele de date generate prin rularea aplicației *I.D.A.D.vi*, au fost prelucrate statistic. Ceea ce s-a urmărit a fost evaluarea din punctul de vedere statistic a performanțelor obținute cu fiecare mijloc de măsurare în parte, pentru soluția privind măsurarea asistată descrisă la capitolul 2. Pentru fiecare tip de traductor s-au obținut tabele și diagrame de valori statistice privind precizia măsurărilor în regim dinamic, pentru diferite regimuri de viteze de antrenare a reperelor.

Cu ajutorul aplicației LabVIEW *ST.E.M.D.vi* (descrisă în capitolul 2, la subcapitolul 2.8), au fost determinate erorile de măsurare în regim dinamic. Algoritmul de calcul este descris în continuare: Pentru fiecare punct de măsurare, din valoarea abaterii de formă, determinată în regim static s-a scăzut valoarea abaterii de formă în regim dinamic [B9], [R4], [R5]. Această procedură s-a reluat pentru fiecare viteză de antrenare. Fișierele conținând valorile abaterilor de formă pentru fiecare viteză de

antrenare, pe fiecare dintre cei trei vectori de scanare au fost convertite în fișiere de tip text, pentru a putea fi importate în aplicația *ST.E.M.D.vi*. La fiecare rulare a acesteia, s-a specificat citirea câte unui fișier de date, pentru fiecare viteză de antrenare în parte, acest procedeu reluându-se pentru fiecare vector de scanare, pentru fiecare mijloc de măsurare. În urma rulărilor aplicației *ST.E.M.D.vi*, s-au generat fișiere *EXCEL* privind erorile de măsurare în regim dinamic pentru fiecare viteză de antrenare în parte. Pentru evaluarea erorilor de măsurare corespunzătoare fiecărei viteze de antrenare, pe întreaga suprafață de măsurare, în mediul *EXCEL*, s-a calculat media aritmetică a erorilor de măsurare pe cei trei vectori de măsurare corespunzătoare fiecărei viteze de antrenare. Astfel s-au obținut tabelele de date privind precizia de măsurare, pentru fiecare traductor de deplasare folosit, în funcție de viteza de antrenare. În tabelul 4.6.1 este prezentat un exemplu de tabel de valori măsurate, în cazul folosirii traductorului de deplasare *HEIDENHAIN*.

Valorile vitezelor de antrenare a celor două repere măsurate sunt prezentate în tabelul 4.6.2, unde v_{max} reprezintă viteza maximă cu care poate fi antrenată sania transportoare pe axa liniară *YAMAHA*. Explicațiile privind stabilirea acestor valori ale vitezelor de antrenare sunt date în subcapitolul 4.7 privind concluziile cercetării experimentale. Pe baza informațiilor valorilor măsurate, a fost posibilă trasarea diagramelor de distribuție a erorilor de măsurare. Figura 4.6.1 prezintă un exemplu de diagrame de distribuție a erorilor de măsurare, în cazul folosirii traductorului de deplasare *HEIDENHAIN*. Pe aceste diagrame se pot observa curbele de distribuție ale erorilor de măsurare corespunzătoare fiecărei viteze de antrenare.

Tabelul 4.6.1 Valorile erorilor de măsurare în cazul inspecției piesei de revoluție cu viteza de 8 rotații / minut, prin folosirea traductorului de deplasare *HEIDENHAIN*

Unghiul de rotație al piesei de revoluție corespunzător fiecărui punct de măsurare [°]	Erorile de măsurare [μm]	Unghiul de rotație al piesei de revoluție corespunzător fiecărui punct de măsurare [°]	Erorile de măsurare [μm]
11,25	5,04	191,25	2,93
22,5	2,93	202,5	1,58
33,75	3,27	213,75	2,18
45	5,48	225	1,84
56,25	9,29	236,25	5,16
67,5	12,58	247,5	4,64
78,75	12,16	258,75	7,42
90	7,4	270	3,6
101,25	6,64	281,25	6,4
112,5	6,38	292,5	7,64
123,75	2,82	303,75	2,89
135	1,96	315	2,87
146,25	0,51	326,25	1,31
157,5	1,36	337,5	2,51
168,75	2,69	348,75	0,78
180	2,33	360	1,87

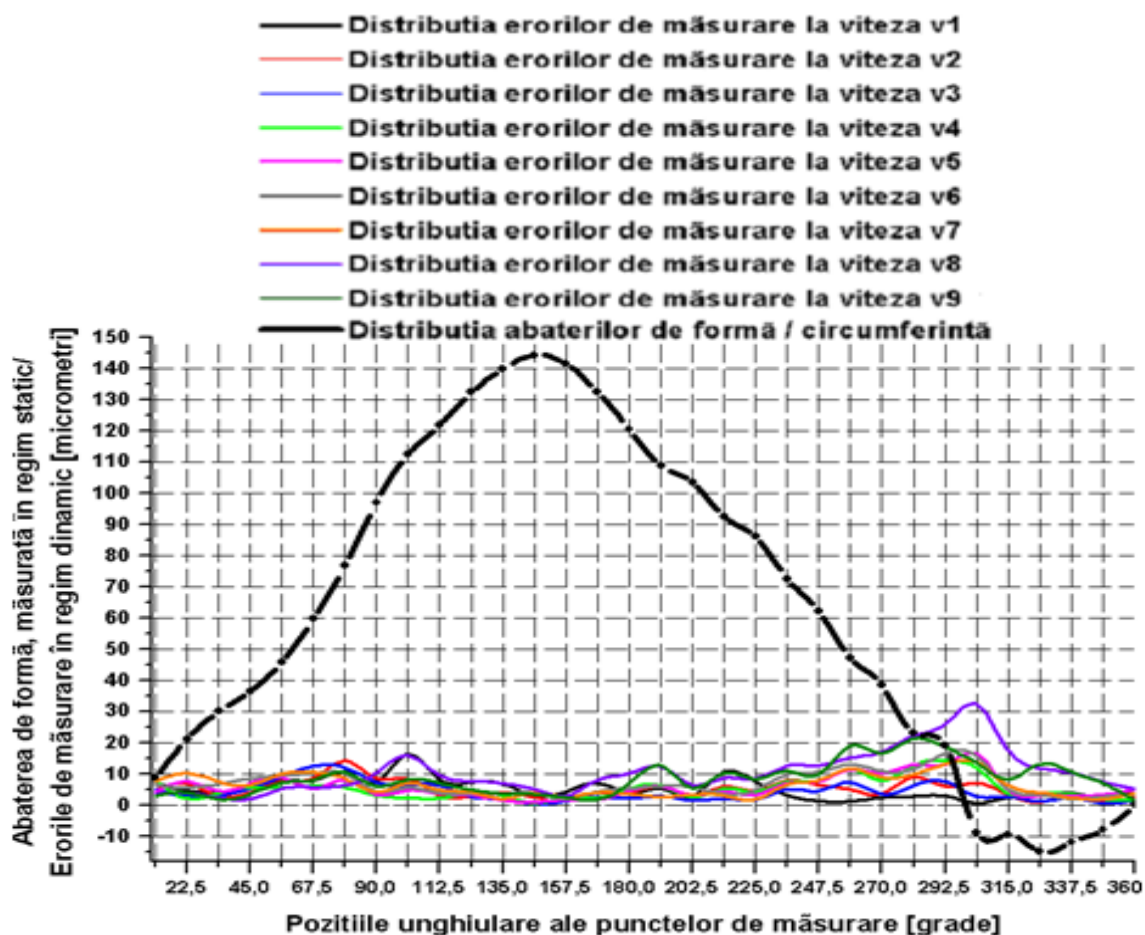


Fig. 4.6.1 Exemplu de diagrame de distribuție a erorilor pentru fiecare viteză de antrenare în rotație, la măsurarea cu traductorul incremental HEIDENHAIN

Tabelul 4.6.2 Valorile vitezelor de antrenare a reperelor în posturile de control pentru care s-au efectuat determinările experimentale [B8]

Pentru antrenarea piesei de revoluție [rot / min]	Pentru antrenarea piesei antrenate în translație [m/s]	Pentru antrenarea piesei antrenate în translație [m/s]
$v_1 = 4$	$v_1 = 7,25 \cdot 10^{-3} = 1\% \text{ din } v_{\max}$	$v_{12} = 88,25 \cdot 10^{-3} = 12\% \text{ din } v_{\max}$
$v_2 = 6$	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3} = 2\% \text{ din } v_{\max}$	$v_{13} = 95,25 \cdot 10^{-3} = 13\% \text{ din } v_{\max}$
$v_3 = 8$	$v_3 = 22 \cdot 10^{-3} = 3\% \text{ din } v_{\max}$	$v_{14} = 103 \cdot 10^{-3} = 14\% \text{ din } v_{\max}$
$v_4 = 10$	$v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3} = 4\% \text{ din } v_{\max}$	$v_{15} = 109,75 \cdot 10^{-3} = 15\% \text{ din } v_{\max}$
$v_5 = 12$	$v_5 = 36,5 \cdot 10^{-3} = 5\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_6 = 14$	$v_6 = 44 \cdot 10^{-3} = 6\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_7 = 16$	$v_7 = 51,5 \cdot 10^{-3} = 7\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_8 = 18$	$v_8 = 58,5 \cdot 10^{-3} = 8\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_9 = 20$	$v_9 = 66 \cdot 10^{-3} = 9\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_{10} = 22$	$v_{10} = 73,25 \cdot 10^{-3} = 10\% \text{ din } v_{\max}$	
$v_{11} = 24$	$v_{11} = 80,25 \cdot 10^{-3} = 11\% \text{ din } v_{\max}$	

La acestea se suprapune curba de distribuție a abaterii de formă, la măsurarea în regim static. Procedeele de obținere a diagramelor este similar pentru rezultatele obținute cu fiecare dintre traductoarele folosite în studiul experimental.

Pentru obținerea diagramelor s-a folosit mediul software *ORIGIN 5*, acesta fiind adecvat atât prelucrării datelor experimentale, cât mai ales în scopul generării unor diagrame concludente. Procedeele de construire a diagramelor este următorul: în cazul fiecăruia dintre repere, pentru fiecare mijloc de măsurare în parte s-a construit câte un tabel având numărul de coloane egal cu numărul vitezelor de antrenare pentru care acesta a fost supus inspecției dimensionale. Astfel, fiecare coloană reprezintă erorile de măsurare apărute în cazul fiecărei viteze de antrenare, datele fiind, pe rând, extrase din tabelele prezentate în anexa 5.1. Pe baza tabelelor completate astfel, s-au generat diagramele suprapuse privind distribuțiile de erori pentru fiecare viteză de antrenare în parte, prin simpla selectare a valorilor numerice și inserarea unui graficului de tip linie.

4.7 CONCLUZII PRIVIND EXPERIMENTELE PENTRU OPTIMIZAREA PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ

Pe baza prelucrării datelor, s-a constatat că atât în cazul piesei de revoluție, cât și în cazul celuilalt reper, pentru viteza de antrenare minimă ($v_1 = 4 \text{ rot/min} / 7,25 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$), erorile de măsurare au fost mai mari decât în cazul vitezelor de antrenare v_2 și v_3 . La baza acestui fenomen stă efectul de înțepenire inerțială a tijei palpatoare a traductorului, cauzat de forțele de frecare dintre acesta și suprafața reperului. Aceste forțe, pentru viteze foarte mici, în prima etapă a cursei ce corespunde unui ciclu de măsurare, pot fi mai mari decât forța dinamică, dezvoltată de sistemul de antrenare.

În scopul unei sinteze privind evoluția preciziei de măsurare în regim dinamic, în funcție de viteza de antrenare a reperului supus controlului, s-a stabilit o corespondență a erorilor de măsurare pe regimuri de viteză. Pentru aceasta s-a folosit mediul software *ORIGIN 5*, pentru prelucrarea datelor, obținându-se tabelele și diagramele de distribuție a erorilor în regim dinamic, pe regim de viteză, în cazul fiecărui traductor folosit. Rezultatele determinărilor au fost grupate pe categorii (regimuri) de viteză în funcție de valorile numerice ale erorilor de măsurare. În urma studiului statistic s-a constatat că în cazul piesei de revoluție, a fost necesar să se stabilească trei categorii de viteză (tabelul 4.7.1). În cazul piesei antrenate în translație, s-au stabilit patru categorii de viteză (tabelul 4.7.2), în scopul exprimării cât mai concludente a rezultatelor.

Tabelul 4.7.1 Stabilirea categoriilor de viteze în funcție de statistica rezultatelor experimentale privind precizia de măsurare în regim dinamic, pentru piesa de revoluție

Regimul de viteză	Vitezele de antrenare incluse în categoria specificată			
I	$v_2 = 6 \text{ rot / min}, v_3 = 8 \text{ rot / min}$			
II	$v_4 = 10 \text{ rot / min}, v_5 = 12 \text{ rot / min}, v_6 = 14 \text{ rot / min}$			
III	cazul folosirii traductorului inductiv HOTTINGER	cazul folosirii traductorului inductiv MARPOSS	cazul folosirii traductorului incremental / pneumatic	cazul folosirii traductorului cu sursă LASER

Tabelul 4.7.1 Stabilirea categoriilor de viteze în funcție de statistica rezultatelor experimentale privind precizia de măsurare în regim dinamic, pentru piesa de revoluție

Regimul de viteză	Vitezele de antrenare incluse în categoria specificată			
	$v_7 = 16$ rot / min, $v_8 = 18$ rot / min, $v_9 = 20$ rot / min $v_{10} = 22$ rot / min	$v_7 = 16$ rot / min $v_8 = 18$ rot / min	$v_7 = 16$ rot / min, $v_8 = 18$ rot / min $v_9 = 20$ rot / min	$v_{10} = 22$ rot / min

Calculându-se media aritmetică a erorilor obținute în cazul vitezelor de antrenare aferente, folosind mediul software ORIGIN5, datele au fost sintetizate în scopul obținerii statisticii preciziei de măsurare în regim dinamic, cu fiecare mijloc de măsurare în parte.

Tabelul 4.7.2. Stabilirea categoriilor de viteze în funcție de statistica rezultatelor privind precizia de măsurare în regim dinamic, pentru reperul antrenat în translație

Regimul de viteză	Vitezele de antrenare incluse în categoria specificată
I	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s,, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_5 = 36,5 \cdot 10^{-3}$ m/s
II	$v_6 = 44 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_7 = 51,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_8 = 58,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_9 = 66 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_{10} = 73,25 \cdot 10^{-3}$ m/s
III	$v_{11} = 80,25 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_{12} = 88,5 \cdot 10^{-3}$ m/s
IV	$v_{13} = 95,25 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_{14} = 103 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_{15} = 109,75 \cdot 10^{-3}$ m/s

Pe baza rezultatelor sintetizate, folosind mediul software *ORIGIN 5*, s-au trasat diagramele de distribuție a erorilor de măsurare în regim dinamic, pentru fiecare categorie de viteză, pentru cele două tipuri de reperi. Pe același grafic s-a suprapus și diagrama de distribuție a abaterii de formă, măsurată în regim static, pentru fiecare dintre traductoarele de deplasare folosite (figurile 4.7.1 ÷ 4.7.6).

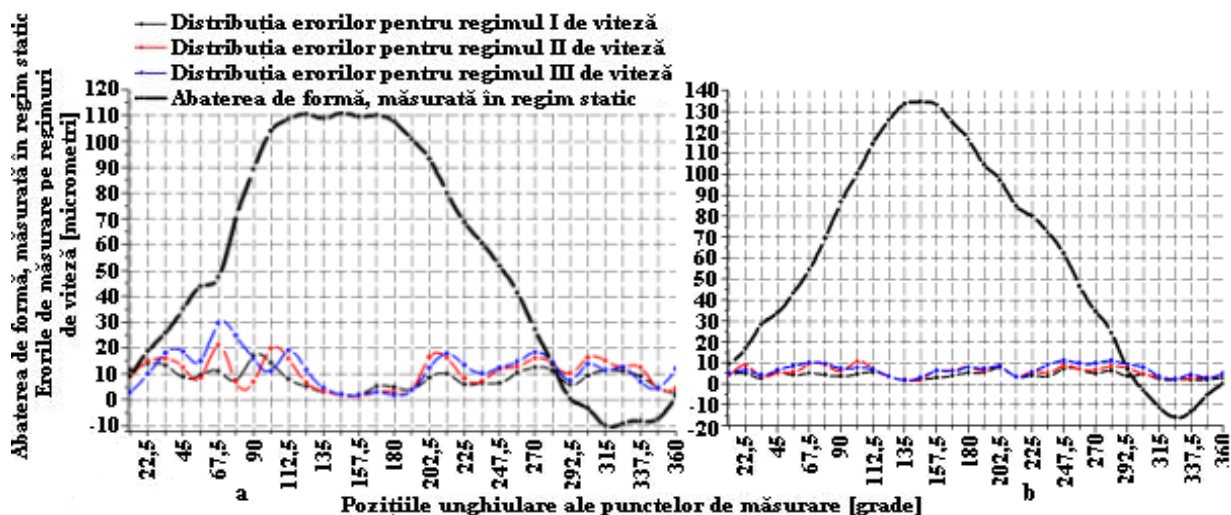


Fig. 4.7.1 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa de revoluție, în cazul folosirii traductoarelor inductive HOTTINGER și MARPOSS

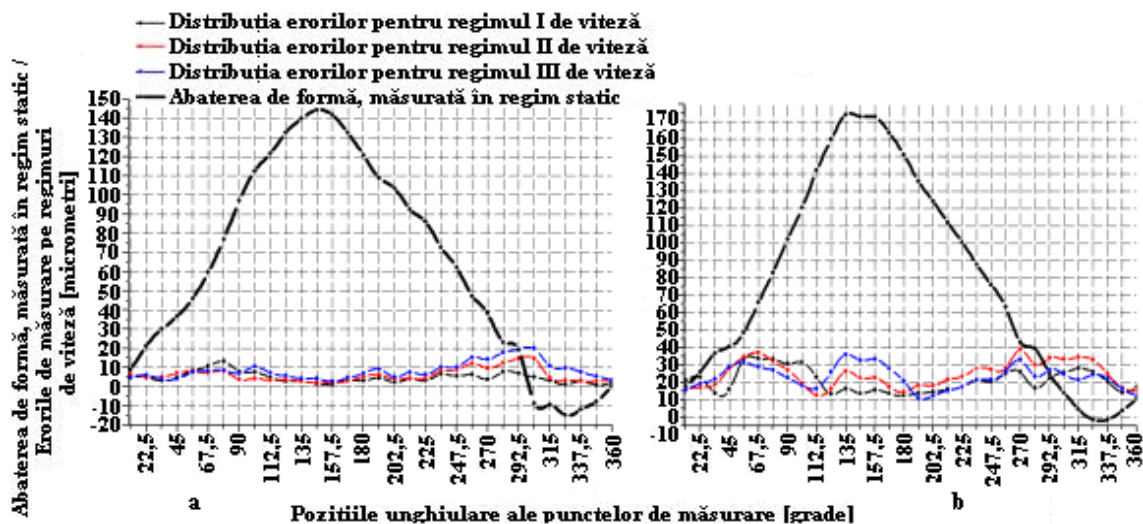


Fig. 4.7.2 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa de revoluție, în cazul folosirii a - traductorului incremental, b - traductorului pneumatic [B29]

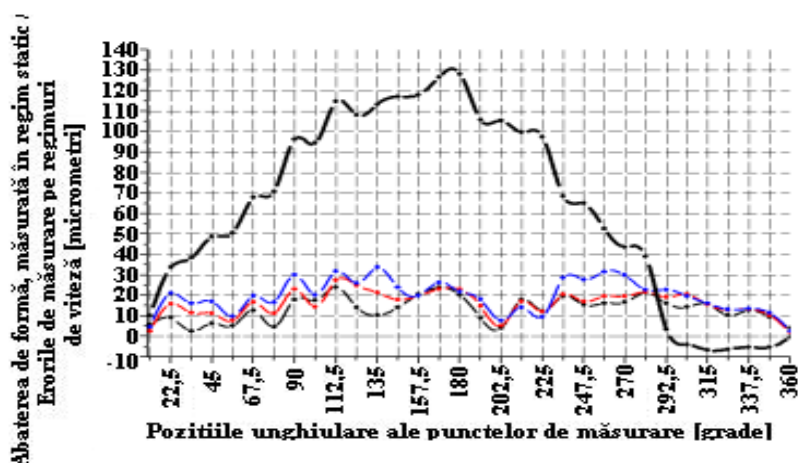


Fig. 4.7.3 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa de revoluție, în cazul folosirii traductorului cu sursă LASER [B30]

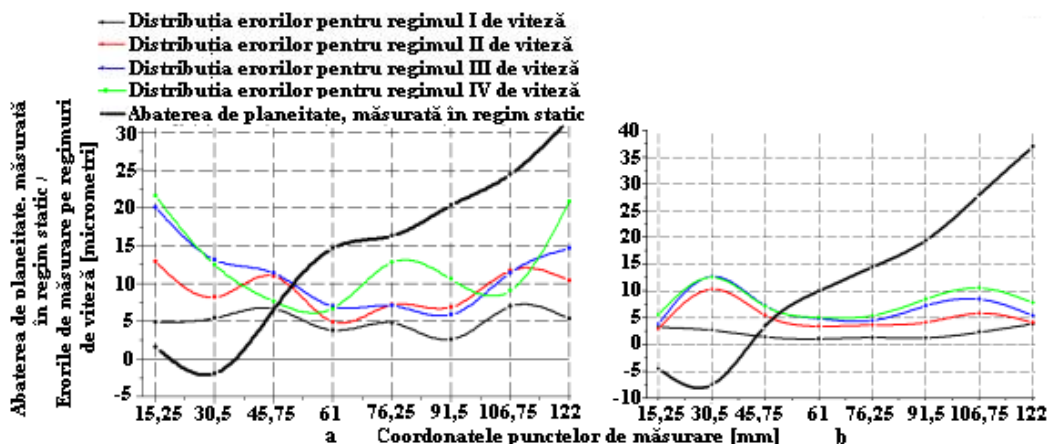


Fig. 4.7.4 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa antrenată în translație, în cazul folosirii traductoarelor inductive: a) HOTTINGER, b) MARPOSS

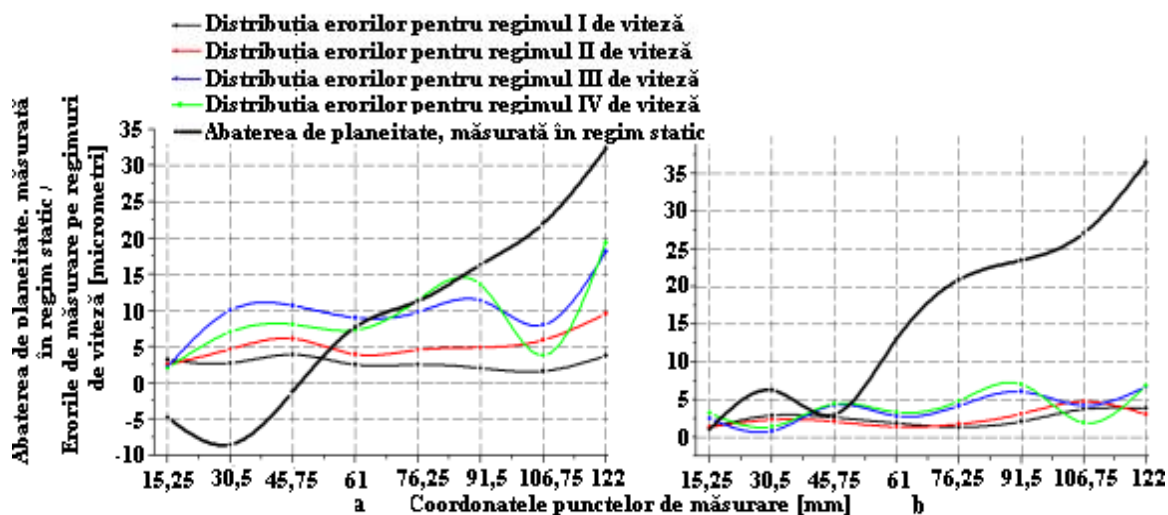


Fig. 4.7.5 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa antrenată în translație, în cazul folosirii: a) traductorului incremental, b) traductorului pneumatic

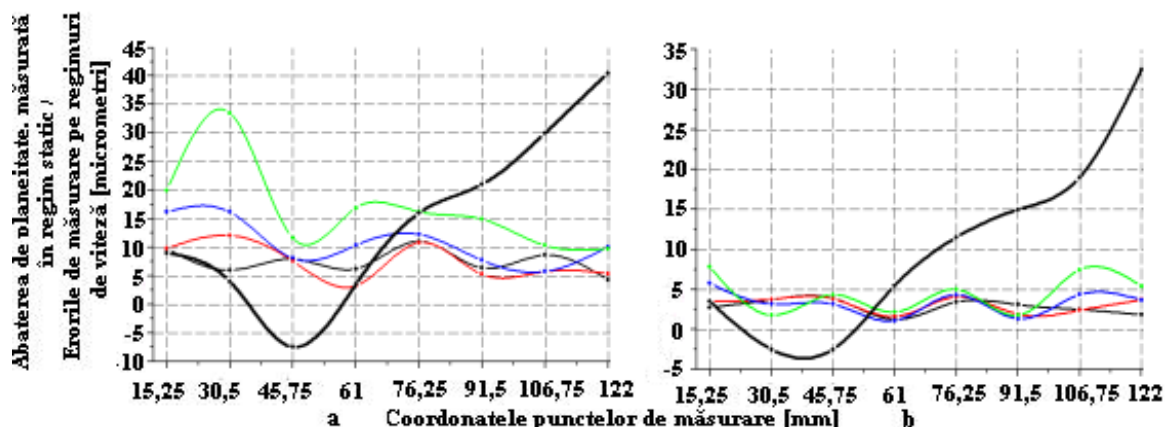


Fig. 4.7.6 Diagrama de distribuție a erorilor pe regimuri de viteză, pentru piesa antrenată în translație, în cazul folosirii traductorului cu sursă LASER: a) cu suprafața liberă, b) cu suprafața acoperită

Pe baza acestor statistici, obținute în urma cercetărilor experimentale, în ceea ce privește metoda și mijloacele de măsurare folosite în cazul celor două repere, s-au constatat următoarele: La măsurarea cu traductorul inductiv HOTTINGER, pentru zona unghiulară $101^{\circ}, 15' \div 180^{\circ}$ (în cazul piesei de revoluție), bătaia radială a reperului a depășit domeniul de măsurare al traductorului; în ceea ce privește evaluarea erorilor în regim dinamic, acestea au fost determinate și în acest caz în funcție de abaterea de formă măsurată cu acest traductor în regim static.

