

Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati
Facultatea de Mecanica
Catedra Tehnologia Constructiilor de Masini
Proiectul ID_653-231/1.10.2007

Raport in extenso pentru etapa unica 2009

Cuprins

- A. Obiective si activitati planificate**
- B. Prezentarea in extenso a activitatilor desfasurate**
- C. Prezentarea in extenso a rezultatelor obtinute**
 - a) Articole stiintifice publicate**
 - b) Inventii create si inregistrate**

A. Obiective si activitati planificate

Obiectivul 1 Dezvoltarea unui sistem de control online a stabilității

Activitatea 1.1 Cercetări experimentale privind relația dintre exponentul Lyapunov și parametrii de formă ai diagramei $X' = f(X)$ pe de o parte și rezerva de stabilitate a mașinii tehnologice pe de altă parte

Activitatea 1.2 Determinarea unui indicator robust de evaluare online a rezervei de stabilitate. Realizarea experimentală a controlului stabilității mașinii prototip.

Obiectivul 2 Dezvoltarea unui sistem de reglare adaptiv-optimala a intensitatii procesului

Activitatea 2.1 Conceperea unei tehnici de modelare economica a unei masini tehnologice
Dezvoltarea sistemului de monitorizare a consumurilor

Activitatea 2.2 Conceperea si aplicarea la masina prototip a algoritmului de reglare adaptiv-optimala a intensitatii procesului

Obiectivul 3 Conceperea unui sistem de programare si prelucrare virtuala

Activitatea 3.1 Conceperea unui algoritm de calcul al traiectoriei setului marimilor de stare in functie de caracteristicile taskului ce trebuie executat

Activitatea 3.2 Dezvoltarea unui produs informatic destinat implementarii algoritmului
Implementarea algoritmului in arhitectura sistemului de control a masinii prototip

B. Prezentarea in extenso a activitatilor
desfasurate

Obiectivul 1 -
Dezvoltarea unui sistem de control online a
stabilității

Activitatea 1.1: Cercetări experimentale privind relația dintre exponentul Lyapunov și parametrii de formă ai diagramei $X'=f(X)$ pe de o parte și rezerva de stabilitate a mașinii tehnologice pe de altă parte

1.1 Stabilitatea proceselor de așchiere

1.1 Cercetări experimentale privind relația dintre exponentul Lyapunov și parametrii de formă ai diagramei $X'=f(X)$ pe de o parte și rezerva de stabilitate a mașinii tehnologice pe de altă parte

Stabilitatea proceselor de așchiere

Stabilitatea este unul din factorii cheie care limitează intensitatea proceselor de așchiere și în același timp precizia acestora. Lipsa stabilității proceselor de așchiere se traduce prin apariția unor vibrații nedorite de amplitudine ridicată care apar între piesă și sculă. Apariția instabilității determină obținerea unor suprafețe caracterizate prin calitate necorespunzătoare, determină în același timp uzura prematură a sculei și a mașinii unealtă. Instabilitatea proceselor de așchiere poate fi clasificată ca fiind de tip primar sau secundar. O altă clasificare definește instabilitatea datorată forțelor de frecare, instabilitatea datorată caracterului regenerativ al procesului de așchiere și instabilitatea datorată efectelor termomecanice. În ultima perioadă, studiile cercetătorilor au vizat fenomenele de instabilitate specifice proceselor de așchiere cu viteze înalte. În cazul creșterii vitezei de așchiere, efectul amortizării este diminuat și de aceea apariția vibrațiilor este mai probabilă. În același timp, la viteze de așchiere ridicate există limite crescute de stabilitate, limite cunoscute sub titulatura de lobi de stabilitate. Cercetările au pus în evidență cea mai importantă cauză a instabilității și anume auto-excitarea și caracterul regenerativ al vibrațiilor. Apariția instabilității procesului de așchiere este influențată de lipsa de rigiditate a sistemului

tehnologic și de influența modului în care a decurs aşchiera trecerilor anterioare.

Studierea vibrațiilor sistemelor tehnologice se realizează de mai bine de 50 de ani. Fenomenul poate apărea datorită efectelor regenerative (oscilații induse datorită faptului că scula îndepărtează material de pe suprafața prelucrată anterior în trecerea precedentă). În cadrul unor studii mai recente s-a arătat faptul că vibrațiile sistemelor tehnologice pot apărea ca urmare a contactului intermitent dintre piesă și sculă, fenomenul fiind prezent mai ales în cazul mașinilor de frezat.

Primele studii asupra instabilității procesului de aşchiere, întreprinse în anii 1960, au vizat procesele de strunjire ortogonală în care direcția forțelor de aşchiere, grosimea aşchiilor și dinamica sistemului nu se schimbă în timp. În cazul proceselor de aşchiere obișnuite în care dinamica sistemului se modifică datorită schimbării poziției organelor mobile și a lipsei de rigiditate, grosimea aşchiei este variabilă, menținerea stabilității este o problemă dificilă.

Modelarea analitică stabilității procesului de aşchiere a fost studiată de mulți cercetători. Astfel, Ozlu și Budak [OZLU 2007a b] [Budak 2007] au dezvoltat un model multidimensional al stabilității pentru operațiile de strunjire exterioară și strunjire interioară, model ce ia în considerare geometria tridimensională a procesului de aşchiere. Modelul include parametrii sculei, adică unghiurile sculei și raza acesteia. Modelul folosit a fost exploatat după identificarea parametrilor acestuia. Pentru identificarea parametrilor responsabili de rigiditatea sistemului tehnologic, s-au efectuat teste specifice. Pentru aceasta s-a folosit un ciocan de impact și un sistem de achiziție de date. Pentru determinarea frecvențelor și pentru a determina apariția fenomenului de instabilitate s-a folosit un microfon și un sistem de achiziție a acestor date. Datele au fost colectate și analizate în LabView. Suprafețele prelucrate au fost apoi analizate pentru a determina apariția fenomenului de instabilitate. Autorii au determinat faptul că utilizarea unor plăcuțe de carburi metalice cu rază mai mare la vârf au determinat reducerea limitei de stabilitate.

Pentru a evita apariția instabilității se poate crește rigiditatea sistemului tehnologic încă din faza de proiectare, însă această metodă implică investiții deosebite, eficiența acestei metode nefiind însă valabilă pentru toate procesele tehnologice.

O altă metodă pentru a evita apariția instabilității constă în selectarea unor valori optime pentru viteza de aşchiere pentru care sistemul este mai stabil. Astfel Soliman [Soliman 1998] propune un sistem care nu identifică lobi de stabilitate ai sistemului

tehnologic în mod analitic, ci selectează viteza optimă prin creșterea după rampă a turației arborelui principal.

O altă metodă pentru evitarea apariției vibrațiilor constă în modularea vitezei arborelui principal în jurul unei valori medii impuse. Metoda, deși răspândită, este costisitoare și este limitată de inerția pieselor aflate în mișcare de rotație care determină apariția unor efecte dinamice defavorabile. Tehnica, deși primitivă cu entuziasm de comunitatea științifică, implică elaborarea unor experimente costisitoare pentru identificarea modelului sistemului tehnologic, iar parametrii modelului se schimbă în timp și în funcție de parametrii regimului de așchiere. Unii autori [Namachchivaya 2003] au evidențiat apariția unor vibrații specifice regimurilor tranzitorii. Alți [Yilmaz 2002] cercetători au dezvoltat tehnici de variație aleatoare a turației arborelui principal raportând obținerea unor rezultate asemănătoare metodei clasice. Pentru caracterizarea stabilității procesului de așchiere autorii au folosit exponentul lui Lyapunov ca un indicator al stabilității. Autorii apreciază faptul că metoda este mai simplă de folosit decât abordarea clasică pentru că nu implică etapa de ajustare a parametrilor.

Modelarea fenomenului de instabilitate sistemelor tehnologice reprezintă o problemă deosebită datorită numărului mare de factori care afectează stabilitate. Modelele întâlnite în literatură sunt bazate în general pe unele ipoteze simplificatoare care limitează precizia acestora. De asemenea, aceste modele, de cele mai multe ori necesită cunoașterea unor informații referitoare la sculă sau la piesă dificil de evaluat în practică. De exemplu, în [Gilsinn 2006], autorii construiesc un model pentru evaluarea stabilității procesului de strunjire folosind bare de alezat cu tăiș de diamant cu rază la vârful. Autorii au modelat matematic sistemul, folosind ecuații diferențiale de ordinul 2. Aceste ecuații au fost determinate folosind următoarele ipoteze simplificatoare:

- mișcările sculei sunt mișcări plan paralele,
- mașina este considerată ca fiind complet rigidă, iar scula perfect încastrată în suport,
- vârful sculei este considerat a avea un profil parabolic.

Autorii au evidențiat limita de stabilitate sub forma unor relații care pot fi reprezentate grafic. Rezultatele obținute au fost în concordanță cu rezultatele experimentale.

Putem trage concluzia că modelele prin care se evaluează stabilitatea proceselor de așchiere sunt deosebit de complexe. Acestea au în componență o serie de parametri, prin care se exprimă influența ce o exercită parametrii regimului de așchiere,

parametrii legați de geometria sculei și a semifabricatului. Identificarea parametrilor se realizează de cele mai multe ori folosind aparatură specifică pentru condiții de laborator. Aceste lucruri limitează aplicarea practică a metodelor prin care se poate controla apariția instabilității dinamice.

Cercetări experimentale privind relația dintre exponentul Lyapunov și parametrii de formă ai diagramei $X'=f(X)$ pe de o parte și rezerva de stabilitate a mașinii tehnologice pe de altă parte

În vederea cercetării experimentale privind relația dintre exponentul Lyapunov și parametrii de formă ai diagramei $X'=f(X)$ pe de o parte și rezerva de stabilitate a mașinii tehnologice pe de altă parte și pentru identificarea unui indicator robust pentru determinarea limitei de stabilitate a proceselor de așchiere s-a realizat un experiment care a constat în strunjirea longitudinală a unui lot de piese identice. Forma și dimensiunile acestor piese este prezentată în figura 1. În această figură, suprafața prelucrată prin strunjire longitudinală, s-a prezentat folosind liniile întrerupte. Piesele au fost fixate în universal fără a se folosi fixarea în vârfuri. Adâncimea de așchiere a variat de la 1 la 4 mm pe rază. Avansul a fost același pentru fiecare piesă iar turația arborelui principal a variat de la piesa la piesă. În tabelul 1 se prezintă valoarea pe care turația a avut-o pentru fiecare piesă prelucrată în cadrul experimentului. Piesele au fost prelucrate folosind un sistem tehnologic experimental cu structură de strung frontal. În cazul prelucrării tuturor pieselor, fenomenul de instabilitate s-a manifestat, însă la adâncimi de așchiere diferite.

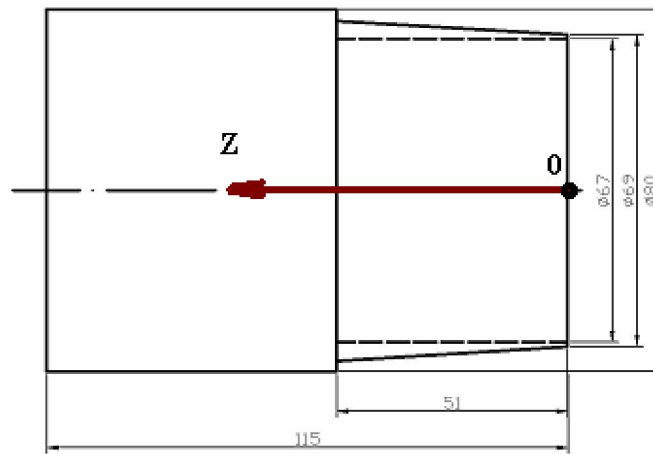


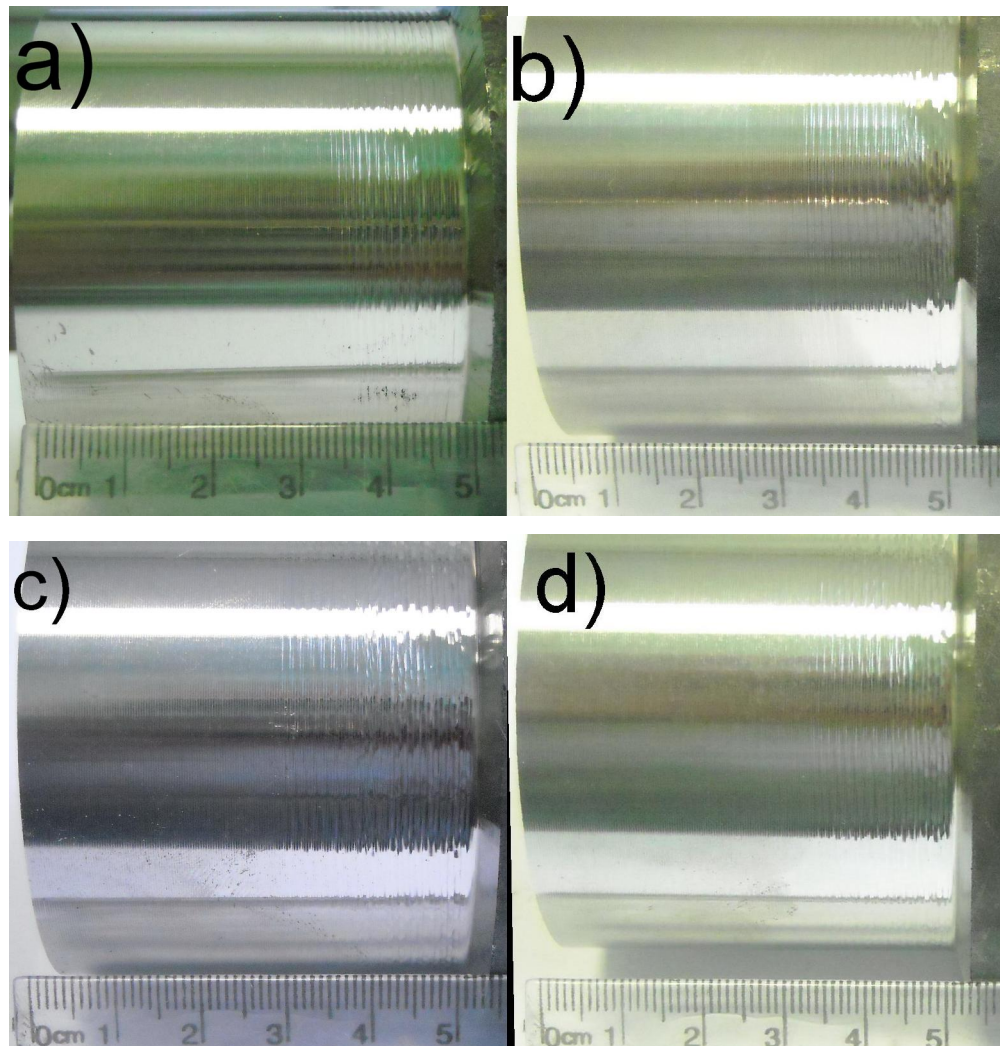
Figura 1. Forma și dimensiunile semifabricatelor și a pieselor prelucrate în cadrul experimentului

Tabelul 1. Parametrii regimului de așchiere pentru piesele prelucrate în cadrul experimentului

Piesa	Turatie arbore

1	1300
2	1200
3	1100
4	1000
5	900

În figura 2 se prezintă suprafețele rezultate în urma prelucrării. Din analiza figurii se poate remarca prezența unor porțiuni din suprafețele prelucrate care diferă aspect de suprafețele obținute în mod normal în urma operațiilor de prelucrare. Cauza apariției acestor suprafețe este apariția fenomenului de instabilitate. Cota longitudinală Z (care este corespunzătoare axei Z din figura 1) la care fenomenul de instabilitate a apărut, evidențiată în figură cu ajutorul riglei, este diferită de la o piesă la alta.



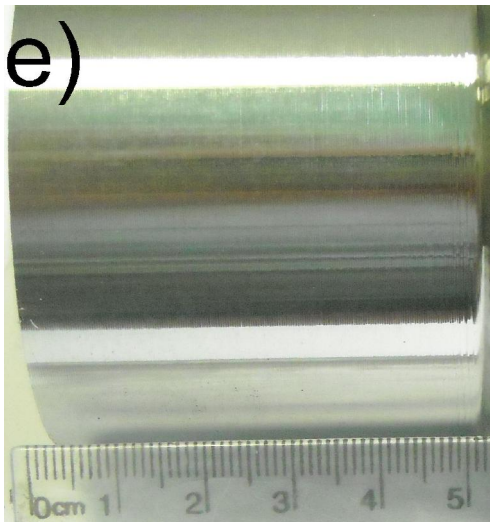


Figura 2. Suprafețe obținute în urma prelucrării: a) piesei 1; b) piesei 2; c) piesei 3; d) piesei 4; e) piesei 5

Pe parcursul prelucrării pieselor folosind sistemul de achiziție de date Spider 8 produs de HBM s-a înregistrat evoluția unor mărimi care caracterizează intensitatea procesului și pot furniza informații cu privire la stabilitatea procesului. Aceste mărimi sunt componenta principală a forței de așchiere și accelerația mișcării cuțitului măsurată pe direcția componentei principale a forței de așchiere.

Pentru măsurarea componentei principale a forței de așchiere s-a măsurat deformația specifică a cuțitului pe care au fost amplasate două mărci tensometrice care au fost conectate în semipunte. În figura 3 se prezintă amplasarea mărcilor tensometrice pe cuțitul folosit pentru efectuarea experimentului. Pentru măsurarea vibrațiilor a fost utilizat un accelerometru produs de compania americană Connection Technology Center Inc. de tip AC140-2A a cărui specificații sunt expuse în tabelul 2. Accelerometrul a fost fixat pe scula așchietoare prin fixare cu șurub. Frecvența de eșantionare a sistemului de achiziție a fost de 9600Hz.

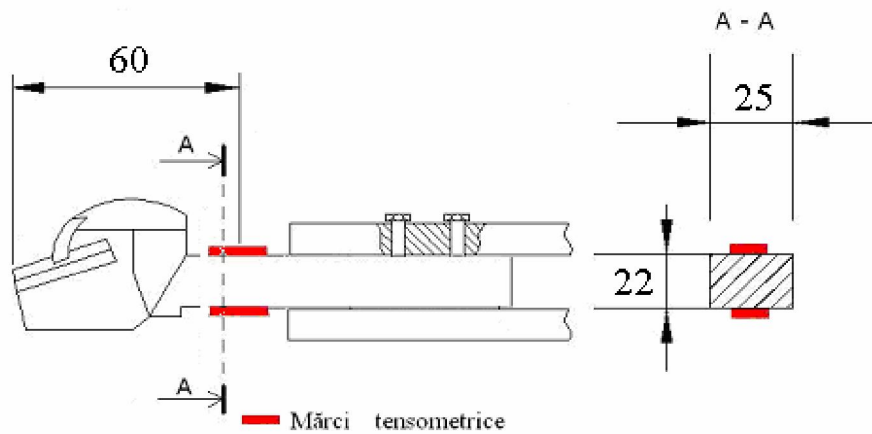


Figura 3. Amplasarea mărcilor tensometrice pe cuțitul folosit pentru prelucrarea lotului de piese



Figura 4. Amplasarea accelerometrului la nivelul sculei așchietoare

Tabelul 2. Caracteristicile accelerometrului AC140-2A

Sensibilitate	100mV/g
Domeniul de frecvență	1-10000Hz
Domeniul dinamic de accelerație	$\pm 50g$
Frecvența de rezonanță	23000Hz
Domeniul de temperatura	$-50-120^{\circ}C$

În figurile 5.a, 6.a, 7.a, 8.a, 9.a se prezintă evoluția componentei principale a forței înregistrate pentru toate probele. Din analiza figurilor se observă că în toate cazurile evoluția forței este alcătuită din două componente: o componentă a cărei evoluție este lentă în timp și care corespunde variației adâncimii de așchiere și o componentă a cărei variație este rapidă în timp. O dată cu creșterea adâncimii de așchiere, intensitatea procesului crește și astfel apare fenomenul de instabilitate. În aceste situații amplitudinea componentei cu

variație rapidă în timp crește, pe când componenta cu variație lentă rămâne aproximativ constantă. În cazul pieselor 3 și 4 se poate observa că intervalul în care forța are o variație importantă poate fi împărțit în două zone care se remarcă prin nivele de amplitudini diferite. În figurile 7.a, 8.a, aceste zone au fost marcate cu (2) și (3); zona marcată (1) reprezintă zona pentru care forța nu manifestă variații importante, dacă nu luăm în considerare variația forței datorată intrării sculei în așchiere. În zona (4) forța de așchiere scade ca urmare a micșorării avansului, în vederea încheierii strunjirii longitudinale. Zonele (2) și (3) nu pot fi remarcate în cazul pieselor 1, 4 și 5. Cu excepția piesei 5, la care fenomenul de instabilitate s-a manifestat foarte tardiv, la toate celelalte piese apariția vibrațiilor autoexcitate s-a produs atunci când componenta constantă a forței a fost cuprinsă în intervalul 1400-1600N.

Până la apariția fenomenului de instabilitate amplitudinea vârf la vârf corespunzătoare celei de-a doua componente este relativ constantă. Astfel în figurile 5.b, 6.b, 7.b, 8.b, 9.b, 9.c se prezintă evoluția componentei principale a forței de așchiere pe un interval restrâns de timp. Amplitudinea vârf-vârf a forței în intervalele analizate este redusă ca valoare, fiind mai mică de 300N. În aceste diagrame nu se evidențiază componente armonice, iar în cazul ultimelor două piese evoluția forței prezintă neregularități mai pronunțate. În figurile 5.c, 6.c, 7.c, 8.c, 9.d se prezintă variația forței pe intervale în care aceasta este importantă, dar nivelul variației nu este cel mai mare (variație care ar corespunde zonei 2). Din analiza figurilor se remarcă existența unei componente armonice a cărei amplitudine vârf la vârf variază de la o piesă la alta între 500-800N datorită modului de alegere a intervalului pe care se realizează reprezentarea. În figurile 5.c, 6.c, 7.c, 8.c se prezintă variația forței pentru intervale în care aceasta este importantă prezentând cea mai mare nivel de variație (variație corespunzătoare zonei 3 din figurile 5.a, 6.a, 7.a, 8.a, 9.a). Se observă faptul că în toate cazurile analizate, forța are o evoluție armonică care pare rezultată prin compunerea a două forțe periodice de frecvențe diferite: o frecvență ridicată și o frecvență mai redusă ca valoare. Amplitudinea vârf vârf a forței este mai ridicată în acest caz depășind în cazul evidențiat în figura 6.d 2000 N.