Din punctul de vedere metrologic, s-a constatat că **precizia de măsurare** cu traductorul inductiv MARPOSS a fost **cea mai ridicată**, în cazul ambelor repere supuse cercetării. S-a putut observa că **precizia de măsurare optimă s-a obținut pentru regimul I de viteză**, în cazul ambelor repere. Datorită erorilor mici de măsurare (de până la 5 micrometri), pentru acest regim de viteză, experimental s-a constatat că **acest traductor poate fi utilizat în inspecția dimensională automatizată a unor repere funcționale mai pretențioase din punctul de vedere al prelucrării tehnologice**. În acest caz poate fi vorba

de componente mobile în cadrul motoarelor de automobile (palierelor arborilor cotiți sau ale arborilor cu came) sau elemente de translație cum ar fi ghidaje ale săniilor transportoare.

În ceea ce privește **traductorul de deplasare incremental pe principiul optic, HEIDENHAIN**, din punctul de vedere al preciziei de măsurare, performanțele au fost ridicate în cazul regimurilor I și II de viteză. Deși în cazul folosirii traductorului inductiv **MARPOSS**, erorile de măsurare, pentru regimurile I și II au fost cele mai mici, în urma cercetării experimentale, s-a tras concluzia că traductoarele incrementale produse de compania **HEIDENHAIN** sunt cele mai eficiente în privința inspecției dimensionale la nivelul automatelor industriale. Această eficiență se referă la precizia de măsurare și timpul necesar prelucrării datelor. Constatarea se bazează pe faptul că folosirea acestui mijloc de măsurare a permis măsurarea asistată în timp real, achiziția și prelucrarea datelor făcându-se simultan, la o singură rulare a aplicației *I.D.A.D.vi* (vezi capitolul 2, subcapitolul 2.2).

În cazul folosirii **traductoarelor pneumatice de deplasare**, s-a constatat că precizia de măsurare a fost mai ridicată cu aproximativ **13,8%** (pentru regimurile de viteză I și II) în cazul măsurării reperului antrenat în translație decât în cazul celuilalt reper.

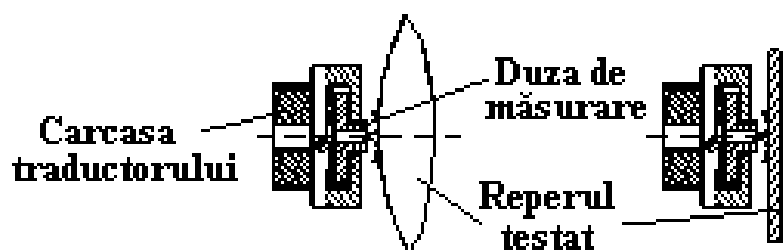


Fig. 4.7.7 Poziționarea duzei de măsurare a traductorului pneumatic în raport cu suprafața reperului testat

Creșterea preciziei de măsurare cu acest traductor, în cazul suprafețelor plane, se datorează unei mai bune poziționări a duzei de măsurare a palpatorului pneumatic în raport cu suprafața de măsurare (figura 4.7.7) [J3].

În ceea ce privește optimizarea din punctul de vedere al măsurării asistate, eficiența în cazul folosirii acestui traductor este aceeași ca și în cazul utilizării traductorului de deplasare incremental, datorită faptului că în acest caz lanțul de măsurare a presupus folosirea cumulată a celor două mijloace (paragraful 4.4.3).

În cazul folosirii **traductorului de deplasare cu sursă LASER** au putut fi obținut două categorii de rezultate prima categorie se referă la datele experimentale obținute în cazul măsurării piesei antrenate în rotație, cea de a doua – la datele reperul antrenat în translație. În primul caz, rezultatele din punctul de vedere metrologic se referă doar la reperul supus controlului cu suprafața neacoperită, iar în cel de al doilea caz, la reperul supus controlului cu suprafața liberă, respectiv cu suprafața acoperită. (paragraful 4.5.3.4). Experimental, s-a constatat că **din punctul de vedere al preciziei de măsurare, acest traductor a fost cel mai puțin performant**, în cazul măsurării abaterii de formă a **piesei de revoluție**, respectiv a **abaterii de formă pentru celălalt reper**, în cazul în care suprafața **nu a fost acoperită**. [B23]. În ceea ce privește reperul antrenat în translație, în urma studiului experimental s-a constatat că la măsurarea **abaterii de formă** în cazul **suprafeței acoperite, precizia de măsurare a crescut cu 65,89%** față de cazul măsurării cu suprafața liberă. Această constatare a dus la concluzia că acest tip de traductor nu este indicat a fi folosit în cazul pieselor cu grad ridicat de reflexie, el fiind recomandat la măsurarea reperelor cu suprafață mată, în special celor specifice microelectronicii, unde metoda măsurării cu contact nu poate fi aplicată [B23], [B28], [B30], [M11].

Pe baza valorilor determinate s-a putut stabili care este viteza optimă de antrenare a reperelor, pentru fiecare mijloc de măsurare folosit (tabelul 4.7.3). S-a constatat că, **în general, pentru oricare dintre mijloacele de măsurare folosite, vitezele de antrenare optime** atât din punctul de vedere **metrologic**, cât și al **inspecției dimensionale asistate adaptată liniilor automatizate**, sunt cele arătate în tabelul 4.7.4

Tabelul 4.7.3. Specificarea vitezelor optime de antrenare a reperelor din punctul de vedere metrologic, în cazul folosirii fiecărui traductor, în parte

Vitezele optime de antrenare ale reperelor	Traductorul folosit	Pentru piesele de revoluție [rot/min]	Pentru reperate antrenate în translație [m/s]
	traductorul inductiv HOTTINGER	$v_3 = 8$	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$, $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$
	traductorul inductiv MARPOSS	$v_2 = 6$, $v_5 = 12$	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$, $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$, $v_5 = 36,5 \cdot 10^{-3}$
	traductorul incremental	$v_2 = 6$, $v_3 = 8$, $v_4 = 10$, $v_5 = 12$	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$, $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$, $v_5 = 36,5 \cdot 10^{-3}$
	traductorul pneumatic	$v_3 = 6$	$v_1 = 7,25 \cdot 10^{-3}$ $v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$, $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$, $v_5 = 36,5 \cdot 10^{-3}$, $v_6 = 44 \cdot 10^{-3}$, $v_7 = 51,5 \cdot 10^{-3}$ $v_8 = 58,5 \cdot 10^{-3}$
traductorul cu sursă LASER	$v_2 = 6$, $v_3 = 8$, $v_4 = 10$	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$	

Tabelul 4.7.4 Specificarea vitezelor optime de antrenare a reperelor în postul de control din punctul de vedere metrologic și al automatizării procesului de măsurare dimensională

Vitezele optime de antrenare ale reperelor	Pentru piesele de revoluție	Pentru reperate antrenate în translație
	$v_2 = 6$ rot / min	$v_2 = 14,5 \cdot 10^{-3}$ m/s
	$v_3 = 8$ rot / min	$v_3 = 22 \cdot 10^{-3}$ m/s $v_4 = 29,25 \cdot 10^{-3}$ m/s

Deși pe baza rezultatelor experimentale s-a constatat că sub aspect **metrologic, cele mai înalte performanțe** s-au obținut cu **traductorul inductiv MARPOSS**, în cadrul cercetării s-a constatat că **eficiența maximă** este obținută la folosirea **traductorului incremental HEIDENHAIN**. Aceasta se explică prin faptul că **acesta a putut fi implementat cel mai bine în lanțul de măsurare asistată**, astfel încât citirea datelor și prelucrarea acestora să se facă simultan și integral la o simplă rulare a aplicației *I.D.A.D.vi*. Deși în cazul piesei antrenate în translație, în cazul folosirii traductorului pneumatic, precizia de măsurare a fost mai bună, în studiul experimental s-a constatat că **traductorul incremental este mult mai practic în privința etalonării și a întreținerii ca mijloc de măsurare**.

În ceea ce privește sinteza regimurilor de viteze asupra preciziei de măsurare, aceasta a fost materializată în figura 4.7.8, sub forma diagramelor de variație a erorilor de măsurare cu regimul de viteză, pentru fiecare traductor folosit, în parte. Stabilirea diagramelor de variație a erorii de măsurare s-a făcut în mediul software *ORIGIN 5* [J3], [S3].

Observând diagramele prezentate în figura 4.7.8, b, s-a putut confirma faptul că în cazul măsurării în regim dinamic cu *traductoare cu sursă LASER*, a reperelor cu *suprafețe plane* și cu un *coeficient de reflexie redus*, practic *regimul de viteză nu influențează precizia de măsurare*.

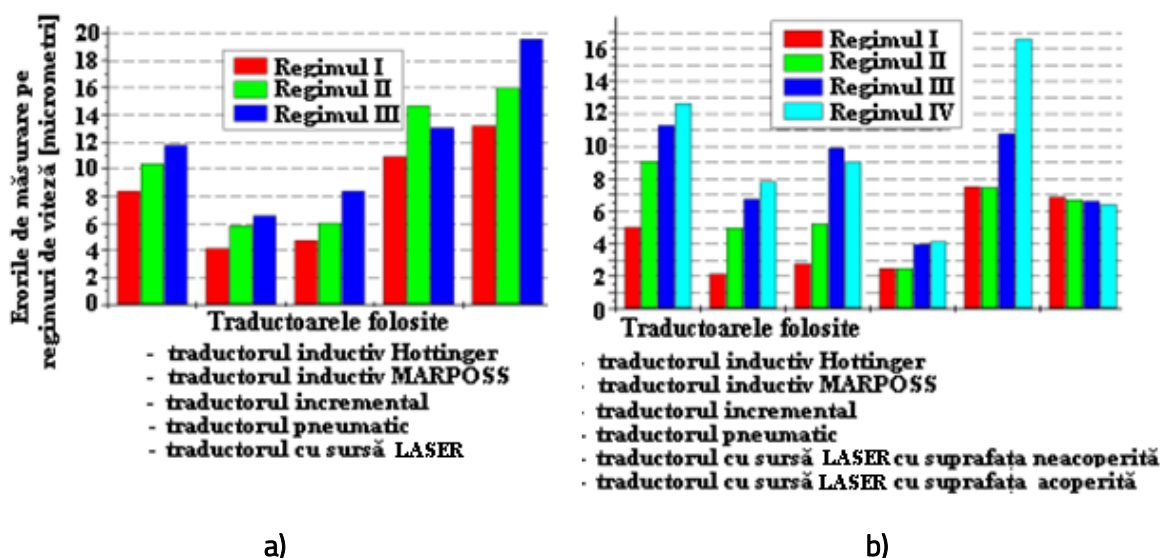


Fig. 4.7.8 Diagramele de evoluție a erorilor de măsurare cu regimul de viteză: a) - în cazul piesei de revoluție; b) - în cazul piesei antrenate în mișcarea de translație

Concluziile privind rezultatele experimentale au fost sintetizate în aplicația LabVIEW, *Optimizarea asistată a echipamentului experimental, O.A.E.vi*, cu scopul unei optimizări a echipamentului de măsurare, pe considerente experimentale.

Criteriile optimizării sunt următoarele:

- productivitatea;
- precizia de măsurare și domeniul de măsurare;
- costul.

În această aplicație s-a urmărit obținerea de informații privind:

- stabilirea mijlocului de măsurare optim din toate punctele de vedere specificate mai sus;
- stabilirea vitezei optime de antrenare a reperelor, pentru care precizia de măsurare este maximă.

În scopul obținerii acestor informații, aplicația *O.A.E.vi* ține seama de următoarele aspecte importante, ele conținând ca date de intrare:

- stabilirea condițiilor necesare asigurării procesului de inspecție dimensională;
- costurile aproximative ale sistemelor de măsurare folosite în cercetarea experimentală;
- rezultatele privind precizia de măsurare pentru fiecare viteză de antrenare, cu fiecare traductor în parte; acestea contează ca date de intrare, sub forma citirii unor fișiere de tip text (vezi subcapitolul 2.5).

Pe baza acestor date de intrare, în urma rulării aplicației *O.A.E.vi*, s-au obținut toate informațiile privind traductorul optim și vitezele ideale de antrenare a reperelor, pentru care precizia de măsurare este maximă. Figura 4.7.9 afișează informația legată de mijlocul de măsurare optim, din punctul de vedere al tuturor criteriilor, iar în figura 4.7.10 sunt afișate vitezele de antrenare ideale, din punctul de vedere al preciziei de măsurare. În anexa 5.4 este prezentat un exemplu în care sunt specificate costurile pentru fiecare mijloc de măsurare, reperate testate sunt de *revoluție*, precizia de măsurare impusă este de *0,01 mm*, iar productivitatea necesară trebuie să fie de *180 repere/oră*. Costul maxim

admisibil *nu trebuie să depășească 3100 Euro*. Se presupune că reperatele sunt nedeformabile și au suprafața de măsurare cu un grad ridicat de reflexie. În acest caz, mijlocul optim este *traductorul incremental HEIDENHAIN*, iar viteza ideală de antrenare este $v_2 = 8 \text{ rot/min}$.

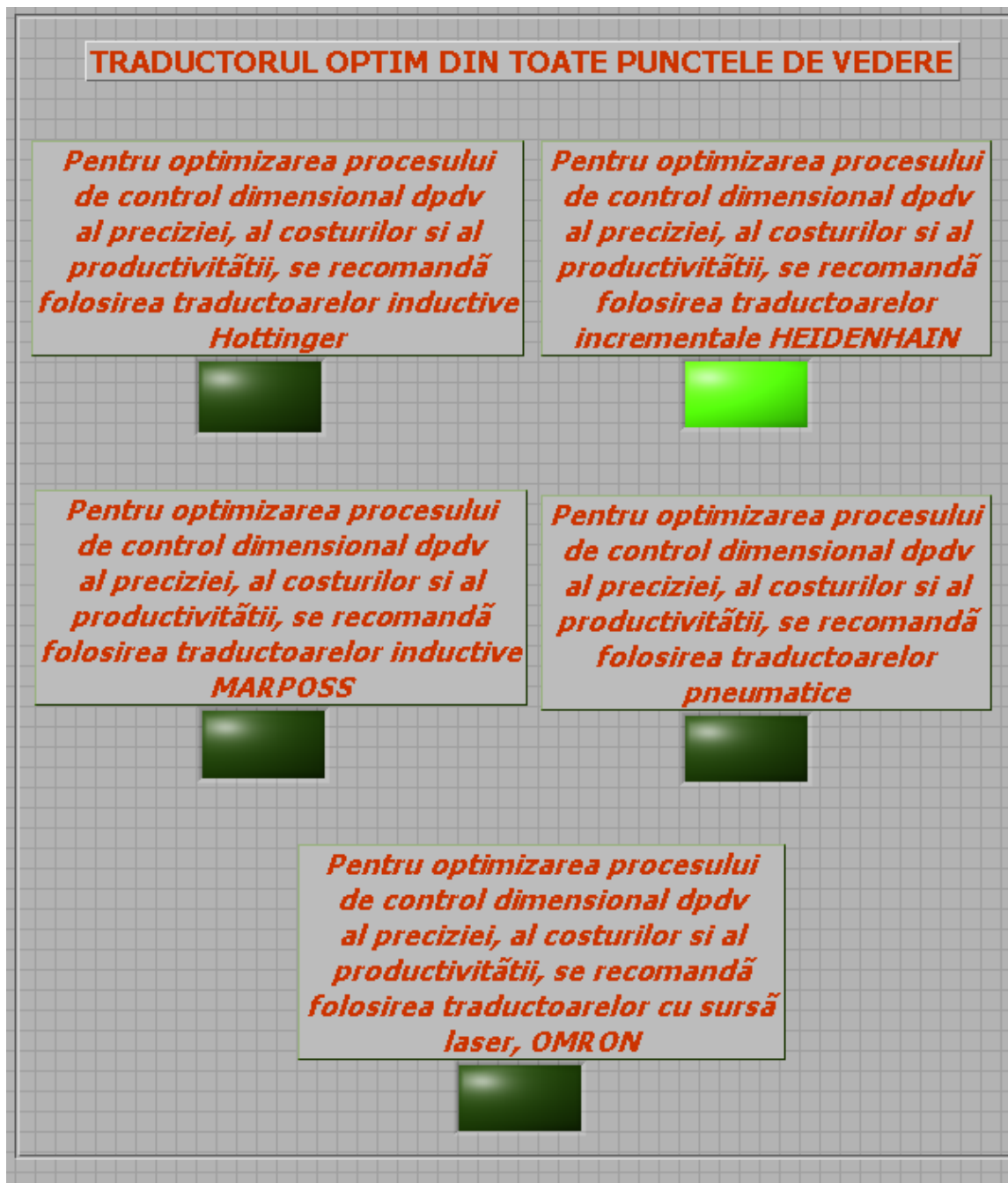


Fig. 4.7.9 Indicarea mijlocului de măsurare optim, din toate punctele de vedere, pe baza introducerii datelor experimentale

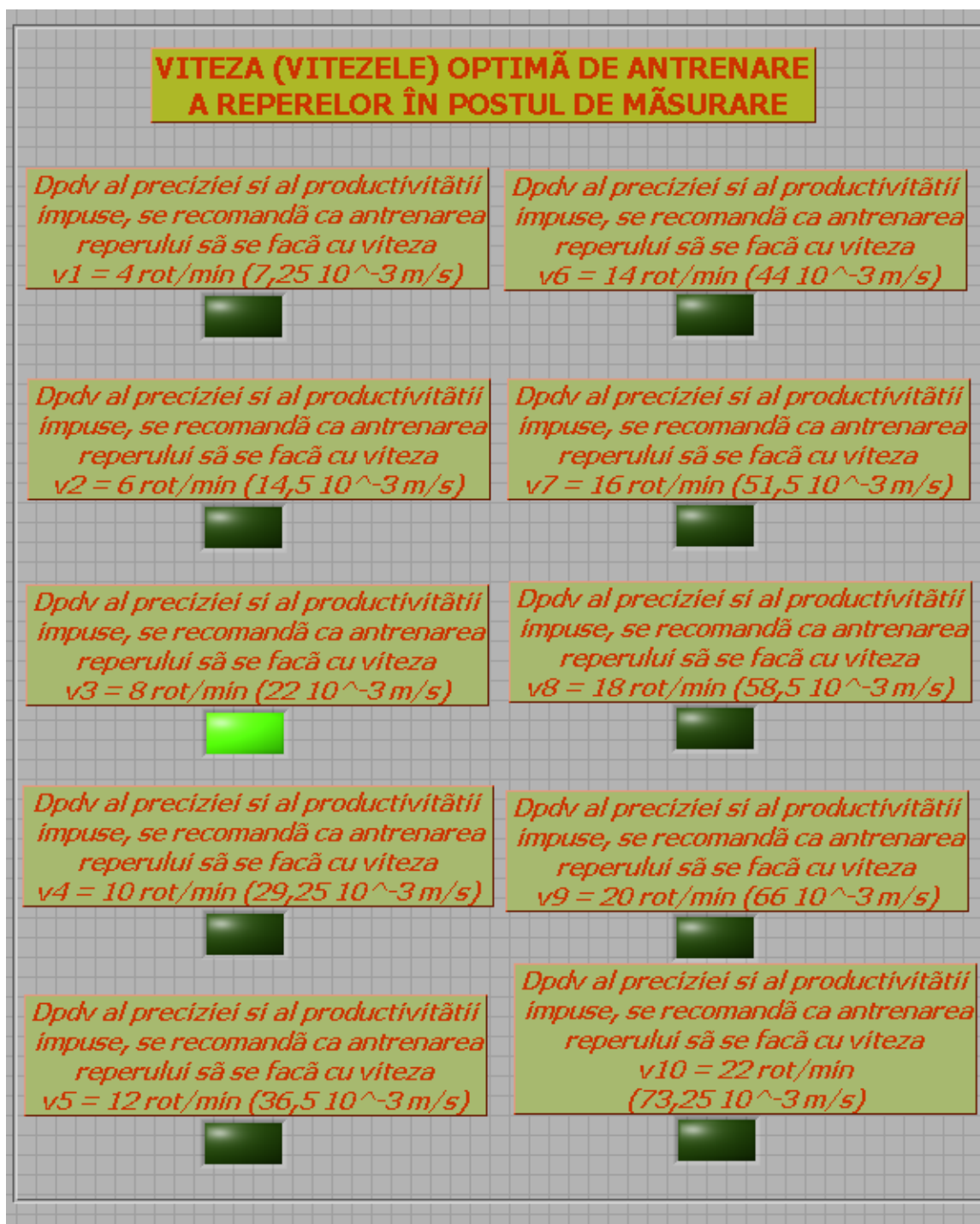


Fig. 4.7.10 Indicarea vitezei ideale de antrenare a reperelor, pentru obținerea unei precizii de măsurare optime

CAPITOLUL 5

IMPLEMENTAREA SOLUȚIEI DE OPTIMIZARE A PROCESULUI DE INSPECȚIE DIMENSIONALĂ

5.1 ECHIPAMENTUL FOLOSIT PENTRU REALIZAREA UNEI LINII AUTOMATIZATE DE FABRICAȚIE ȘI CONTROL

În perioada 03/10/2005 – 30/09/2008, între Institutul Național pentru Cercetare și Dezvoltare în Mecanică Fină (INCDMF), București, în calitate de coordonator și Universitatea TRANSILVANIA din Brașov, în calitate de partener, s-a derulat un contract de cercetare (subcontract nr. 2467/3.10.2005). Tema acestuia a fost *REALIZAREA DE SISTEME MECATRONICE DE ÎNALTĂ REZOLUȚIE PENTRU MANIPULAREA, TRANSPORTUL ȘI CONTROLUL PRODUSELOR PE LINII TEHNOLOGICE*. Studiile pe această temă, realizate de Catedra de Mecanică Fină și Mecatronică a Universității TRANSILVANIA Brașov au constituit o etapă a activității de cercetare în cadrul unui Grant de Excelență, CEEEX, încheiat între I.N.C.D.M.F. București și A.M.C.S.I.T. Politehnic București (contract nr. 9/3.10).

Obiectivul contractului s-a axat pe dezvoltarea unei linii automatizate pentru prelucrarea și controlul suprafețelor de așezare ale carcaselor pompelor cu roți dințate. În acest scop, INCDMF București a dezvoltat și a optimizat întreg echipamentul necesar, incluzând postul de prelucrare și postul de control. De asemenea a pus în practică funcționarea liniei tehnologice pentru o serie de carcase [B31]. Echipamentul reprezintă un sistem mecatronic de prelucrare cu robot în coordonate carteziane, pentru frezarea de precizie a flanșelor laterale ale carcaselor pompelor hidraulice [M19], [D7]. Sistemul a fost conceput în construcție modulară, flexibilă, putându-se prelucra diferite tipodimensiuni de pompe [C11], [B22]. Prin aceasta se asigură respectarea unor parametri de întreținere comparabili cu cei existenți în țările puternic industrializate. Principalele module din care se compune sistemul automatizat sunt cele de stocare, de alimentare, de transport, de prelucrare, de control, de evacuare, de comandă (figura 5.1.1). Principalele funcții ale sistemului sunt: manipularea, transportul, respectiv prelucrarea și controlul produselor pe linii tehnologice de fabricație.

Piesele de tip carcasă din aluminiu sunt dispuse într-un modul de stocare (1), într-o tavă pe suporturi de tip bolțuri retractabili pneumatic. De aici, carcusele de aluminiu sunt preluate individual, de către modulul de alimentare, prin sistemul de manipulare 3D (2). Acesta acționează după ciclul: poziționare deasupra piesei – preluarea ei cu sistemul de prindere (3), transportul și depunerea acesteia în sistemul de poziționare-strângere (4). Aici, piesa este fixată pneumatic între bacurile acestui sistem, în urma unei comenzi de acționare dată de modulul de comandă. Piesa de frezat este deplasată apoi pe orizontală, prin acționare electrică și sub stricta supraveghere computerizată a unui software dedicat, pe întreaga lungime a sistemului de transport pe axa OX (5), unde trece prin dreptul a doua sisteme de rotație stânga-dreapta (6), care execută frezarea suprafețelor laterale. Sistemele de rotație sunt montate pe axe liniare, ce permit deplasarea după direcția OY , prin care se realizează cota de prelucrare, precizia de prelucrare și avansul capetelor de frezat în materialul de prelucrat. Pe măsura ce piesa este frezată, aceasta iese din raza de acțiune a sculelor și avansează de-a lungul axei OX a sistemului de transport pe axa OX (5), ajunge în dreptul sistemului de control (7), pe principiul măsurării fără contact. Acest sistem de control conține un traductor cu emisie LASER care măsoară instantaneu valoarea cotei

laterale a piesei frezate și, totodată, se ia decizia, prin sisteme software dedicate, asupra încadrării piesei prelucrate la „*piese valide*” sau la „*piese rebut*”. După această măsurare și sortare prin intermediul software-ului dedicat, la capătul cursei pe axa OX , se află două containere, unde piesa prelucrată este evacuată, de către un manipulator automatizat. Funcțiile manipulatorului constau în: ridicarea piesei din sistemul de poziționare-strângere (4), deplasarea acesteia deasupra containerului corespunzător, coborârea piesei în container și revenirea în poziția inițială.

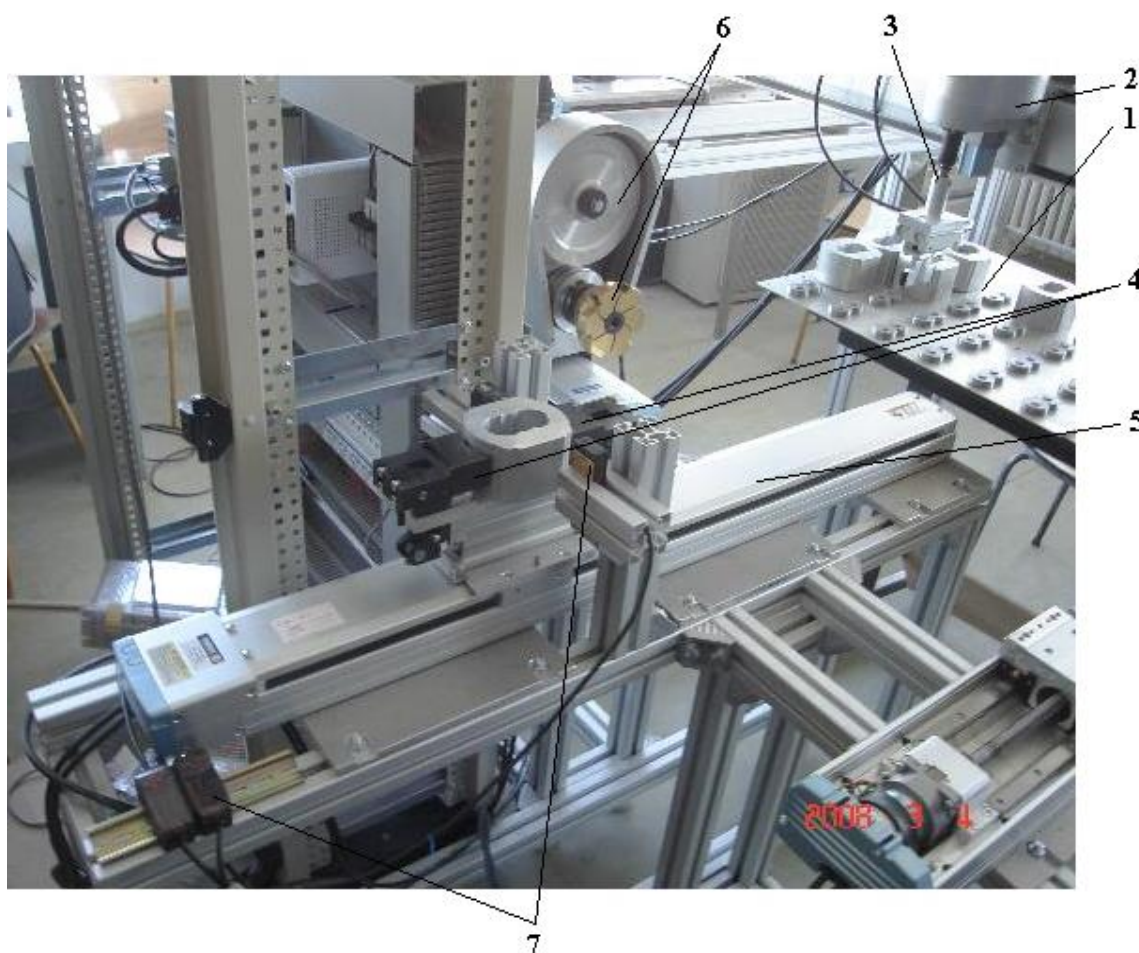


Fig. 5.1.1 Sistemul mecatronic de prelucrare cu robot cartezian

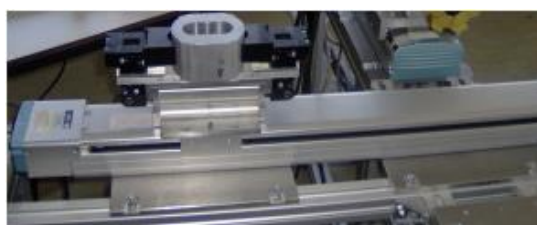
Din punct de vedere electronic, un automat programabil (prevăzut cu sistem software dedicat) (*Cscape HORNER*) conduce și monitorizează procesul de prelucrare prin coordonarea mai multor sisteme:

- sistemul electric de manipulare a robotului cartezian;
- sistemul pneumatic de prindere a semifabricatului;
- sistemul electric de deplasare a saniei port-piesă;
- sistemul pneumatic de strângere a semifabricatului;
- sistemul electric de avans și rotație a capetelor de frezat;
- sistemul opto-electronic de măsurare a dimensiunilor semifabricatelor prelucrate;
- sistemul pneumatic de alimentare/evacuare a semifabricatelor prelucrate;
- sistemul electronic de avertizare în caz de avarii.

Sub aspect funcțional, cel mai important rol îl joacă sistemul de prelucrare, alcătuit din:

- sistemul de deplasare longitudinală, după axa OX ;
- sistemul de fixare a reperelor;
- sistemul de prelucrare prin așchiere.

Sistemul de deplasare pentru asigurarea mișcării longitudinale se bazează pe caracteristicile funcționale ale axei liniare de transport tip $F10 -5 -850 -3L-SRCD-05-E-B1-YAMAHA$, prezentată în figura 5.1.2.



a)



b)

Fig. 5.1.2 Sistemul de prelucrare a reperelor, implementat de I.N.C.D.M.F. București, pe axa robotizată japoneză YAMAHA: a) – sistemul de deplasare; b) – sistemul de prelucrare

Sistemul de poziționare, orientare și strângere a fost proiectat cu acționare pneumatică, pentru fixarea sigură și precisă a reperelor ce urmează a fi prelucrate, presiunea de lucru fiind de $(0,4 \div 0,6 \text{ MPa})$. Acest sistem asigură o precizie de poziționare a pieselor de aproximativ $0,5 \mu\text{m}$.

Sistemul de prelucrare a suprafețelor plane ale carcaselor se compune din două subansambluri, ambele cu roluri foarte importante în asigurarea unei calități și a unei eficiențe înalte în cadrul procesului de fabricație a componentelor hidraulice:

- sistemul de avans;
- sistemul de rotație.

Sistemul de avans al sculelor așchietoare asigură adâncimea de așchiere (avansul de pătrundere). Acesta este reprezentat de axele liniare YAMAHA tip $F14H -5-150-3L-SRCD-10$ cu frână electromagnetică atât pentru sistemul de rotație dreapta cât și pentru sistemul de rotație stânga [B22], [L3]. Sistemul de rotație pentru asigurarea mișcării de rotație a capetelor de frezat este reprezentat de cele două sisteme dreapta–stânga (figura 5.1.2, b). Cele două sisteme funcționează simultan realizând prelucrarea prin frezare a corpului de pompă. Capetele de frezat sunt achiziționate de la firma SANDVIK COROMANT. Mecanismul pentru realizarea mișcării de rotație este destinat transmiterii mișcării de rotație de la servomotor la broșa purtătoare a capetelor de frezat. El realizează o multiplicare a rotației cu raportul de transmitere de aproximativ 2:1, respectiv $3000 : 6000 \text{ rot/min}$ și este alcătuit din următoarele componente: servomotor, transmisie cu curele duble, broșă port-sculă (cu rulmenți), capete de frezare plană.

Din punctul de vedere al procesului tehnologic, procedeul robotizat de prelucrare a carcaselor de aluminiu permite frezarea simultană a fețelor unei piese, la o singură trecere a suprafețelor laterale ale acesteia, în cadrul unui proces tehnologic complet automatizat, controlat de un software dedicat. Tehnologia de control s-a bazat pe folosirea a două traductoare care măsoară instantaneu valoarea cotei laterale a piesei frezate (figura 6.3), dintre care traductorul cu sursă LASER, seria ZX-LD40, a fost folosit în cadrul cercetării experimentale a lucrării de față (vezi subcapitolul 5.4). Soluția a făcut posibilă

luarea unor decizii, prin sistemele software dedicate, asupra încadrării piesei prelucrate la „piese valide” sau la „piese rebut”. Ca echipament de măsurare dimensională s-a utilizat:

- traductorul de deplasare *Z4W-V* care funcționează pe principiul optic;
- traductorul de deplasare *ZX-LD40*, cu sursă LASER.

Ambele traductoare, produse de compania japoneză *OMRON*, au același principiu de reflexie a fascicolului luminos, la întâlnirea suprafeței măsurate. Pentru o cât mai precisă măsurare, cele două traductoare au fost dispuse de o parte și de alta a piesei, pe aceeași direcție de măsurare, sensurile de propagare a radiației LASER fiind opuse (figura 5.1.3).

Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductorului *Z4W-V* sunt prezentate mai jos., iar caracteristicile tehnice și funcționale ale celuilalt traductor sunt prezentate în capitolul 4.

Tabelul 5.1.1. Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor de deplasare din seria *Z4W - V*

Natura sursei luminoase	Rezoluția de măsurare	Semnalul de ieșire	Timpul de răspuns	Distanța de detecție
LED cu emisie de radiație de culoare roșie	10 μm	semnal analogic, (4 \div 20) mA; (1 \div 5) V în C.C	5 ms	25 mm

Tabelul 5.1.2. Caracteristicile tehnice și funcționale ale traductoarelor de deplasare din seria *ZX-LD40*

Natura sursei luminoase	Rezoluția de măsurare	Semnalul de ieșire	Timpul de răspuns	Distanța de detecție
LED cu emisie de radiație de culoare roșie	1 μm	semnal analogic, (4 \div 20) mA (1 \div 5) V în C.C	1 ms	8 mm

Traductorul de deplasare optic, seria *Z4W - V*



Traductorul de deplasare cu sursă laser, *ZX - LD40*

Fig. 5.1.3 Dispunerea traductoarelor de deplasare, pentru controlul cotei laterale a piesei prelucrate [B22]

Automatizarea echipamentului s-a realizat prin intermediul unui panou de automatizare care conține toate componentele specifice prin care se realizează conducerea, reglarea și monitorizarea procesului de prelucrare prin frezare bilaterală a corpului de pompă *HZ2-02*. Automatizarea a avut la bază un mediu software dedicat, denumit *Cscape*, care a fost adaptat funcțiilor și ciclogramei pe care trebuie să le îndeplinească produsul [A1].

Pentru cuplarea celor două traductoare, în scopul măsurării simultane, INCDMF București, în colaborare cu Compania de echipamente electronice C.I.T. Automatizări București, a folosit mediul software *Cscape*, în scopul dezvoltării unei aplicații specifice inspecției dimensionale a cotelor de gabarit.

Principiul măsurării în timp real cu două traductoare cu sursă LASER, este următorul: din distanța între emitorii celor două traductoare (fixă) se scad distanțele de la traductoare până la suprafețele

piesei (variabile), astfel obținându-se variația distanței dintre fețele plan – paralele ale reperului măsurat.

Algoritmul de calcul pentru măsurarea distanței dintre fețe s-a materializat prin programul pentru măsurarea în timp real în mediul software *Cscape*, fiind structurat sub forma unei diagrame, reprezentând algoritmul de calcul al distanței măsurate [B22].

Principalele avantaje ale aplicației sunt următoarele:

- permite măsurarea în timp real a abaterilor de plan paralelism;
- compensează erorile de poziționare a celor două traductoare.

Folosind această aplicație pentru sincronizarea funcționării celor două traductoare, echipa de cercetare a Companiei C.I.T. Automatizări București, în colaborare cu echipa de cercetare a I.N.C.D.M.F. București, au realizat măsurarea dimensională, pentru întreg lotul de piese de tip carcasă. Prin intermediul automatului programabil și al interfeței operator, s-a realizat sortarea automată a pieselor, pe două categorii: piese ce corespund din punctul de vedere dimensional și piese rebut.

5.2 IMPLEMENTAREA APLICAȚIEI CREATE ÎN MEDIUL DE PROGRAMARE LABVIEW PENTRU EVALUAREA POST-PROCES A REZULTATELOR MĂSURĂRII DIMENSIONALE

Salvarea datelor măsurate în timp real, prin intermediul programului dezvoltat în *Cscape*, s-a făcut în fișiere *EXCEL*, datele fiind structurate pe o singură coloană, iar numărul de înregistrări fiind egal cu numărul citirilor de la traductoare pentru un ciclu de măsurare. Pentru optimizarea procesului de control al calității reperelor prelucrate, în cadrul contractului de cercetare dintre I.N.C.D.M.F. București și Catedra de Mecanică Fină a Universității TRANSILVANIA Brașov s-a pus problema prelucrării cât mai eficiente a datelor acestor fișiere. În acest sens, soluția adoptată a fost aceea a controlului asistat, astfel încât, într-un interval de timp cât mai mic, să fie obținute toate informațiile necesare procesului de inspecție dimensională [B2].

Mediul de instrumentație virtuală *LabVIEW*, dezvoltat de compania *National Instruments*, s-a dovedit și în acest caz cel mai potrivit, datorită interfeței grafice concludente în ceea ce privește măsurarea sau simularea oricărui proces mecanic, fizic, matematic electronic etc. (vezi capitolul 2). În primul rând, acest mediu este avantajos datorită generării rapide a tuturor informațiilor privind rezultatele oricărui fenomen sau proces, inclusiv în cazul inspecției dimensionale post- proces²⁰. Aplicația realizată, cu denumirea ***Măsurarea abaterilor de formă a carcaselor de pompe, M.A.F.C.P.vi***, a fost folosită de către I.N.C.D.M.F., în scopul creșterii performanțelor procesului de control al calității reperelor uzinate. Prin aceasta a fost posibilă o mai bună sortare pe clase de dimensiuni a reperelor, dar și un control riguros al acestora din punctul de vedere al calității suprafețelor prelucrate [B13]. Aplicația fost verificată pe baza unui fișier de date primit în urma măsurării cu sistemul dezvoltat de către I.N.C.D.M.F.

Rezultatele au fost sintetizate atât ca fișiere *EXCEL*, cât și ca imagini importate ale ferestrei panou ale aplicației, conținând toate datele privind inspecția calității de prelucrare a carcaselor. Rularea aplicației ***M.A.F.C.P.vi***s-a făcut pentru fiecare reper în parte, generându-se un număr de rapoarte egal cu numărul pieselor prelucrate din lot. Acestea au fost trimise, înapoi, sub formă de fișiere atașate,

²⁰ *Controlul post-proces* are loc în urma operațiilor tehnologice de prelucrare a unui reper.

echipei de cercetare a I.N.C.D.M.F. București, care, în funcție de informația din rapoarte, a procedat, după caz la reluarea prelucrării prin frezare a unor repere, astfel încât și acestea să corespundă din punctul de vedere calitativ. De asemenea, tot pe baza rapoartelor, s-a putut face o categorisire mai strictă, pe clase de precizie, a carcaselor prelucrate, corespunzătoare din punctul de vedere dimensional. În plus, la solicitarea echipei de cercetare a I.N.C.D.M.F. București, aplicația *M.A.F.C.P.vi* a fost realizată și în scopul obținerii de informații statistice privind controlul calității suprafețelor prelucrate. Ca urmare, a fost posibilă o clasificare a reperelor măsurate și din punctul de vedere al rugozității suprafețelor frezate. De asemenea, după caz, s-a procedat la o reluare a operației de prelucrare, dar cu o distanță de avans mai mică a sculelor așchietoare, pentru evitarea riscului ca piesele să devină rebuturi din punctul de vedere dimensional. Aplicația *M.A.F.C.P.vi* are și un caracter corectiv asupra parametrilor de așchiere, astfel încât, pe baza informațiilor obținute pentru toate piesele prelucrate, operatorul să procedeze, după caz, la schimbarea capetelor de frezare sau la stabilirea unui avans corespunzător al acestora. Interfața a fost implementat ca soluție pentru controlul calității reperelor de tip carcasă de pompă. Acesta are un caracter flexibil, datorită faptului că poate fi folosit cu succes și în controlul post-proces, pentru orice piesă prelucrată având una sau două fețe plane.

O particularitate a acestei aplicații constă în faptul că la rularea ei, post-proces, sunt oferite informații privind fazele de prelucrare pentru fiecare reper. De exemplu, în cazul în care suprafețele frezate mai trebuie prelucrate, utilizatorul este informat, prin intermediul unor leduri de stare, fiind indicat tronsonul unde este necesară prelucrarea suplimentară. De asemenea sunt oferite informații privind necesitatea schimbării regimului de așchiere. În cazul în care abaterile de plan paralelism ale fețelor se încadrează în câmpul de toleranță, operatorul este informat și asupra calității suprafețelor, indicându-se nu doar valorile abaterii de rugozitate, dar și dacă piesa corespunde din acest punctul de vedere [J1], [J2], [K1]. O dovadă a flexibilității aplicației *M.A.F.C.P.vi* este faptul că utilizatorul poate stabili parametrii geometrici ai piesei măsurate (lungimea suprafeței / suprafețelor de măsurare, distanța dintre suprafețele active etc.) (figura 5.2.1). De asemenea aplicația de față poate fi folosită atât pentru măsurarea abaterilor de plan paralelism, a abaterilor de planeitate, respectiv a abaterilor de rugozitate ale suprafețelor prelucrate, calitatea suprafețelor prelucrate etc.



Fig. 5.2.1 Stabilirea parametrilor geometrici ai reperului măsurat

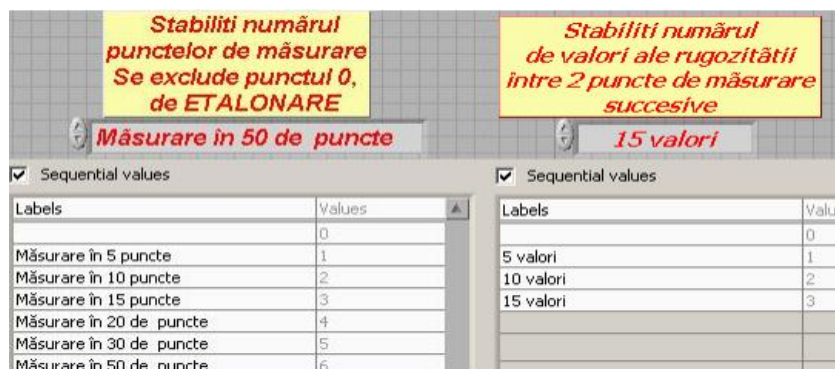


Fig. 5.2.2 Stabilirea parametrilor privind rezoluția de măsurare

Din punctul de vedere al optimizării automatizării procesului de inspecție dimensională, parametrii privind precizia de măsurare impusă pentru fiecare serie de repere supuse măsurării pot fi modificați prin intermediul altor trei controale numerice (figura 5.2.3).

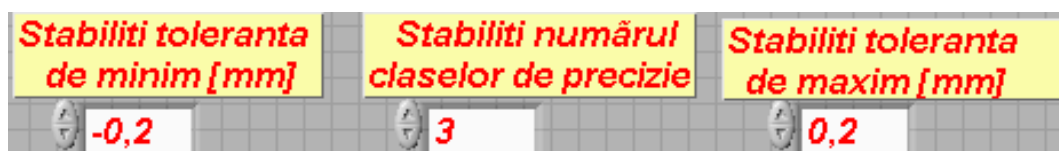


Fig. 5.2.3 Stabilirea parametrilor privind precizia de măsurare impusă pentru diferite serii de piese supuse controlului

Fereastra-panou prezintă un indicator de tip numeric, sub forma unei matrice 2-D.

Aceasta conține două coloane, în prima coloană fiind afișate distanțele dintre fețele active, pentru fiecare punct de măsurare. Cea de a doua coloană afișează valorile abaterilor de plan-parallelism măsurate față de distanța nominală dintre fețele plan-paralele. Un alt indicator numeric similar cu primul, afișează indexul și coordonatele punctelor de măsurare. Un indicator Boolean, sub formă de matrice 2-D, indică, prin intermediul unor leduri de stare, valoarea maximă și minimă a abaterii de plan-parallelism (figura 5.2.4).

Pozițiile punctelor de măsurare [mm]	Cota / abaterea reală măsurată în regim dinamic [mm]	Punctele de măsurare corespunzătoare valorilor de MIN / MAX a abaterii
0,00 0,00	86,07 1,07	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
1,00 0,96	86,783 1,783	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
36,00 34,56	86,647 1,647	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
37,00 35,52	87,263 2,263	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Fig. 5.2.4 Afișarea valorilor abaterilor de plan parallelism corespunzătoare fiecărei perechi de puncte de măsurare

Algoritmul de programare pentru obținerea valorilor abaterilor este similar cu cel descris la capitolul 2, subcapitolul 2.5, în cadrul prezentării aplicației *M.A.F.C.P.vi*, în situația alegerii traductorului de deplasare cu sursă LASER.

Astfel, aplicația preia și prelucrează datele, care, inițial sunt dispuse sub forma unui șir de valori, neputând fi raportate la punctele de măsurare. Deosebirea este că în acest caz nu mai este necesară extragerea șirului de valori ale abaterii, deoarece fișierele de date obținute la măsurarea simultană, în timp real, cu cele două traductoare, sunt structurate pe o singură coloană. Importarea datelor generate anterior în aplicația *M.A.F.C.P.vi* s-a făcut prin intermediul funcției de citire din fișier *Read from Spreadsheet File*, la rularea programului utilizatorul trebuind să specifice fișierul de date, printr-o fereastră de dialog (figura 5.2.5).