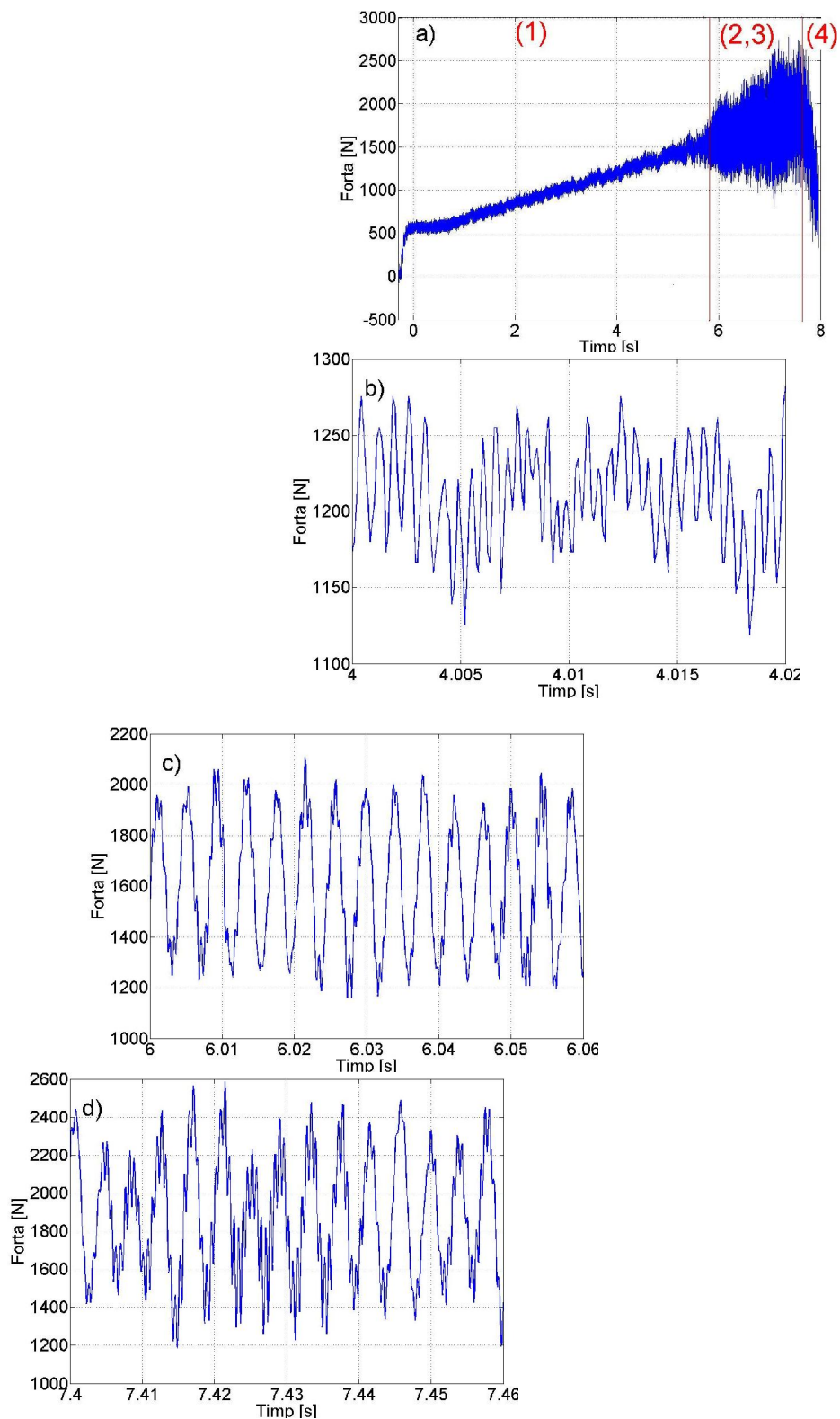


Figura 5. Variația componentei principale a forței pentru cazul piesei 1: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru un interval de timp în care variația forței nu a fost importantă; c,d) pentru intervale de timp pentru care variația forței a fost importantă

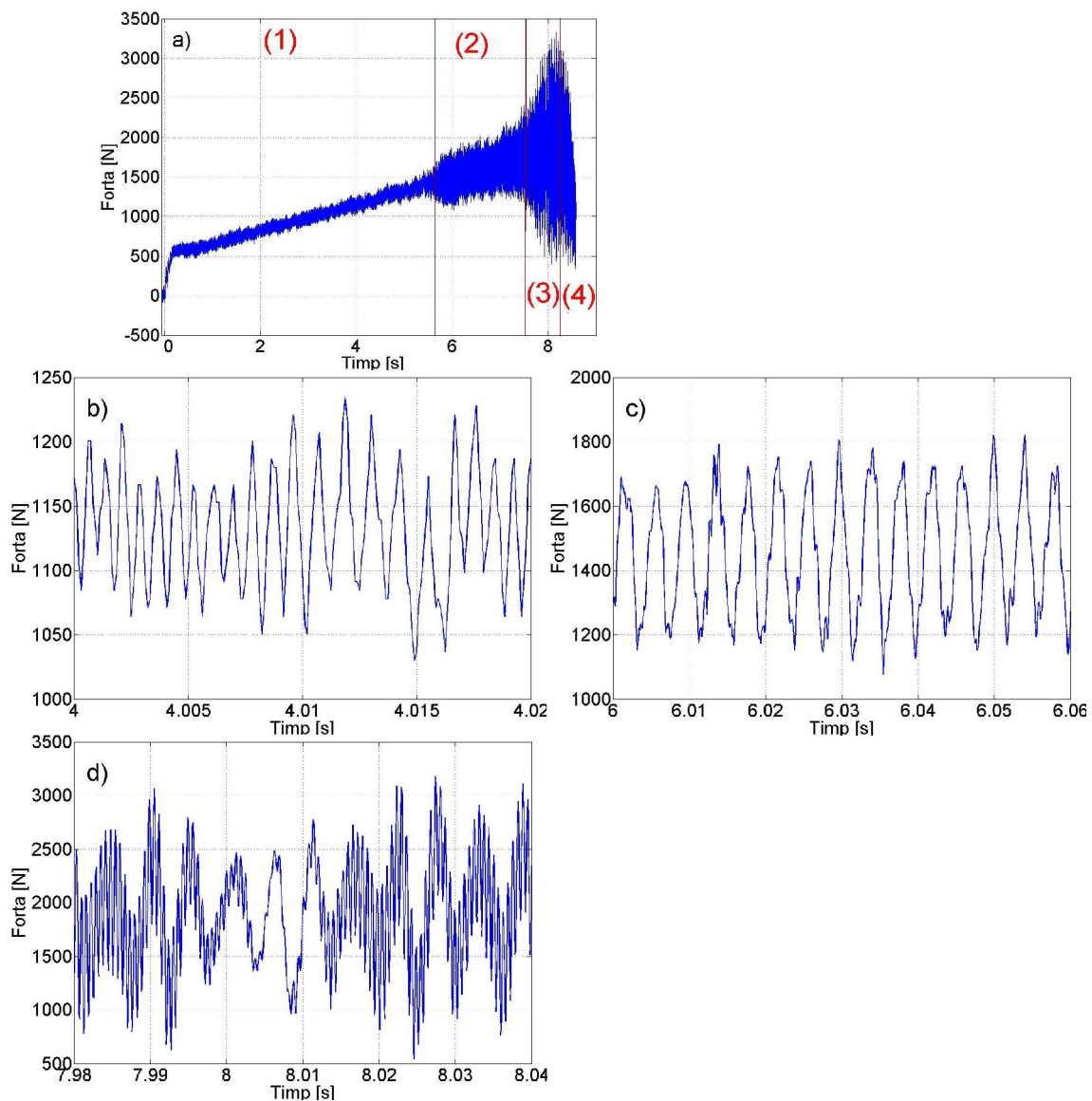


Figura 6. Variația componentei principale a forței pentru cazul piesei 2: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru un interval de timp în care variația forței nu a fost importantă; c,d) pentru intervale de timp pentru care variația forței a fost importantă

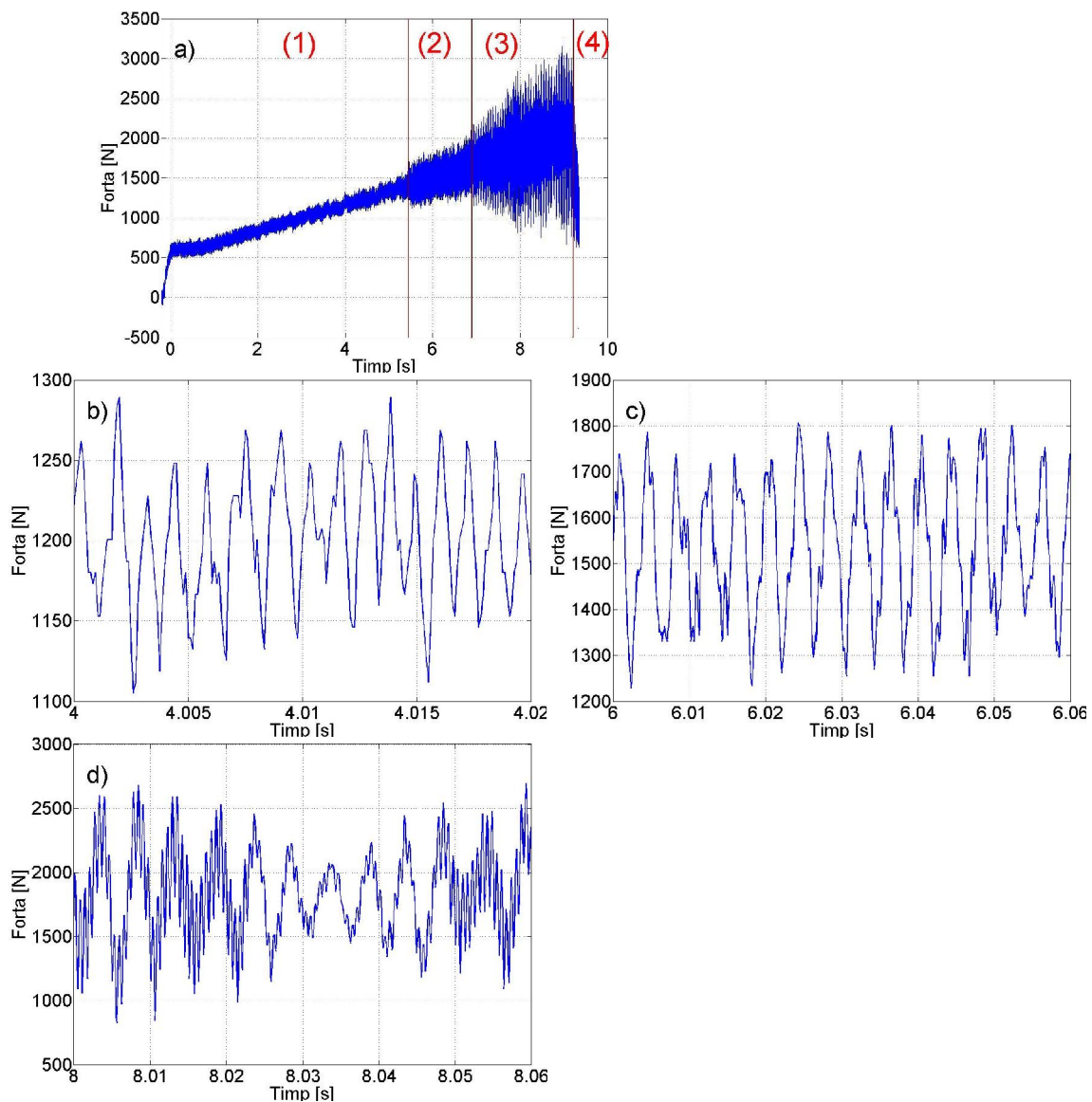


Figura 7. Variația componentei principale a forței pentru cazul piesei 3: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru un interval de timp în care variația forței nu a fost importantă; c,d) pentru intervale de timp pentru care variația forței a fost importantă

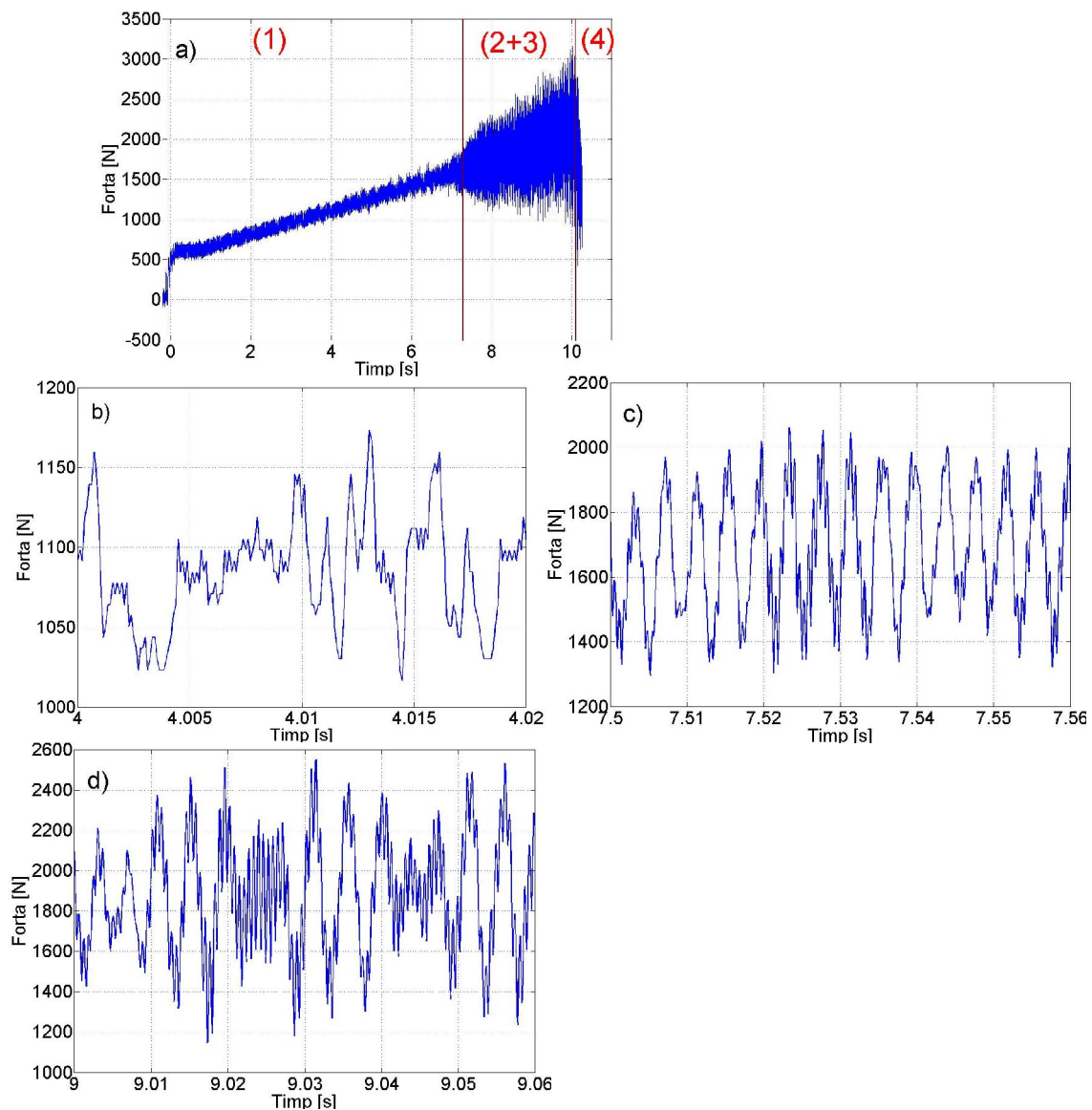


Figura 8. Variația componentei principale a forței pentru cazul piesei 4: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru un interval de timp în care variația forței nu a fost importantă; c,d) pentru intervale de timp pentru care variația forței a fost importantă

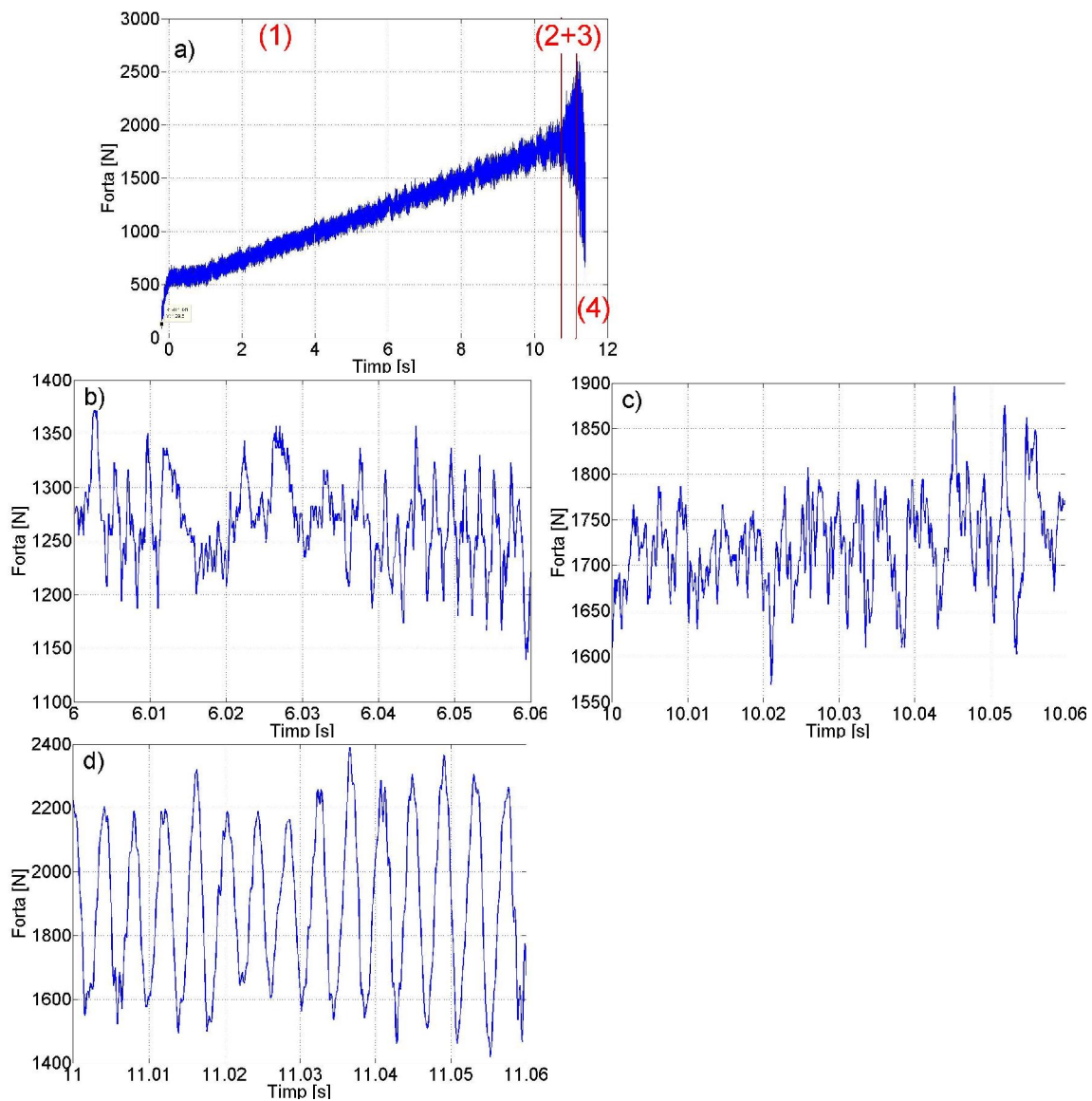


Figura 9. Variația componentei principale a forței pentru cazul piesei 5: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru un interval de timp în care variația forței nu a fost importantă; c,d) pentru intervale de timp pentru care variația forței a fost importantă

În figurile 10.a, 11.a,12.a,13.a,14.a se prezintă evoluția mărimii înregistrate de la accelerometru. Se observă că amplitudinea mărimii înregistrate de accelerometru crește o dată cu creșterea adâncimii de așchiere. Se observă că amplitudinea accelerației crește mai puternic atunci când în diagramele ce descriu variația forței (figurile 5.a, 6.a, 7.a, 8.a, 9.a) aceasta are o creștere importantă. Astfel, în cazul piesei 1, atât amplitudinea forței, cât și amplitudinea accelerației cresc foarte mult cu puțin înainte de secunda 6. În toate figurile

amintite mai sus se observă că după ce amplitudinea mărimii depășește o valoare critică evoluția mărimii furnizate de accelerometru nu mai este simetrică față de 0. Acest lucru este datorat faptului că s-a depășit domeniul dinamic al mărimii de ieșire care este $\pm 50g$. Așadar valorile măsurate peste acest interval nu sunt relevante.

În figurile 10.b, 11.b, 12.b, 13.b, 14.b, 14.c se prezintă evoluția mărimii furnizate de accelerometru pentru intervalele de timp evidențiate în diagramele de variație a forței din figurile 5.b, 6.b, 7.b, 8.b, 9.b. La fel ca și în cazul variației forței nu se remarcă un anumit tipar al diagramei, evoluția accelerației nefiind armonică, iar frecvența oscilațiilor este diferită față de cea corespunzătoare forței.

Similar, în figurile 10.c, 11.c, 12.c, 13.c, 14.d se prezintă evoluția mărimii furnizate de accelerometru pentru intervalele de timp evidențiate în diagramele de variație a forței din figurile 5.c, 6.c, 7.c, 8.c, 9.d. Se observă că semnalul accelerației este rezultată prin compunerea a două semnale armonice de frecvență diferită ca și în cazul diagramei de variație a forțelor prezentate în figurile 5.d, 6.d, 7.d, 8.d, însă acest fenomen se poate observa mult mai devreme în cazul semnalului furnizat de accelerometru.

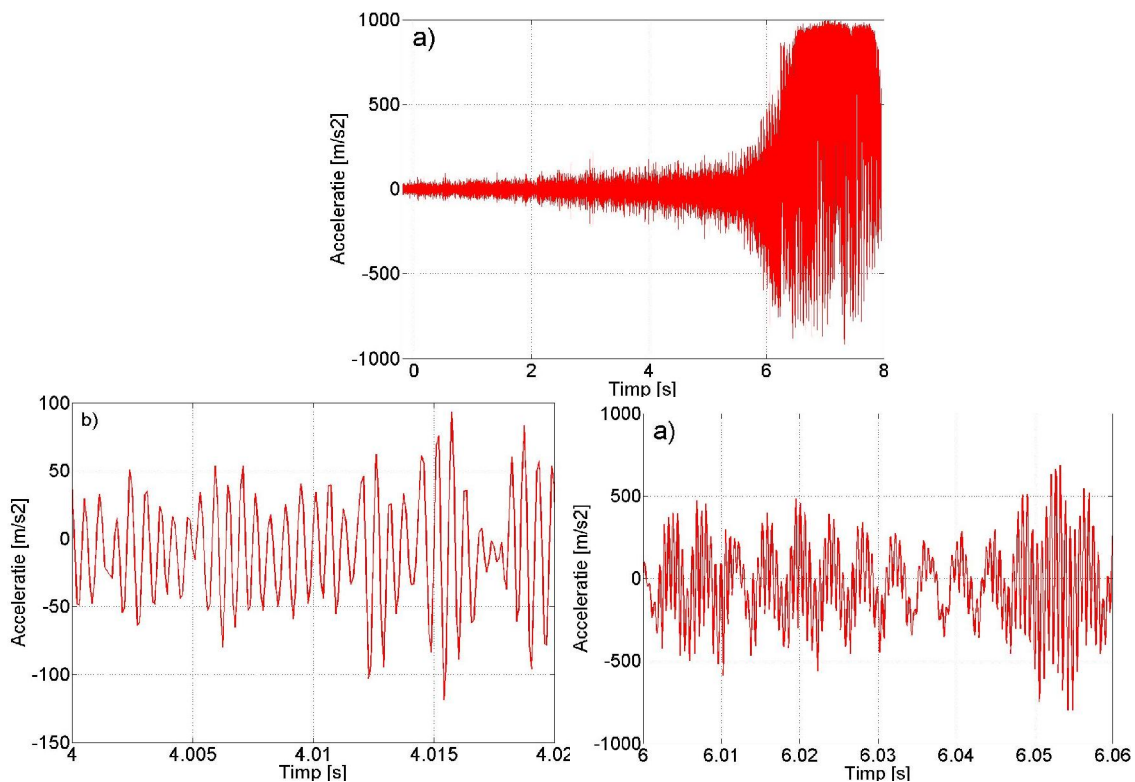


Figura 10. Variația semnalului furnizat de accelerometru pentru cazul piesei 1: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 5.b; c) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 5.c

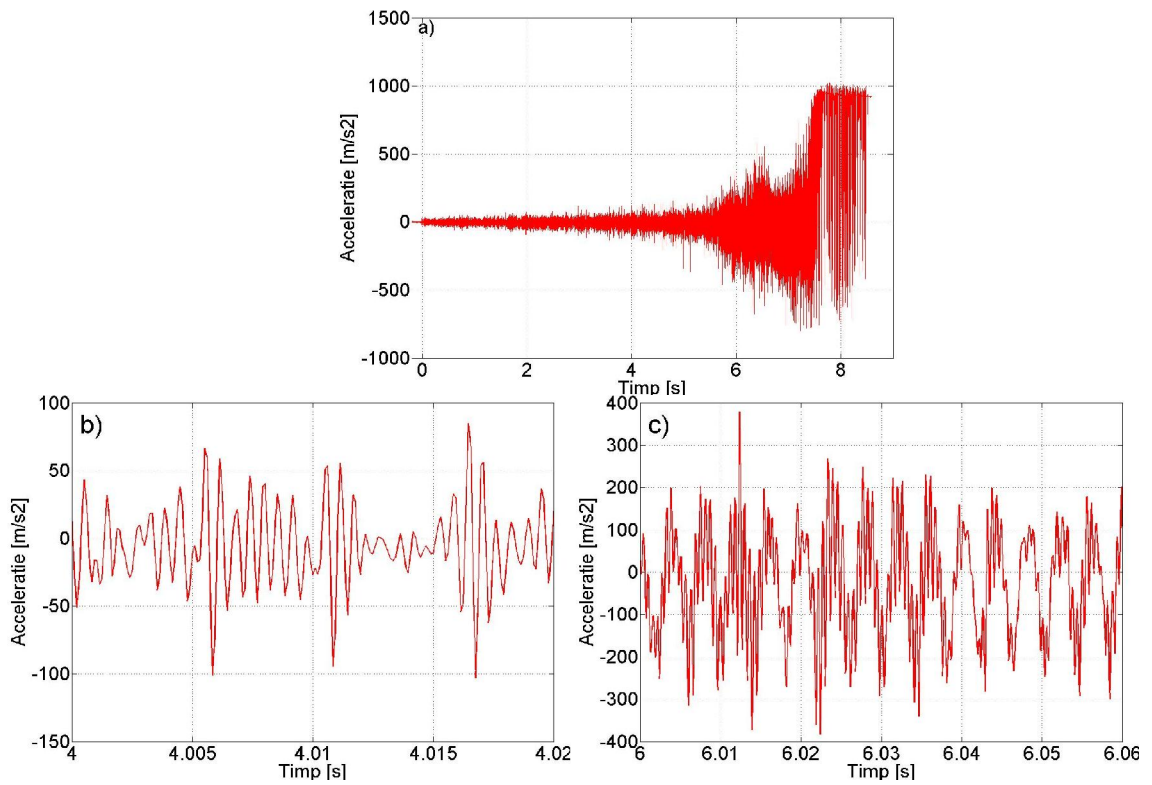


Figura 11. Variația semnalului furnizat de accelerometru pentru cazul piesei 2: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 6.b; c) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 6.c

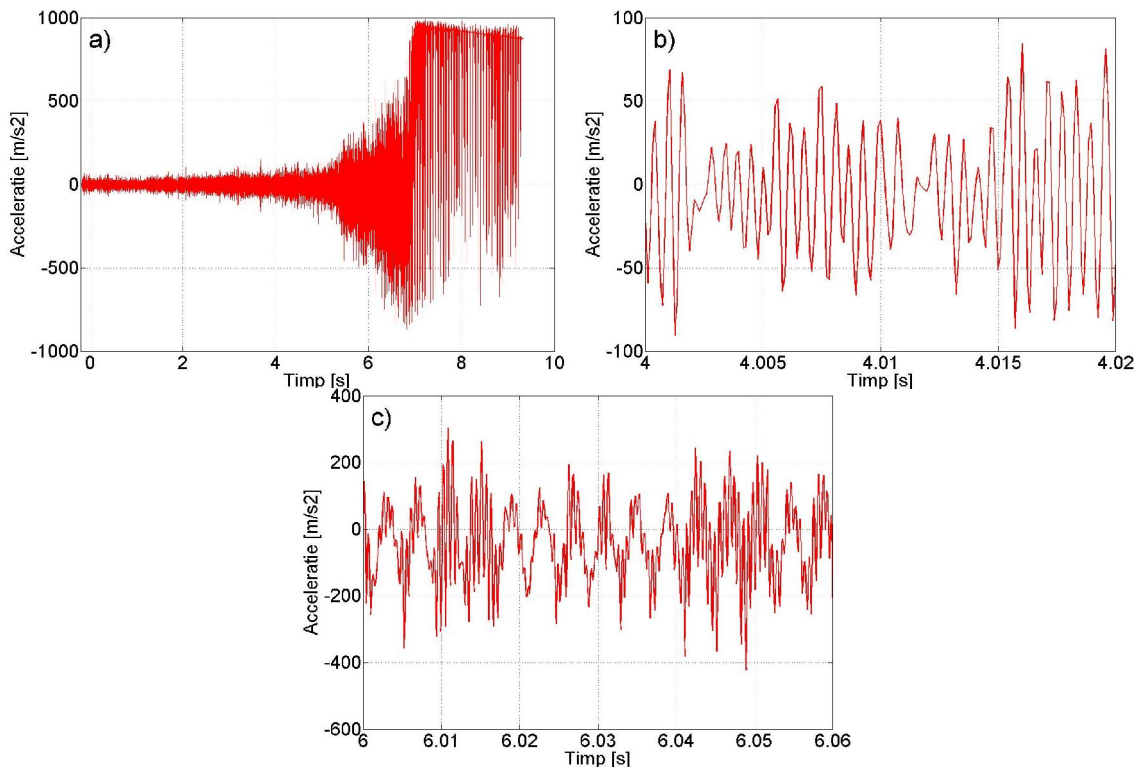


Figura 12. Variația semnalului furnizat de accelerometru pentru cazul piesei 3: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 7.b; c) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 7.c

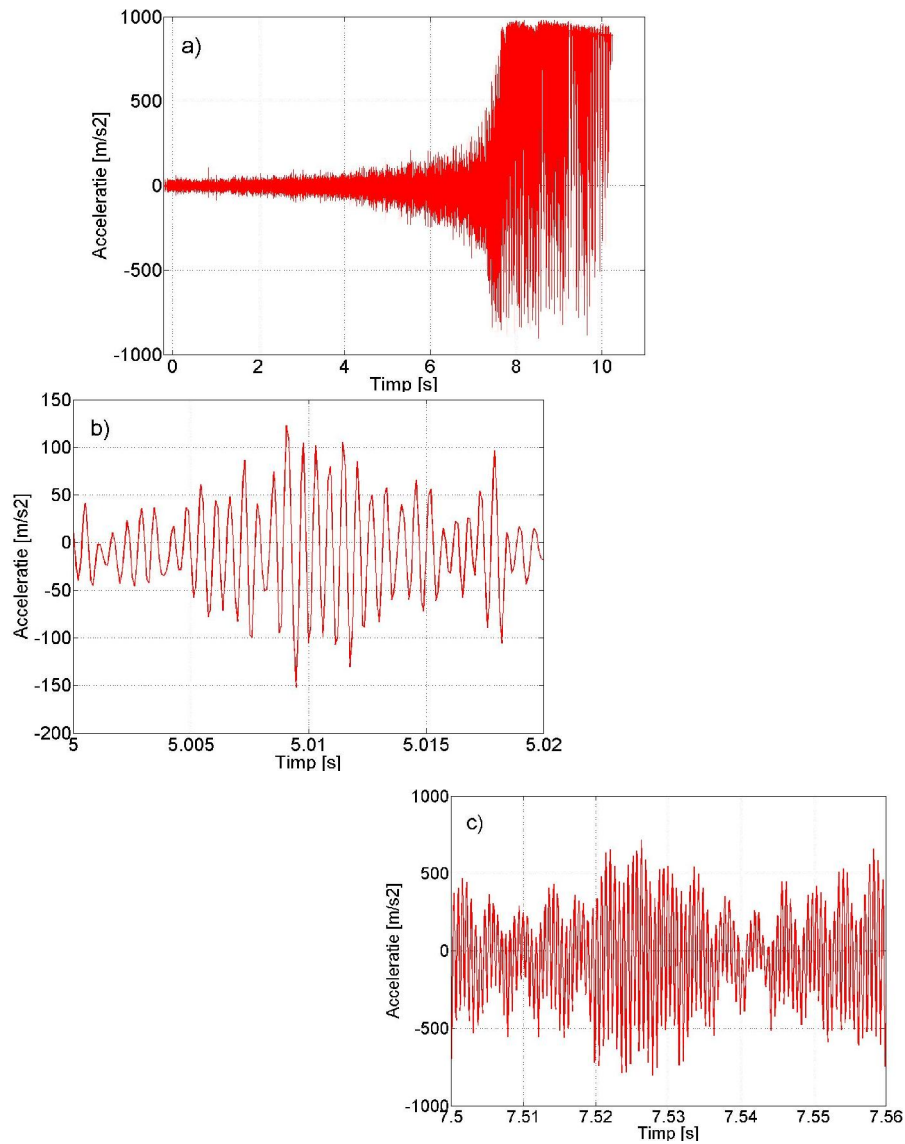


Figura 13. Variația semnalului furnizat de accelerometru pentru cazul piesei 4: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 8.b; c) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 8.c

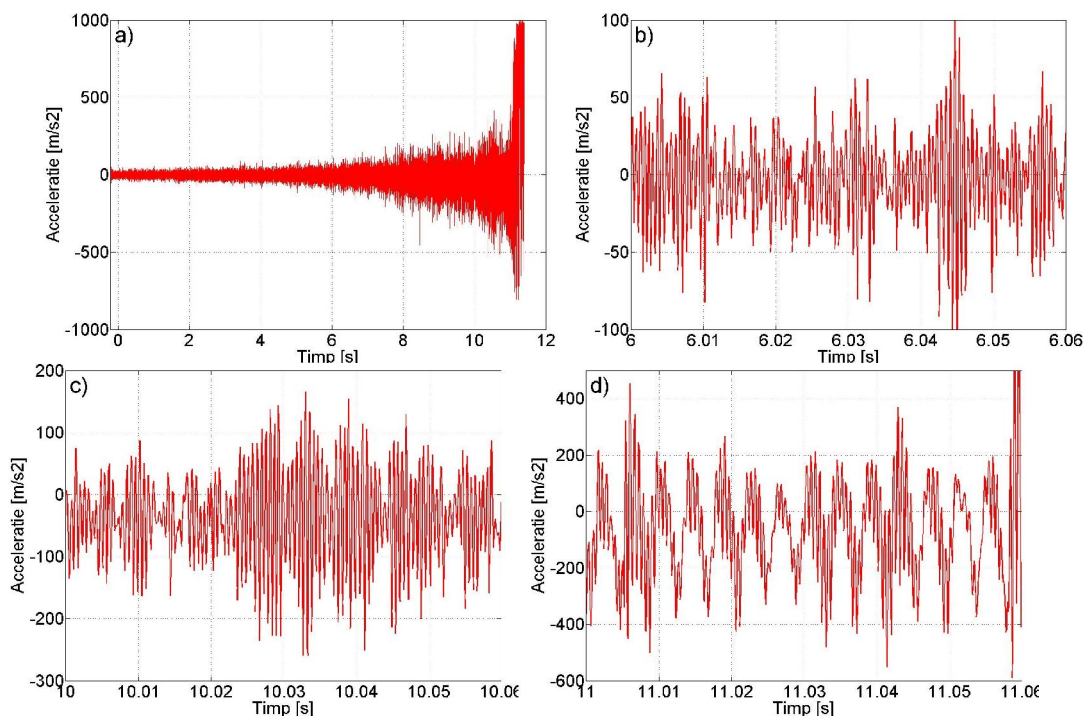


Figura 14. Variația semnalului furnizat de accelerometru pentru cazul piesei 4: a) pentru tot intervalul de timp pe care s-a realizat prelucrarea; b) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 9.b; c) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 9.c; d) pentru intervalul de timp evidențiat în figura 9.d

În primă fază, am utilizat seriile de timp obținute în urma înregistrării semnalului provenit de la mărcile tensometrice și de la accelerometru pentru a determina evoluția celui mai mare exponent Lyapunov cu adâncimea de așchiere și pentru a studia dacă variația acestuia discriminează stările instabile de cele stabile.

Am calcula exponentul Lyapunov am folosit metoda propusă în [Rosenstein1992], prin care experimental Lyapunov este calculat folosind datele unor serii de timp chiar în situația în care seriile de timp nu conțin un număr mare de eșantioane. Parametrul m –*embedding dimension*, a fost determinat prin metoda *False Nearest Neighbour* iar parametrul J -*reconstruction delay* a fost folosit folosind funcția de autocorelare. Seriile de timp obținute de la accelerometru și de la puntea tensometrică au fost divizate în ferestre de 512 eșantioane. Pentru fiecare semnal și pentru fiecare eșantion s-a calculat valoarea celui mai mare exponent Lyapunov.

În figura 15 se prezintă variația celui mai mare exponent Lyapunov calculat pentru semnalul forță corespunzător piesei 1, în raport cu adâncimea de așchiere și cu cota longitudinală Z . Pentru fiecare fereastră pentru care s-a stabilit valoarea exponentului

Lyapunov, din seria de timp corespunzătoare forței de așchiere s-a extras componenta cu evoluție lentă în timp. Astfel, pentru fiecare fereastră această componentă a fost aproximată prin regresie liniară, iar prin scăderea acestei componente din semnalul forță se obține componenta cu variație rapidă în timp. Apariția fenomenului de instabilitate poate fi determinată după analiza morfologiei suprafețelor rezultate în urma prelucrării (figura 2). Astfel s-a stabilit că trecerea de la domeniul stabil la domeniul instabil s-a realizat atunci când cota Z a fost circa 37 mm. Cunoscând traiectoria pe care scula a avut-o în timpul prelucrării se poate stabili legătura dintre adâncimea de așchiere și cota Z, stabilind pe suprafețelor din figura 2, adâncimea de așchiere la care a apărut fenomenul de instabilitate. Din analiza figurii nu se poate determina o legătură între apariția fenomenului de instabilitate și valoarea celui mai mare exponent Lyapunov. Aceeași procesare s-a realizat și pentru semnalul provenit de la accelerometru. Astfel în figura 15 se prezintă evoluția celui mai mare exponent Lyapunov cu adâncimea de așchiere și cu cota Z pentru semnalul provenit de la accelerometru. Evoluția exponentului nu este relevantă în ceea ce privește discriminarea stărilor sistemului. De asemenea nu se poate observa o legătură între cele două figuri în sensul că exponenții Lyapunov nu variază concomitent.

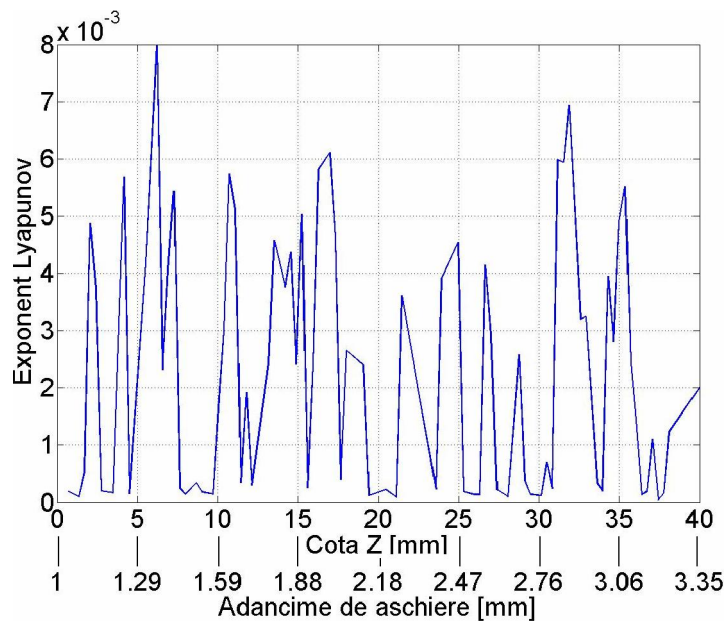


Figura 15. Evoluția exponentului Lyapunov calculat pentru serii de timp corespunzătoare semnalului forță înregistrat în timpul prelucrării piesei 1

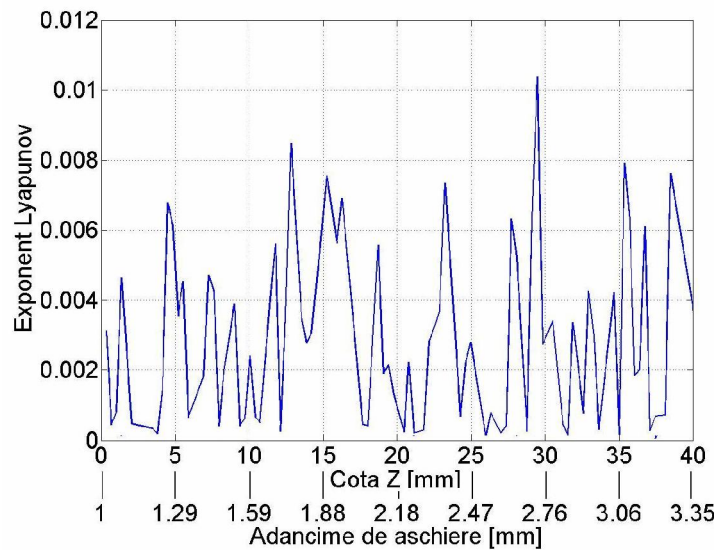
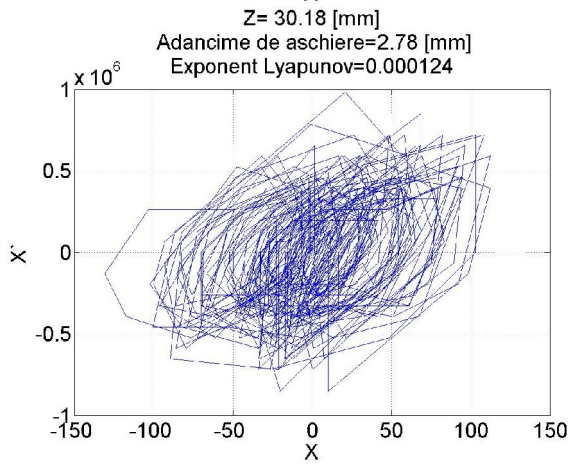
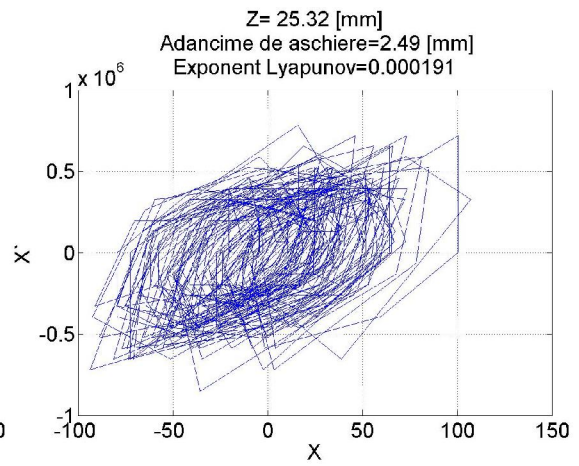
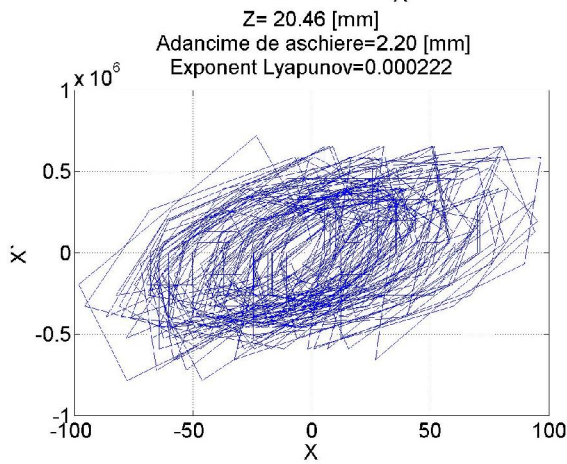
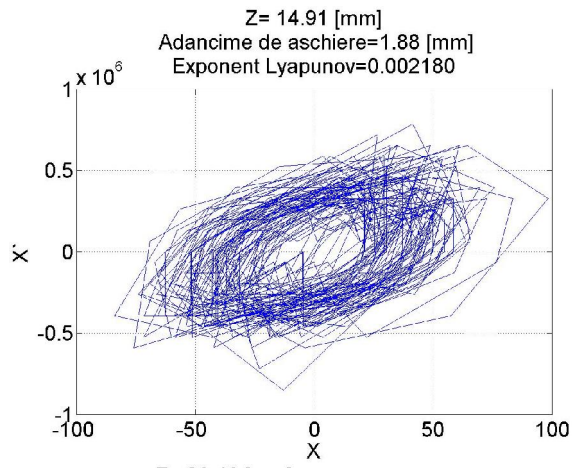


Figura 16. Evoluția exponentului Lyapunov calculat pentru serii de timp corespunzătoare semnalului accelerație înregistrat în timpul prelucrării piesei 1

În figura 17 se prezintă diagrame de tipul $X'=f(X)$ rezultate în urma procesării semnalului forță corespunzător piesei 1 . Din analiza diagramelor s-a observat că o dată cu apariția fenomenului de instabilitate forma curbelor se modifică, având un aspect neregulat. Totuși acest aspect neregulat a fost observat și în cazul diagramelor corespunzătoare ferestrelor pentru care sistemul a fost stabil.



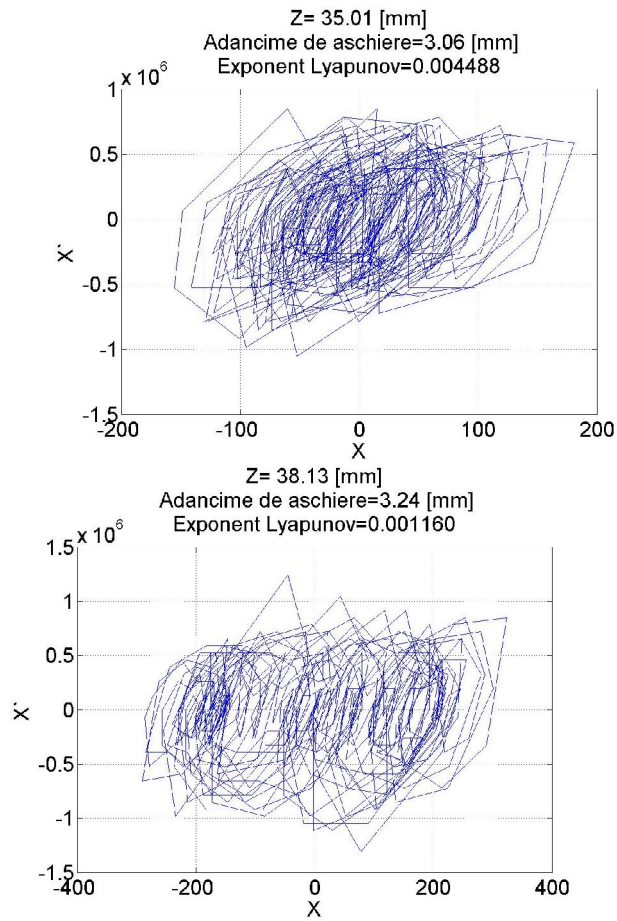


Figura 17. Diagrame $X'=f(X)$ rezultate în urma procesării semnalului forță corespunzător piesei 1

În figura 18 se prezintă diagramele $X'=f(X)$ rezultate în urma procesării semnalului accelerație corespunzător piesei 1. Curbele relevate în diagrame prezintă un aspect mai regulat. În situațiile în care sistemul a fost stabil înfășurătoarea curbelor din fiecare diagramă au o formă de elipsă care nu poate fi sesizată pentru situațiile în care fenomenul de instabilitate a apărut.

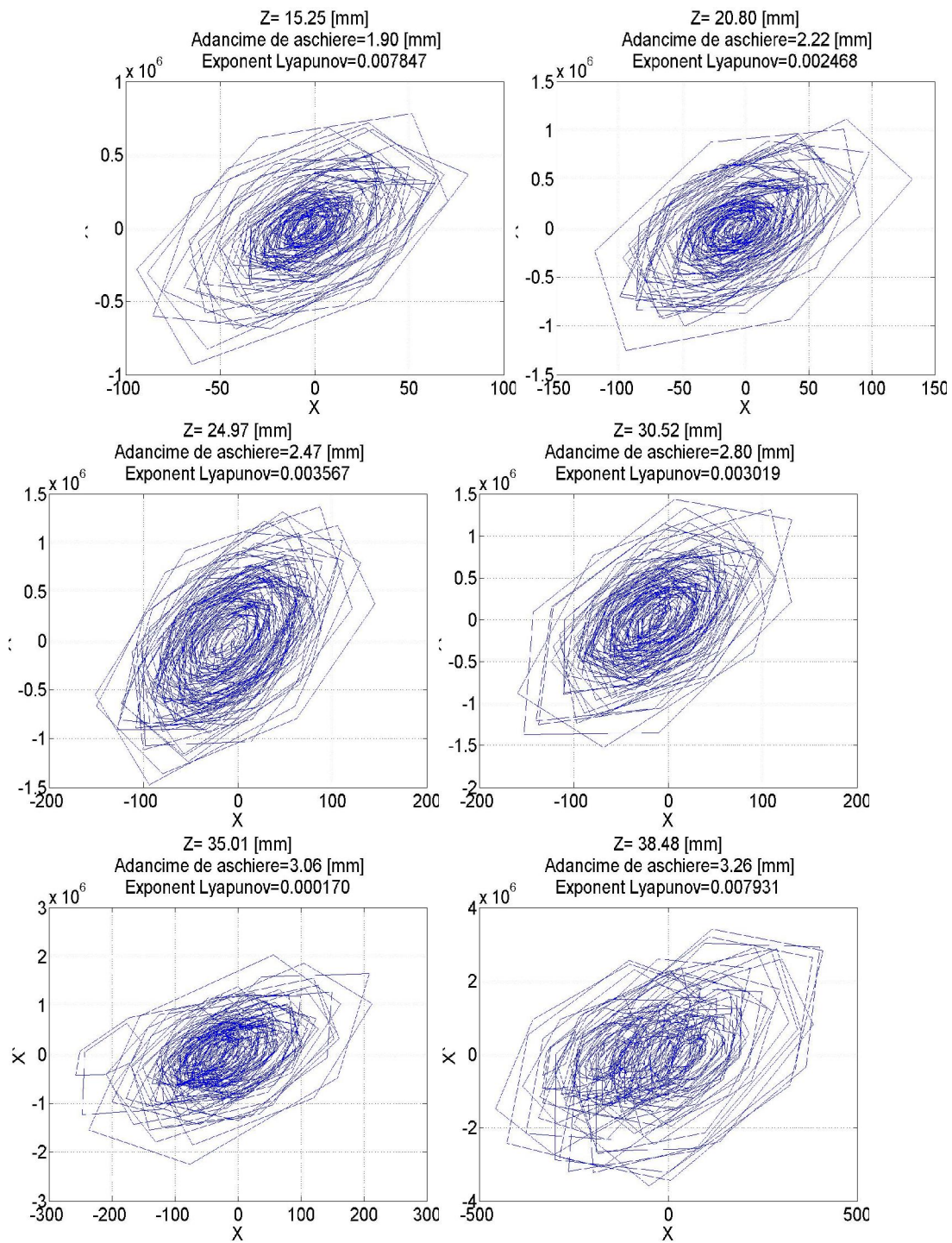


Figura 18. Diagrame $X'=f(X)$ rezultate în urma procesării semnalului accelerație corespunzător piesei 1

Activitatea 1.2: Determinarea unui indicator robust de evaluare online a rezervei de stabilitate. Realizarea experimentală a controlului stabilității mașinii prototip

Pentru determinarea unui indicator prin care să se stabilească rezerva de stabilitate s-au analizat semnalele obținute în urma monitorizării pieselor prelucrate în cadrul experimentului descris în capitolul 1.1 în domeniul frecvență folosind transformarea Fourier discretă. Pentru realizarea transformării s-a folosit algoritmul FFT. Setul de date obținut pentru fiecare piesă a fost împărțit în ferestre de 512 înregistrări pentru care suprapunerea a fost de 256 înregistrări. S-a realizat spectrograma semnalelor, iar ferestrele au fost de tip Hamming.

În figura 19 se prezintă spectrograma semnalului forța corespunzător piesei 1. În spectrogramă pe lângă axa care evidențiază variația timpului se prezintă axele care exprimă variația corespunzătoare adâncimii de așchiere și cotei longitudinale Z.

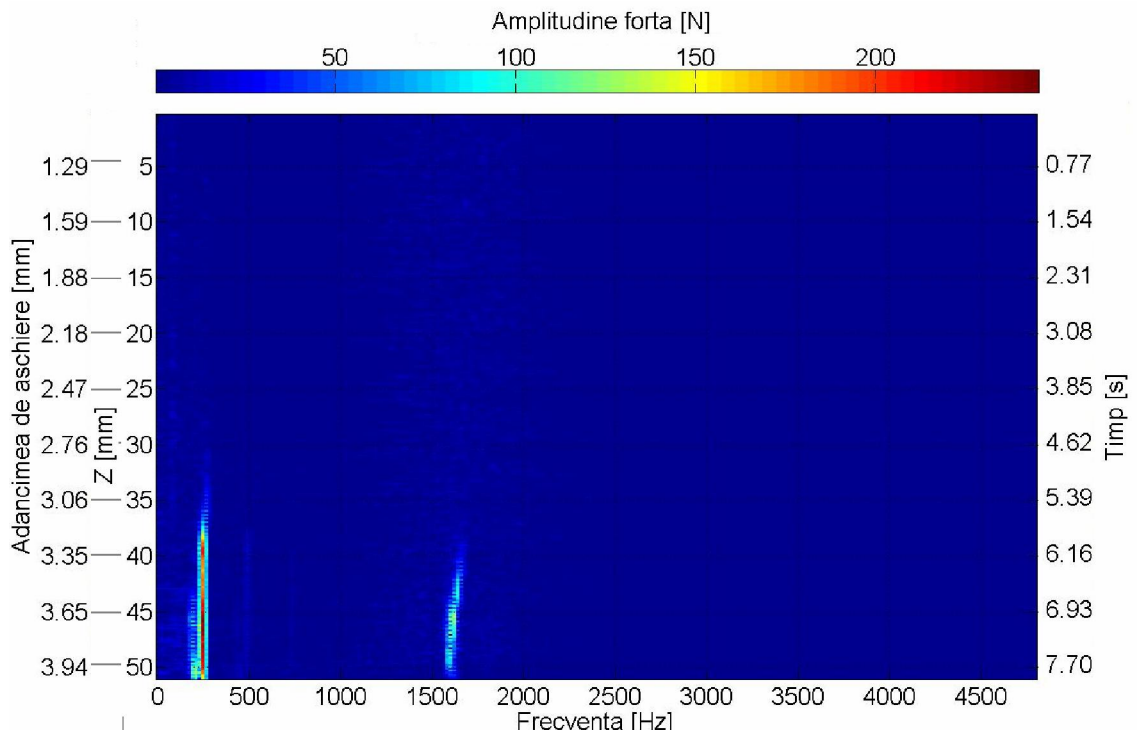


Figura 19. Spectrograma semnalului forța corespunzătoare piesei 1 evidențiată pentru întreg domeniu de timp în care s-a realizat prelucrarea

Din analiza spectrogramei remarcăm că în primele 4,5 secunde ale prelucrării nu se evidențiază nici o frecvență importantă pentru care amplitudinea să fie semnificativă. După acest interval, o dată cu creșterea adâncimii de așchiere, procesul de prelucrare tinde să devină instabil. Acest lucru, este evidențiat în spectrogramă prin prezența unor frecvențe pentru care amplitudinea este ridicată. Astfel, se observă că această prezintă două zone în care se manifestă frecvențele proprii ale sistemului. Prima zona corespunde unui interval de frecvențe mai redus ca valoare cuprins între 200 și 260 Hz. În prima fază se evidențiază frecvența de 247Hz. După 6 secunde se evidențiază și frecvențe mai ridicate, cuprinse între 1550Hz și 1600Hz. Analizând spectrograma în raport cu morfologia suprafeței prelucrate prezentată în figura 2.a se poate remarca cota longitudinală pentru care aceasta prezintă aspectul specific fenomenului de instabilitate dinamică, (care este de circa 37mm) ce se evidențiază și în spectrogramă ca fiind valoarea Z la care amplitudinea componentelor frecvențelor apropiate de 250Hz crește. În figura 2.a poate observa că pentru cote longitudinale mai mari de 39 mm, neregularitățile suprafeței prelucrate diferă ca aspect de aspectul suprafeței cuprinse între cotele 37 și 39 mm. În spectrogramă, se observă că, de la cota Z=39mm, amplitudinea forței, pentru banda de frecvență cuprinsă între 1560-1640Hz crește.