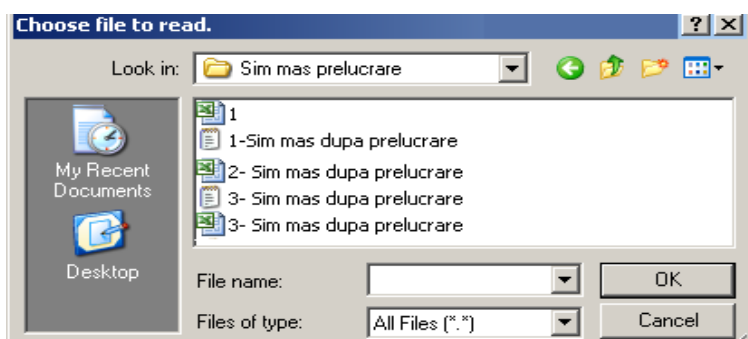


Fig. 5.2.5 Fereastra de dialog pentru specificarea fișierului de date pentru prelucrarea lor la rularea aplicației M.A.F.C.P.vi

Programarea aplicației s-a făcut astfel încât să se genereze raportul sub formă numerică al cotei lățimii, respectiv al abaterilor de plan paralelism dintre suprafețele prelucrate, pentru un număr finit de perechi de puncte de măsurare, echidistante. Numărul acestora poate fi stabilit de către utilizator, conform figurii 5.2.2.

Aceste informații sunt generate sub forma a doi vectori de valori numerice, având fiecare, mărimea egală cu numărul perechilor de puncte de măsurare.

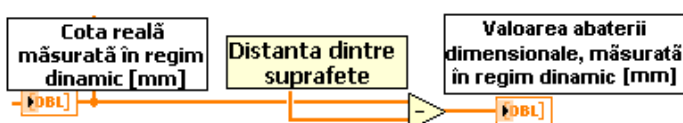


Fig. 5.2.6 Algoritmul pentru generarea vectorului de valori ale abaterii de plan paralelism pentru fiecare pereche de puncte de măsurare

Pentru generarea vectorului de valori constante, reprezentând distanța nominală dintre suprafețe, s-a programat o structură repetitivă FOR-LOOP, al cărui număr de iterații este egal cu numărul punctelor de măsurare.

În interiorul acesteia se generează iterativ valoarea distanței nominale, sub forma unui control numeric (figura 5.2.7).

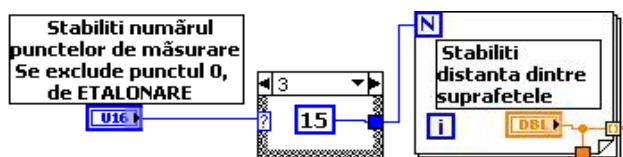


Fig. 5.2.7 Generarea vectorului de valori constante reprezentând distanța nominală dintre suprafețele măsurate

Controlul selectiv pentru alegerea numărului punctelor de măsurare s-a legat la selectorul unei structuri multicazuale, pentru fiecare caz curent, structurii repetitive atribuindu-se câte un număr de iterații echivalent numărului punctelor de măsurare. [B22].

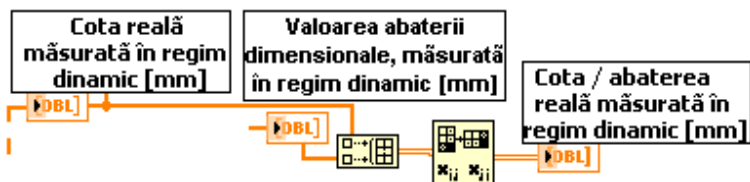


Fig. 5.2.8 Procedura de obținere a matricei 2 – D pentru afișarea simultană a cotei piesei și a abaterii de plan paralelism pentru fiecare pereche de puncte de măsurare

Cele două șiruri de valori, sub forma a două matrice unidimensionale au fost concatenate, prin intermediul funcției *Build Array* (figura 5.2.8), obținându-se o matrice 2-D, transpusă, sub formă tabelară.

Aplicația M.A.F.C.P.vi oferă posibilitatea unei evaluări rapide a rezultatului procesului de frezare și/sau finisare a suprafețelor reperului, cu ajutorul ledurilor de stare (figurile 5.2.9, 5.2.10 și 5.2.23) [L3]. De asemenea, aplicația oferă informații clare privind clasa de precizie dimensională în care se situează reperul prelucrat.

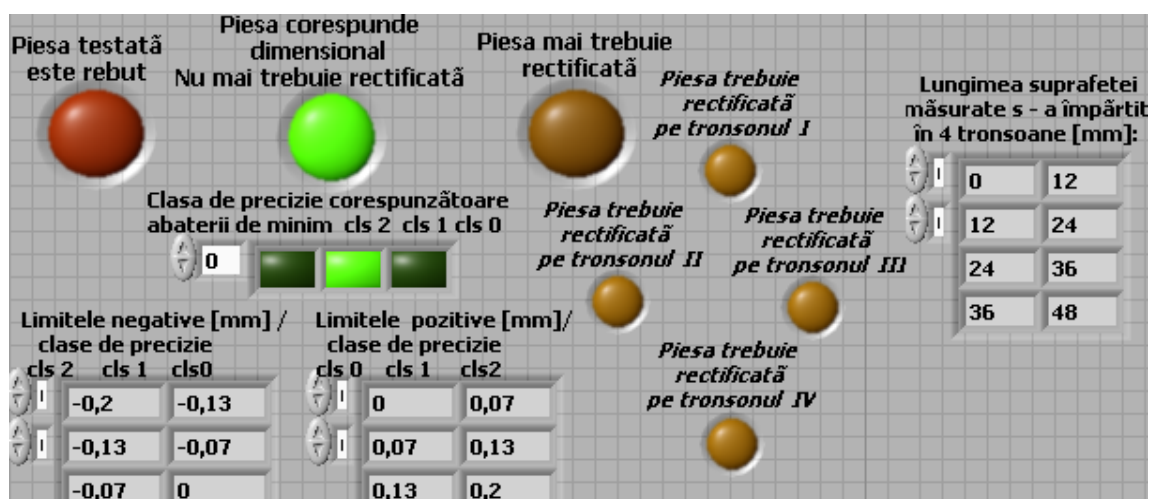


Fig. 5.2.9 Ledurile de stare pentru indicarea rezultatului global privind inspecția dimensională post-proces

În funcție de numărul claselor de precizie și de valorile câmpului de toleranță dimensională²¹ (parametri stabiliți de utilizator), un indicator numeric specifică valorile limitelor inferioare și superioare pentru fiecare clasă de precizie. În cazul în care este necesară o reluare a procesului de frezare (finisare), până la obținerea dimensiunii de gabarit nominal, prin patru leduri de stare se indică zona unde mai este necesară această operație.

O particularitate a aplicației *M.A.F.C.P.vi* este aceea că prin inspecția dimensională asistată, post-proces, operatorul poate fi informat asupra parametrilor de așchiere fie în timpul, fie după prelucrarea prin frezare/finisare a fiecărui reper (figura 5.2.10) [V3]. Pentru aprinderea acestui led de stare, după caz, s-a definit o structură booleană, la selectorul căreia s-a legat ieșirea unei porți logice $\$$, pe intrările căreia s-au programat două condiții ce trebuie îndeplinite.

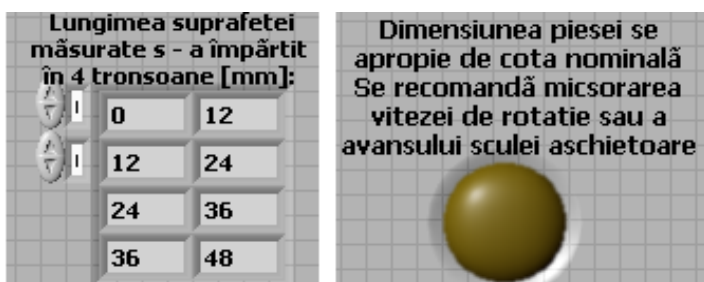


Fig. 5.2.10 Domeniile de lungime ale tronsoanelor suprafețelor de măsurare / Înștiințarea operatorului asupra necesității intervenției asupra regimului de așchiere

Prima este ca valoarea maximă a abaterii de plan paralelism să fie mai mare decât valoarea toleranței de maxim stabilite. Cea de a doua condiție este ca valoarea maximă a abaterii să fie însă mai mare decât valoarea-limită stabilită a abaterii de formă pentru care se necesită modificarea parametrilor sculei așchietoare [B21].

La rularea aplicației *M.A.F.C.P.vi*, în urma prelucrării datelor din fișierul importat, pe un indicator grafic se generează, rezultatele măsurării dimensionale a fiecărei piese în parte. Concret este vorba de abaterile de plan paralelism dintre suprafețele frezate (figura 5.2.11). Pentru generarea celor două

²¹ câmpul de toleranță dimensională se referă la abaterea dimensională maximă pentru care un reper poate fi considerat corespunzător din punct de vedere dimensional

profiluri ale suprafețelor măsurate, s-au multiplexat cinci intrări, fiecare fiind la rândul ei, obținută prin concatenarea a două șiruri de valori, după cum se poate observa în figura 5.2.12.

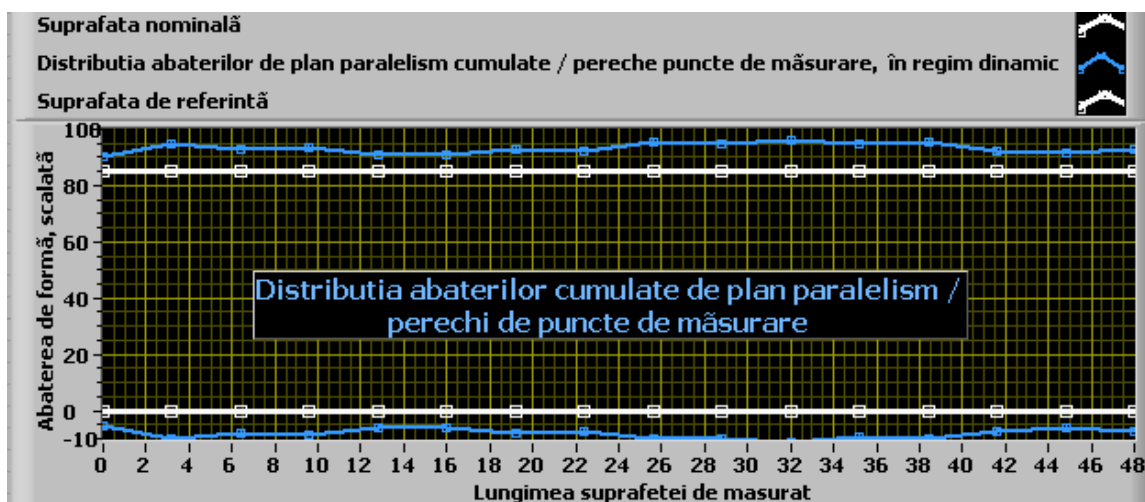


Fig. 5.2.11 Generarea profilelor reale și nominale ale suprafețelor prelucrate ale reperului

Prima intrare la funcția de multiplexare constituie o pereche de valori, alcătuită din doi vectori, primul reprezentând coordonatele după axa OX a punctelor de măsurare, iar cel de al doilea – coordonatele după axa OY ale acestora. Cele două șiruri de valori au fost obținute prin programarea a două structuri repetitive $FOR - LOOP$ cu câte $N+1$ iterații, unde N reprezintă numărul punctelor de măsurare. Coordonatele după axa OY ale punctelor de măsurare au o valoare constantă, egală cu distanța nominală dintre fețele măsurate (figura 5.2.12). Această intrare, cuplată la indicatorul de tip grafic (XY Graph), permite generarea profilului nominal al feței superioare a piesei măsurate. În mod similar s-a programat și procedura necesară generării profilului nominal al feței inferioare, ceea ce diferă aici fiind coordonata (constantă) după axa OY a punctelor de măsurare (cea de a treia intrare la multiplexor).

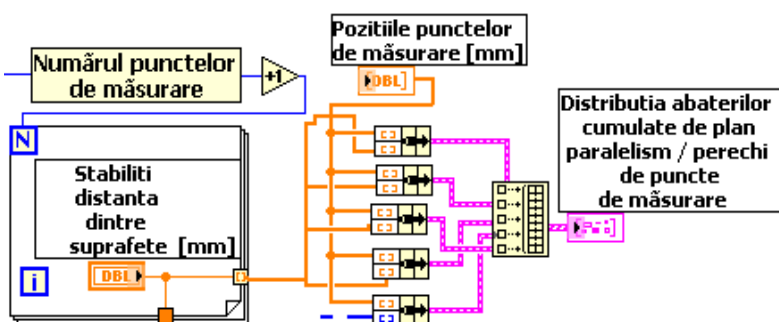


Fig. 5.2.12 Multiplexarea intrărilor – perechi de valori de date și coordonate pentru generarea profilului geometric al reperului supus inspecției dimensionale

Cea de a doua intrare permite generarea profilului real al feței superioare a piesei. Și aceasta este compusă din două șiruri de valori, primul fiind cel al coordonatelor după axa OX a punctelor de măsurare, iar cea de a doua reprezentând valorile reale ale distanței dintre fețe, pentru fiecare pereche de puncte de măsurare.

Generarea acestora s-a făcut la citirea datelor din fișier, printr-o buclă repetitivă $FOR-LOOP$, cu numărul de iterații egal cu numărul de citiri de la traductor. Din aceste date s-au extras valorile reale ale distanței, pentru fiecare pereche de puncte de măsurare. În mod similar s-a procedat și pentru generarea prin simetrie a profilului real al suprafeței inferioare a piesei, acestuia corespunzându-i cea de a patra intrare la multiplexor.

Ca și aplicația *I.D.A.D.vi* descrisă în capitolul 2, și *M.A.F.C.P.vi* permite generarea, sub forma unui indicator grafic, a diagramei de distribuție a abaterilor de plan paralelism a suprafețelor prelucrate (figura 5.2.13). Algoritmul de programare necesar generării diagramei este descris pe larg în capitolul 2. Aplicația informează operatorul asupra etapelor de prelucrare a suprafețelor piesei uzinate [P2]. În prima faza a procesului de prelucrare, la rularea post-proces a programului, operatorul este informat asupra faptului că suprafețele mai trebuie prelucrate și, anume, pe ce tronsoane din lungimea suprafețelor se necesită încă această operație. Ulterior, în urma revenirii cu procesul de frezare, la o nouă testare a piesei, printr-o altă rulare a programului, acesta, de exemplu, poate furniza informații asupra necesității intervenției asupra regimului de așchiere, dacă valoarea distanței dintre fețele prelucrate se apropie de cota de cota nominală. Dacă însă, în urma procesului de finisare a suprafețelor, piesa testată corespunde din punctul de vedere dimensional, acest lucru este indicat prin ledurile de stare prezentate în figura 5.2.9, împreună cu afișarea clasei de precizie în care se încadrează. În acest caz, însă, la rularea aplicației *M.A.F.C.P.vi*, operatorul este informat și asupra rezultatelor privind calitatea suprafețelor prelucrate [S5], [S9]. Altfel, dacă reperul nu corespunde din punctul de vedere dimensional, informațiile privind rugozitatea nu sunt afișate, deoarece, în aceasta situație ele nu sunt relevante. Aceasta, deoarece piesa este încă în faza brută de prelucrare a suprafețelor [P2].

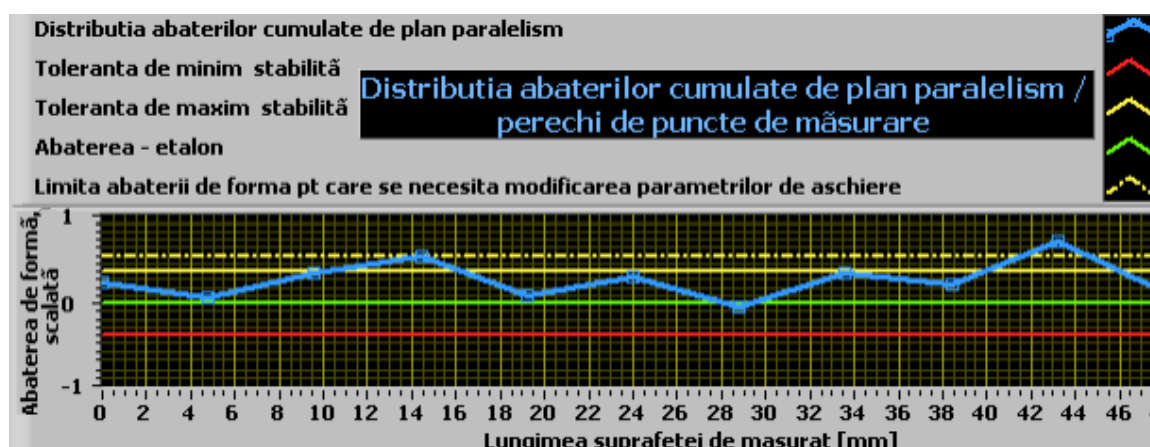


Fig. 5.2.13 Diagrama de distribuție a abaterilor de plan – paralelism

Un indicator tabelar, sub forma unei matrice 2-D afișează, după caz, valorile rugozității pentru fiecare interval delimitat de două puncte de măsurare succesive. Dacă piesa testată încă nu corespunde din punctul de vedere dimensional, în tabel se înscrie valoarea infinit, ceea ce înseamnă că în această etapă, încă nu se pune problema evaluării rugozității (figura 5.2.14, a).

Dacă, după finisarea suprafețelor, lățimea carcasi, respectiv plan- paralelismul dintre suprafețele prelucrate corespund, în tabelul de afișare a valorilor rugozității se înscriu valori numerice, unitatea de măsură fiind exprimată în micrometri (figura 5.2.14, b).

Pentru obținerea valorilor numerice ale rugozității s-a plecat de la valorile reale ale distanței dintre fețele paralele, citite din fișierul de date generate, la măsurarea anterioară cu cele două traductoare cu sursă LASER. Acesta constituie un șir de valori, cu numărul de înregistrări egal cu numărul citirilor de la traductor.

O structură booleană servește pentru validarea valorilor citite din fișier, în cazul *TRUE*, adică pentru cazul în care piesa corespunde dimensional. În cazul *FALSE*, valorile citite din fișier sunt împărțite la constanta 0, rezultatul fiind infinit (figura 5.2.15) [B22].

Intervalele dintre două puncte succesive de măsurare	Valorile rugozității / fiecare interval delimitat de câte două puncte de măsurare succesive [micrometri]									
0-1	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
1-2	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
9-10	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

a)

Intervalele dintre două puncte succesive de măsurare	Valorile rugozității / fiecare interval delimitat de câte două puncte de măsurare succesive [micrometri]									
0-1	3,5	0	3	1,5	4,5	2,5	0	3	1,5	4,5
1-2	2,5	0	0,5	3,5	0	3	0	0	4,5	3,5
9-10	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4,5	4,5

b)

Fig. 5.2.14 Înscriserea valorilor infinit în rubricile tabelului de afișare a valorilor rugozității, în cazul în care piesa uzinată încă nu corespunde din punctul de vedere dimensional

Pentru a se obține o rezoluție cât mai fină de generare a valorilor rugozității, între două puncte de măsurare succesive, se recomandă o viteză de antrenare mică a piesei, în timpul procesului de control. Aceasta permite un timp mai mare de scanare și, implicit un număr mai mare de citiri de la traductoare. Cu cât numărul de înregistrări de date în fișier este mai mare, cu atât pot fi prelevate mai multe date, putându-se calcula mai multe valori ale rugozității între două puncte de măsurare succesive, pentru un număr cât mai mare de perechi de puncte.

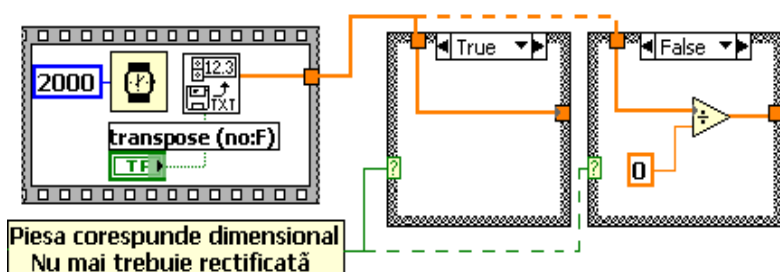


Fig. 5.2.15 Validarea datelor citite din fișier, pentru calculul rugozității, după caz

Din valorile importate se scade matricea-constantă cu valoarea egală cu distanța nominală dintre fețele paralele. Această matrice trebuie să aibă numărul de înregistrări egal cu numărul citirilor de la traductoare, pentru a se putea face diferența între două matrice de date.

Obținerea acestuia se face cu ajutorul unei bucle repetitive *FOR-LOOP*, cu numărul de iterații egal cu numărul citirilor de la traductor.

În interiorul buclei, pentru fiecare iterație se generează constanta dată de valoarea cotei nominale dintre suprafețele măsurate (stabilită de către utilizator). Valoarea rezultată în urma scăderii celor două

matrice se înmulțește cu constanta 1000, pentru exprimarea valorilor în micrometri. Acestea sunt luate în valoare absolută, prin intermediul funcției matematice *Absolute Value* și împărțite la constanta 2, pentru a se genera valorile micro-abaterilor de suprafață, adică rugozitatea pe fiecare dintre suprafețele prelucrate (figura 5.2.16).

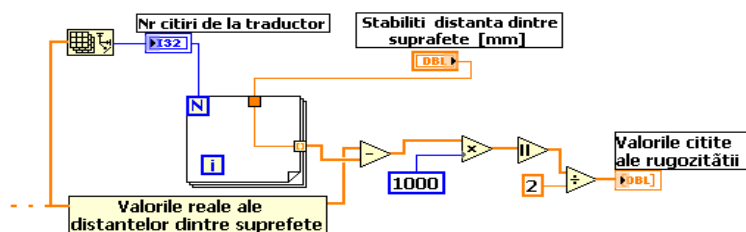


Fig. 5.2.16 Algoritmul de calcul al valorilor rugozității, măsurate pe întreaga lungime a suprafeței scanate

Ca și pentru abaterea de plan-paralelism, programul calculează rugozitatea cumulată la nivelul ambelor suprafețe prelucrate.

Acest procedeu de calcul a fost stabilit ca urmare a faptului că finisarea și superfinisarea se fac pe ambele fețe cu același tip de sculă și aceiași parametri de viteză și avans. Din acest motiv s-a admis ipoteza ca valorile rugozității să fie reproduse în mod simetric pe cele două fețe prelucrate.

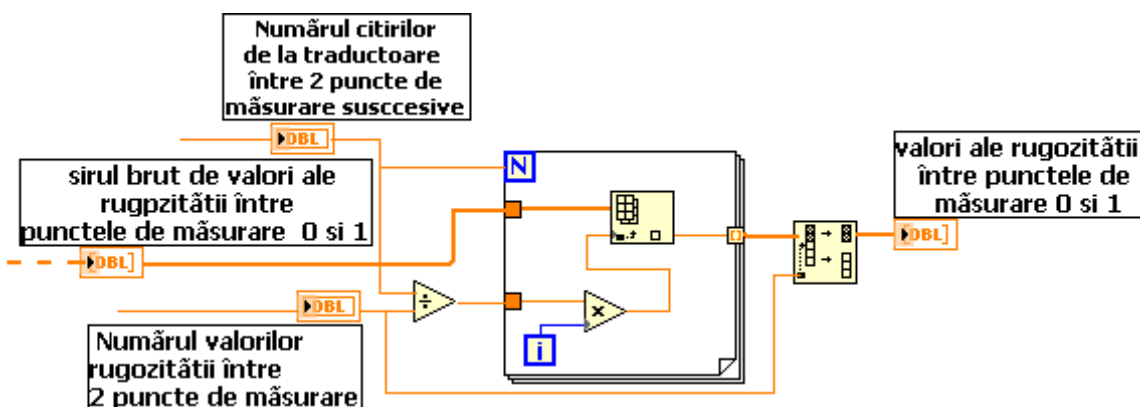


Fig. 5.2.17 Procedura de obținere a unui număr specificat de valori ale rugozității pentru un interval

Din aceste valori s-au extras valorile numerice ale rugozității pentru fiecare interval dintre două puncte de măsurare succesive, adică, pentru fiecare interval în parte, din matricea inițială de valori citite ale rugozității s-a extras câte un număr de înregistrări. Numărul de înregistrări al acestor vectori este egal cu numărul de citiri de la traductoare corespunzătoare intervalului, adică numărul total de citiri împărțit la numărul de intervale pe lungimea suprafeței scanate. Șirurile de valori obținute au fost prelucrate, astfel încât să se obțină valorile rugozității într-un număr finit de valori, specificat de către utilizator, pentru fiecare interval dintre două puncte succesive de măsurare. Aceste valori sunt măsurate în puncte echidistante pe un interval. În acest scop, pentru fiecare interval s-a folosit câte o structură repetitivă *FOR-LOOP*, având numărul de iterații egal cu numărul citirilor de la traductoare între două puncte succesive de măsurare (figura 5.2.17). Pentru fiecare iterație, la nivelul structurii repetitive, s-a extras din șirul grosier de valori ale rugozității, elementul al cărui index este multiplu al raportului dintre numărul citirilor de la traductoare între două puncte succesive de măsurare și numărul specificat al valorilor rugozității, pe același interval. Acest procedeu s-a folosit pentru fiecare interval,

în parte, luându-se în calcul numărul maxim de puncte de măsurare (50). Perechile de valori ale rugozității pentru un interval, au fost concatenate într-o matrice 2-D.