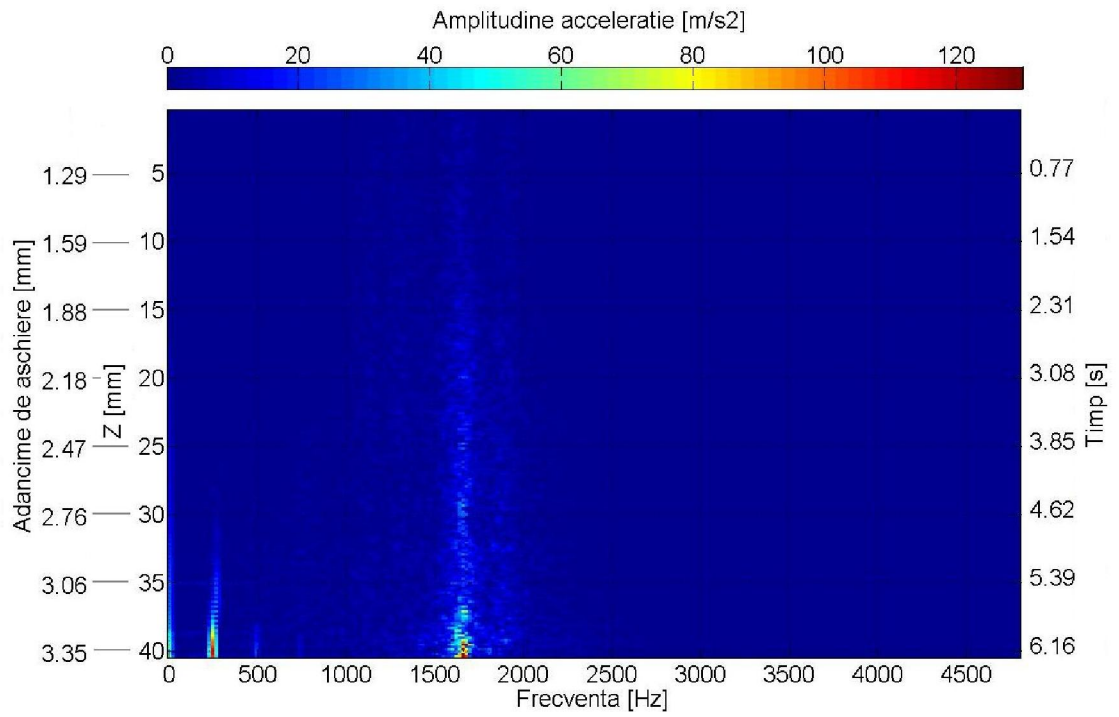


Figura 20. Spectrograma semnalului accelerație corespunzătoare piesei 1 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

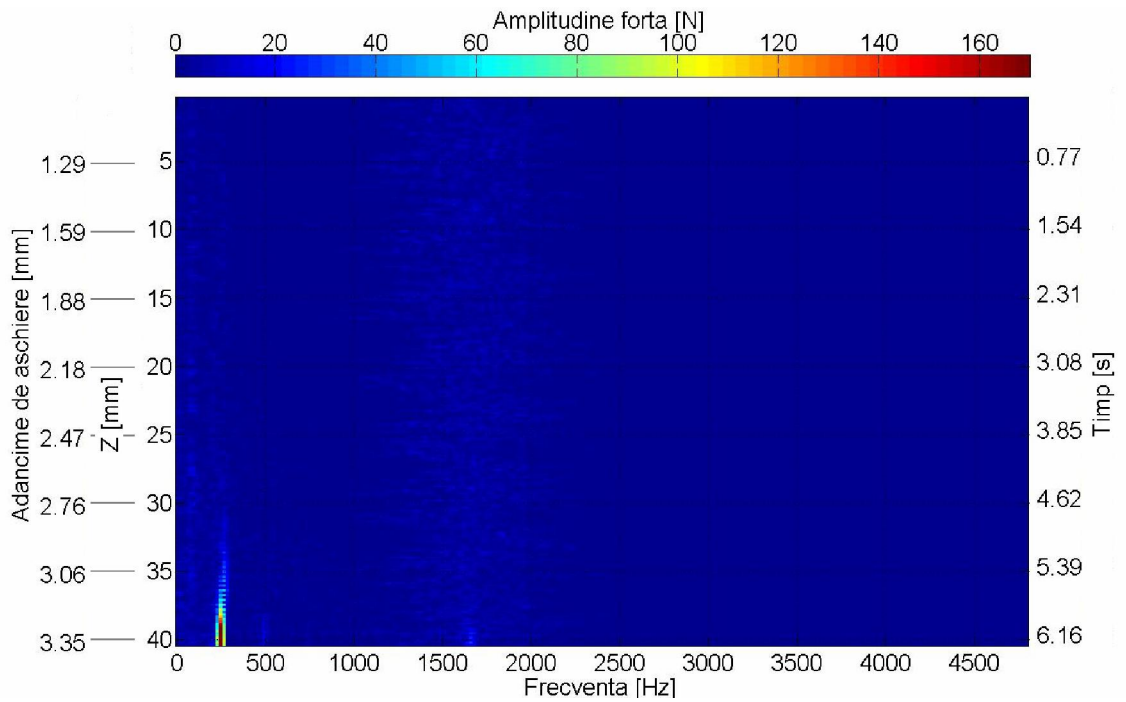


Figura 21. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 1 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

În figura 20 se prezintă spectrograma semnalului accelerație achiziționat în cazul piesei 1. Având în vedere faptul că domeniul dinamic al accelerometrului este limitat, în spectrograma se prezintă doar intervalul în care mărimea furnizată de accelerometru este cuprinsă în limitele domeniului dinamic. Analizând spectrograma se poate observa că apariția fenomenului de instabilitate determină creșterea amplitudinii corespunzătoare frecvențelor din banda 200-260Hz. Se observă de asemenea că frecvențele din banda 1500-1700Hz se evidențiază mult mai devreme de apariția fenomenului de instabilitate, însă prezintă creștere mai accentuată o dată cu creșterea amplitudinii corespunzătoare frecvențelor din banda 200-260 Hz.

În figura 21 se prezintă spectrograma semnalului forță pentru piesa 1, limitată doar la intervalul de timp evidențiat în cadrul spectrogramei semnalului accelerație. Pentru celelalte piese, spectrograma semnalului forță precum și spectrograma semnalului accelerație vor prezentate doar pentru intervalul de timp pentru care amplitudinea semnalului accelerometrului este în domeniul dinamic.

În figura 22 se prezintă spectrograma semnalului forță pentru piesa 2. Analizând suprafața piesei prelucrată, prezentată în figura 2.b s-a constatat că valoarea cotei longitudinale pentru care fenomenul de instabilitate apare este în jur de 34 de mm. Această valoare poate fi remarcată și în spectrogramă ca fiind cota Z pentru care amplitudinea corespunzătoare frecvențelor aflate în banda 200Hz-260Hz depășesc 50N.

Spectrograma semnalului accelerometrului prezentată în figura 23 evidențiază aceleași benzi de frecvență ca și în cazul piesei 1, fenomenul de instabilitate fiind sesizabil prin creșterea amplitudinii celor două benzi de frecvență din spectrogramă care poate fi corelată cu morfologia suprafeței rezultate în urma prelucrării. Ca și în cazul spectrogramei semnalului accelerație corespunzător piesei 1, în figura 23 se poate observa că frecvențele din banda 1500-1700Hz prezintă amplitudini mai ridicate decât celelalte frecvențe înainte de apariția fenomenului de instabilitate.

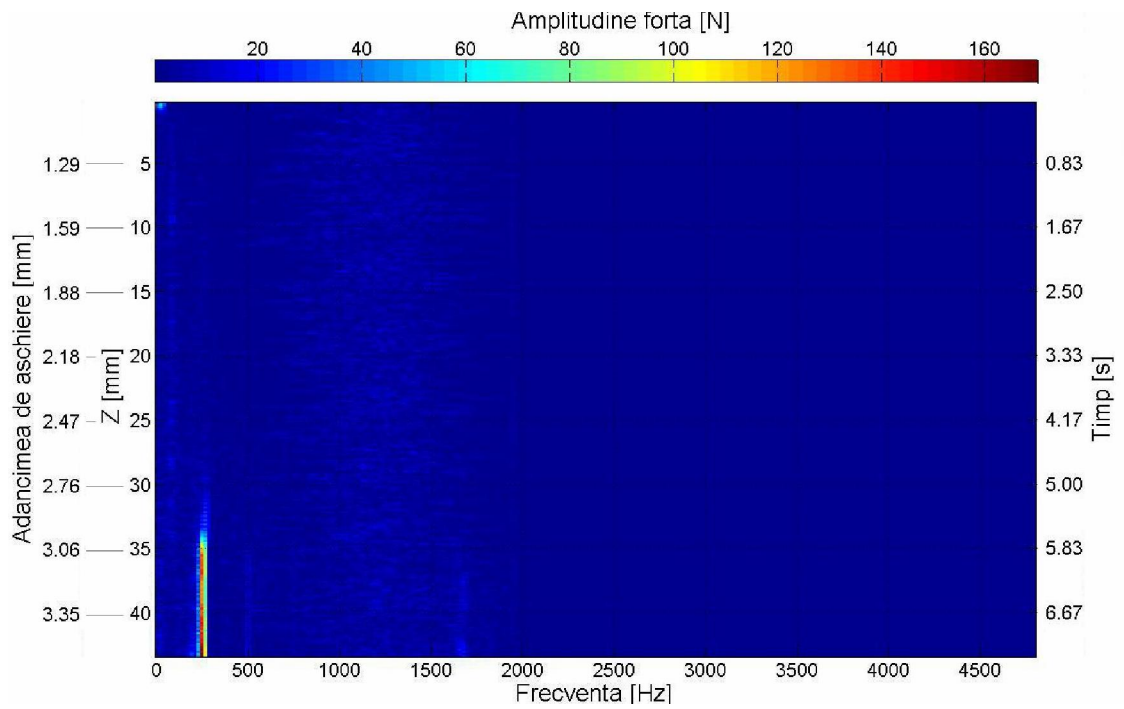


Figura 22. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 2 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

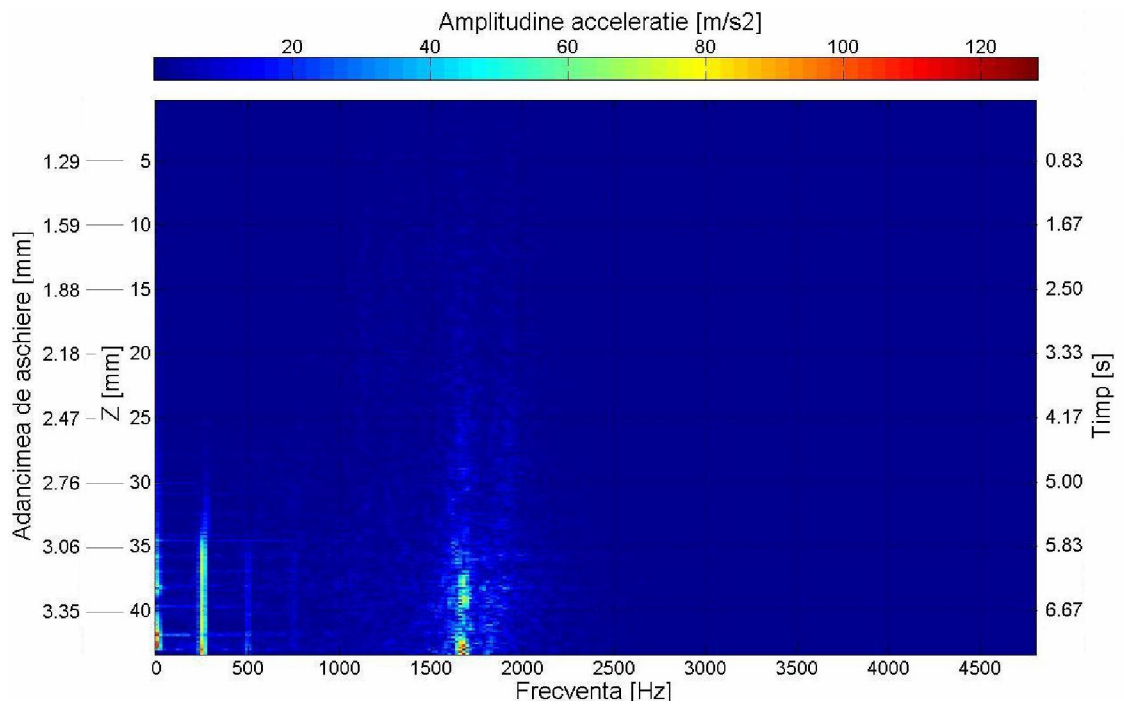


Figura 23. Spectrograma semnalului accelerație corespunzătoare piesei 2 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

În figurile 24, 26 și 28 se prezintă spectrogramele semnalelor forță pentru celelalte piese prelucrate în cadrul experimentului. În spectrograme se poate observa că frecvențele apropiate de 245Hz se evidențiază datorită faptului că odată cu apariția fenomenului de instabilitate amplitudinile corespunzătoare acestei frecvențe cresc. Din analiza acestor spectrograme și a figurilor 2.c și 2.d și 2.e care prezintă suprafețele prelucrate se observă faptul că în toate cazurile cota Z la care se produce creșterea amplitudinii corespunzătoare frecvențelor proprii coincide cu cota longitudinală la care se pot observa suprafețele care prezintă neregularitățile specifice fenomenului de instabilitate dinamică, mai precis 30 mm pentru piesa 3, 35 pentru piesa 4 și 49mm pentru piesa 5.

Analizând spectrogramele obținute în urma procesării semnalului provenit de la accelerometru pentru piesele 3, 4 și 5 din figurile se remarcă faptul că există două benzi de frecvență care prezintă amplitudini importante. Cea de-a doua bandă de frecvențe este mai largă și cuprinde frecvențe cuprinse între 1600 și 1700 Hz. Acest lucru este datorat în special frecvenței de eșantionare care este prea mică pentru a determina cu precizie această frecvență, și numărului relativ scăzut de eșantioane (înregistrări) folosit pentru construcția ferestrelor folosite de algoritmul FFT. Este de asemenea de remarcat faptul că această bandă de frecvențe este evidențiată chiar înainte de apariția fenomenului de instabilitate. Acest fenomen este mai remarcabil pentru cazul pieselor 4 și 5. În spectrogramele obținute în urma procesării semnalului provenit de la accelerometru se evidențiază de asemenea și banda de frecvență mai scăzută de circa 250Hz. Creșterea amplitudinilor corespunzătoare acestei benzi de frecvențe ca și în cazul spectrogramelor semnalului forței indică apariția fenomenului de instabilitate.

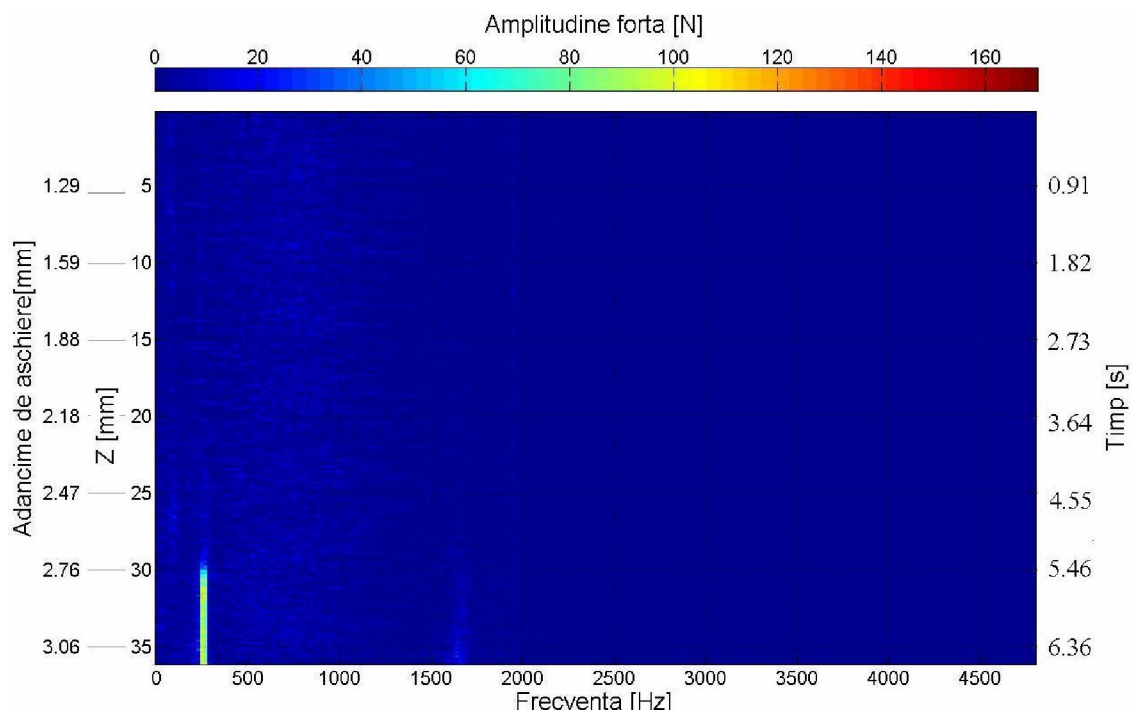


Figura 24. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 3 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

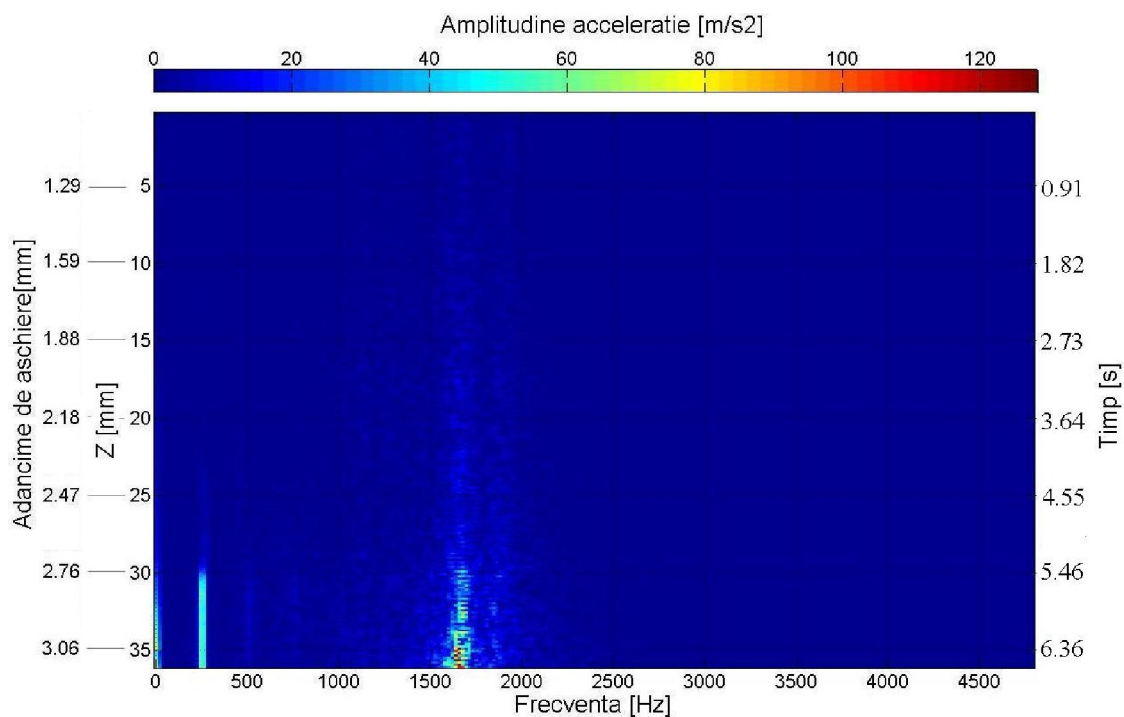


Figura 25. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 3 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

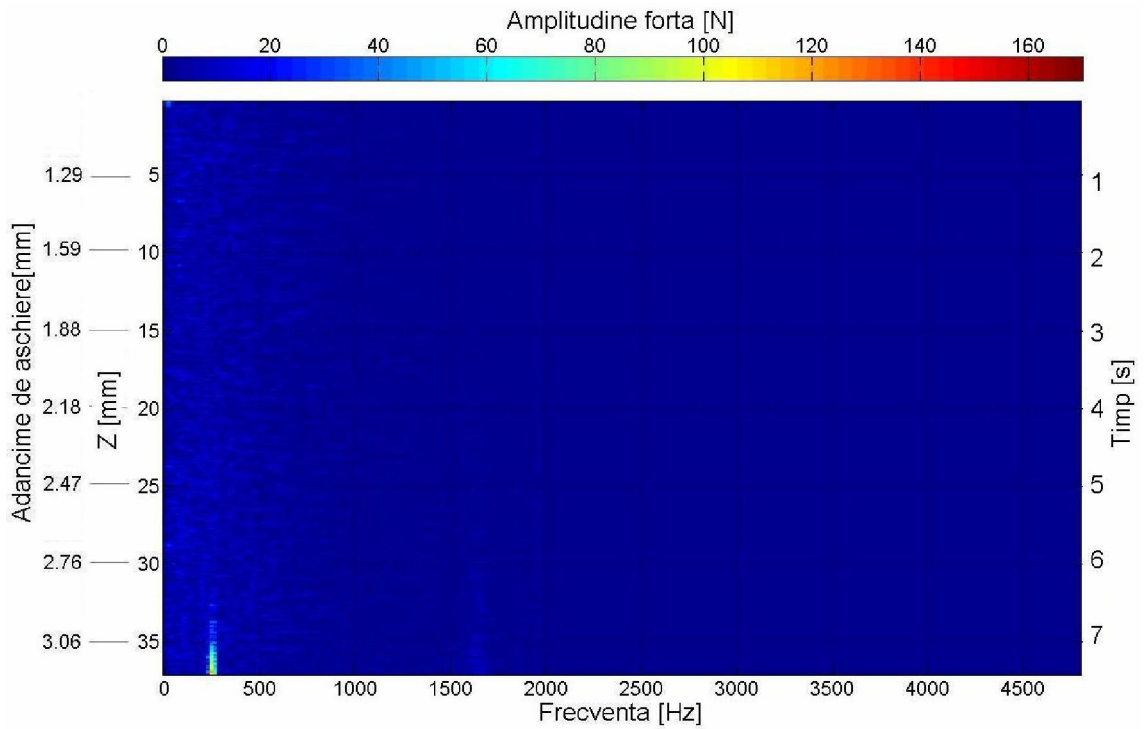


Figura 26. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 4 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

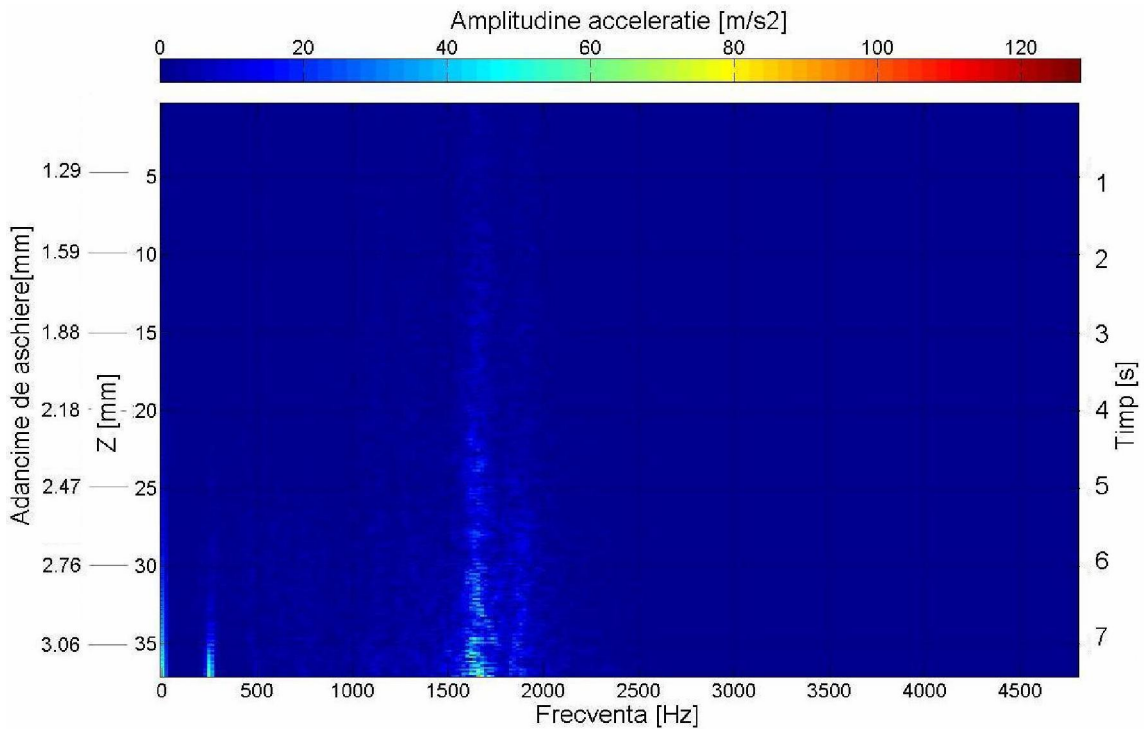


Figura 27. Spectrograma semnalului accelerație corespunzătoare piesei 4 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

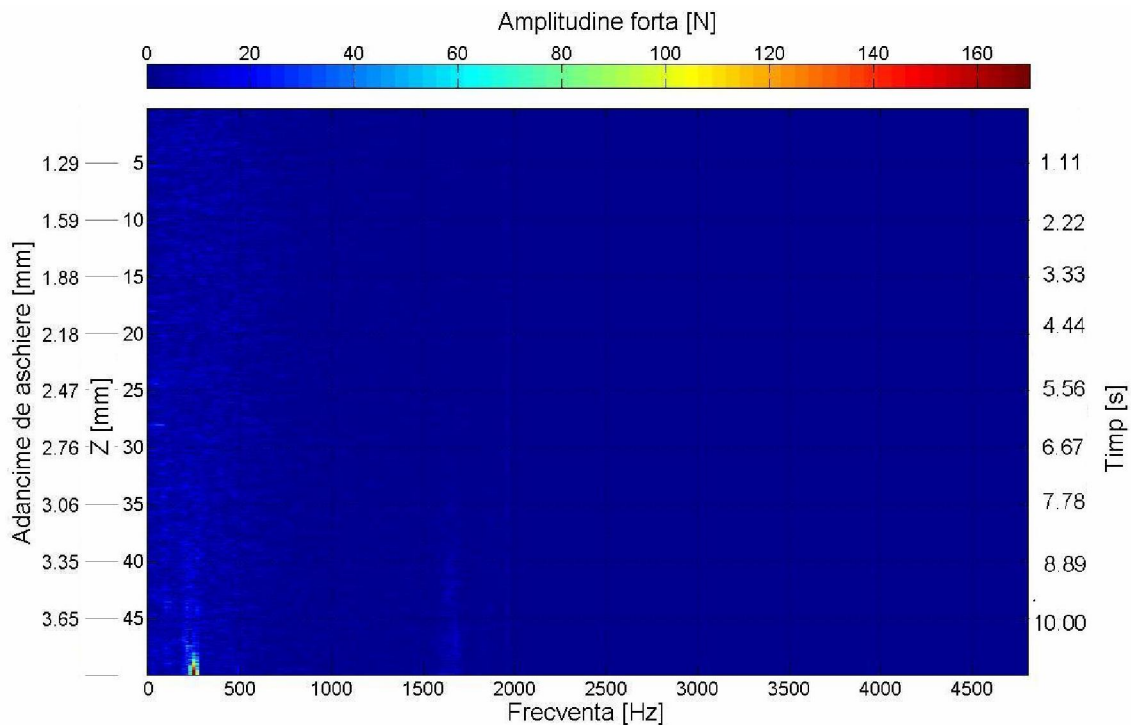


Figura 28. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 5 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

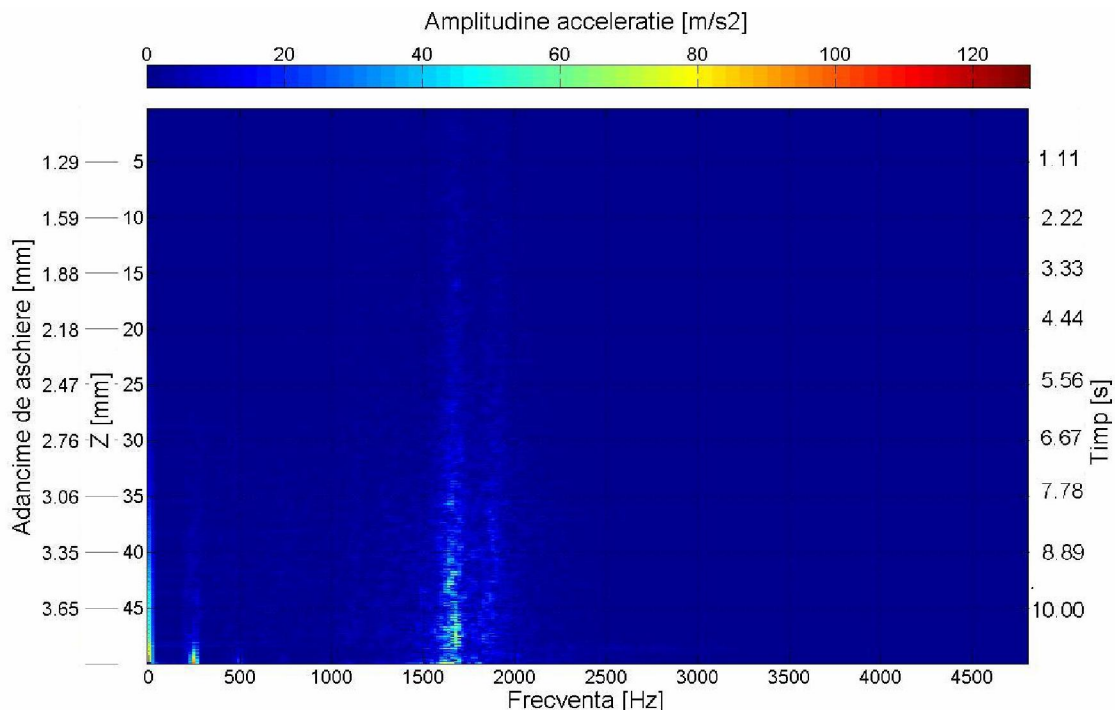
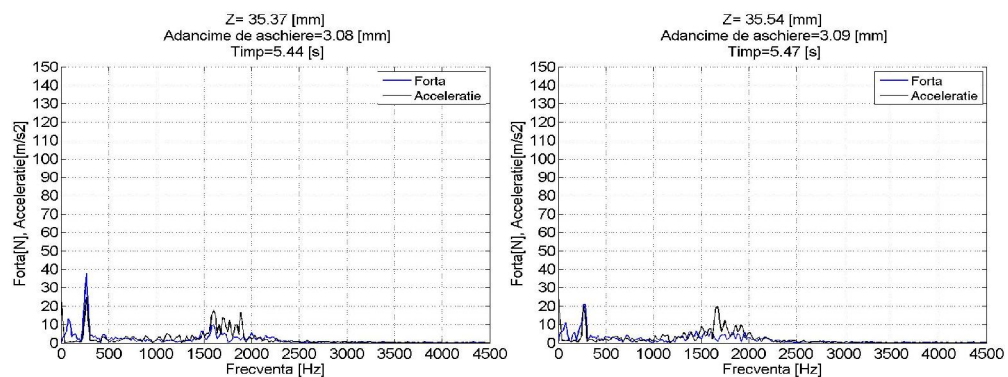


Figura 29. Spectrograma semnalului forță corespunzătoare piesei 5 evidențiată pentru domeniul în care mărimea furnizată de accelerometru este limitată în domeniu dinamic

În continuare se prezintă diagramele FFT pentru semnale forță și accelerație pentru intervalele de timp de tranziție de la starea de instabilitate la starea de stabilitate pentru toate piesele prelucrate. Se observă că pentru toate piesele prelucrate, banda de frecvență cuprinsă între 200 Hz și 250Hz se evidențiază prin amplitudini ridicate pentru accelerație și pentru forță atunci când sistemul este instabil. Trecerea de la stabilitate la instabilitate se poate remarca datorită creșterii amplitudinilor forței și accelerației pentru această bandă de frecvență. Banda de frecvență de la 1600 la 1700 se remarcă prin amplitudini importante chiar și atunci când fenomenul de instabilitate nu poate fi sesizat. Putem concluziona că monitorizând amplitudinea corespunzătoare frecvențelor proprii se poate identifica apropierea de limita de stabilitate.



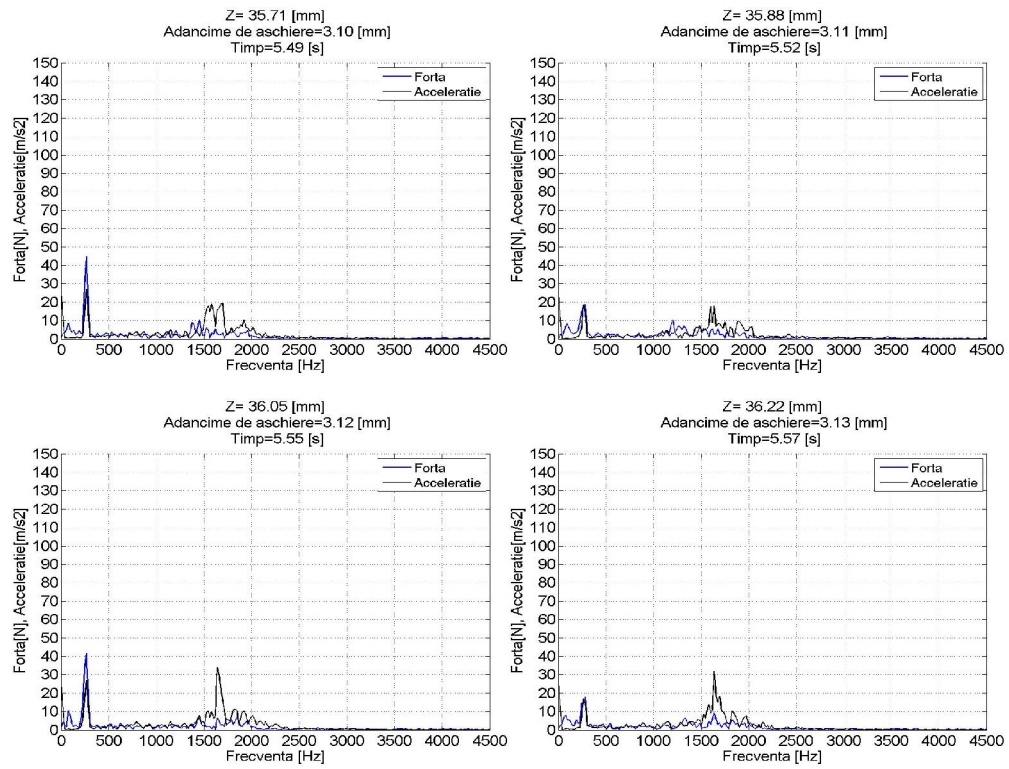
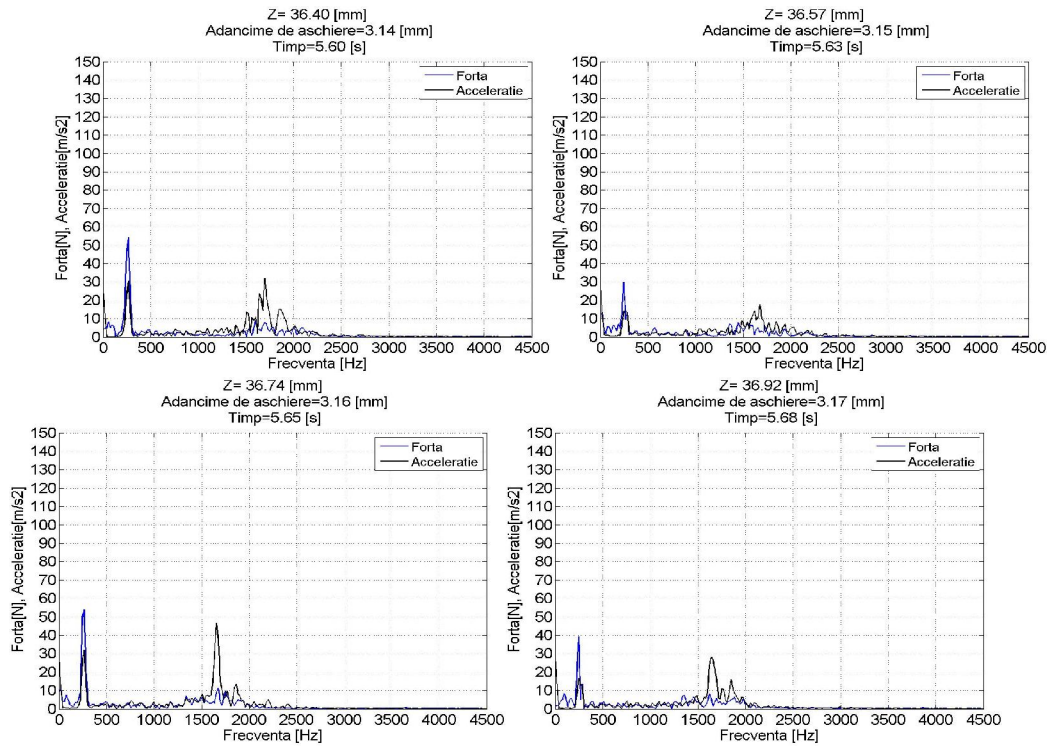


Figura 30. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 1.



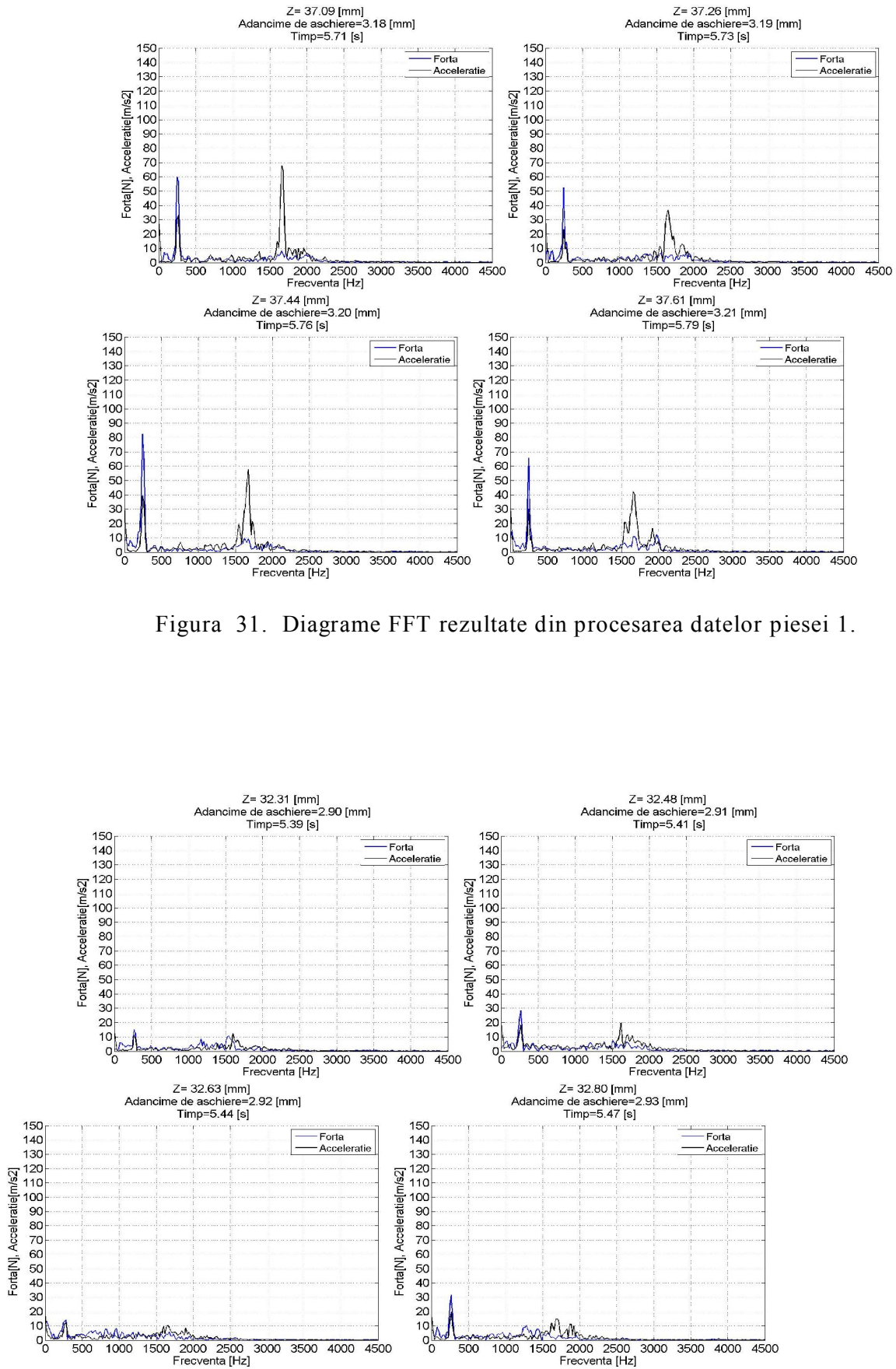


Figura 31. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 1.

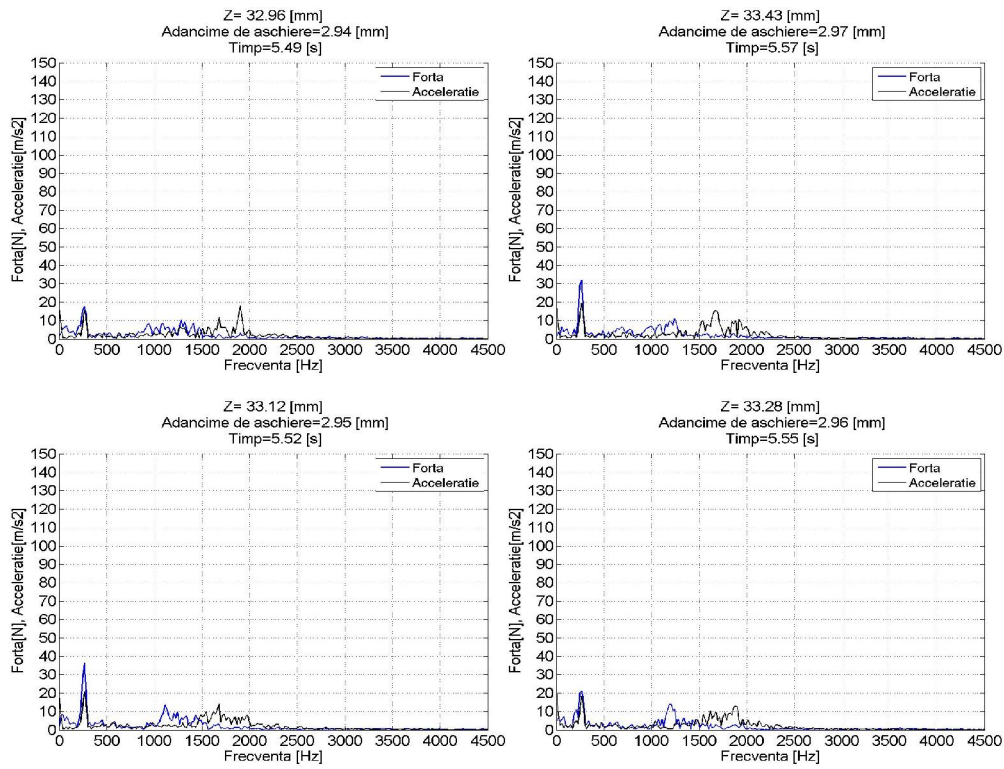
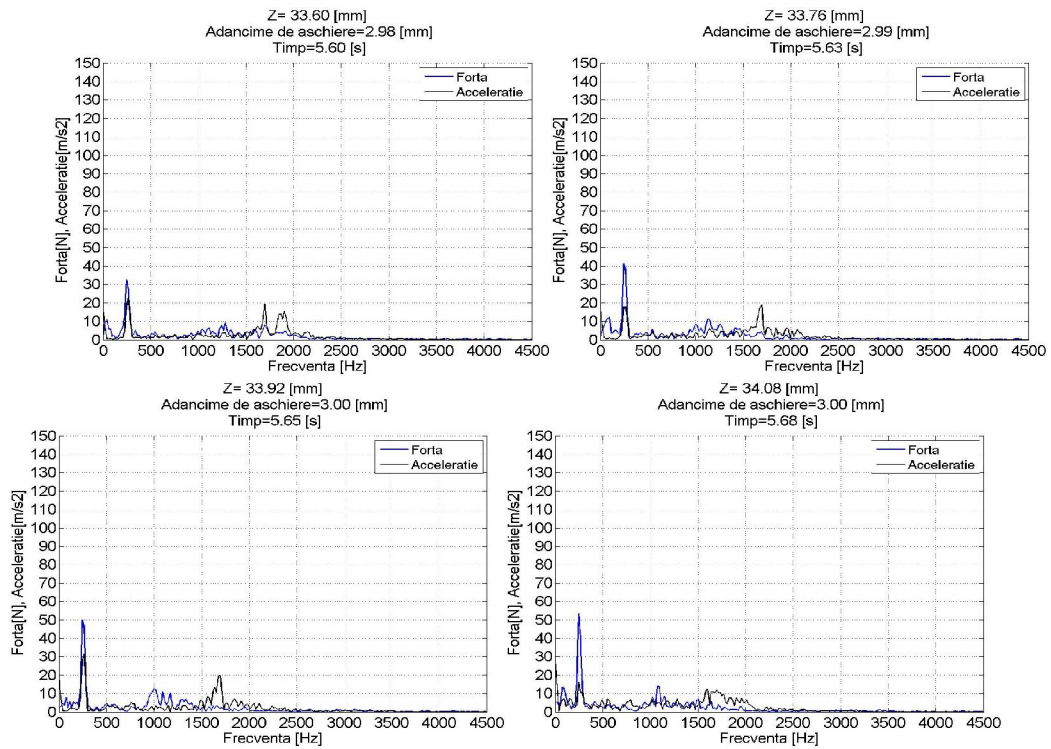


Figura 32. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 2.



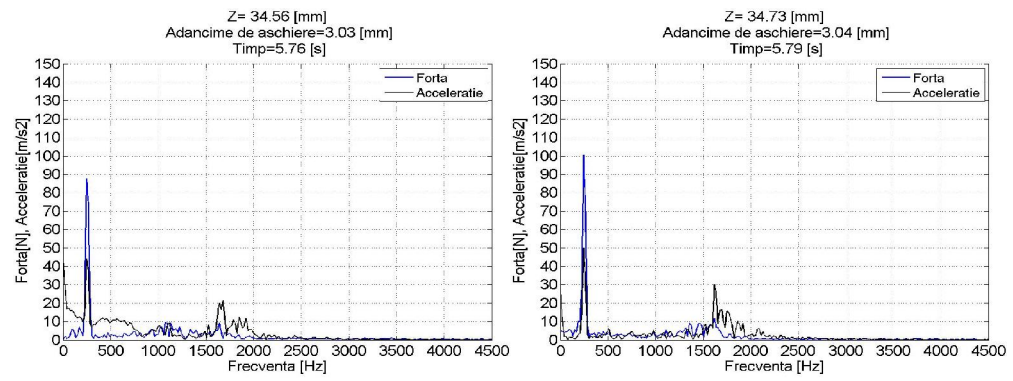
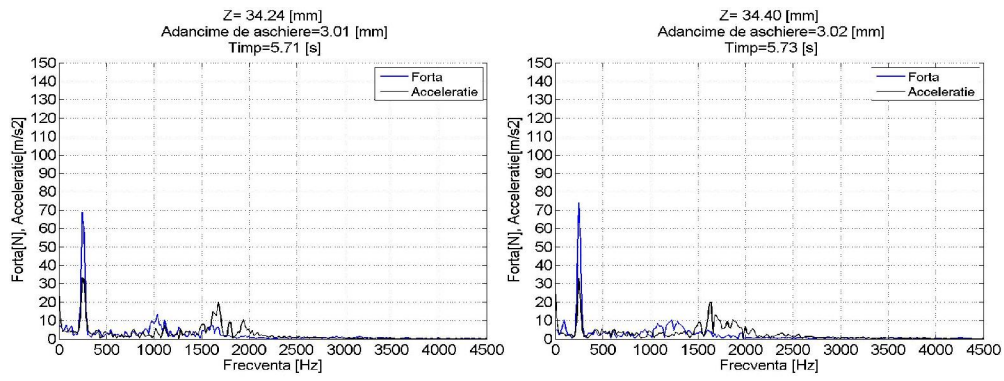
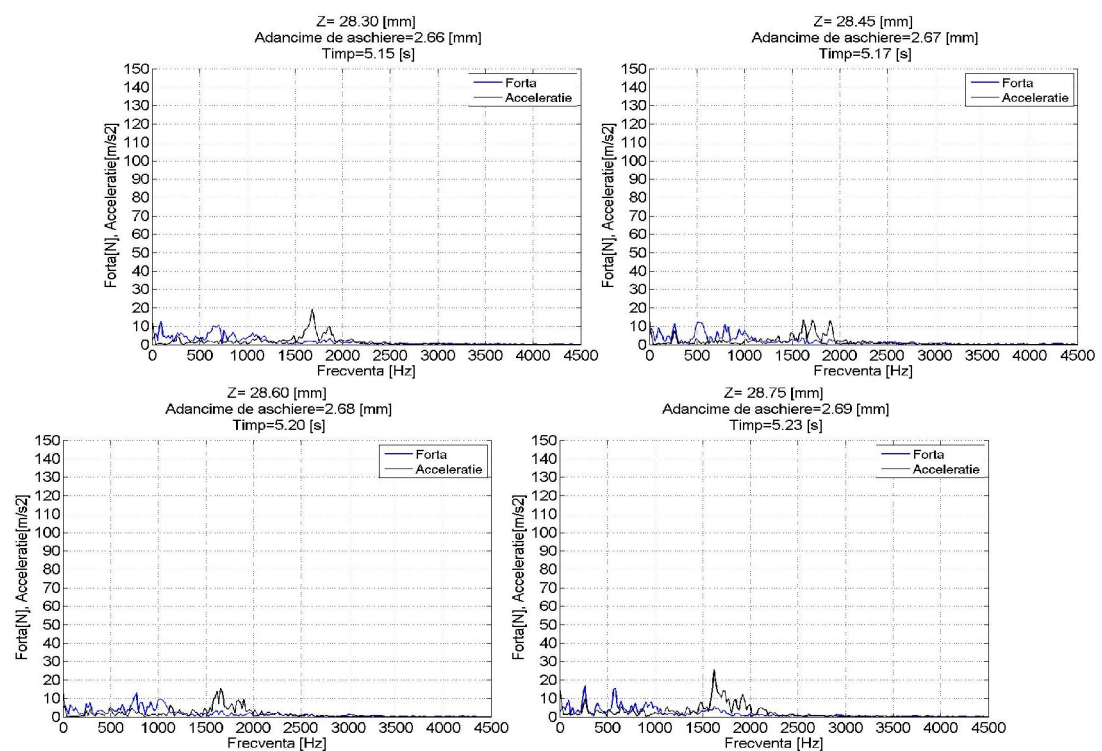


Figura 33. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 2.