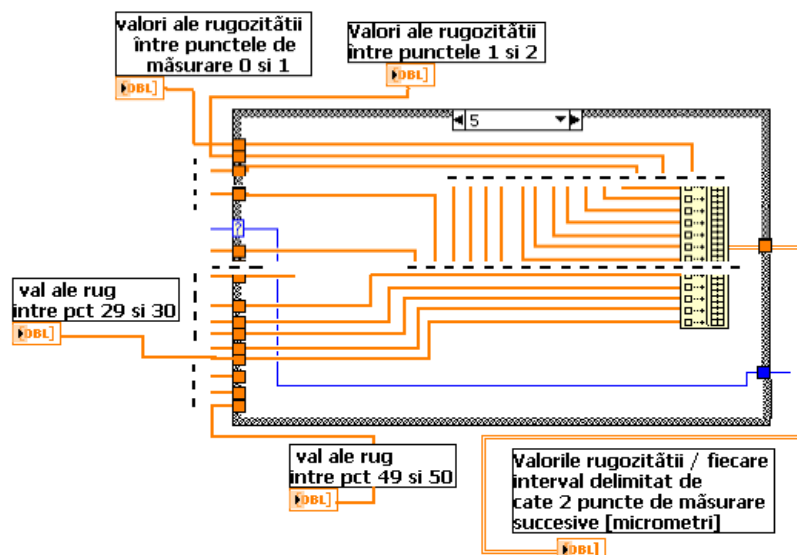


Fig. 5.2.18 Concatenarea vectorilor pentru obținerea matricei 2 – D pentru afișarea în puncte echidistante a valorilor rugozității, în cazul în care măsurarea se face în 30 de puncte

Aceasta are numărul de linii egal cu numărul punctelor de măsurare, numărul de coloane fiind egal cu numărul specificat de valori ale rugozității pentru un interval. Pentru aceasta s-a folosit o structură multicazuală, în care, în funcție de numărul punctelor de măsurare, să se concateneze 5, 10, 15, 20, 25, 30 sau 50 de perechi de valori ale rugozității (figura 5.2.18).

Pentru a se stabili corespondența pe intervale a valorilor, s-a procedat la generarea unui vector al intervalelor dintre două puncte succesive de măsurare (figura 5.2.19).

Intervalele dintre 2 pct consecutive de măsurare	Valorile rugozității / fiecare interval delimitat de cate 2 puncte de măsurare succesive [micrometri]							
0-1	35	0	25	35	40	10	35	15
49-50	10	10	10	10	10	15	15	15

Fig. 5.2.19 Apartenența valorilor rugozității la fiecare interval dintre două puncte succesive de măsurare

Pentru afișarea vectorului de intervale, s-au definit controale de tip șir de caractere (*String*), numărul acestora fiind egal cu numărul maxim de puncte în care se poate face măsurarea. În interiorul fiecărei entități s-a editat câte un text referitor la intervalul curent dintre două puncte succesive de măsurare. Aceste controale au fost multiplexate, urmând același procedeu ca și în cazul obținerii tabelului de valori numerice ale rugozității, numărul intrărilor la multiplexor fiind egal de numărul punctelor de măsurare (figura 5.2.20). În mod similar s-a obținut și vectorul pentru afișarea valorilor medii ale rugozității, la nivelul fiecărui interval, în parte. Acest vector este plasat în fereastra-panou, în dreptul matricei 2-D al valorilor rugozităților pentru fiecare interval (figura 5.2.21). Procedeu de calcul al valorilor medii s-a făcut în mod similar cu cazul calculului valorilor medii ale abaterilor de formă prezentat în cadrul descrierii aplicației *I.D.A.D.vi*. Aici bucla repetitivă *FOR-LOOP* este inclusă într-o structură multicazuală, astfel încât media să fie calculată, după caz, în funcție de numărul selectat de valori ale rugozității (figura 5.2.22).

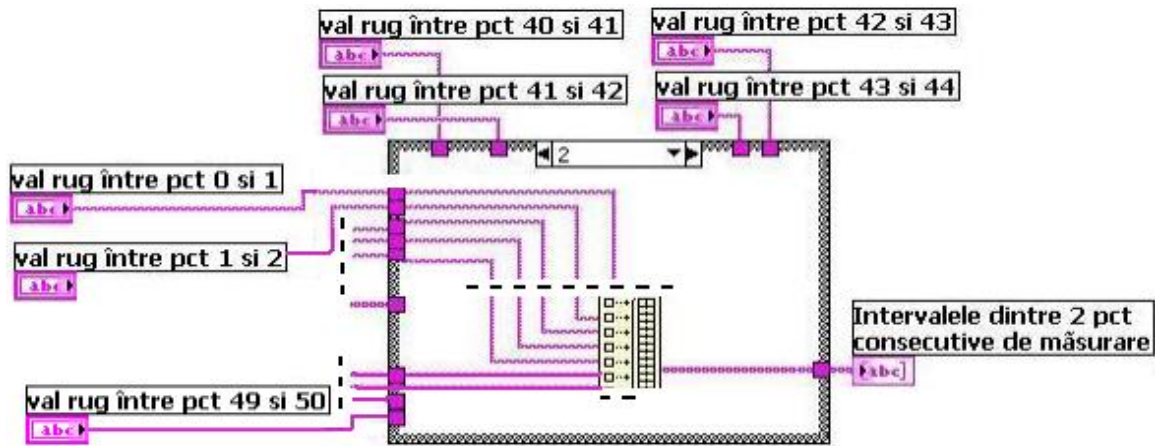


Fig. 5.2.20 Obținerea prin multiplexare a vectorului intervalelor, pentru cazul măsurării în 10 puncte

Acest procedeu s-a aplicat pentru toate intervalele, iar mediile aritmetice obținute au fost multiplexate, obținându-se vectorul mediilor pe fiecare interval, acesta având, după caz 5, 10, 15, 20, 25, sau 30 de linii, în funcție de numărul punctelor de măsurare stabilit.

Valorile rugozității / fiecare interval delimitat de câte două puncte de măsurare succesive [micrometri]										Valorile medii ale rugozității pe intervale dintre două puncte succesive de măsurare
8,5	8	4,5	3	4,5	1,5	4,5	0,5	7,5	3	4,55
5,5	4,5	2,5	1,5	1	8,5	0	4,5	3	1,5	3,25
0	4,5	7,5	6,5	3	5,5	3	2,5	1,5	8,5	4,25
8	0	3	3	5,5	4,5	2,5	1,5	1	8	3,7
0	4,5	1,5	0	4,5	0,5	6,5	3	5,5	3	2,9
2,5	1,5	0	4,5	3	3	4,5	3	2,5	1	2,55
8,5	8	3	4,5	1,5	0	0,5	7,5	6,5	5,5	4,55
4,5	3	1,5	1	8,5	8	3	5,5	4,5	2,5	4,2
1,5	1	4,5	3	3	5,5	3	2,5	1,5	8,5	3,4
8	0	3	2,5	1,5	1	4,5	3	3	4,5	3,1

Fig. 5.2.21 Generarea vectorului de valori medii ale rugozității pentru fiecare interval

Media aritmetică globală a rugozității a fost calculată prin medierea valorilor medii ale rugozității la nivelul fiecărui interval. Procedura este aceeași, cu deosebirea că structura multicazuală folosită adresează șase situații, pentru medierea a 5, 10, 15, 20, 25, 30 sau 50 de valori medii, în funcție de numărul punctelor de măsurare.

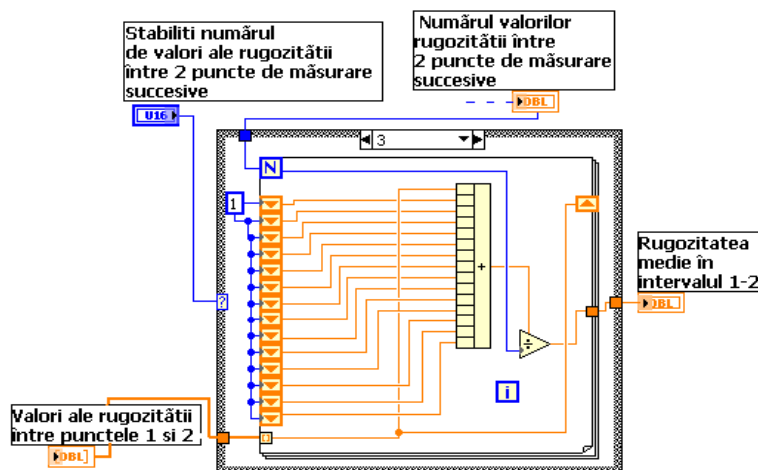


Fig. 5.2.22 Algoritmul de calcul al mediei aritmetice a rugozității pentru intervalul dintre punctele de măsurare 1 și 2, în cazul în care se solicită 15 valori ale rugozității pe interval

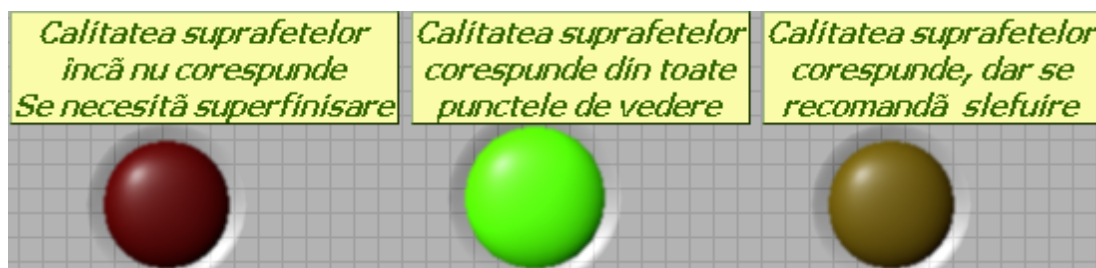


Fig. 5.2.23 Informarea operatorului asupra necesității, după caz, a continuării fazei de finisare sau șlefuire a suprafețelor paralele

Indicatorii de tip grafic permit utilizatorului să vizualizeze hărțile de rugozitate, pentru fiecare interval dintre două puncte de măsurare succesive (figura 5.2.24). Pentru generarea acestei hărți s-a folosit în fereastra-diagramă o funcție de multiplexare a patru intrări, fiecare dintre acestea fiind obținută prin cuplarea a doi vectori de coordonate carteziene. Prima intrare a multiplexorului reprezintă matricea 2-D compusă din vectorul indexurilor valorilor de prelevare a rugozității pentru fiecare interval, respectiv vectorul pentru generarea constantei O .

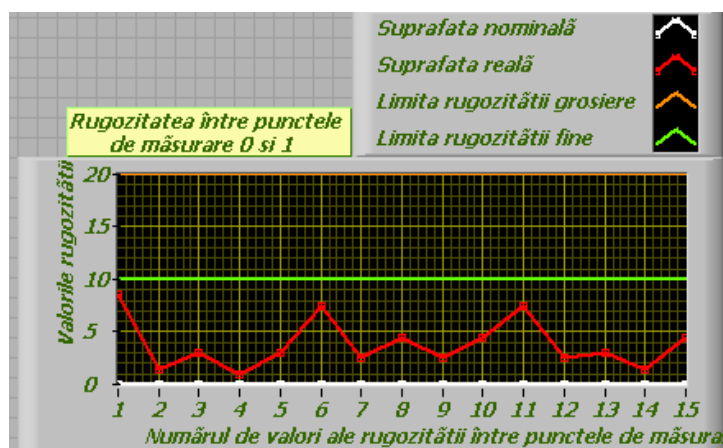


Fig. 5.2.24 Harta rugozității pentru intervalul delimitat de punctele de măsurare 0 și 1, în cazul prelevării a 15 valori pentru un interval

Pentru trasarea dreptelor ce descriu limitele rugozității fine și grosiere, în aceeași buclă s-au generat vectorii reprezentând coordonatele după axa OY a celor două drepte.

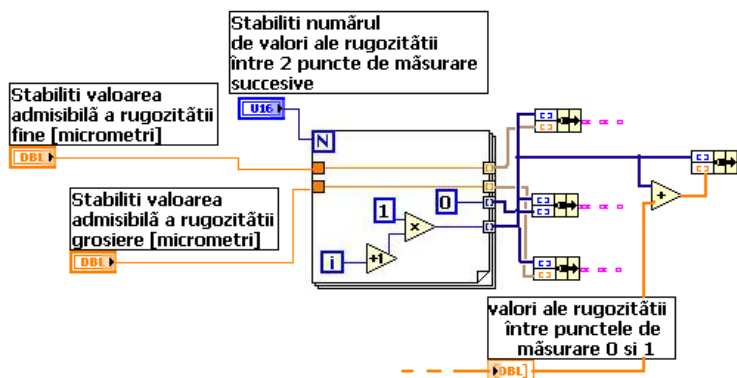


Fig. 5.2.25 Structura repetitivă pentru generarea perechilor de vectori de coordonate carteziene, pentru obținerea hărții rugozității pentru un interval

Aceasta reprezintă coordonata după axa OY a curbei ce descrie suprafața nominală, neafectată de rugozitate. Generarea acestui vector s-a făcut pe ieșirea unei bucle repetitive $FOR-LOOP$, cu numărul de iterații egal cu numărul valorilor de prelevare a rugozității pentru intervalul curent. Aceeași structură generează și vectorul indexurilor valorilor rugozității, prin înmulțirea indexului buclei cu constanta 1 (figura 5.2.25).

A doua intrare la multiplexor este o matrice formată dintr-un vector ce reprezintă coordonatele după axa OY ale suprafeței nominale, și un alt vector al coordonatelor după axa OY ale suprafeței reale, afectată de rugozitate. Pentru generarea acestui vector, la constanta O s-au adăugat valorile rugozității.

Pe baza hărților rugozității pe intervale, s-a obținut, prin multiplexare, harta rugozității pe întreaga lungime a suprafețelor prelucrate.

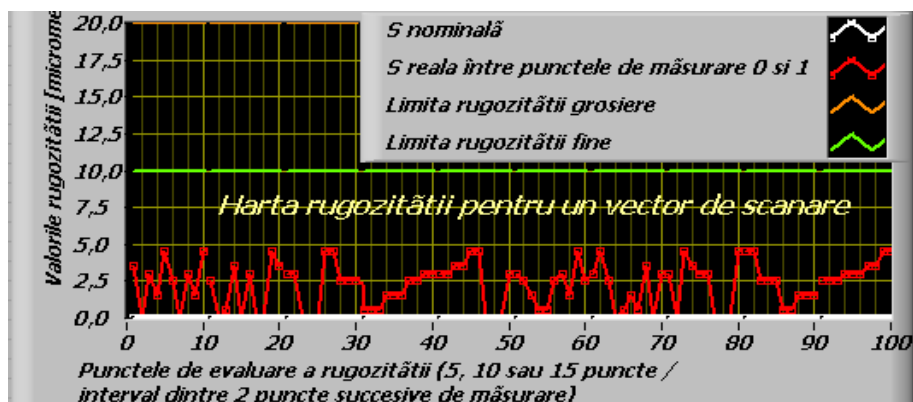


Fig. 5.2.26 Generarea hărții rugozității pe întreaga lungime a suprafețelor scanate, în cazul în cazul rezoluției de măsurare 10 x 10

Practic, la rularea aplicației *M.A.F.C.P.vi* apare o primă fereastră de dialog cu utilizatorul pentru alegerea fișierului inițial de date, ce trebuie citit, pentru prelucrarea în mediul virtual *LabVIEW*. Alte două ferestre de dialog apar pentru salvarea datelor în fișiere. Primul fișier se referă la datele salvate privind rezultatele numerice ale controlului abaterilor de plan paralelism a suprafețelor prelucrate. Primele două coloane se referă la indexurile punctelor de măsurare, respectiv la coordonatele acestora, după sensul de scanare. Coloanele a treia și a patra conțin datele privind cotele reale dintre fețele paralele, pentru fiecare pereche de puncte de măsurare, respectiv valorile abaterilor de plan paralelism ale fețelor/perechi de puncte. Cea de a 5-a coloană conține valoarea medie și totală a abaterii de plan-paralelism, iar ultima coloană conține valoarea minimă și cea maximă a aceluiasi parametru măsurat.

Cel de al doilea fișier conține datele privind rezultatele măsurării calității suprafețelor, și anume valorile numerice ale rugozității ambelor fețe (figura 5.2.27).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	8,50	8,00	4,50	3,00	4,50	1,50	4,50	0,50	7,50	3,00	4,55	3,75
2	1	2	5,50	4,50	2,50	1,50	1,00	8,50	0,00	4,50	3,00	1,50	3,25	0,00
3	2	3	0,00	4,50	7,50	6,50	3,00	5,50	3,00	2,50	1,50	8,50	4,25	0,00
4	3	4	8,00	0,00	3,00	3,00	5,50	4,50	2,50	1,50	1,00	8,00	3,70	0,00
5	4	5	0,00	4,50	1,50	0,00	4,50	0,50	6,50	3,00	5,50	3,00	2,90	0,00
6	5	6	2,50	1,50	0,00	4,50	3,00	3,00	4,50	3,00	2,50	1,00	2,55	0,00
7	6	7	8,50	8,00	3,00	4,50	1,50	0,00	0,50	7,50	6,50	5,50	4,55	0,00
8	7	8	4,50	3,00	1,50	1,00	8,50	8,00	3,00	5,50	4,50	2,50	4,20	0,00
9	8	9	1,50	1,00	4,50	3,00	3,00	5,50	3,00	2,50	1,50	8,50	3,40	0,00
10	9	10	8,00	0,00	3,00	2,50	1,50	1,00	4,50	3,00	3,00	4,50	3,10	0,00

Fig. 5.2.27 Fișierul de date privind valorile rugozității suprafețelor scanate

Coloana 13 conține valorile medii ale rugozității pentru fiecare interval de măsurare, iar ultima coloană conține valoarea medie globală a rugozității măsurate, după întregul vector de scanare.

Procedura este aceeași ca în cazul obținerii matricei 2-D ce conține valorile numerice ale rugozității pe fiecare interval (figura 5.2.26) [G2], [M12]. Și în acest caz, la rularea aplicației, utilizatorul poate salva datele obținute în *EXCEL*, în vederea prelucrării ulterioare.

Primele două coloane definesc intervalele dintre două puncte de măsurare succesive, iar coloanele 3÷12 conțin valorile rugozității, după întregul vector de scanare. Astfel fiecare linie conține valorile rugozității pentru fiecare interval delimitat de câte două puncte de măsurare succesive.

5.3 CONCLUZII PRIVIND UTILITATEA APLICAȚIEI MĂSURAREA ABATERILOR DE FORMĂ A CARCASELOR DE POMPE

Spre deosebire de aplicația *I.D.A.D.vi* (capitolul 2), pentru inspecția dimensională asistată cu caracter flexibil, aplicația *M.A.F.C.P.vi* răspunde obiectivelor specificate de către I.N.C.D.M.F., în privința prelucrării reperelor. Pornind de la aplicația *I.D.A.D.vi*, programul *M.A.F.C.P.vi* a fost adaptat problemelor ce țin de etapele de prelucrare a carcaselor pompelor cu roți dințate, aceasta putând fi considerată un caz particular. Particularitatea aplicației *M.A.F.C.P.vi* constă în faptul că utilizatorul poate fi informat în fiecare etapă a prelucrării reperelor, asupra aspectelor privind calitatea suprafețelor frezate. În acest mod se evită apariția rebuturilor și, totodată se asigură o eficientizare a procesului din punctul de vedere al reducerii timpilor și al uzurii sculelor așchietoare. Acest ultim aspect este legat de faptul că aplicația furnizează în timp util informațiile privind calitatea prelucrării și recomandări privind parametrii de prelucrare.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1 CONCLUZII GENERALE

Cercetarea și-a propus realizarea unui studiu teoretic și experimental complex, care să conducă la optimizarea unor procese ce în de managementul și asigurarea calității în producție. Sub forma unor concluzii generale sunt prezentate rezultatele studiului întreprins, pe baza acestora putându-se face aprecieri asupra metodelor și procedurilor de cercetare și asupra nivelului de atingere a obiectivelor. Concluziile sunt desprinse ca urmare a constatărilor făcute la nivelul fiecărei etape de cercetare, etape descrise în primele șase capitole ale lucrării.

Studiul de nivel asupra *stadiului actual al dezvoltării metodelor și mijloacelor de măsurare dimensională pe plan mondial*, sintetizat în **primul capitol**, a condus la concluzia că în prezent se poate obține o precizie ridicată de măsurare în condițiile unor parametri geometrici variați ai reperelor controlate, cu condiția asumării unor costuri consistente, care scumpesc produsul. Costurile foarte ridicate pe care le implică evaluarea la înalt nivel a calității și faptul că inspecția dimensională reprezintă investigația cea mai frecventă în cadrul tehnologiei de fabricație a produselor sunt aspectele care au determinat, ca obiectiv al cercetării, găsirea și implementarea unei soluții bazate pe folosirea de mijloace de măsurare simple și relativ ieftine. Acestea, asociate cu un program software flexibil, trebuie să asigure aceleași performanțe ridicate, dar cu cheltuieli mai mici, cel puțin în cazul reperelor cu geometrie simplă.

Pe baza studiului de nivel, a rezultat costul unui sistem de măsurare complex pentru monitorizarea unor parametri funcționali și dimensionali specifici. Din punctul de vedere al costurilor, s-a estimat faptul că acestea ar include și sistemul software dedicat necesar inspecției dimensionale, livrat împreună cu echipamentul. Această variație depinde în strânsă măsură de performanțe cum ar fi precizia de măsurare și timpul de răspuns. Implementarea soluției propuse, bazată pe folosirea traductoarelor de deplasare și dezvoltarea unei aplicații software de înaltă flexibilitate, concretizată printr-un instrument virtual ce ar ține seama de o serie de costuri estimative pentru sistemele de măsurare, pentru sistemele complementare acestora, cât și pentru consumul energetic necesar. Prin transpunerea acestor informații ca date de intrare în aplicația software și prin utilizarea acestora a rezultat că suma totală, în cazul soluției propuse ar reprezenta cel mult 50% din costul unui sistem complex de măsurare și scanare, prevăzut cu sisteme software complexe, dedicate.