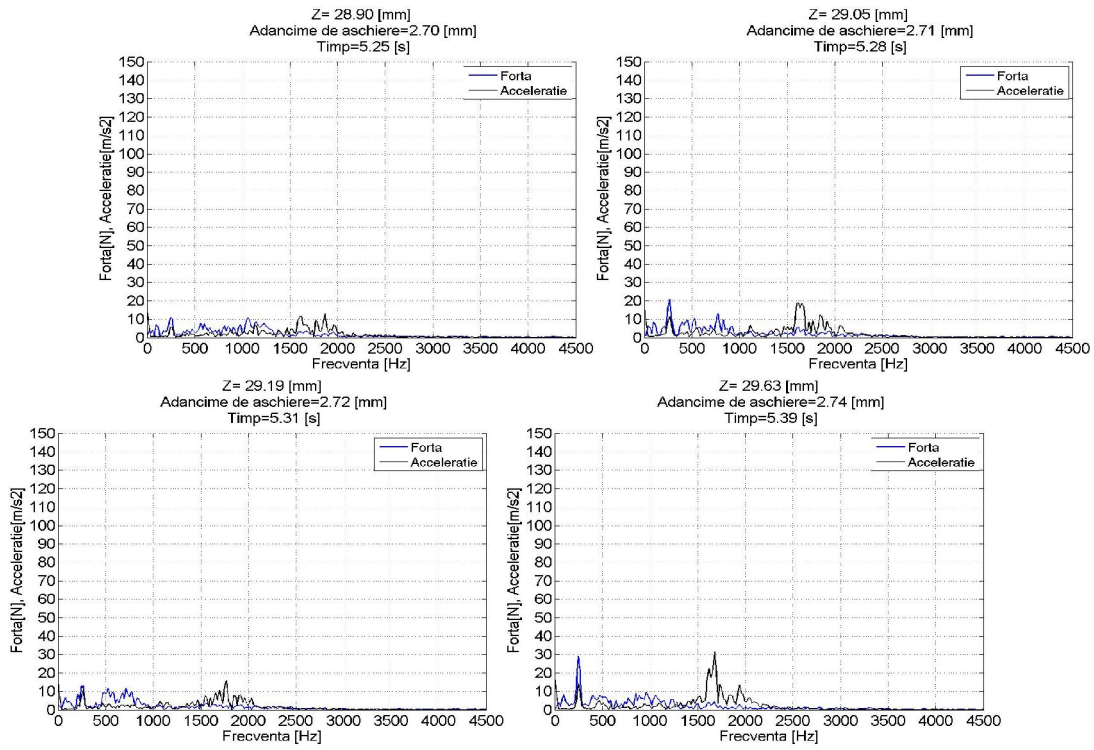
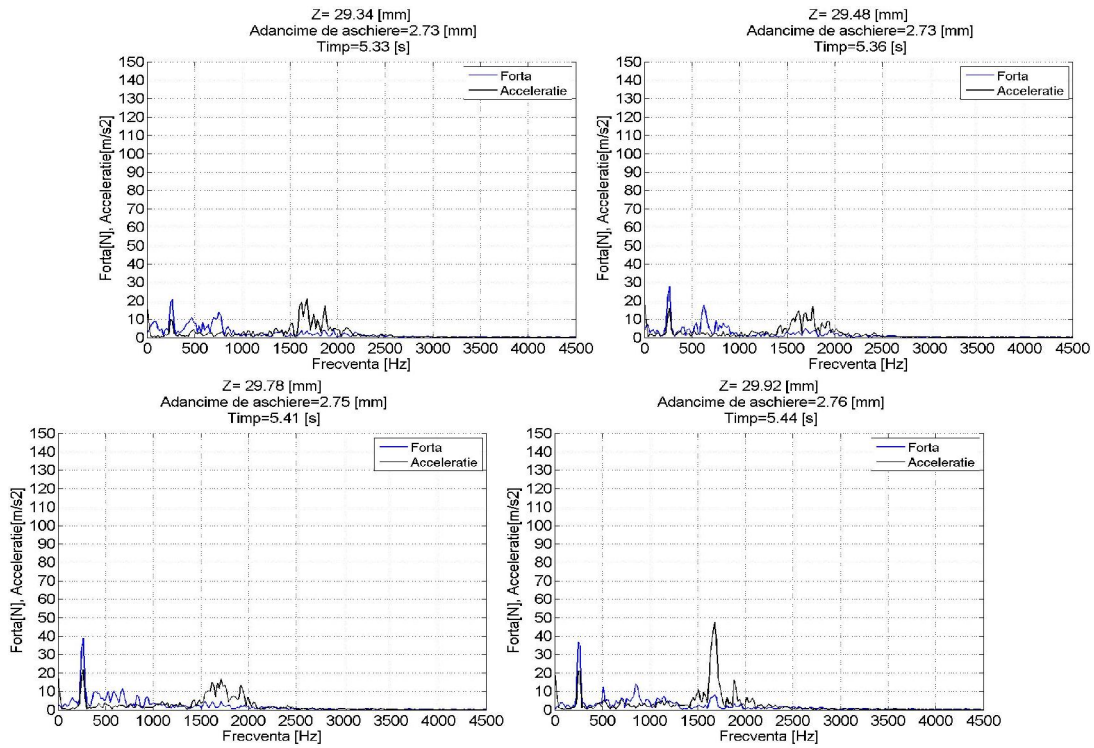


Figura 34. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 3.



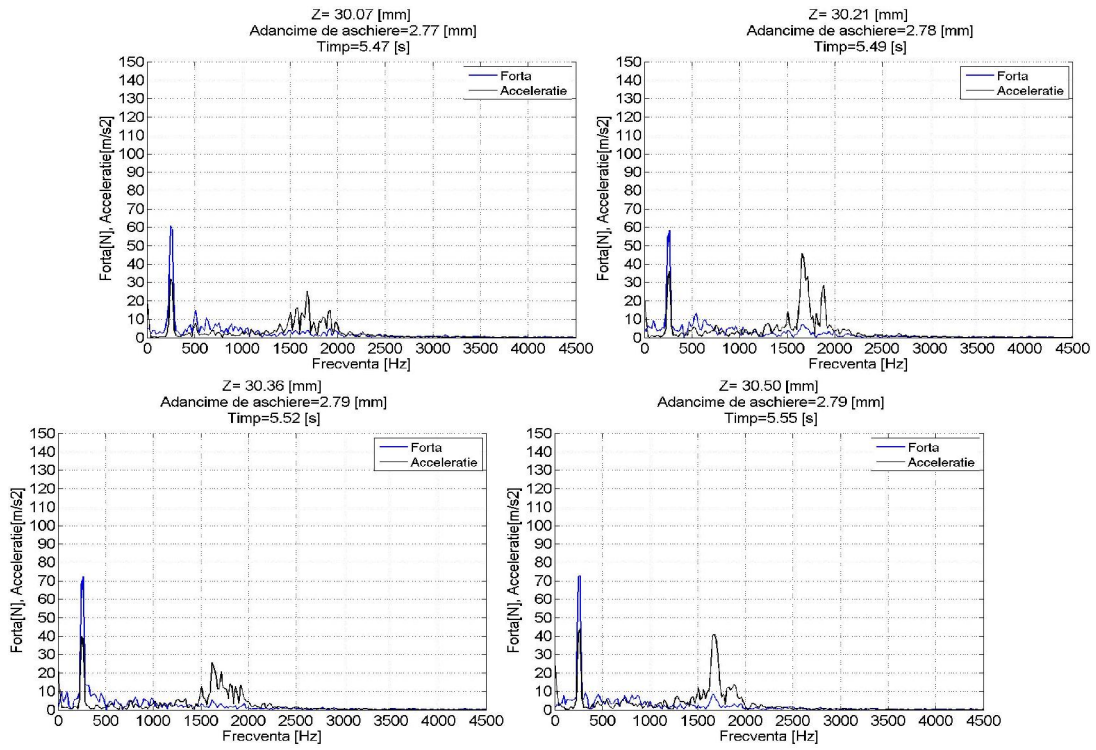
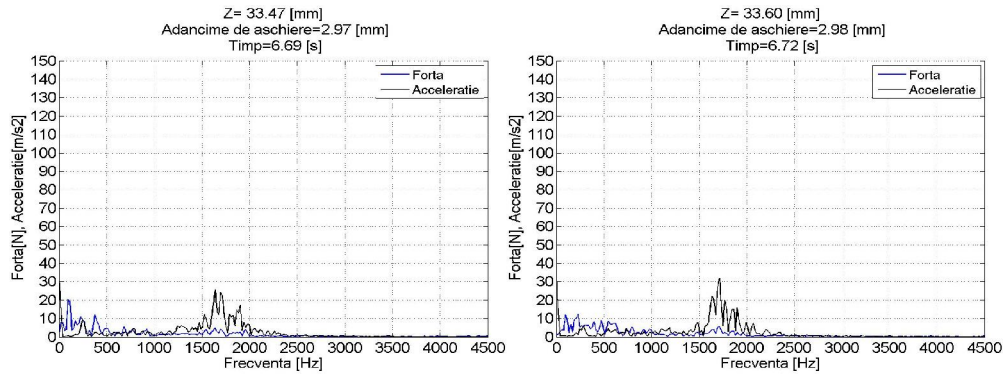


Figura 35. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 3.



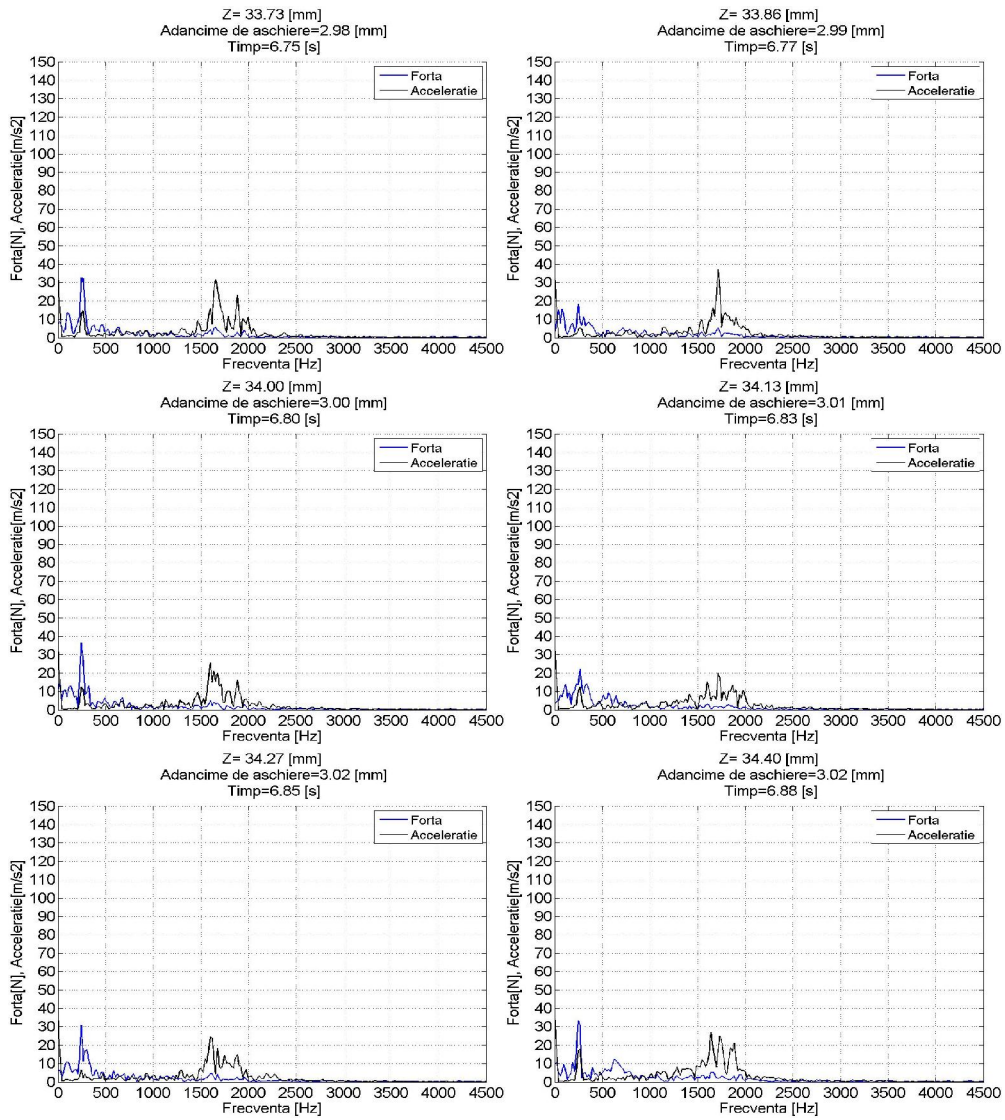
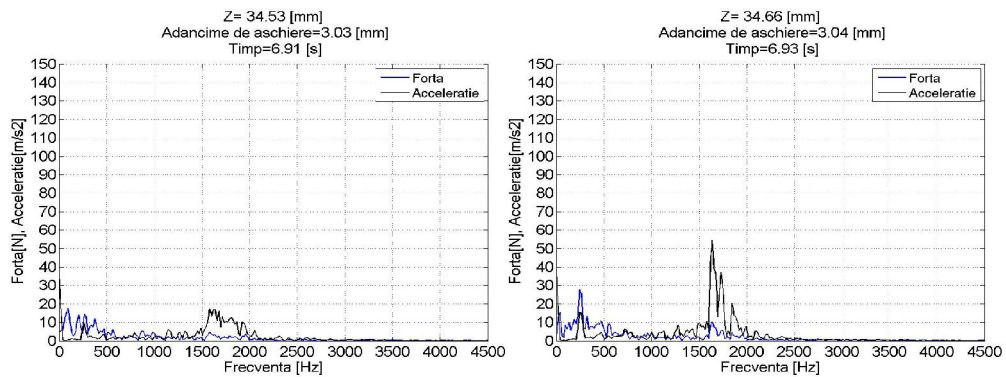


Figura 36. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 4.



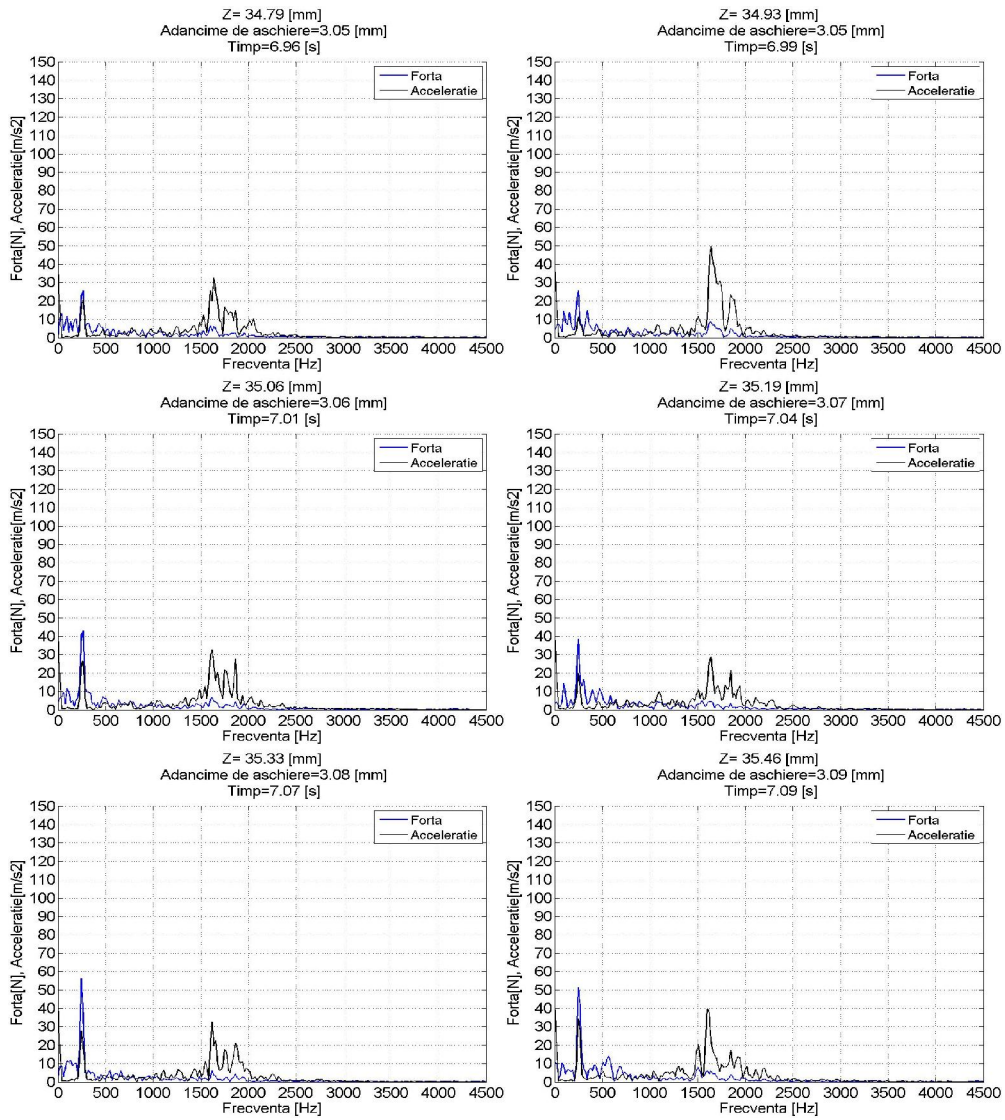


Figura 37. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 4.

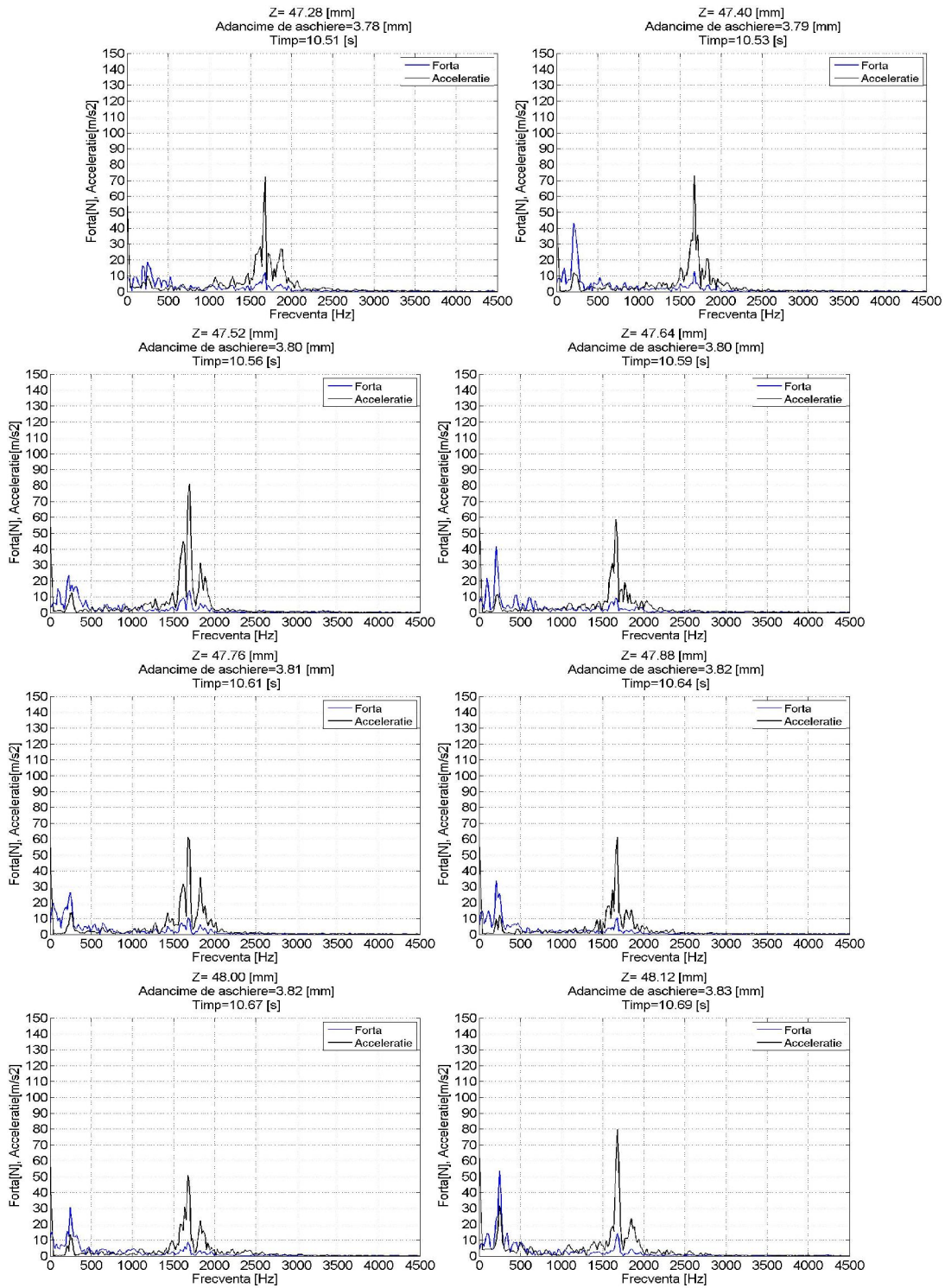


Figura 38. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 5.

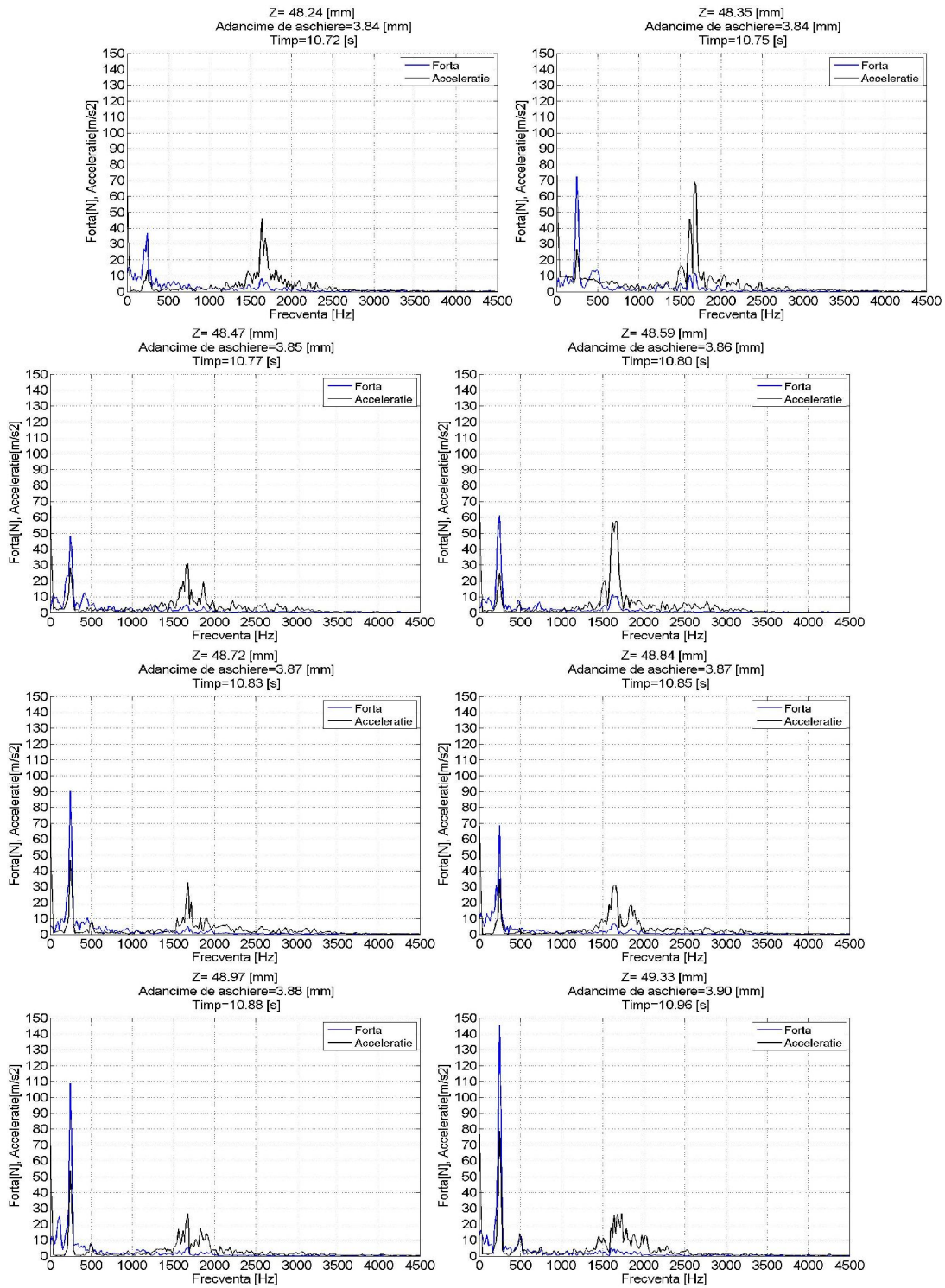


Figura 39. Diagrame FFT rezultate din procesarea datelor piesei 5.