Obiectivele acestei cercetări vizează următoarele aspecte:

- scăderea timpilor necesari inspecției dimensionale și, implicit, creșterea randamentului producției;
- reducerea considerabilă a rebuturilor prin monitorizarea în timp util a procesului de prelucrare a reperelor din componența unui produs finit;
- reducerea cheltuielilor și a duratei necesare pentru instruirea personalului angajat în domeniul asigurării calității în producție prin implementarea unei metode simple și rapide pentru măsurarea dimensională asistată de calculator;

- reducerea cheltuielilor necesare procesului prin dispunerea în posturile de măsurare și cuplarea la sistemele de calcul a unor mijloace de măsurare și sisteme de achiziție cu costuri relativ scăzute;
- creșterea flexibilității inspecției dimensionale din punctul de vedere al gamei largi de parametri geometrici, dimensionali și funcționali ce pot fi măsurați și din punctul de vedere al domeniului foarte variat privind destinația reperelor prelucrate;
- creșterea flexibilității inspecției dimensionale, astfel încât soluția propusă să poată fi aplicată pentru serii mari sau mici de reperi ce diferă din punctul de vedere geometric și al gamei dimensionale. Prin aceasta s-ar reduce cheltuielile suplimentare necesare implementării de echipamente de măsurare complexe diferite pentru fiecare serie de reperi;
- găsirea unei soluții pentru a se putea alege mijlocul de măsurare optim, din punctul de vedere al productivității, al preciziei, al performanțelor și al costului;
- stabilirea teoretică a limitelor în privința folosirii mijloacelor de măsurare cu contact cu reperele testate;
- stabilirea experimentală a condițiilor pentru care procesul de inspecție dimensională este optim din punctul de vedere al preciziei și al randamentului;
- implementarea soluției propuse în practică.

Capitolul 2, Optimizarea procesului de inspecție dimensională asistat de calculator, descrie metoda prin care controlul a fost optimizat sub aspectul implementării pe standuri sau linii tehnologice a unor echipamente și interfețe hardware. Acestea, utilizând software din mediul LabVIEW, pentru o gamă largă de reperi semifabricate, elimină nevoia achiziționării de echipament scump cu software dedicat. Aplicația *Inspecția dimensională asistată în regim dinamic, I.D.A.D.vi*, creată în LabVIEW servește controlului unor procese în timp real utilizând plăci de achiziții de date numerice sau analogice la care sunt cuplate traductoarele de măsurare. Testarea experimentală a metodei propuse privind măsurarea asistată de calculator a evidențiat o serie de probleme legate de transferul datelor de la mijloacele de măsurare la calculator. Pentru eliminarea acestor neajunsuri cercetarea s-a axat asupra:

- programării algoritmilor necesari realizării unor protocoale de comunicație cât mai corecte în raport cu mijlocul folosit;
- programării unei rutine care să permită să se utilizeze simplu și rapid, sub forma unor fișiere, datele măsurate în cazul mijloacelor care nu permit transferul datelor în cursul procesului de inspecție dimensională.

În afara problemei legate de transferul datelor, aplicația *I.D.A.D.vi* tratează și aspecte legate de comanda procesului de inspecție dimensională. În acest sens, este comandat începutul și sfârșitul unui ciclu de măsurare, în concordanță cu procesul de antrenare a reperului. Mai mult, soluția înglobează o rutină de programare a unui cronometru virtual, cu ajutorul căruia se afișează viteza de antrenare. În acest mod operatorul poate ști dacă antrenarea reperului s-a făcut cu viteza prestabilită în fereastra de dialog a aplicației *I.D.A.D.vi*.

Metoda folosirii interfeței software *I.D.A.D.vi* a fost implementată pentru mai multe categorii de mijloace de măsurare constatându-se următoarele avantaje:

- flexibilitate în privința aplicării ei pentru diferite echipamente de măsurare dimensională;
- flexibilitate din punctul de vedere al folosirii diferitelor tipuri de reperi semifabricate și al diferitor parametri geometrici supuși inspecției dimensionale;

- flexibilitate din punctul de vedere al condițiilor în care se realizează inspecția dimensională (viteza de antrenare a reperului testat, numărul punctelor în care se determină abaterea de formă raportat la lungimea de măsurare etc.);
- precizie de măsurare ridicată, datorită aspectelor ce țin de comanda procesului;
- reducerea costurilor necesare, ca urmare a faptului că se bazează pe folosirea unor mijloace de măsurare și a unor sisteme de achiziție, ale căror costuri însumate sunt mult mai mici decât cele ale sistemelor complexe de măsurare, dedicate;
- simplitatea folosirii aplicației *I.D.A.D.vi* cu efect asupra reducerii costurilor necesare instruirii personalului calificat în domeniul asigurării calității în producție;
- posibilitatea obținerii de rapoarte, sub forma unor fișiere, ce conțin toate informațiile necesare cu privire la un ciclu de măsurare asistată pentru fiecare reper;
- reducerea duratei necesare procesului (Experimental s-a constatat că pentru mijloacele de măsurare ce au permis transferul datelor în timpul măsurării, durata procesului, în funcție de viteza de antrenare a reperului, a variat între 10 secunde și un minut. Pentru celelalte mijloace de măsurare, în cazul importului de fișiere generate anterior, durata unui ciclu de măsurare a variat între 1 minut și 2 minute).

Un alt aspect legat de optimizarea procesului de inspecție dimensională, s-a axat pe dezvoltarea aplicației LabVIEW, *Optimizarea echipamentului de măsurare asistată, O.E.M.A.vi*, care servește la alegerea mijlocului de măsurare optim, din punctul de vedere al criteriilor:

- randamentului procesului;
- precizia de măsurare;
- domeniul de măsurare;
- costul procesului de inspecție dimensională.

Această soluție prezintă următoarele avantaje:

- abordează trei situații distincte ce pot fi întâlnite în practică:
 - cazul în care în dotarea companiei există un singur tip de mijloc de măsurare, iar la rularea aplicației se poate ști dacă acesta poate fi folosit, cu condiția respectării celor patru criterii;
 - cazul în care în dotare există mai multe tipuri de mijloace de măsurare și se dorește alegerea celui optim din punctul de vedere al celor patru criterii;
 - situația în care nici unul dintre mijloacele de măsurare nu corespunde tuturor criteriilor, fiind necesară achiziționarea altora, astfel, aplicația putând informa utilizatorul dacă mijlocul de măsurare propus este adecvat.
- oferă într-un timp foarte scurt toate informațiile necesare utilizatorului, în vederea luării unei decizii, după caz, cu privire la folosirea, alegerea sau achiziționarea mijlocului de măsurare optim;
- este foarte flexibilă din punctul de vedere al condițiilor în care se realizează inspecția dimensională (viteza de antrenare, lungimea de măsurare, tipul de reper testat, natura materialului din care acesta este confecționat, caracteristicile mijloacelor de măsurare existente în dotare etc.).

Capitolul 3, Contribuții teoretice privind stabilirea unor condiții-limită la inspecție dimensională a fost dedicat unui studiu analitic privind utilitatea și oportunitatea extinderii aplicării metodei propuse. Acest studiu teoretic și-a propus:

- delimitarea domeniilor de aplicabilitate a metodei propuse;
- stabilirea condițiilor pentru care metoda este eficientă din punctul de vedere al preciziei cu care se realizează inspecția dimensională.

În acest scop s-a abordat analitic influența asupra preciziei de măsurare a:

- regimului dinamic de antrenare a reperelor în posturile de control. S-a urmărit stabilirea vitezelor-limită pentru care nu are loc întreruperea contactului reperului cu mijloacele de măsurare, pentru cazul standurilor experimentale. Prin acest studiu s-au determinat condițiile în care se pot obține rezultatele cele mai bune privind performanțele din punctul de vedere al compromisului precizie ridicată–durată mică a procesului de măsurare dimensională. De rezultatele obținute pe cale analitică s-a ținut cont la stabilirea condițiilor de realizare a determinărilor experimentale;
- gradului de deformare a micro-reperelor măsurate prin contact cu suprafața. Acest studiu a servit stabilirii dimensiunilor-limită a micro-reperelor de la care, pentru evitarea unei deformări ce influențează precizia, se recomandă folosirea mijloacelor de măsurare fără contact. Această cercetare a avut drept scop extinderea metodei propuse asupra unor piese speciale, folosite în domeniile micro și nano-tehnologiei.

În **capitolul 4, Contribuții experimentale privind optimizarea procesului de inspecție dimensională** descrie procedeul de realizare și de valorificare a determinărilor experimentale, cu următoarele etape:

- argumentarea necesității cercetării experimentale;
- stabilirea obiectivelor experimentelor;
- prezentarea standurilor experimentale și a caracteristicilor tehnice și funcționale ale mijloacelor de măsurare folosite;
- obținerea, stocarea, prelucrarea și interpretarea datelor.

În urma cercetării experimentale s-au tras concluzii privind:

- mijloacele de măsurare optime din punctul de vedere al preciziei;
- viteza optimă de antrenare a reperelor în timpul controlului în regim dinamic;
- factorii care influențează erorile de măsurare;
- limitele aplicării metodei propuse.

Conform concluziilor legate de performanțele fiecărui mijloc de măsurare, ca rezultat al studiului experimental, s-a putut constata că soluția privind optimizarea inspecției dimensionale poate fi practică și eficientă.

În urma determinărilor cu toate tipurile de mijloace de măsurare s-a constatat că erorile de măsurare nu sunt generate de metoda folosită, ci de o serie de factori, cum ar fi:

- rezoluția de măsurare a traductoarelor folosite;
- principiul de măsurare (cu sau fără contact);
- viteza de antrenare a reperelor în postul de control.

Capitolul 5, Implementarea soluției de optimizare a procesului de inspecție dimensională, prezintă punerea în practică a soluției care face obiectul tezei. Metoda propusă a fost aplicată la prelucrarea și măsurarea unor carcase de pompe cu roți dințate prelucrate pe instalația automatizată dezvoltată de

către I.N.C.D.M.F. București. Aplicația LabVIEW *Măsurarea abaterilor de formă a carcaselor de pompe, M.A.F.C.P.vi* vine în completarea unei aplicații software specifice, dezvoltate în mediul de programare grafică CScape, de către membrii I.N.C.D.M.F. București, în colaborare cu angajații Companiei C.I.T. Automatizări București. Deși această aplicație s-a dovedit a fi foarte eficientă din punctul de vedere al măsurării asistate în timp real, totuși s-a considerat necesară implementarea unei alte aplicații, în completarea celei dintâi, pentru prelucrarea datelor obținute prin măsurarea în timp real. În acest mod, datele măsurate în prima fază au putut fi rapid importate și prelucrate în programul creat în LabVIEW, acesta prezentând avantajul că îi oferă operatorului informații privind etapa și calitatea prelucrării suprafețelor. Acesta, după caz, poate lua decizii privind reintroducerea reperului în postul de prelucrare sau privind comanda avansului sculelor așchietoare, toate acestea în timp util. Avantajul major al implementării acestei soluții constă în rapiditatea și eficiența cu care pot fi prelucrate datele.

6.2 CONTRIBUȚII PERSONALE

În cadrul cercetării doctorale având ca obiectiv optimizarea echipamentelor și a procesului de inspecție dimensională la nivelul automatelor industriale s-au îmbinat informații obținute prin documentarea în domeniu cu o serie de contribuții personale teoretice și practice.

Capitolul 1, Stadiul actual al dezvoltării sistemelor de măsurare din componența automatelor de control, tratează problema evoluției tehnologiei pe plan mondial, în domeniul asigurării calității de prelucrare a reperelor din componența produselor finite. Contribuțiile aduse sunt:

- Realizarea unui studiu documentar amplu privind automatele de control utilizate pe plan mondial în prezent. Pe baza documentării, s-au prezentat câteva exemple de automate de control, folosite în domenii de vârf (industria auto, ingineria medicală);
- Realizarea unui studiu de nivel privind posturile de control ce echipează automatele industriale, din punctul de vedere al caracteristicilor și performanțelor;
- Studiul soluțiilor din punctul de vedere hardware și software pentru adaptarea la sistemele și mijloacele de măsurare dimensională a echipamentelor de calcul pentru înregistrarea, stocarea și prelucrarea datelor.

Capitolul 2, intitulat Optimizarea procesului de inspecție dimensională asistat de calculator, tratează problema implementării sistemelor software și hardware la posturile de măsurare dimensională ale liniilor de fabricație. Contribuțiile originale aduse în vederea rezolvării eficiente a acestei probleme sunt :

- dezvoltarea aplicațiilor *Inspectia dimensională asistată, în regim static, cu traductoarele inductive Hottinger, (I.D.A.S₁.vi), Inspectia dimensională asistată, în regim static, cu traductorul incremental HEIDENHAIN (I.D.A.S₂.vi) și Inspectia dimensională asistată, în regim static, cu traductoarele pneumatice (I.D.A.S₃.vi)*, în mediul de programare grafică LabVIEW. Acestea au fost dedicate inspecției dimensionale în regim static cu două tipuri de mijloace de măsurare. O atenție deosebită a fost acordată aplicațiilor legate de comunicarea cu sistemele de măsurare, de folosirea interfețelor cu calculatorul, precum și a sistemelor de achiziție a datelor;
- implementarea sistemelor hardware ce presupun cuplarea la calculator a fiecărui mijloc de măsurare în parte. În acest scop s-a procedat la determinarea principiului de funcționare și la

stabilirea, după caz, a caracteristicilor de măsurare pentru fiecare mijloc folosit la determinările experimentale;

- dezvoltarea metodei de asigurare a inspecției dimensionale asistate de calculator, cu posibilitatea implementării pe automatele de control, în cadrul liniilor de fabricație, soluția fiind folosită și în realizarea determinărilor experimentale. Această metodă constă în aplicația *Inspecția dimensională asistată în regim dinamic, I.D.A.D.vi*, dezvoltată în mediul LabVIEW, pentru măsurarea în regim dinamic, a acelorași parametri și cu aceleași mijloace, ca și în cazul aplicației pentru inspecția dimensională în regim static. În scopul dezvoltării acestei metode, s-au găsit soluții de implementare a unor elemente senzoriale cuplate la sistemele de achiziție a semnalelor de la mijloacele de măsurare. Acest aspect se referă în primul rând la optimizarea procesului de comandă a unui ciclu de măsurare asistată, astfel fiind îmbunătățită precizia, chiar și în condițiile în care acest proces este realizat în regim dinamic. Un alt aport se referă la caracterul flexibil al aplicației prin adaptarea acesteia în funcție de situația întâlnită de operator în cazurile reale;
- găsirea unei soluții pentru alegerea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al mai multor criterii (cost, precizie, performanțe, randament). Aceasta constă în dezvoltarea aplicației software *Optimizarea echipamentului de măsurare asistată, (O.E.M.A.vi)*, în mediul LabVIEW, având un caracter flexibil și fiind eficientă și ușor de utilizat.

Capitolul 3, Contribuții teoretice privind stabilirea unor condiții-limită a procesului de inspecție dimensională, abordează analitic unele aspecte ce țin de limitările folosirii mijloacelor de măsurare cu contact la inspecția dimensională automatizată. Pentru clarificarea acestor aspecte au fost aduse următoarele contribuții:

- realizarea unui studiu analitic pentru determinarea influenței regimului dinamic asupra preciziei de măsurare dimensională, în funcție de tipul mijlocului de măsurare;
- realizarea în *LabVIEW* a aplicațiilor *Modelarea analitică a comportării dinamice a pieselor antrenate în rotație, (M.A.D.R.vi)* și *Modelarea analitică a comportării dinamice a pieselor antrenate în translație, (M.A.D.T.vi)*. Algoritmii de programare s-au axat pe relațiile analitice de calcul a vitezelor-limită de antrenare a reperelor, la care contactul dintre mijlocul de măsurare și reperul măsurat devine incert. Ca date de intrare s-au definit caracteristicile tehnice ale unor mijloace de măsurare cu contact. La rularea aplicației s-au obținut informații privind vitezele-limită pentru fiecare mijloc de măsurare în parte;
- simulări, prin analiza cu element finit, privind deformarea micro-reperelor sub acțiunea forței de măsurare. Aceste simulări s-au realizat în mediul software *ANSYS*, pentru diferite tipuri de micro-repere și au avut drept rezultat stabilirea dimensiunilor-limită ale micro-reperelor pentru care soluția folosirii mijloacelor de măsurare cu contact nu mai poate fi folosită.

Capitolul 4, Contribuții experimentale privind optimizarea procesului de inspecție dimensională, tratează latura experimentală a cercetării, fiind implementată și testată, în condiții de laborator, metoda propusă. Principalele contribuții aduse în această privință sunt :

- Echiparea a două standuri cu mijloace de măsurare pe diferite principii, în scopul unor determinări experimentale privind inspecția dimensională a două tipuri reprezentative de repere. Pe baza contractelor de cercetare CNCSIS și CEEX s-au achiziționat patru tipuri de

traductoare de deplasare de mare precizie, precum și componente electronice pentru adaptarea acestora la calculator;

- Adaptarea standurilor experimentale, astfel încât acestea să poată fi implementate ca posturi de control în regim dinamic ce intră în structura automatelor de control industriale. Unul dintre standuri a fost echipat cu un motor de antrenare în rotație a reperului supus studiului, motor alimentat de la o sursă dublă de tensiune. În cazul celui alt stand, pentru antrenarea în translație a reperelor supuse măsurării dimensionale, s-a programat un ciclu repetitiv de măsurare, cu posibilitatea modificării rutinei de program ce comandă viteza de antrenare;
- Realizarea unei aplicații hardware și software pentru controlul foarte strict al vitezelor de antrenare a reperelor în posturile de control ale celor două standuri. Prin aceasta s-a urmărit ca vitezele de antrenare să fie bine cunoscute și menținute constante pe tot parcursul unui ciclu de măsurare. S-a adaptat și implementat un sistem mecatronic pentru stabilirea și monitorizarea fiecărei viteze de antrenare a reperelor;
- Aplicarea și testarea riguroasă a metodei propuse pentru măsurarea asistată, prin comparare cu metodele clasice, la nivelul celor două standuri experimentale. Prin aceasta s-au identificat foarte exact care sunt cele mai bune condiții de măsurare dimensională, în privința regimului dinamic, pentru care metoda dezvoltată, în privința controlului asistat, este cea mai eficientă. De asemenea, s-au putut stabili performanțele din punctul de vedere al randamentului și al preciziei, ale fiecărui mijloc de măsurare folosit la determinările experimentale. Totodată, prin testarea metodei de măsurare asistată, s-au identificat principalele limite de aplicare a metodei propuse, probleme ce țin într-o mai mare măsură de performanțele mijloacelor de control folosite, decât de metoda aplicată;
- Realizarea aplicației LabVIEW, *Statistica erorilor de măsurare induse în regimul dinamic, (S.T.E.M.D.vi)*, pentru evaluarea performanțelor în regim dinamic ale mijloacelor de măsurare folosite în cadrul cercetării experimentale;
- Prelucrarea statistică eficientă a rezultatelor experimentale obținute, folosind mediul software ORIGIN5. Pe baza rezultatelor obținute s-au tras concluzii pertinente cu privire la viteza optimă de antrenare a reperelor, din punctul de vedere al preciziei de măsurare. De asemenea s-au putut trage concluzii privind mijlocul optim de măsurare, din punctul de vedere al preciziei și al randamentului. În ceea ce privește mijloacele de măsurare pe principiul fără contact, s-au putut stabili domeniile în care acestea pot fi folosite cu succes din punctul de vedere al eficienței și al preciziei;
- Programarea în mediul LabVIEW a aplicației *Optimizarea asistată a echipamentului experimental, (O.A.E.E.vi)*, în care, ca date de intrare s-au introdus rezultatele cercetării experimentale și caracteristicile tehnice ale mijloacelor de măsurare folosite. La rularea aplicației s-au obținut informații privind mijlocul de măsurare optim din punctul de vedere al preciziei și al randamentului, precum și informații privind viteza optimă de antrenare a reperelor, din aceleași puncte de vedere.

Capitolul 5, Implementarea soluției de optimizare a procesului de inspecție dimensională, abordează problema aplicării în practică a soluției propuse privind măsurarea dimensională asistată de calculator, în cadrul liniilor tehnologice de producție. În acest capitol este descris modul în care inspecția

dimensională asistată a fost implementată în cadrul unei instalații automate de prelucrare a carcaselor de pompe cu roți dințate. Principalele contribuții aduse în acest scop sunt următoarele:

- Punerea la dispoziție și acordarea de asistență privind folosirea unor echipamente pentru măsurarea dimensională;
- Îmbunătățirea soluției de inspecție dimensională, prin crearea în LabVIEW a aplicației *Măsurarea abaterii de formă a carcaselor de pompe, (M.A.F.C.P.vi)*. În acest scop s-a urmărit obținerea unor informații mai complete și mai concludente privind rezultatele măsurării dimensionale. Aplicația propusă și implementată, *(M.A.F.C.P.vi)*, a avut la bază aplicația *(I.D.A.D.vi)*, în scopul adaptării procesului de inspecție dimensională asistată la cazul carcaselor de pompe cu roți dințate. Algoritmii de programare al aplicației *(M.A.F.C.P.vi)* a fost structurat pe același principiu ca și cel al aplicației *I.D.A.D.vi*, cu deosebirea că aici, a fost inclusă o rutină pentru afișarea rezultatelor privind calitatea suprafeței prelucrate. Avantajele programului LabVIEW *(M.A.F.C.P.vi)* constau în faptul că aceasta poate furniza informații utile operatorului, astfel încât acesta să poată lua, după caz, măsuri, chiar în fazele procesului de prelucrare a reperelor. Prin aceasta se evită apariția rebuturilor, făcându-se economie de timp și de resurse. Prin rularea aplicației *(M.A.F.C.P.vi)* se asigură o completare a informațiilor privind procesul de inspecție dimensională, acestea având caracter concludent;
- testarea aplicației propuse, pentru o serie fișiere de date privind abaterea de formă a reperelor prelucrate. Pe baza fișierelor de date, s-au putut identifica mai multe situații, acestea constituind etape parcurse în cadrul procesului de prelucrare. Astfel, soluția propusă în vederea completării procesului de inspecție dimensională asistată s-a dovedit a fi flexibilă, din punctul de vedere al fiecărui caz legat de calitatea prelucrării suprafețelor unei carcase de pompă.

Contribuțiile personale în privința realizării de aplicații software s-au materializat prin dezvoltarea a 11 programe realizate în *LabVIEW*, fiind utilizate la cercetare ca instrumente virtuale disponibile pentru realizarea inspecției dimensionale în laborator sau în producția industrială. Acestea sunt:

1. *Inspecția dimensională asistată în regim dinamic, (I.D.A.D.vi);*
2. *Optimizarea echipamentului de măsurare asistată, (O.E.M.A.vi);*
3. *Măsurarea abaterii de formă a carcaselor de pompe, (M.A.F.C.P.vi);*
4. *Inspecția dimensională asistată, în regim static cu traductoarele inductive HOTTINGER, (I.D.A.S.1.vi);*
5. *Inspecția dimensională asistată în regim static, cu traductorul incremental HEIDENHAIN, (I.D.A.S.2.vi);*
6. *Inspecția dimensională asistată în regim static, cu traductorul pneumatic, (I.D.A.S.3.vi);*
7. *Statistica erorilor de măsurare, induse în regimul dinamic, (S.T.E.M.D.vi);*
8. *Modelarea analitică a comportării dinamice pentru piesele antrenate în rotație, (M.A.D.R.vi);*
9. *Modelarea analitică a comportării dinamice a reperelor antrenate în translație, (M.A.D.T.vi);*
10. *Optimizarea asistată a echipamentului experimental, (O.A.E.E.vi);*
11. *Comandă măsurare, (CMD.M.vi).*

6.3 DISEMINAREA ȘI VALORIFICAREA REZULTATELOR

Cercetările teoretice și experimentale realizate pe parcursul elaborării tezei au condus la o serie de concluzii asupra modului în care managementul și asigurarea calității au putut fi optimizate din mai multe puncte de vedere.

Rezultatele cercetării doctorale s-au valorificat prin publicații în reviste de specialitate, în volumele unor conferințe naționale și internaționale și în contracte de cercetare, după cum urmează:

- 5 articole publicate în volumele conferințelor internaționale, cotate ISI.
- 23 de articole publicate în volumele conferințelor internaționale, cu comitet de program;
- 2 articole publicate în reviste naționale, cotate CNCSIS, din categoria B și B+;
- 3 articole publicate în conferințe naționale;
- 1 carte în curs de publicare;
- 3 contracte de cercetare;
- 11 aplicații în mediul virtual *LabVIEW*, în total 34 de titluri, 11 aplicații software și 3 contracte de cercetare.

Dintre articolele publicate, 3 au fost realizate ca **unic autor** (vezi bibliografia [B5], [B28], [B33]), 21 ca **prim autor** (vezi bibliografia [B2], [B6], [B7], [B8], [B9], [B10], [B11], [B12], [B13], [B16], [B17], [B18], [B19], [B20], [B21], [B23], [B25], [B26], [B27], [B30], [B31]), 9 în calitate de coautor (vezi bibliografia [D1], [D2], [H4], [O8], [T2], [T8], [T1], [Z1], [Z2]).

În cadrul cercetării s-au realizat 11 aplicații software, create în mediul LabVIEW (specificate în subcapitolul 5.2).

Participarea la contractele de cercetare s-a realizat după cum urmează:

1. Contract CNCSIS, tip TD, tema nr. 2, cod 293, numărul 27684/14.03.2005, derulat pe perioada anilor 2005 și 2006, având titlul **Contribuții aduse procesului de măsurare la nivelul posturilor de control ale automatelor industriale – director de program;**
2. Contract de excelență, CEEX, numărul 924 din 2005, cu durata de 3 ani, având titlul **Cercetări în domeniul managementului modelării, proiectării și fabricației sistemelor mecatronice de înaltă precizie, cu aplicație în industrie** (director: prof. dr. ing. Luciana CRISTEA) – **membru în colectivul de cercetare;**
3. Contract de parteneriat în cercetare nr. 2467/3.10.2005 cu durata de 4 ani, având titlul **Realizarea de sisteme mecatronice de înaltă rezoluție pentru manipularea, transportul și controlul produselor pe linii tehnologice - membru în colectivul de cercetare.**

Cercetările s-au materializat prin cele 34 de titluri, 11 aplicații software și 3 contracte de cercetare ce s-au finalizat prin valorificarea rezultatelor în privința implementării soluției propuse în scopul optimizării procesului de inspecție dimensională pe liniile automate de producție.

6.4 DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Având în vedere concluziile privind avantajele și unele limitări ale metodei propuse, se deschid noi orizonturi privind cercetarea în domeniul asigurării calității în producție, pe liniile automatizate de fabricație. În acest scop, direcțiile de continuare a cercetării ar putea viza:

- extinderea metodei pentru repere cu geometrie mai complexă;
- extinderea metodei pentru alte tipuri de mijloace de măsurare;

- creșterea gradului de automatizare prin eliminarea intervenției operatorului uman în luarea deciziilor privind corecțiile impuse de rezultatele controlului asupra parametrilor tehnologici de prelucrare;
- dezvoltarea unor soluții privind rularea ca fișiere executabile a aplicațiilor LabVIEW, pentru inspecția dimensională asistată, în vederea reducerii costurilor necesare licenței;
- implementarea pe scară mai largă la nivel industrial.

6.5 CONCLUZII FINALE

- Obiectivul principal al studiului care face obiectul tezei de doctorat a fost găsirea unor soluții de reducere a costurilor controlului dimensional pe liniile tehnologice de prelucrare automată a reperelor, cu respectarea cerințelor de precizie și de productivitate impuse de funcționalitatea acestora.
- Studiul a pornit de la o documentare privind stadiul de dezvoltare la nivel mondial a sistemelor de control dimensional și include contribuții teoretice și practice privind inspecția dimensională asistată:
 - realizarea de instrumente virtuale pentru măsurarea în regim static și dinamic;
 - realizarea unui instrument virtual pentru alegerea mijlocului de măsurare optim din punctul de vedere al costului, al performanțelor și al randamentului procesului;
 - analiza teoretică a influenței regimului dinamic și a forței de contact asupra preciziei de măsurare;
 - echiparea unor standuri de măsurare cu traductoare conectate la calculator și realizarea de determinări comparative în condiții variate;
 - culegerea, prelucrarea, stocarea și interpretarea datelor;
 - implementarea soluției experimentate în laborator pe o linie de fabricație industrială.
- Analiza rezultatelor cercetării relevă că soluția mecatronică propusă răspunde obiectivului stabilit pentru o categorie largă de situații;
- Soluția propusă a putut fi implementată pe un caz concret;
- Diseminarea rezultatelor s-a făcut la nivel național și internațional prin articole în diferite publicații și comunicări în cadrul unor reuniuni științifice;
- Continuarea cercetării poate conduce la extinderea domeniului de aplicare și la creșterea nivelului de automatizare a procesului.

Monografia cuprinde **154 pagini** cu **27 de tabele** și **161 de figuri**. Pentru documentare au fost consultate **183 de lucrări** menționate ca referințe bibliografice.

Cercetările teoretice și experimentale s-au desfășurat pe parcursul a șase ani.

Autorul este profund recunoscător tuturor persoanelor și instituțiilor care l-au sprijinit în acest efort de durată, precum și celor care, după citirea tezei, vor face unele sugestii privind continuarea cercetărilor în domeniu.

BIBLIOGRAFIE

[A]

- [A1] Alexandrescu, N.; Besnea, D., Dontu, O. - *Some problems regarding the design and execution of mechatronics parts using CNC centers*, Bulletin of the Politechnical Institute of Jassy, Romania, 2008, ISSN: 1011-2855;
- [A2] AEROEL SRL, Italia – *High Precision LASER Micrometers and Gauges for Non-contact Diameter*, documenta ie Internet, site: www.aeroel.it, accesat în luna februarie 2004;
- [A3] General Tutorial – *Atomic Force Microscopes* - documenta ie Internet; site: www.pacificnanotech.com;
- [A4] Anghel, Alina,; Sârbu, I.; Scurtu, D. – *Virtual instrumentation in data acquisition and analysis of tool wear monitoring*, the 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [A5] Aurelian, F. (absolvent al sec iei de MF a Universității „TRANSILVANIA” Brașov – *Studiu asupra cercetărilor și realizărilor în domeniul echipamentelor de măsurare cu LASER* – Lucrare de Dizerta ie, 2004;
- [A6] Andrei, T. – *Contactul real al suprafe elor de frecare*, Editura Academiei Române, București, 1990, ISBN 973-27-0107-2;

[B]

- [B1] Barreiro, J.; Alaiz, R.; Alegre, E. and Ablanado, D. – *Surface finish control in machining processes using textural descriptors based on moments*, 6th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia;
- [B2] Braun, B.; Beca, P.; Olteanu, C.; Gheorghe, Gh. - *On the post process dimensional control aided by computer*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [B3] Braun B. – *Realizarea de sisteme mecatronice de înaltă rezolu ie pentru manipularea, transportul și controlul produselor pe linii tehnologice de transfer* (PRELCAR, Etapa III, Faza 3, *Definirea și conceperea softului de control* – Raport 4, Brașov 2006;
- [B4] Braun B. – *Realizarea de sisteme mecatronice de înaltă rezoluție pentru manipularea, transportul și controlul produselor pe linii tehnologice de transfer* (PRELCAR, Etapa V, Faza 5 – *Efectuări de teste și verificări* – Raport 4, Brașov 2007;
- [B5] Braun, B. - *The virtual instrumentation in the dimensional control 2nd part* - Buletinul Univ. „TRANSILVANIA” Brasov, 2006, vol. 13(48), New Series, Series A, ISSN 1223 - 9631;

- [B6] **Braun, B.**; Costăș, Cristina; Drugă, C. - *The virtual instrumentation in the automatic dimensional control process optimization*, 6th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, 24-26 Aprilie 2008, Tallinn, Estonia, ISBN 978-9985-59-783-5;
- [B7] **Braun, B.**; Ciprian O.; Corneliu D. - *Virtual metrological instrument for the dimensional control accuracy statistics*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2008, secția CONSTRUCȚII DE MAȘINI, ISSN 1011-2855, Proceedings of the 9th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, 12th – 14th June 2008, Iasi, Romania, COMEFIM '9;
- [B8] **Braun, B.**; Drugă, C.; Costăș, Cristina. - *The experimental determining of the dynamic dimensional control about the measuring precision*, 6th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia;
- [B9] **Braun, B.**, Drugă, C., Olteanu, C. - *The statistical evaluation of the aided by pc measuring results, via Lab VIEW- The 2nd International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2007 11 – 13 OCTOBER 2007, Brasov, Romania, ISBN 978 -598 –117-4;*
- [B10] **Braun, B.**; Drugă, C., Radu, C. - *Controlul dimensional fără contact – The 7th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering COMEFIM 7, Bucharest, 27th – 29th May 2004, ISBN 973–86886–1–2;*
- [B11] **Braun, B.**; Drugă, C.; Turcu Cătălina - *The use of the virtual instrumentation for the dimensionial control – first part*, 1st International Conference, "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2005, 20 – 22 October 2005, Brașov, ISBN 973-635-593-4;
- [B12] **Braun, B.**; Drugă, C.; Turcu Cătălina; Cismaru, M. - *Virtual instrument for the temperature measurement*, International Workshop "Advanced Researches in Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMAT, 18 – 20 October 2006, Brașov, Romania, ISBN 973-635-823-2;
- [B13] **Braun, B.**; Corneliu D., Cătălina Turcu, Ciprian O. - *The surface quality inspection, aided by computer*, 11th International Research Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2007, 5–9 september, 2007, Hammamet, Tunisia, ISBN 978–9958–617–34–8;
- [B14] Binning G.; Quarte, C. F. - *Atomic force microscope*, Physical .Review Letters, 1986;
- [B15] Bradshaw, G., - *Non-Contact Surface Geometry Measurement Techniques*, Trinity College, Dublin, 1998/1999;
- [B16] **Braun, B.**; Olteanu, C. - *The modeling of the radial deviations measuring process for the revolution probes, using the type and characteristic of the displacement inductive transducers – the 8th International Conference of Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM'8, June 8-10, 2006 – CLUJ-NAPOCA, ROMANIA, Acta Technica Napocensis, Series Applied Mathematics and Mechanics 49 vol. III 2006, ISSN 1221 – 5872;*

- [B17] **Braun, B.**, Olteanu, C. - *The modeling of the small dimension probes deformations submitted to the dimensional control with contact principle*, 12th International Research /Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", TMT, Istanbul, Turcia, 26-30 august, 2008, ISBN: 978-9958-617-38-9
- [B18] **Braun, B.**; Olteanu, C; Drugă, C - *Dynamic influence modeling of the contact between measured probe and displacement transducers*, 10th International Research / expert Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2006, Barcelona (Spain), 11 – 15 september, 2006;
- [B19] **Braun, B.**; Olteanu, C; Drugă, C – *The active control technical process optimization* – 11th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 5 – 9 september, 2007, ISBN 978-9958-617-34-8;
- [B20] **Braun, B.**, Olteanu, C. and Drugă, C.- *The aided by PC dimensional control process modularization*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2008, secția CONSTRUCȚII DE MAȘINI, ISSN 1011-2855, Proceedings of the 9th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, 12th – 14th June 2008, Iasi, Romania, COMEFIM '9;
- [B21] **Braun, B.**; Beca, P.; Olteanu, C.; Marinescu, Cristiana; Gheorghe, I. Gh. – *Some research about the active process optimisation*, 12th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", TMT 2008, Istanbul, Turkey 26 - 30 August, 2008;
- [B22] **Braun B.**; Beca, P. – *Realizarea de sisteme mecatronice de înaltă rezoluție pentru manipularea, transportul și controlul produselor pe linii tehnologice de transfer* (PRELCAR, Etapa VIII, Faza 8 – *Diseminarea rezultatelor obținute* – Raport 4, Brașov 2008;
- [B23] **Braun, B.**; Olteanu, C.; Drugă, C. - *The influence of the probes brightness surfaces about the dimensional control precision in case of the use of non contact displacement transducers*, The 2nd International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2007 11 – 13 OCTOBER 2007, Brasov, Romania, ISBN 978 -598 –117-4;
- [B24] BETA LaserMike – *Precision Measurement & Control Systems* – documentație Internet, www.betalasermike.com - accesat în mai, 2004;
- [B25] **Braun, B.**; Turcu, Cătălina; Drugă, C. - *The verifying of the measuring precision of the inductive displacement transducers, via the virtual instrumentation* - First National Conference COPTO-MIM, 9-11 June 2006 Brașov - Optometry and Medical Engineering;

- [B26] **Braun, B.**, Turcu, Cătălina; Drugă, C. - *The electrical conductivity of soil measurement with the virtual instrumentation*, International Workshop "Advanced Researches in Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMAT, 18 – 20 October 2006, Brașov, Romania, ISBN 973-635-823-2;
- [B27] **Braun, B;** Drugă, C; Turcu, C - *The dimensional control of some components who equip the bio-medical apparatus* - First National Conference COPTOMIM, 9-11 June 2006 Brașov - Optometry and Medical Engineering;
- [B28] Burakowski, T.; Wierzchrow, T. – *Surface Engineering of Metals, Boston, CRC Press, New York, USA, 1999;*
- [B29] **Braun, B;** Ionescu, E - *Implementarea sistemelor programabile pentru automatizarea fluxurilor tehnologice* - The 7th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM 7, Bucharest, 27th – 29th may, 2004, ISBN 973-86886-1-2;
- [B30] **Braun, B,** Olteanu, C, Drugă C - *On the non contact dimensional control of some probes used in Biomechanics*, International Conference on Biomechanics & Biomaterials, March, 18, 19 & 20, 2009 Meknes, Morocco;
- [B31] Besnea, D.; Donțu, O.; Alexandrescu, N.; Beca, P. – *Some problems regarding the design and execution of mechatronic parts using CNC centers*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2008, secția CONSTRUCȚII DE MAȘINI, ISSN 1011-2855, Proceedings of the 9th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, 12th – 14th June 2008, Iasi, Romania, COMEFIM '9;
- [B32] **Braun, B.** – *Ultramodern scanning testing systems*, Buletinul Universității TRANSILVANIA din Brașov, volumul 11 (46), seria A, Brașov, 2004, ISSN 1223-9631;

[C]

- [C1] Catalogue 2002 – 1, *Exemples d'applications, page 11 - Tracabilite sur ligne de production* - documentație Internet;
- [C2] Cristea, Luciana; Baritz, Mihaela; Roșca, Ileana - *Modular reorganisation of the automatic system for the micro-bearings dimensional inspection*, International Workshop "Advanced Researches in Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMAT, 18–20 October 2006, Brașov, Romania, ISBN 973-635-823-2;
- [C3] Cristea, Luciana.; Repanovici, Angela.; Curtu, I; Cristea, D. – *The improvement of performances in automatic dimensional control, an important way to quality assurance in mechanical engineering*, 10th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Lloret de mar, Spain, 11 – 15 September, 2006, ISBN 9958-617-30-7;

- [C4] Chambreuil, M; Fouilleux, S. – *Les capteurs de déplacement – Rapport de projet*, INSA Rouen, 2001 – documentație Internet;
- [C5] Cristea, Luciana; Ionescu, E.; Olteanu, C.–*Automate de control si deservire* – Repografia Univ. "Transilvania", Brasov, 1996;
- [C6] Cristea, Luciana; Emil, I.; Olteanu, C. – *Automate de control în industrie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1998, ISBN: 973-30-5047-4;
- [C7] Cristea, Luciana– *Tehnologii și sisteme de control*, Editura INFOMARKET Brașov, 2000, ISBN:973–99827–5–1;
- [C8] Cristea, Luciana; Baritz, Mihaela – *Research concerning the improvement of bearings quality and performances using automatic systems*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2008, secția CONSTRUCȚII DE MAȘINI, ISSN 1011-2855, Proceedings of the 9th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, 12th – 14th June 2008, Iasi, Romania, COMEFIM '9;
- [C9] Cristea, Luciana – *Automat Device for Bearings aut of Roudness Measurement*, The 7th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering COMEFIM 7, Bucharest, 27th – 29th May 2004, ISBN 973–86886–1–2;
- [C10] Cristea, Luciana.- *Considerations regarding the improvement of throust bearings automatic dimensional inspection*, Acta Technica, Cluj-Napoca, Romania, 2006, ISSN: 1221-5872;
- [C11] Cristea, Luciana – *Contribution to the mechatronic conception of the automat dimensional inspection systems*, 11th International Research Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2007, 5–9 september, 2007, Hammamet, Tunisia, ISBN 978 – 9958 – 617 – 34 – 8;
- [C12] *Lucrările celei de a III – a Conferințe Naționale de Mecanică Fină și Optică*, COMEFIM 3, vol. II, Brașov 1991, Repografia Universității „TRANSILVANIA” Brașov;
- [C13] Cottet, F.; Ciobanu, O. – *Bazele programării în LabVIEW*, Editura MATRIX ROM București, 2008, ISBN 973-9390-56-0;
- [C14] Cristea, Luciana.; Olteanu, C; Repanovici, Angela.; Curtu, I.; Olteanu, Felicia.–*Analiza structurală a pieselor în condițiile modularizării sistemelor automate de control dimensional*, The 6th International Conference on Precision Mechanics and Mechatronics, COMEFIM '6, 10 – 12 October, Brașov, Romania, ISSN 1220-6830;
- [C15] Olteanu, C.; Toma, Cristina – *Mijloace mecanice și hidropneumatice de măsurare – Îndrumar de laborator*, Editura Universității TRANSILVANIA Brașov, 1991;
- [C16] Cristea Luciana, Repanovici Angela – *Research concerning the usage of the group technology concept in the modular design and optimisation of the bearings automatic dimensional*

inspection systems, 11th International Research Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2007, 5–9 september, 2007, Hammamet, Tunisia, ISBN 978 – 9958 – 617 – 34 – 8;

- [C17] Cristea, Luciana; Repanovici, Angela; Olteanu, C.; Curtu, I. - *Dimensional inspection Microsystems for miniature bearings*, *Revista Mecatronica* nr. 3/2004, ISSN 1583-7653, 2004;
- [C18] Cristea, Luciana; Repanovici, Angela – *Automat device for micro-bearings dimensional measurement*, 10th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Lloret de mar, Spain, 11 – 15 September, 2006, ISBN 9958-617-30-7;
- [C19] Cristea Luciana-*Automate de control și de servire*, Reprografia Universității "TRANSILVANIA" Brașov, 1995;
- [C20] Cristea Luciana – *Research concerning the improvement of bearings quality and performances, using automatic systems*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [C21] Cristea, Luciana.; Repanovici, Angela. ; Olteanu, Felicia. ; Curtu, I. ; Cristea, D. – *Research regarding the improvement of performances of automatic dimensional control and assembling used in bearing production*, Proceedings of 8th International research /expert conference, "Trends in the development of machinery and associated technology" TMT 2004, 15 – 19 September, 2004, NEUM, Bosnia and Herzegovina, ISBN 9958-617-221-8;

[D]

- [D1] Drugă, C.; **Braun, B.**; Radu, C – *Controlul dimensional prin mijloace moderne* - The 7th International Conference on Mechatronics and precision Engineering, COMEFIM 7, Bucharest, 27th – 29th May 2004, ISBN 973–86886–1–2;
- [D2] Drugă, C.; **Braun, B.**; Cismaru, M.; Turcu, Cătălina- *The use of the virtual instrumentation for the dimensional control – second part*, 1st International Conference, "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2005, 20 – 22 October 2005, Brașov, ISBN 973-635-593-4;
- [D3] Dodoc, P. – *Metode și mijloace de măsurare moderne în Mecanica Fină și Construcția de mașini*, Editura TEHNICĂ, București, 1978;
- [D4] Demian, T. – *Elemente constructive de Mecanică Fină*, Editura Didactică și Pedagogică București, 1976;
- [D5] Demian, T. – *Mecanisme de mecanică fină*, Editura Didactică și Pedagogică București, 1982;
- [D6] Drugă, C.- *The virtual instrumentation in the dimensional control - first part*-Buletinul Univ. „TRANSILVANIA” Brasov, 2006, vol. 13(48), New Series, Series A, ISSN 1223 - 9631;

[D7] Diatcu, E.; Armaș, I. – *Fiabilitatea sistemelor mecatronice*, Editura Hyperion XXI, București, 1998;

[E]

[E1] Enescu, I.; Lepădătescu, B.; Enescu, D.; Cotoros, Diana. – *Numerical methods for determination of the elastic stress and deformations in rolling bearings*, 6th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, 24-26 Aprilie 2008, Tallinn, Estonia, ISBN 978-9985-59-783-5;

[E2] Enescu, I. - *Numerical methods for determination the elastic tensions applications on rolling bearings*, International Workshop "Advanced Researches in Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMAT, 18 – 20 October 2006, Brașov, Romania, ISBN 973-635-823-2;

[E3] Enescu, I.; Vlase, S.; Lepădătescu, B., Purcărea, Ramona; Dumitrașcu, Adela – *Non-Hertzian normal contact of elastic body model by finite elements*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;

[F]

[F1] Furnică (Cristea), Luciana. ș.a.- *Metodă și automat pentru controlul inelelor interioare de rulmenți interioare de rulmenți radiali cu bile, după operația de strunjire finală*, Simpozionul național „Tehnologii și utilaje pentru controlul și atestarea calității și fiabilității produselor în domeniul construcției de mașini”, București, 1987;

[F2] Fetvacii, M.,C.; Gerdemeli, I.; Erdil, B.- *Finite element modelling and static stress analysis of simple hooks*, 10th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Lloret de mar, Spain, 11 – 15 September, 2006, ISBN 9958-617-30-7;

[F3] Furnică (Cristea), Luciana. ș.a.- *Automat pentru controlul și sortarea interioare ale rulmenților radiali-axiali cu role conice*, Simpozionul național „Tehnologii și utilaje pentru controlul și atestarea calității și fiabilității produselor în domeniul construcției de mașini”, București, 1987;

[F4] Francis, T.; Mark, A. – *Handbook of Dimensional Measurement*, Third Edition, Industrial Press Inc., New York, 1994, ISBN 0 – 8311-3053-9;

[G]

[G1] Grigoriev, I., A.; Dvoretzki, E., R. – *Controlul dimensional în construcția de mașini*, Editura TEHNICĂ, București, 1961;

[G2] Grama, L., Gabor, M.; Pop, C.– *Constructive and technological solutions applicable to superfinishing systems of symmetrical revolution surfaces*, Annals of Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, volume VII (XVII), 2008, ISSN 1583-0691;

[G3] Groot P. - *How Does the Pegasus Flying Height Tester Measure n and k*, ZYGO, USA, March, 1998;

[G4] Gheorghe I., Gh. – *Intelligent system with photoelectric transducer with incremental disks for the angle displacement measurement in industrial environment*, the 8th International Conference of Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM'8, June 8-10, 2006 – CLUJ-NAPOCA, ROMANIA, Acta Technica Napocensis, Series Applied Mathematics and Mechanics 49 vol. III 2006, ISSN 1221 – 5872;

[H]

[H1] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH – *Induktives Meßsystem für Betrieb mit 5 / 50 kHz – Tragerfrequenz – Wegaufnehmer W 1E/O und W 1EL/O – litzen Stecker* – documentație tehnică G-Nr. 112.54/57, F-Nr. 8224, Germania, 1977;

[H2] MT 2571 HEIDENHAIN *Montageanleitung* – Broșură de instrucțiuni pentru punerea în funcțiune a traductorului;

[H3] HEIDENHAIN - *Langen messen. Messgeräte für das Messen von Langen* – documentație Internet, www.heidenhain.de - accesat în februarie 2006;

[H4] Hoffmann Cristina; Gumpel P., Zamfira S.; Braun, B. - *Evaluation of the pitting corrosion in automotive exhaust systems*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;

[H5] K. Hegensbach, K. – *Fachwissen Metall – Grundstufe und Fachstufe 1* - Stam – Verlag Koln – Munchen, 2001;

[H6] Hirpa, L. – *Finite element based genetic algorithm for structural design optimization*, 10th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Lloret de mar, Spain, 11 – 15 September, 2006, ISBN 9958-617-30-7;

[H7] Helio Rondo - *Bedienungsaileitung Helio – Rondo*, version 3.2 Franzosich, 2001, Manuel d'instructions;

[H8] HBM - *Displacement transducers*, documentație Internet <http://www.hbm.com> - accesat în iunie 2005;

[H9] Hurley, J.; Voosen, K. – *PACs for Machine Control*, Texas A&M University, 2004;

[H10] HEIDENHAIN – *Length measurements. Sealed linear encoders*, Catalog of products, site: https://www.heidenhain.co.uk/en_UK/products/linear-encoders/, 2018.