Realizarea experimentală a controlului stabilității mașinii prototip

În vederea realizării experimentale a controlului mașinii prototip s-a aplicat o invenție, dezvoltată în cadrul acestui proiect, și înregistrată la OSIM, având titlul „Metoda și echipament pentru controlul online al stabilității aschierii”, care se prezintă în cele ce urmează.

- Rezumat -

Invenția se referă la o metodă de control online al stabilității dinamice a aschierii, stabilitate caracterizată prin absența vibrației relative autoexcitate între scula și piesa, și la echipamentul necesar pentru implementarea acestei metode, pe mașini-unelte destinate fabricației în serie a unor loturi de produse variate.

Metoda de control online al stabilității dinamice a aschierii constă în monitorizarea, simultană, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, și anume un semnal a cărui variație în timp poate fi considerată ca fiind proporțională cu variația în timp a forței de aschiere și un alt semnal, care poate fi considerat proporțional cu accelerația mișcării relative dintre scula și piesa, semnale care sunt înregistrate sub forma unor perechi de serii de timp și transmise sistemului încorporat de control al stabilității, unde sunt procesate conform unui algoritm. Rezultatul obținut în urma procesării celor două semnale este utilizat pentru a stabili poziția punctului curent de funcționare față de limita de stabilitate, precum și corecțiile ce trebuie aplicate pentru a modifica poziția acestui punct, astfel încât să

fie atins un deziderat sintetic, in prealabil stabilit, cum ar fi de exemplu maximizarea productivitatii procesului.

Echipamentul necesar pentru implementarea metodei poate fi proiectat ca unitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care constructia acestuia trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca unitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje: *i)*-asigura in permanenta folosirea, optima sub aspectul stabilitatii dinamice, a capacitatii de prelucrare a sistemului tehnologic; *ii)*-se poate aplica la toate sistemele tehnologice la care prelucrarea se bazeaza pe aschiere iar instabilitatea dinamica se manifesta prin vibratii autoexcitate intre scula si piesa; *iii)*-permite, la proiectare, satisfacerea in suficienta masura, atat a exigentelor specifice sistemelor tehnologice dedicate, cat si a celor specifice sistemelor tehnologice universale, flexibile sau dedicate; *iv)*-in exploatare, necesita un numar redus de setari, pentru a se acorda la schimbari in ceea ce priveste structura sistemului tehnologic sau operatia pe care acesta o executa.

- Descrierea inventiei -

Inventia se refera la o metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, stabilitate caracterizata prin absenta vibratiei relative autoexcitate intre scula si piesa, si la echipamentul necesar pentru implementarea acestei metode, pe masini-unelte destinate fabricatiei in serie a unor loturi de produse variate.

Folosind echipamentul de control online al stabilitatii aschierii, metoda poate fi aplicata atat in cazul masinilor unelte conventionale, cat si a celor reconfigurabile alcatuite din module independente ce se asambleaza in acord cu operatia pe care masina unealta trebuie sa o execute, ori a celor flexibile.

In mod obisnuit, pentru controlul stabilitatii dinamice a aschierii sunt aplicate metode de control offline, bazate pe sesizarea de catre operator a aparitiei vibratiei autoexcitate, urmata de oprirea procesului si modificarea in sens adecvat a regimului de aschiere sau a caracteristicilor sistemului tehnologic, astfel incat, la reluarea procesului, vibratia autoexcitata sa nu mai apara.

Privind controlul online al stabilitatii dinamice a aschierii, o metoda recent aparuta este aceea bazata pe folosirea unui sensor, care sa evidentieze aparitia vibratiei autoexcitate relative intre scula si piesa, urmata de modificarea ciclica a vitezei de aschiere, cu frecventa adecvata si amplitudine din ce in ce mai mare, pana la disparitia respectivei vibratii autoexcitate.

Unul dintre dezavantajele acestor metode este acela ca sistemul de control al stabilitatii dinamice reactioneaza numai atunci dupa ce a fost depasita limita de stabilitate si, in consecinta, dupa ce a aparut deja vibratia autoexcitata, neoferind nicio reactie preventiva, care sa determine evitarea online a aparitiei instabilitatii.

Un alt dezavantaj este acela ca, atunci cand punctul in care se afla procesul de aschiere apartine domeniului de stabilitate, sistemul de control al stabilitatii dinamice lasa procesul de aschiere sa se desfasoare in continuare, desi, prin apropierea acestui punct de limita de stabilitate, productivitatea ar putea fi majorata, uneori semnificativ. Cum, in lungul traiectoriei sculei aschietoare, atat limita de stabilitate dinamica, cat si pozitia punctului de functionare in interiorul domeniului de stabilitate dinamica, variaza in limite largi, exista, aproape in permanenta, o rezerva nefolosita de crestere a productivitatii.

In fine, daca stabilitatea dinamica este controlata prin recent aparuta metoda online, atunci singura reactie a sistemului de control este variatia periodica a vitezei de aschiere, desi pot exista si alte reactii, mai eficace din punct de vedere tehnic si mai eficiente din punct de vedere economic.

Pe de alta parte, daca stabilitatea dinamica este controlata offline, atunci, urmare a faptului ca semifabricatele folosite pentru executarea unui lot de piese au caracteristici dimensionale si de material variabile in timp si spatiu, acordarea de catre operator a parametrilor procesului la valorile reale ale caracteristicilor

semifabricatului, astfel incat procesul de aschiere sa devina stabil, se face cu intarziere, ceea ce afecteaza nivelul calitativ al produsului rezultat.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in furnizarea unei metode de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, metoda prin care, in cursul prelucrarii unei suprafete a piesei, se poate asigura utilizarea mai completa a capacitatii sistemului tehnologic de a prelucra stabil prin aschiere, chiar atunci cand caracteristicile dimensionale si de material ale semifabricatelor si/sau caracteristicile sistemului tehnologic variaza in timp si spatiu.

Metoda si echipamentul de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, potrivit inventiei, inlatura dezavantajele de mai sus, prin aceea ca, **a)** in scopul de a controla pozitia punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita domeniului de stabilitate dinamica, metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii consta in monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale - si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie* - semnale care sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si sunt transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate conform unui algoritm ce include cinci pasi, si anume *pasul i)*-eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale, *pasul ii)*-scalarea celor doua semnale astfel filtrate, *pasul iii)*-transformarea Fourier a celor doua semnale, *pasul iv)*-stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, *a n a l i z a n d* transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza faptului ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, frecventele proprii importante ale sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie, in timp ce in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceste

frecvente proprii ale sistemului tehnologic si anume, semnalul forta nu le evidentiaza deloc, pe intreg domeniul de stabilitate, in timp ce semnalul acceleratie imparte domeniul de stabilitate in doua zone, o prima zona, care va fi numita *zona de stabilitate sensibila*, si care se afla in vecinatatea limitei de stabilitate si se caracterizeaza prin aceea ca frecventa proprie a sistemului tehnologic este evidentziata cu atat mai bine cu cat procesul se afla mai aproape de aceasta limita, iar o a doua zona este formata de restul domeniului de stabilitate si va fi numita *zona de stabilitate insensibila*, intrucat se caracterizeaza prin aceea ca, la ambele semnale, frecventa proprie a sistemului tehnologic nu se evidentiaza, si *concluzionand* in urma analizei transformatelor Fourier ale celor doua semnale, cu privire la domeniul si zona in care se afla procesul de aschiere in momentul curent, tinand cont ca, *j*)-daca ambele semnale evidentiaza o frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se afla in domeniul de instabilitate; *jj*)-daca semnalul forta nu evidentiaza vreo frecventa proprie, in timp ce semnalul acceleratie o evidentiaza, atunci procesul se afla in zona de stabilitate sensibila, cu atat mai aproape de limita de stabilitate cu cat amplitudinea semnalului acceleratie, la respectiva frecventa proprie a sistemului, este mai mare; *jjj*)-daca niciunul dintre semnale nu evidentiaza frecventa proprie, atunci procesul se afla in zona de stabilitate insensibila, dupa care se continua cu *pasul v*)-stabilirea acelor marimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, si modificarea valorilor acestora, fata de valorile programate prin programul piesa, in scopul atingerii unui deziderat in prealabil stabilit, tinand cont ca, in multe cazuri practice, latimea aschiei si viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai potriviti candidati pentru rolul de variabile de control al stabilitatii dinamice a aschierii iar productivitatea procesului este frecvent desemnata drept criteriu de evaluare a performantei economice a procesului, si prin aceea ca, **b**) in scopul aplicarii metodei de control online al stabilitatii aschierii se foloseste un echipament care, potrivit inventiei, materializeaza bucla de reactie ce pleaca de la sistemul tehnologic inchizandu-se la unitatea prin care acesta este controlat numeric si include in structura sa trei componente, conectate in serie si anume *l*) *senzorii* care genereaza semnalul forta si semnalul acceleratie, conform metodei, *ll*) *elementele*

necesare pentru achizitia celor doua semnale, toate fiind integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei, determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii, precum si *III) doua interfate de comunicare*, una de comunicare cu sistemul de control numeric al sistemului tehnologic, care sa asigure modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat dezideratul urmarit sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care, pe de o parte, sa asigure afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si, pe de alta parte, posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniilor de variatie ale frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si ale valorilor limita ale amplitudinilor **A_f** si **A_a** ale semnalului forta, respectiv semnalului acceleratie, astfel incat sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare intre cele trei pozitii posibile si anume pozitia in zona de stabilitate sensibila, pozitia in zona de stabilitate insensibila, sau pozitia in domeniul de instabilitate, toate aceste parti ale echipamentului fiind asamblate fie ca entitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care proiectarea echipamentului trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, fie ca entitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje:

- asigura in permanenta folosirea, optimala sub aspectul stabilitatii dinamice, a capacitatii de prelucrare a sistemului tehnologic;
- se poate aplica la toate sistemele tehnologice la care prelucrarea se bazeaza pe aschiere iar instabilitatea dinamica se manifesta prin vibratii autoexcitate intre scula si piesa;
- la proiectare, permite satisfacerea in suficienta masura, atat a exigentelor specifice sistemelor tehnologice dedicate, cat si a celor specifice sistemelor tehnologice universale, flexibile sau reconfigurabile;
- in exploatare, necesita un numar redus de setari, pentru a se acorda la schimbari in ceea ce priveste structura sistemului tehnologic sau operatia pe care acesta o executa.

Un exemplu de aplicare a inventiei se prezinta in continuare, in legatura cu fig. 1...7, unde:

- fig. 1 prezinta un exemplu de semnal forta, primit de sistemul incorporat de control al stabilitatii, de la traductorul de forta, sub forma unei serii de timp;

- fig. 2 prezinta un exemplu de semnal acceleratie, primit de sistemul incorporat de control al stabilitatii, de la traductorul de acceleratie, sub forma unei serii de timp;

- fig. 3, a, b, c, d, e, f, g, h prezinta rezultatele obtinute in urma procesarii prin transformare Fourier a semnalelor forta, corespunzatoare strunjirii, respectiv cu turatia de 300, 350, 400, 450, 500, 550, 700 si 800 rot/min, a unei piese cu diametrul de 45 mm;

- fig. 4, a, b, c, d, e, f, g, h, i prezinta rezultatele obtinute in urma procesarii prin transformare Fourier a semnalelor acceleratie, corespunzatoare strunjirii, respectiv cu turatia de 100, 200, 350, 450, 500, 550, 600, 750 si 800 rot/min, a unei piese cu diametrul de 45 mm;

- fig. 5 prezinta modul in care spatiul valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**, se divide in doua domenii, si anume domeniul de instabilitate si domeniul de stabilitate, iar acesta din urma se imparte in doua zone, si anume zona de stabilitate sensibila si zona de stabilitate insensibila;

- fig. 6 reprezinta o sectiune, cu planele **P** si **Q**, a spatiului valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**;

- fig. 7 reprezinta schema echipamentului pentru controlul online al stabilitatii aschierii.

Potrivit inventiei, punctul de plecare in aplicarea metodei de control online al stabilitatii dinamice este monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie*.

In prezentul exemplu, metoda de control online al stabilitatii dinamice se aplica la strunjire. In acest caz, asa cum se arata in figura 7, drept semnal a carui variatie in timp este considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care, de aceea, este monitorizat ca semnal forta, se adopta variatia fortei de strangere in portcutit a sculei, iar drept semnal ce poate fi considerat ca fiind proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si de aceea este monitorizat ca semnal acceleratie, se adopta acceleratia vibratiei in directie verticala a unui punct de pe cutit.

Atat primul semnal, furnizat de un traductor de forta montat in portcutit, cat si al doilea semnal, furnizat de un traductor de acceleratie fixat pe cutit, sunt achizitionate numeric, cu o frecventa suficient de mare, pentru a putea surprinde variatii in timp cu frecvente apropiate de frecventele proprii importante ale sistemului tehnologic. De exemplu, strungurile universale obisnuite au doua frecvente proprii importante, prima fiind de circa 150 Hz, iar cea de a doua variind intre 1000 si 2500 Hz. Ca urmare, o frecventa de achizitie de minimum 20 kHz este necesara.

Aceste semnale sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si apoi transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate. In figurile 1 si 2 se redau doua semnale achizitionate simultan, deci semnale pereche, rezultate din aplicarea experimentală in laborator a metodei.

Procesarea fiecărei perechi de semnale de către sistemul incorporat de control al stabilitatii se face conform urmatorului algoritm:

Pasul 1 – Eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale.

Pasul 2 – Scalarea celor doua semnale astfel filtrate.

Pasul 3 – Transformarea Fourier a celor doua semnale.

Dupa transformarea Fourier se obtin rezultate a caror aliura este similara cu cea a rezultatelor experimentale prezentate in figurile 3 si 4.

Pasul 4 – Stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, analizand transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza observatiilor de mai jos.

O prima observatie este aceea ca, in exemplul considerat, sistemul tehnologic are o singura frecventa proprie importanta. Apoi ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, adica la turatii de 500 rot/min sau mai mari, frecventa proprie importanta a sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie.

Pe de alta parte, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, adica la turatii mai mici de 500 rot/min, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceasta frecventa proprie a sistemului tehnologic. Astfel, semnalul forta nu o evidentiaza deloc, pe intreg domeniul de stabilitate, in timp ce semnalul acceleratie imparte domeniul de stabilitate in doua zone. O prima zona, care va fi in continuare numita *zona de stabilitate sensibila*, se afla in vecinatatea limitei de stabilitate si se caracterizeaza prin aceea ca frecventa proprie a sistemului tehnologic este evidentziata, cu atat mai bine cu cat procesul se afla mai aproape de aceasta limita. Restul domeniului de stabilitate formeaza cea de a doua zona, care va fi in continuare numita *zona de stabilitate insensibila*, si care se caracterizeaza prin aceea ca, la ambele semnale, frecventa proprie a sistemului tehnologic nu se evidentiaza.

In figura 5 se prezinta pozitia limitei de stabilitate, reprezentata de suprafata 1-2-3-4-5, in spatiul valorilor posibile ale parametrilor procesului de aschiere si anume: viteza de aschiere, intre valoarea minima **vm** si valoarea maxima **vM**; grosimea aschiei, intre zero si valoarea maxima **aM**; latimea aschiei, intre zero si valoarea maxima **bM**. Deasupra limitei de stabilitate se afla domeniul de instabilitate. Sub aceasta limita se afla domeniul de stabilitate, care se compune din zona de stabilitate sensibila, aflata in vecinatatea suprafatei 1-2-3-4-5, si a carei grosime este marcata in figura, si zona de stabilitate insensibila, care este constituita de restul domeniului de stabilitate.

Analizand, pe baza observatiilor de mai sus, transformatele Fourier ale celor doua semnale, se poate stabili in care domeniu si zona se afla procesul de aschiere in momentul curent, si anume: *i*)-daca ambele semnale evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se afla in domeniul de instabilitate; *ii*)-daca semnalul forta nu evidentiaza aceasta frecventa, in timp ce semnalul acceleratie o evidentiaza, atunci procesul se afla in zona de stabilitate sensibila, cu atat mai

aproape de limita de stabilitate cu cat amplitudinea semnalului acceleratie, la frecventa proprie a sistemului, este mai mare; *iii*)-daca niciunul dintre semnale nu evidentiaza frecventa proprie, atunci procesul se afla in zona de stabilitate insensibila.

Pasul 5 – Stabilirea acelor marimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, si modificarea valorilor acestora, fata de valorile programate prin programul piesa, in scopul atingerii unui deziderat in prealabil stabilit.

In aplicarea metodei de control online al stabilitatii dinamice, parcurgerea acestui pas depinde de posibilitatile de control de care dispune respectivul sistem tehnologic, sau care pot fi create in mod special pentru a controla stabilitatea. In multe cazuri practice, latimea aschiei si viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai frecventi candidati pentru rolul de variabile de control al stabilitatii dinamice.

Pentru exemplificare, in figura 6 se prezinta intersectia spatiului valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**, cu doua plane **P** si **Q**. Planul **P** este perpendicular pe axa grosimii aschiei, **a**, si corespunde cazului in care valoarea reglata a grosimii aschiei este **a0**. Acest plan intersecteaza suprafata **1-2-3-4-5** (vezi si figura 5), dupa linia **7-C-8-T-9**. Planul **Q** este perpendicular pe axa vitezei de aschiere, **v**, si corespunde cazului in care valoarea reglata a vitezei de aschiere este **v0**. Acest plan intersecteaza suprafata **1-2-3-4-5** (vezi si figura 5), dupa linia **10-C-11**.

In scopul de a prezenta un exemplu de parcurgere a acestui pas, sa consideram sectiunea cu planul **P** si un proces de aschiere la care grosimea aschiei si latimea aschiei raman constante, la valorile lor programate, si anume **a0** respectiv **b0**, in timp ce viteza de aschiere este desemnata drept variabila de control al stabilitatii. In timpul controlului online al stabilitatii, punctul curent de functionare a sistemului tehnologic parcurge linia **R-S-T-U**, aflata in acest plan. Daca dezideratul urmarit este acela de a maximiza productivitatea procesului, atunci punctul de functionare trebuie sa se afle pe segmentul **ST**, cat mai aproape de punctul **T**.

Potrivit inventiei, acest deziderat se atinge astfel.

Daca, atat semnalul forta, cat si semnalul acceleratie, evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci punctul curent se afla pe segmentul **TU**, aflat in domeniul de instabilitate, iar viteza de aschiere trebuie diminuada pana la aducerea punctului de functionare pe segmentul **TS**, unde semnalul forta nu mai evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, iar semnalul acceleratie evidentiaza cu claritate maxima aceasta frecventa.

Daca, niciunul dintre cele doua semnale nu evidentiaza frecventa proprie, atunci punctul curent de functionare se afla pe segmentul **RS**, iar viteza de aschiere trebuie majorata pana cand semnalul acceleratie evidentiaza cu claritate maxima frecventa proprie, in timp ce semnalul forta nu o evidentiaza. Astfel, punctul de functionare ajunge pe segmentul **ST**, in vecinatatea punctului **T**.

In partea de jos a planului **P** se prezinta diagramele pe care, in timpul controlului stabilitatii dinamice, le parcurg amplitudinea **Aa** a semnalului acceleratie si respectiv amplitudinea **Af** a semnalului forta, corespunzatoare frecventei proprii a sistemului tehnologic (pentru valorile numerice din figura, vezi si figurile 3 si 4).

Un exemplu similar de parcurgere a acestui pas al algoritmului de implementare a metodei poate fi prezentat daca, drept traseu pe care punctul de functionare il parcurge pe timpul controlului stabilitatii se considera linia **A-B-C-D**, continuta in planul **Q**. In acest exemplu, variabila de control este latimea aschiei, **b**, in timp ce grosimea aschiei si viteza de aschiere raman constante, la valorile lor programate **a0**, respectiv **v0**. Prin modificarea acestei variabile de control, pozitia punctului de functionare este adusa pe segmentul **BC**, cat mai aproape de punctul **C**, in acest fel atingandu-se dezideratul de a obtine un nivel de productivitate maxim.

Echipamentul pentru controlul online al stabilitatii aschierii, potrivit inventiei, serveste la aplicarea metodei prezentate mai sus si se compune (vezi figura 7) din:

a) *senzorii* care genereaza semnalul forta si semnalul acceleratie, conform metodei;

b) *elementele electronice necesare pentru achizitia celor doua semnale*, ce sunt integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei,

determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii;

c) *doua interfate de comunicare*, una de comunicare cu unitatea de control numeric al sistemului tehnologic, care asigura modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat acest deziderat sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care asigura afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniului de variatie a frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si a valorilor limita ale amplitudinilor **A_f** si **A_a** ale semnalului forta, respectiv acceleratie, care sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare in zona de stabilitate sensibila sau insensibila, ori in domeniul de instabilitate.

Scopul facilitatii de comunicare cu operatorul este de a obtine robustețe si capacitate de adaptare la diferite tipuri de procese si masini unelte. Astfel, in cazul unui proces de frezare, discriminarea intre frecventa trecerii muchiilor frezei prin zona de aschiere si frecventa proprie a sistemului tehnologic poate fi asigurata de operator, in locul unui sistem automat, complicat si, posibil, mai putin robust, ca sa dam doar un exemplu.

In proiectare, caracteristicile componentelor ce formeaza echipamentul pentru controlul online al stabilitatii aschierii se stabilesc astfel incat sa fie adecvate sistemului tehnologic pe care echipamentul va fi montat, pe de o parte, si, pe de alta parte, adecvate obiectivelor economice ale procesului de fabricatie realizat cu respectivul sistem tehnologic.

Echipamentul poate fi proiectat ca unitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care constructia acestuia trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca unitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