[I]

[I1] Ionescu E.; Olteanu, C.; Cristea, Luciana – *Acționări și măsurări pneumatice*, Editura Tehnică INFO Chișinău, 2002;

[I2] Imrak, E.; Gerdemeli, I.; Erdik, A. – *Linear and nonlinear finite element modeling and stress analysis of portal cranes*, 10th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of

Machinery and Associated Technology", TMT 2006, Lloret de mar, Spain, 11 – 15 September, 2006, ISBN 9958-617-30-7;

- [13] Iordache P. – *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice*, Editura Universității „TRANSILVANIA” Brașov, 1992;
- [14] INFOTEC - *Stylets pour Qtek* - documentație Internet, www.infotec-service.com, accesat în luna decembrie 2002;
- [15] Modele IW 120 [15] - *Capteurs inductifs de déplacement lineaire* – documentație Internet, site: www.axom.fr - accesat în martie 2004 documentație Internet;
- [16] IXTHUS. *Capacitance Sensors* – documentație Internet, site: <http://www.ixthus.co.uk/contact.html> - accesat în martie 2004;

[J]

- [J1] Joan, V.; Hernan, C.; Gonzalez, R.; Jose A.; Marzo, O. - *Surface roughness components in high-speed milling*, 9th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26 – 30 September, 2005, ISBN 9958-617-28-5;
- [J2] Joan, V.; Jose A.; Marzo, O.; Hernan C. Gonzalez, R. – *Influence of the cutting method on the surface roughness obtained through the high speed side milling of different hardened steels*, 9th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26 – 30 September, 2005, ISBN 9958-617-28-5;
- [J3] Jermak, C.; Rucki, M. – *Problems on precise measurement with two-point air gauges*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [J4] Jelescanin, Jelena; Palm, S.; Tomislav, Mrcela – *Open-loop control and data acquisition of a biomechanical research device using LabVIEW development environment*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;

[K]

- [K1] Kumermanis, M. – *Surface roughness and design of machine details*, 11th International Research Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2007, 5–9 september, 2007, Hammamet, Tunisia, ISBN 978 – 9958 – 617 – 34 – 8;

[L]

- [L1] Catalog traductoare de deplasare cu sursă LASER – *Non Contact Laser Measurement Systems*, documentație Internet, site: www.LAP-laser.com, accesat în mai 2004;
- [L2] Larionescu, D. – *Metode numerice*, Editura 1989;
- [L3] Lancea, C. – *Cutting force dispersion according to the milling speed, feed and cutting depth*, Buletinul Univ. „TRANSILVANIA” Brasov, 2004, vol. 11(46), New Series, Series A, ISSN 1223 - 964X;
- [L4] LabJack Corporation – *LabJack U12 User’s Guide* – Revision 1.03, 17.06.2002 – documentație Internet, www.labjack.com - accesat în martie 2005;
- [L5] LabJack - *LabJack. Measurement & Automation* – documentație Internet, www.labjack.com, accesat în februarie 2005;
- [L6] LabVIEW 6.1 Student Edition – *Search Examples – Measurements-Basic Averaged DC – RMS Example.vi – tutoriale LabVIEW* – accesate în mai 2005;
- [L7] Lache, Simona; Vezeteu, C. - *Hand-arm vibration analysis: the finite element approach*, The 2nd International Conference “Computational Mechanics and Virtual Engineering” COMEC 2007 11 – 13 OCTOBER 2007, Brasov, Romania, ISBN 978 -598 –117-4;

[M]

- [M1] MARPOSS – Quick Read - *Sisteme de afișare electronice* (articol tradus), Germania, 2001;
- [M2] MARPOSS. *Industrial Computers & Software* – documentație Internet www.marposs.com - accesat în mai 2007;
- [M3] Manolescu, A – *Circuite integrate digitale* - Editura București 1983;
- [M4] MARPOSS - D6E04N00F0, 1997 – *Coloană de măsurare cu microprocesor, E4N. Stand de măsurare cu microprocesor, E4N*, Germania, 1997;
- [M5] Mark A.– *A Comprehensive Introduction Dimensional Management*, Industrial Press, New York, March 2002, ISBN 0-8311-3073-3;
- [M6] MICROCHIP - *MCP6S2X PGA Evaluation Board* – documentație Internet, www.microchip.com, accesat în luna februarie 2006;
- [M7] Micu, C.; Dodoc, P. – *Aparate și sisteme de măsurare în construcția de mașini*, Editura Tehnică București, 1980;
- [M8] *Bancs de Metrologie*, 2001 - documentație Internet; <http://www.edgb2b.com>, accesat în luna decembrie 2003;
- [M9] Meeks S.; Kudinar R. - *The next battle ground: Head-disk interface*, Data Storage Magazine, USA, March 1998;

- [M10] MEL Mikroelektronik – *Laser distance sensors. Laser scanner*, documentație Internet, site: www.MELsensor.de, accesat în lun a iunie, 2004;
- [M11] Marinescu, N.I.; Ghiculescu, D., Jitianu, G.; Seritan, G. – *Improvement of technological parameters at surface finishing through LASER beam machining*, 6th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia;
- [M12] Catalog de produse MAHR - *The whole world of Dimensional Metrology systems*, , Germania, 2001;
- [M13] MAHR - *Mahr Fertigungsmesstechnik. Produkte* – documentație Internet, <http://www.helios-messtechnik.de> - accesat în iunie 2004;
- [M14] Mihai, F.; Badea, I.– *Personal methodology and programme on measurement and control devices capability for prismatic parts (CDMC-PC)*, the 8th International Conference of Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM'8, June 8-10, 2006 – CLUJ-NAPOCA, ROMANIA, Acta Technica Napocensis, Series Applied Mathematics and Mechanics 49 vol. III 2006, ISSN 1221 – 5872;
- [M15] Modele 283 – *Le futur de la mesure sans contact: Micrometre Laser d'établi* – Manual de instrucțiuni de utilizare, documentație Internet, www.betalasermike.com - accesat în aprilie, 2005;
- [M16] Militaru, C.; Moldoveanu, M. – *Controlul dimensiunilor mari în construcția de mașini*, Editura TEHNICĂ, București, 1991, ISBN 973-31-0305-5;
- [M17] Maxime, C.; Samy, F.; Soizic, G.; Minh, H - *Rapport de projet: Les capteurs de déplacement* - INSA Rouen, 2001 – 2002, Franța;
- [M18] *MicroTop. Produse oferite*, documentație Internet, <http://www.micro-top.eu/> - accesat în decembrie 2004;
- [M19] Mătieș, V.; Mându. D.; Tătar, O.; Bălan, R.; Rusu, C. – *Tehnologie și educație în Mecatronică*, Editura TODESCO, Cluj-Napoca, 2001, ISBN 973-8198-05-4.

[N]

- [N1] National Instrumets - *Introduction to LabVIEW 7.1* – site www.ni.com, accesat în octombrie 2005;
- [N2] Natinal Instruments – *Measurement & Automation Explorer (MAX). Applications – LISimplelog.exe / LISimplelog.vi*, documentație de pe Internet, site: www.ni.com - accesat în mai 2006;
- [N3] National Instrumets - *Introduction to LabVIEW 8.6* – documentație internet, site: www.ni.com - *Introduction to LabVIEW 8.6* - accesat în noiembrie 2008;

[O]

- [O1] Olteanu, C.; Cristea, Luciana.; Oleanu, Felicia – *Semiatsuomat pentru măsurarea jocului radial al rulmenților miniaturali*, Revista română de Mecanică fină, Optică și Mecatronică, nr. 20 b / 2002, ISSN 1220-6830;

- [02] Olteanu C. – *Mijloace mecanice și hidropneumatice de măsurare - curs*, Reprografia Universității "TRANSILVANIA" Brașov, 1985;
- [03] Olteanu, C. – *Aparate și sisteme de măsurare mecanice*, Universitatea din Brașov, 1986;
- [04] Olteanu C. – *Mijloace mecanice și hidropneumatice de măsurare - curs*, Reprografia Universității "TRANSILVANIA" Brașov, 1988;
- [05] OMRON – *LED Displacement Sensor Z4W-V*, Japan, 2006;
- [06] OMRON – *Industrial Automation. Sensors* – documentație Internet, www.omron.com - accesat în iunie 2007;
- [07] OMRON – *OMRON Smart Sensors, ZX Series*, Operation Manual, Japan, 2006;
- [08] Olteanu, C.; Turcu, Cătălina.; Olteanu, Felicia.; Zamfira, S.; Oltean, G.; **Braun, B.** – *Mechatronic system for measuring and tracing of maps concerning soil agro-productive parameters*, 6th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, 24-26 Aprilie 2008, Tallinn, Estonia, ISBN 978-9985-59-783-5;
- [09] Olteanu, Felicia; Zamfira, S.; Cristea, Luciana – *Studies on a device designed to measure the moment of friction at small – sized dimension bearings*, The 7th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM 7, Bucharest, 27th – 29th may, 2004, ISBN 973-86886-1-2;
- [010] OMRON E3Z - Distance Sensor Background Suppression Maximum of 200 mm Detection Range PNP, Catalog de produse, site: <https://ro.rsdelivers.com/product/omron/e3z-ls81-m1j-03m/omron-e3z-distance-sensor-background-suppression/>, 2017.

[P]

- [P1] PACIFIC NANOTECHNOLOGY - *Advancing Nanotechnology. Products* – documentație internet www.pacificnanotech.com - accesat în aprilie, 2004;
- [P2] Peterka, J.; Pokorny, P.; Vaclav, S. – *CAM strategies and surface accuracy*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [P3] Petrescu, R., V.; Aversa, R., Akash, B.; Petrescu, F. - *Dynamics of Mechanisms with Cams Illustrated in the Classical Distribution*, American Journal of Engineering and Applied Sciences 10 (2), DOI: 10.3844/ajeassp.2017.551.567, pag. 4,5, 2017;

[Q]

- [Q1] QM for Windows – *Modelarea și simularea proceselor economice. Manualul utilizatorului*, 2008;

[R]

- [R1] RDP - *Electronics LVDT Displacement Transducers* – documentație Internet, <http://www.rdpe.com> - accesat în martie 2004;
- [R2] RENISHAW, Marea Britanie – *Linear encoder. Linear displacement sensor*, documentație Internet, site: www.renishaw.com, accesat în decembrie 2003;
- [R3] Rudzitis, J. – *Three dimensional roughness effects on rough surfaces contact*, 9th International Research / Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26 – 30 September, 2005, ISBN 9958-617-28-5;
- [R4] Roșca, Ileana; Iordache, P.; Cristea, Luciana – *Îndrumar de metrologie*, Editura Universității TRANSILVANIA Brașov, 1996;
- [R5] Roșca Ileana – *Metrologie generală*, Colecția „UNIVERSITARIA”, Editura „MACARIE” Târgoviște, 1998;
- [R6] RULMENȚI ROMÂNIA – *Caracteristicile tehnice ale diferitelor tipuri de rulmenți* www.rulmenti-romania.ro - accesat în luna noiembrie a anului 2008;
- [R7] Roșca, Ileana; Taropa, T.; Golle, V. – *Curs de metrologie*, Editura Universității din Brașov, 1988;

[S]

- [S1] SATIMAGE – *Systemes de vision pour l'industrie* – Industrial Machine Visual Systems, documentație Internet; www.satimage.fr - accesat în luna mai 2004;
- [S2] Stoianov, S. A – *De la poarta TTL la microprocesor* – Editura București 1986;
- [S3] Sângeorzan, L. – *The bearing quality inspected with a software based on WEB technologies*, 6th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, 24-26 Aprilie 2008, Tallinn, Estonia, ISBN 978-9985-59-783-5;
- [S4] Sava, T. – *Clubul utilizatorilor LabVIEW. Tutorial*, documentație Internet, site: <http://www.labsmn.pub.ro>, accesat în luna mai, 2004;
- [S5] Slătineanu, L.; Dodun, Oana; Constantin, C.; Coteață, Margareta; Ciofu, C. – *Theoretical model for R_a roughness parameter*, Annals of Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, volume III (XIII), 2004, ISSN 1583-0691;
- [S6] SKF - *Interactive Engineering Catalogue. Rolling bearings*, www.skf.com - accesat în luna noiembrie a anului 2008;
- [S7] Saeed Moaveni – *Finite Element Analysis. Theory and application with ANSYS*, 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2003, ISBN-13: 978-0-13-189080-0;
- [S8] Ștefănescu, O. - *Integrarea senzorilor incrementalii în sistemele de măsură* – Proiect de Diplomă iunie 2006, coordonator științific: prof. dr. fiz. Sorin Constantin ZAMFIRA;

- [S9] Slătinescu, L.; Toca, A.; Mazuru, S.; Dodun, Oana; Coteață, Margareta – *Theoretical model of the surface roughness at the end milling with circular tips*, The 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [S10] Spineanu, U. - *Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1987;
- [S11] Catalog SWIP, 2003 – *Stylets et accessoires* - documentație Internet; <http://www.shopzilla.fr>. - accesat în luna februarie 2003;
- [S12] SATIMAGE – *SmileLab home page*, site: <http://www.satimage.fr/software/en/smilelab/>, accesat în septembrie 2019.

[T]

- [T1] Taniguchi, N. – *Nanotehnologie*, Editura Tehnică București, 2000;
- [T2] Turcu, Cătălina; Braun, B.; Drugă, C. - *The use of the Virtual Instrumentation for the analysis and synthesis of the higher coupling mechanisms*, 1st International Conference, "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2005, 20 – 22 October 2005, Brașov, ISBN 973-635-593-4;
- [T3] Catalog Taylor Hobson Precision – *Form Talysurf Intra* – documentație Internet, www.taylor-hobson.com accesat în mai 2004;
- [T4] Catalog Taylor Hobson Precision – *Le Talyrond 400 – Mesure de circularite automatisee pour les fortes charges*, documentație Internet: www.taylor-hobson.com - accesat în ianuarie 2005;
- [T5] *Densitatea celor mai uzuale materiale*, documentație internet, site: <http://www.tmt.ugal.ro> - accesat în luna septembrie a anului 2007;
- [T6] Turcu, Cătălina; Olteanu, C., Braun, B.; Drugă, C. – *The use of virtual instrumentation for the farming management*, 11th International Research Conference "Trends in the development of machinery and associated technology", TMT 2007, 5–9 september, 2007, Hammamet, Tunisia, ISBN 978 – 9958 – 617 – 34 – 8;
- [T7] Trufașu, A.; Măduță, V.; Trufașu, Liliana – *AFM method for roughness determination at nanometric topography surfaces*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2008, secția CONSTRUCȚII DE MAȘINI, ISSN 1011-2855, Proceedings of the 9th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, 12th – 14th June 2008, Iasi, Romania, COMEFIM '9;
- [T10] Trufașu, A.; Sorohan, Georgeta, Ursu, D.; Trufașu, Liliana – *Subnanometric roughness measurements; comparative experimental measurements*, the 8th International Conference of Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM'8, June 8-10, 2006 – CLUJ-NAPOCA, ROMANIA,

Acta Technica Napocensis, Series Applied Mathematics and Mechanics 49 vol. III 2006, ISSN 1221 – 5872;

[T11] TWK-Elektronik-GmbH – *Sensorik fur Winkel, Wege, Positionen* – documentație internet www.twk.de - accesat în iulie, 2008.

[T]

[T1] Țârulescu, R; Drugă, C; **Braun, B** - *Optical sensor for distance measuring*, COMAT 2008, Brașov, 10-12 October, Advanced Composite Materials Engineering AND Advanced in Human Body Protection to Vibrations, Vol. 1B, ISSN 1844-9336;

[U]

[U1] Ursuțiu, D. – *Inițiere în LabVIEW. Programarea grafică în fizică și electronică*– Editura LUX LIBRIS, Brașov, 2001, ISBN 973 – 9428 – 60 6;

[V]

[V1] VasIU, D. – *Momentul de frecare în rulmenți*, Buletinul comisiei inginerilor și tehnicieni lor, vol. II, Universitatea din Brașov, 1989;

[V2] VISHAY - *One of the world's largest of discrete semiconductors and passive components* – documentație Internet, www.vishay.com - accesat în iulie, 2008;

[V3] Vișoiu, C. – *Studiu asupra stadiului actual al cercetărilor privind optimizarea și implementarea sistemelor automate de inspecție activă*, the 8th International Conference of Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM'8, June 8-10, 2006 – CLUJ-NAPOCA, ROMANIA, Acta Technica Napocensis, Series Applied Mathematics and Mechanics 49 vol. III 2006, ISSN 1221 – 5872;

[V4] VasIU, D.; Olteanu, C. – *Măsurători ale momentului de frecare la rulmenții miniaturali*, Comefin 4, Revista Română de Mecanică Fină & Optică, Supliment, vol. I, București, 1999;

[W]

[W1] Wolfgang, O. - *Optical Measurements Systems for Industrial Inspection*, Publisher: Society of Photo Optical , 2005, ISBN 0819458562.

[Z]

[Z1] Zamfira, S.; **Braun, B.**; Turcu, Cătălina; Ștefănescu, O. - *Comparative methods for the dimensional control, using virtual instrumentation*, REV 2007, International Conference, Porto Portugalia, ISBN 978-3-89958-278-9;

[Z2] Zamfira, S., Turcu, Cătălina, **Braun, B.**, Oltean, Gh. *Virtual Instrumentation in Mapping the Electrical Conductivity*, International Conference REV, Porto, Portugal, June 2007, ISBN 978-3-89958-278-9;

- [Z3] Zitinski E.; Tomasegovic, Tamara; Modric, D. – *Modelling of dispersion and reflexion of light on paper surface*, the 19th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", DAAAM International Vienna, 22-25th October 2008, ISSN 1726-9679;
- [Z4] ZYGO – *3D Optical profilers*, site: <https://www.zygo.com/?/met/profilers/>, accesat în octombrie 2019.

[Y]

- [Y1] YAMAHA – *Robot user's manual*–documentație tehnică Internet, site: www.yamaha.com accesat în septembrie 2007.

CUPRINS

Prefață.....	3
Semnificația simbolurilor și a notațiilor.....	5
Index de termeni.....	6
Capitolul 1 - Introducere privind stadiul actual al dezvoltării modulelor de inspecție dimensională.....	7
1.1 Rolul modulelor de control și inspecție în procesul de producție	7
1.1.1 Clasificarea și structura automatelor de control.....	7
1.1.2 Exemple de automate de control folosite în industrie.....	8
1.1.3 Caracteristicile funcționale ale automatelor de control.....	11
1.2 Stadiul actual al dezvoltării modulelor de control din componența automatelor.....	12
1.2.1 Rolul modulelor de control.....	12
1.2.2 Module de control cu structuri mecanice.....	13
1.2.3 Module de control cu structuri pneumatice.....	14
1.2.4 Module de control prevăzute cu traductoare de deplasare pe principiul electric și optic.....	15
1.2.5 Module de control prevăzute cu aparatură și sisteme complexe de măsurare.....	22
1.3 Privire comparativă asupra diferitelor tipuri de echipamente de măsurare din componența modulelor de control.....	30
1.3.1 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu structuri mecanice.....	30
1.3.2 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu structuri pneumatice.....	31
1.3.3 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control prevăzute cu traductoare de deplasare electrice și optice.....	31
1.3.4 Avantajele, dezavantajele și domeniul folosirii modulelor de control cu aparatură și sisteme complexe de control dedicate.....	32
Capitolul 2 Optimizarea procesului de inspecție dimensională asistat de calculator.....	34
2.1 Avantajele implementării inspecției dimensionale asistate de calculator.....	34
2.2 Stabilirea parametrilor de măsurare de către utilizator.....	35
2.3 Programarea comenzii de măsurare asistată.....	43
2.4 Optimizarea aplicației <i>I.D.A.D.vi</i> în scopul implementării ei pe modulele de control.....	46
2.5 Optimizarea inspecției dimensionale din punctul de vedere al prelucrării datelor post – proces.....	51
2.6 Salvarea datelor în vederea interpretării statistice a acestora.....	54
2.7 Folosirea instrumentației virtuale în scopul măsurării asistate de calculator în regim static.....	55
2.7.1. Descrierea aplicației LabVIEW <i>I.D.A.S.1.vi</i> , pentru măsurarea asistată cu traductoarele inductive <i>HOTTINGER</i>	55
2.7.2. Descrierea aplicației <i>I.D.A.S.2.vi</i> , pentru măsurarea asistată cu traductoarele pe principiul incremental, <i>HEIDENHAIN</i>	57
2.7.3. Descrierea aplicației <i>I.D.A.S.3.vi</i> pentru măsurarea asistată cu traductoarele pneumatice.....	58
2.8 Optimizarea din punctul de vedere statistic a inspecției dimensionale asistate în regim dinamic.....	58
2.9 Concluzii privind avantajele soluției propuse, prin aplicația <i>I.D.A.D.vi</i>	62
2.10 Optimizarea asistată de calculator a echipamentului și a parametrilor de măsurare.....	63
2.11 Argumente în favoarea folosirii mediului de instrumentație virtuală <i>LabVIEW</i>	71
Capitolul 3 Contribuții teoretice privind stabilirea unor condiții-limită la inspecția dimensională.....	72
3.1 Obiectul cercetării teoretice.....	72
3.2 Studiul privind influența vitezei de antrenare asupra contactului dintre mijlocul de măsurare și suprafața reperului supus inspecției dimensionale în regim dinamic.....	72

3.2.1 Studiul analitic al comportării în regim dinamic, în cazul pieselor de revoluție.....	72
3.2.2 Studiul analitic al comportării în regim dinamic, în cazul piesei antrenate în translație.....	78
3.2.3 Concluzii privind rezultatele simulării contactului palpator–piesă, în regim dinamic.....	79
3.3 Studiul privind influența gradului de deformare a reperelor de mici dimensiuni în cazul contactului cu mijlocul de măsurare.....	81
3.3.1 Obiectul studiului analitic privind optimizarea inspecției dimensionale a reperelor de mici di- mensiuni.....	81
3.3.2 Modelarea inspecției dimensionale cu contact pentru inelele de rulmenți miniaturali.....	82
3.3.3 Rezultatele obținute și interpretarea lor.....	84
3.3.4 Concluzii privind folosirea mijlocului măsurare adecvat din punctul de vedere al contactului cu reperul testat.....	90
Capitolul 4 Contribuții experimentale privind optimizarea procesului de inspecție dimensională.....	91
4.1 Obiectul cercetării experimentale.....	91
4.2 Obiectivele cercetării experimentale.....	91
4.3 Standurile de măsurare folosite la realizarea experimentelor pentru optimizarea procesului de inspecție dimensională.....	92
4.3.1 Standul experimental pentru inspecția dimensională a pieselor de revoluție.....	92
4.3.2 Standul experimental pentru inspecția dimensională a reperelor speciale, antrenate în mișcare de translație.....	96
4.4 Metodele și a mijloacele de măsurare utilizate în cercetarea experimentală.....	99
4.4.1 Traductoarele de deplasare pe principiul inductiv.....	100
4.4.2 Traductorul de deplasare pe principiul incremental.....	101
4.4.3 Traductorul de deplasare pe principiul pneumatic.....	102
4.4.4 Traductorul optic de deplasare cu sursă LASER.....	103
4.5 Modul de obținere a rezultatelor experimentale și interpretarea acestora.....	103
4.5.1 Stabilirea ipotezelor privind modul de realizare a determinărilor experimentale privind măsurarea dimensională a abaterilor de formă.....	103
4.5.2 Procedul folosit pentru inspecția dimensională, în regim static cu fiecare mijloc de măsurare în parte.....	105
4.5.3 Inspecția dimensională în regim dinamic pentru fiecare mijloc de măsurare în parte.....	107
4.6 Stocarea, prelucrarea și interpretarea informațiilor privind rezultatele determinărilor experimentale....	115
4.6.1 Salvarea informațiilor.....	115
4.6.2 Prelucrarea informațiilor privind rezultatele determinărilor experimentale.....	115
4.7 Concluzii privind experimentele pentru optimizarea procesului de inspecție dimensională.....	118
Capitolul 5 – Implementarea soluției de optimizare a procesului de inspecție dimensională.....	127
5.1 Echipamentul folosit pentru realizarea unei linii automatizate de fabricație și control.....	127
5.2 Implementarea aplicației create în mediul de programare Labview pentru evaluarea post-proces a rezultatelor măsurării dimensionale.....	131
5.3 Concluzii privind utilitatea aplicației <i>Măsurarea abaterilor de formă a carcaselor de pompe</i>	144
Capitolul 6 – Concluzii, contribuții personale, valorificarea rezultatelor și direcții viitoare de cercetare	145
6.1 Concluzii generale.....	145
6.2 Contribuții personale.....	149
6.3 Diseminarea și valorificarea rezultatelor.....	153
6.4 Direcții viitoare de cercetare.....	153
6.5 Concluzii finale.....	154
Bibliografie.....	155

Cuprins.....	171
--------------	-----