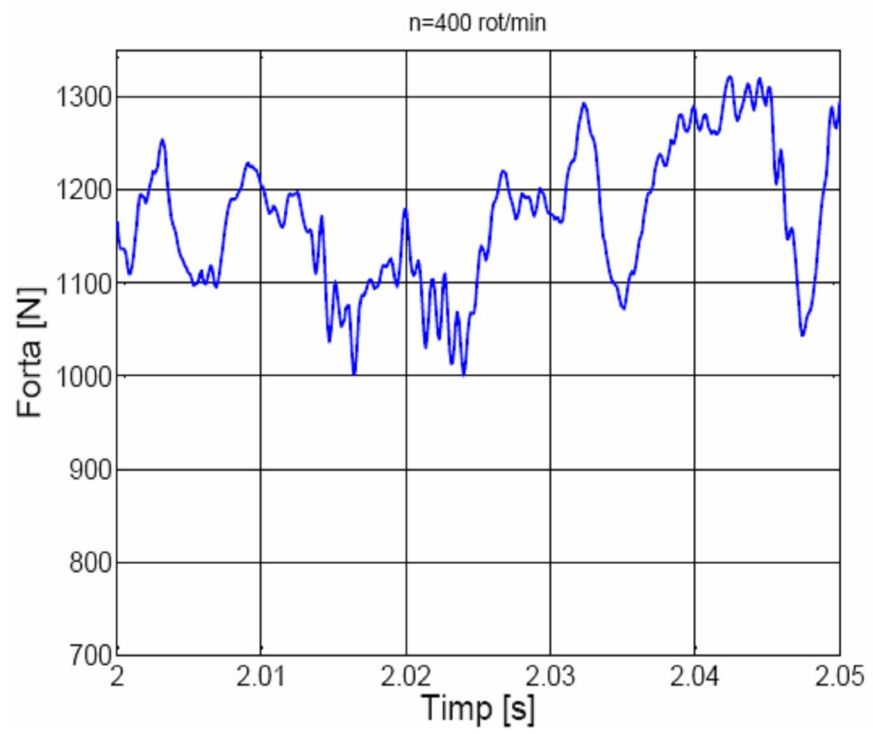


Figura 1

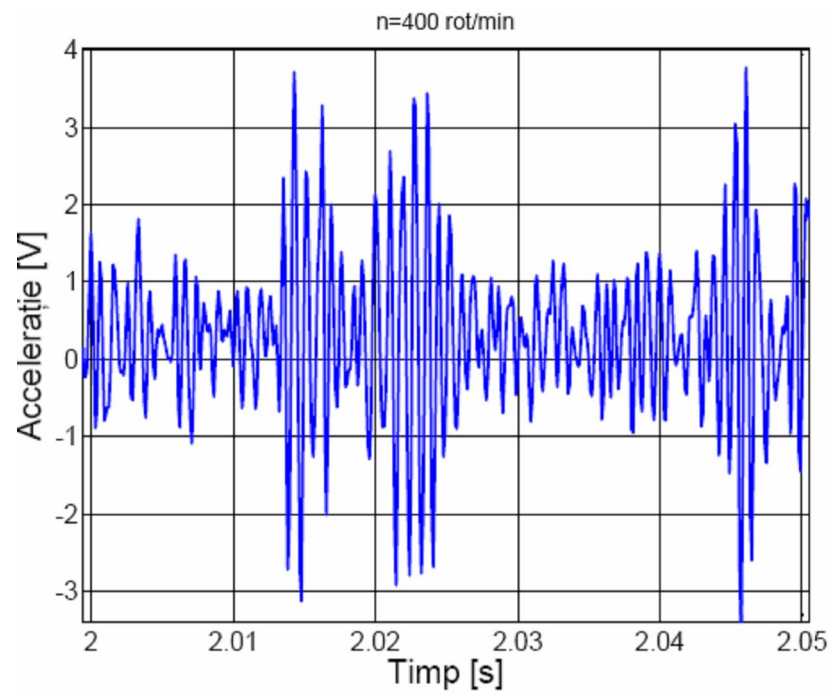


Figura 2

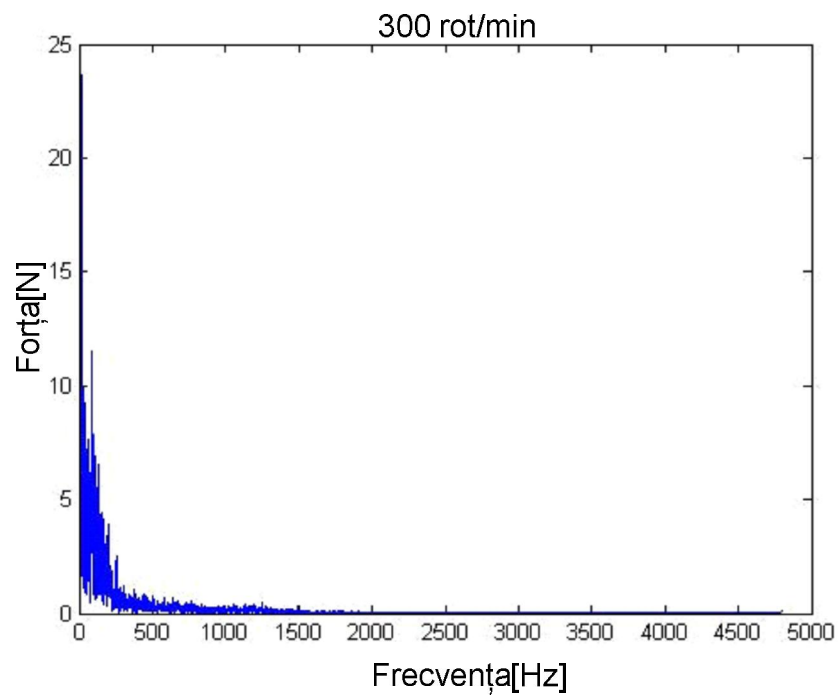


Figura 3, a

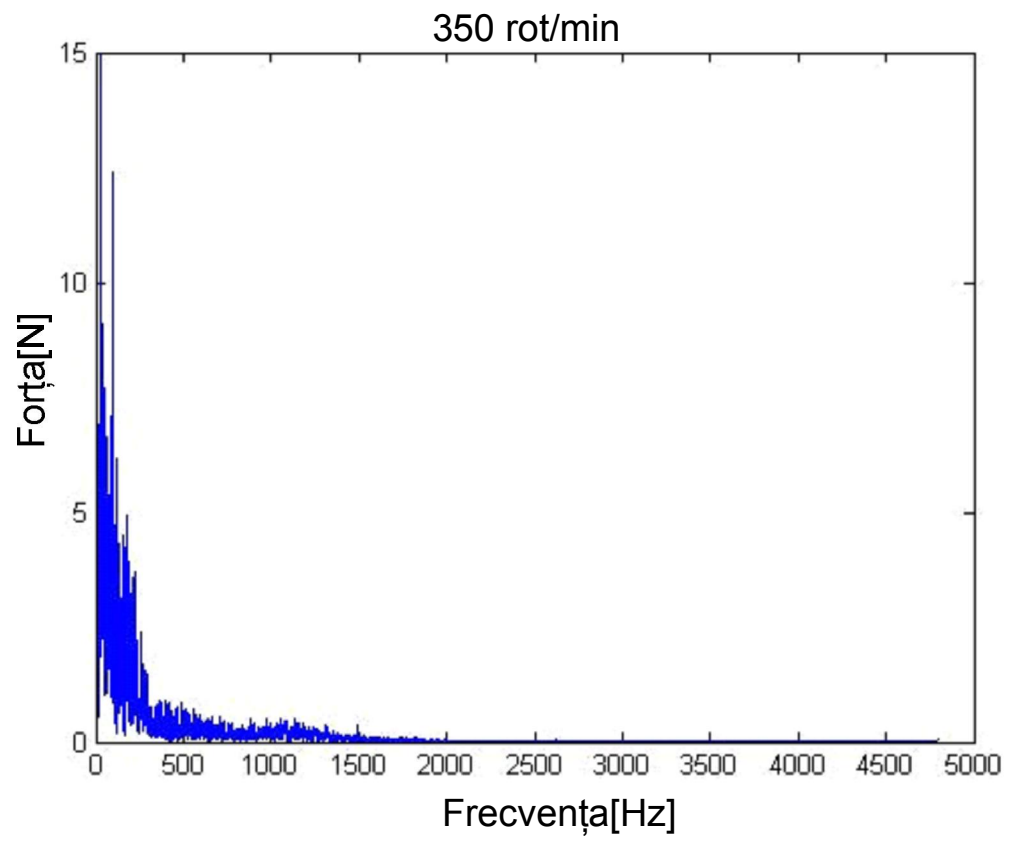


Figura 3, b

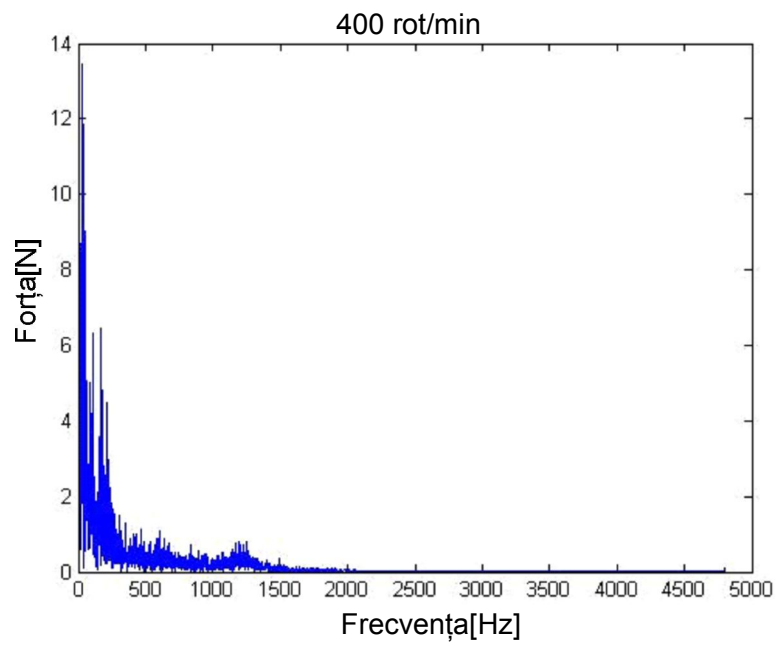


Figura 3, c

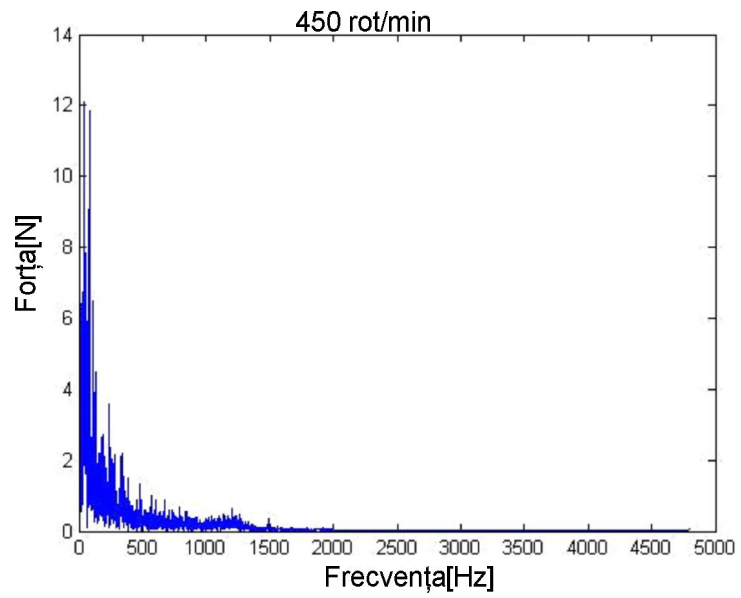


Figura 3, d

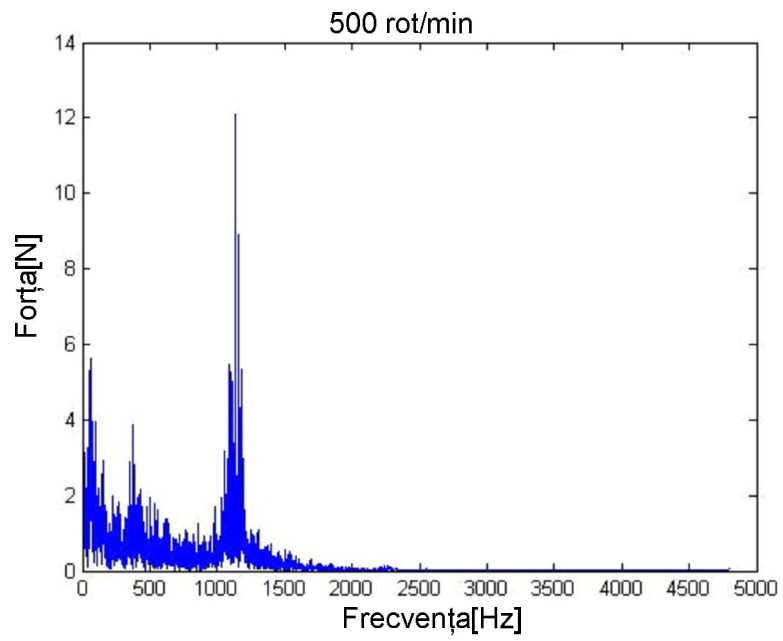


Figura 3, e

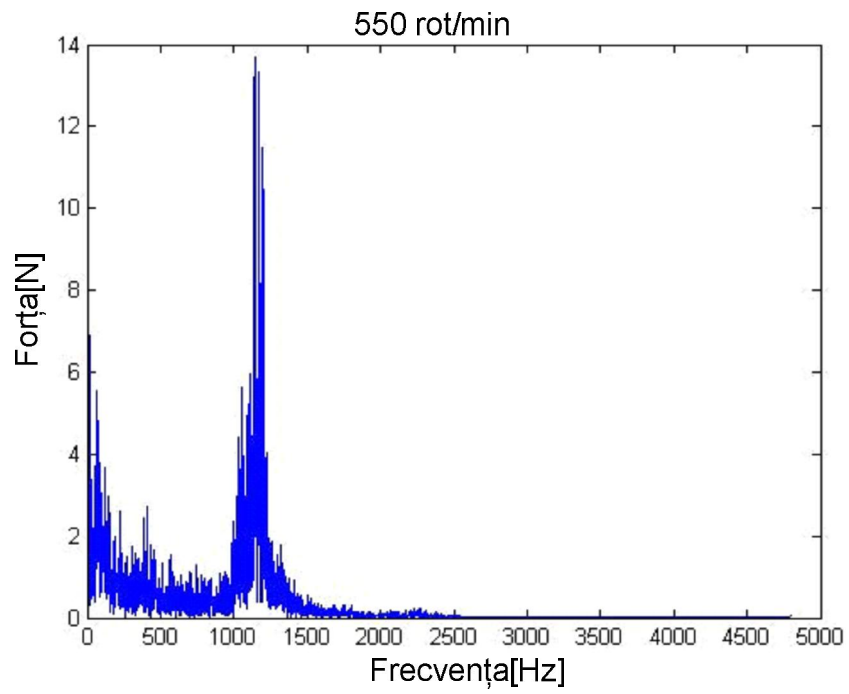


Figura 3, f

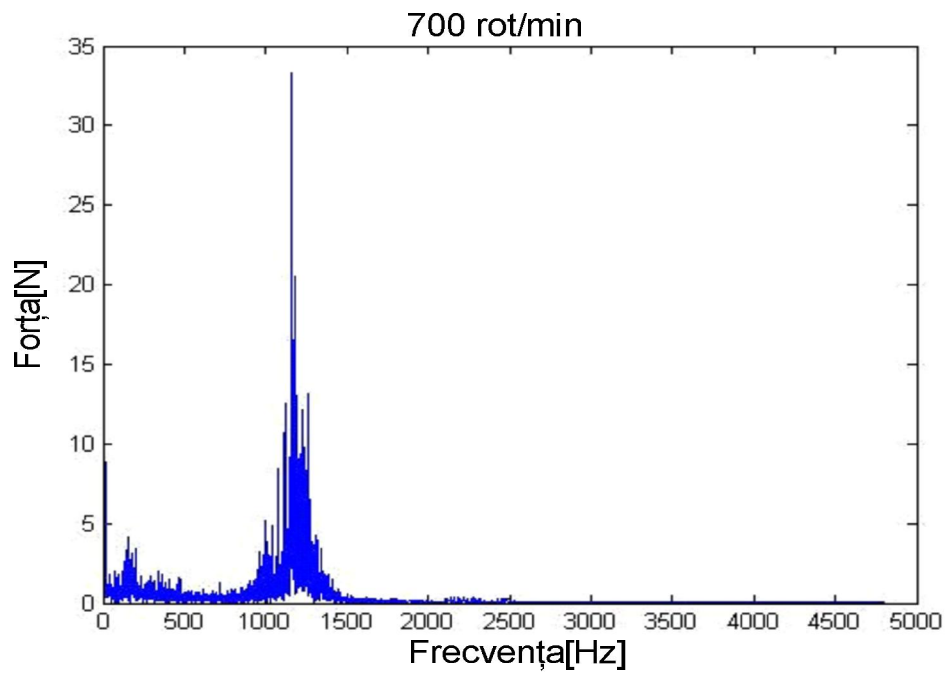


Figura 3, g

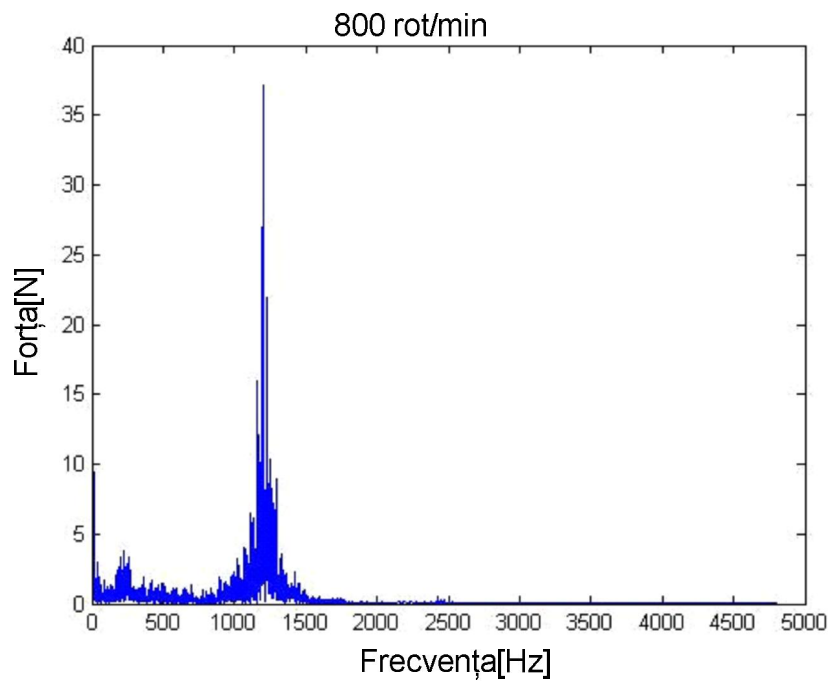


Figura 3, h

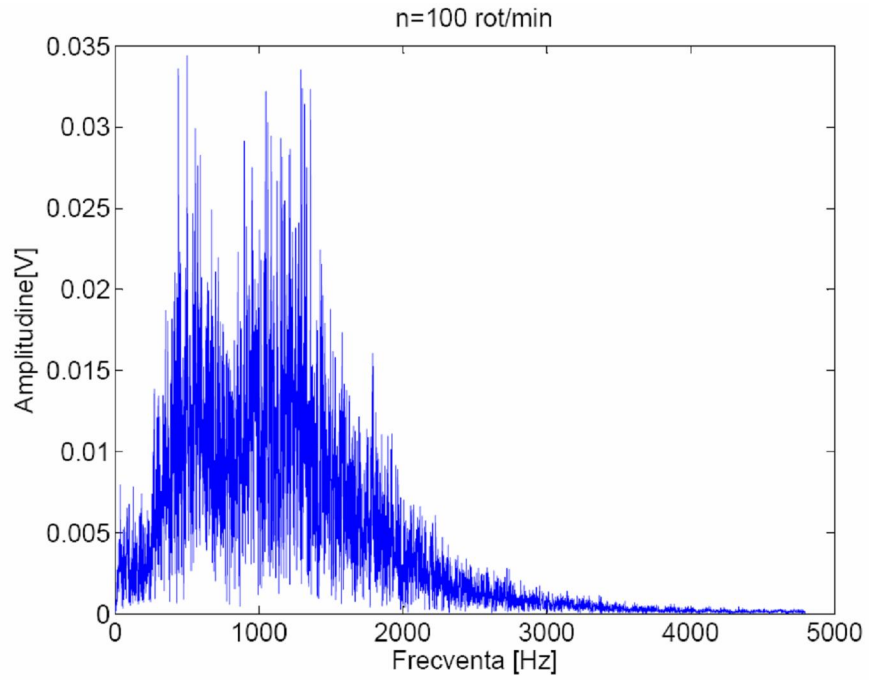


Figura 4, a

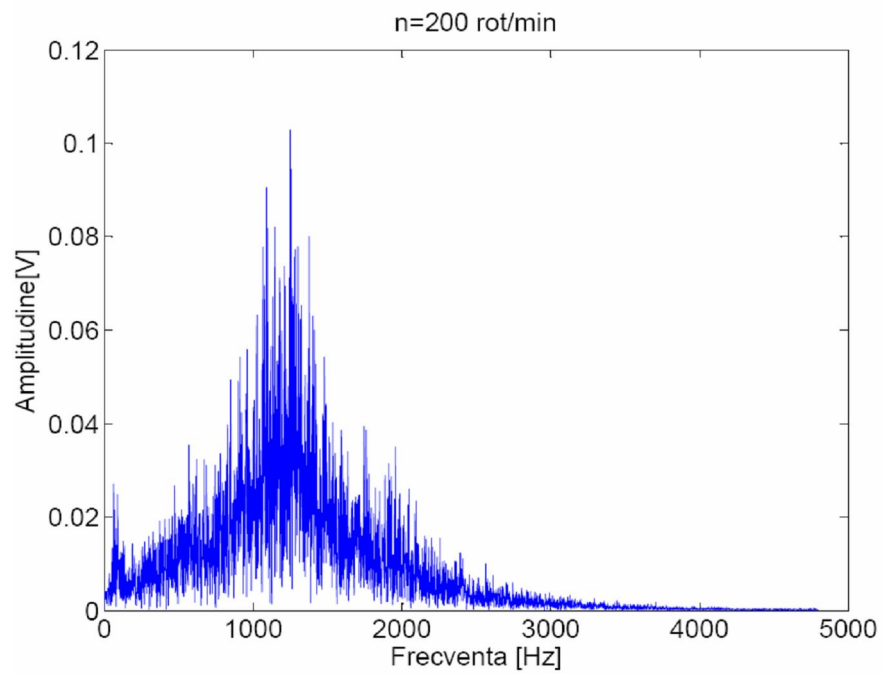


Figura 4, b

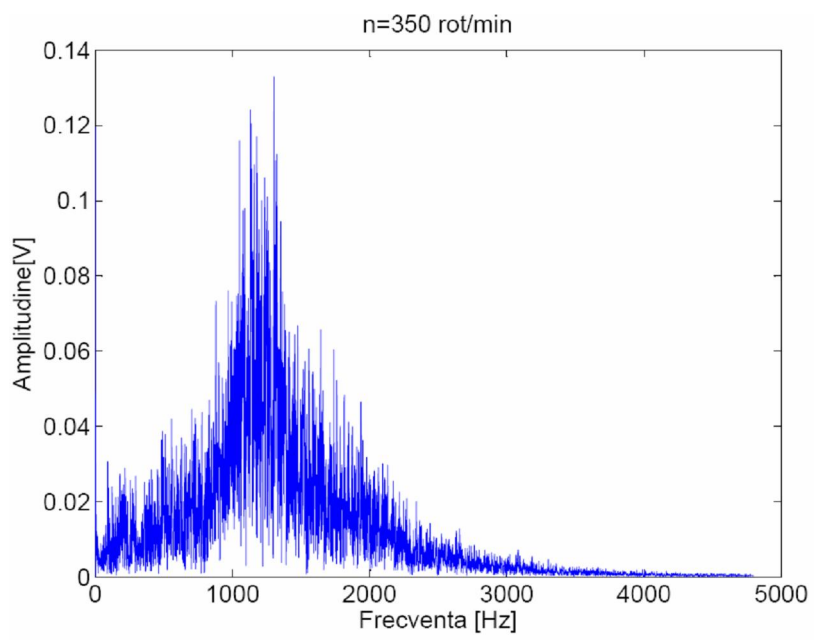


Figura 4, c

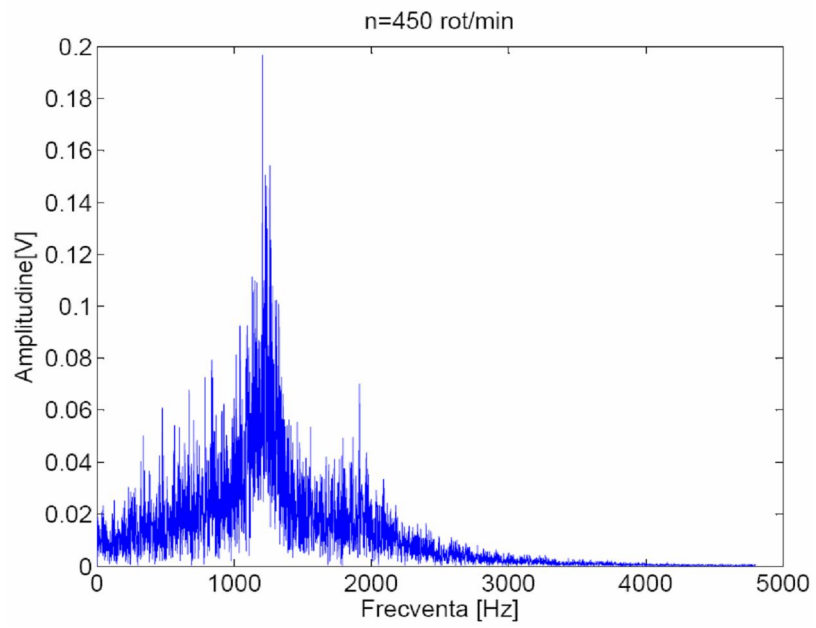


Figura 4, d

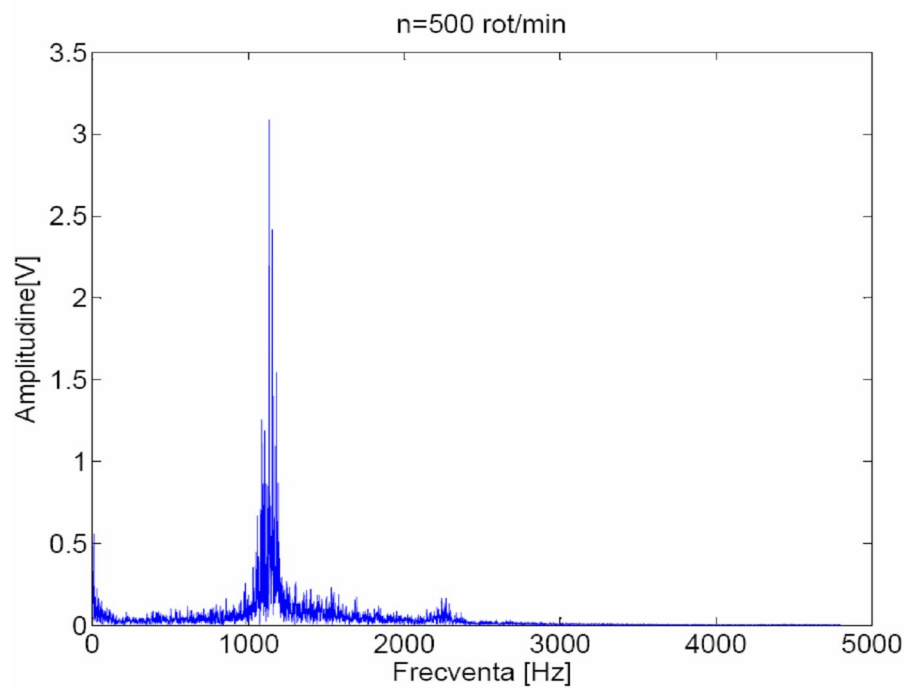


Figura 4, e

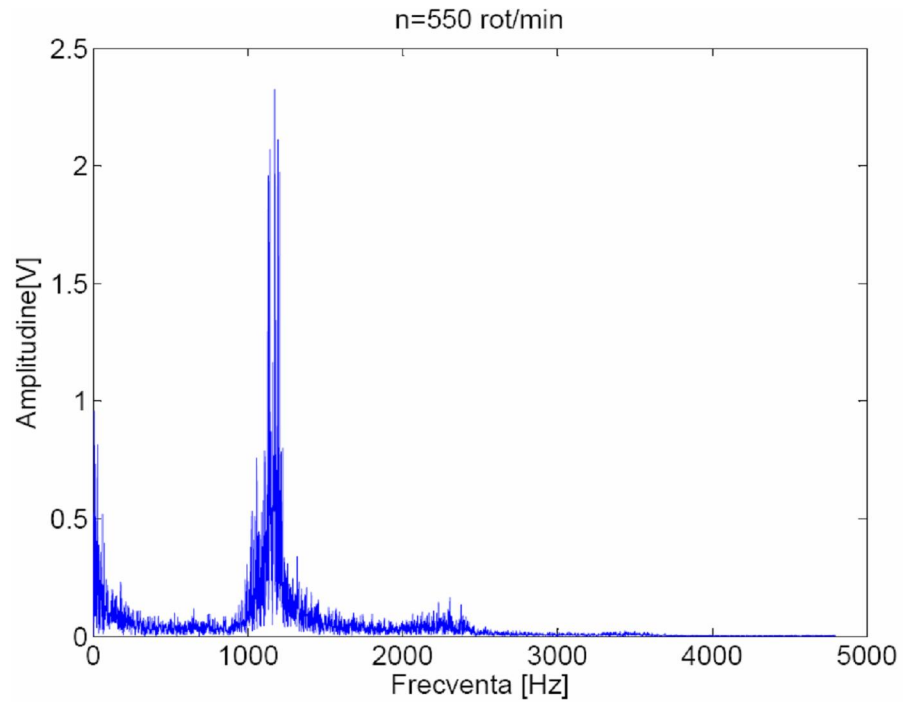


Figura 4, f

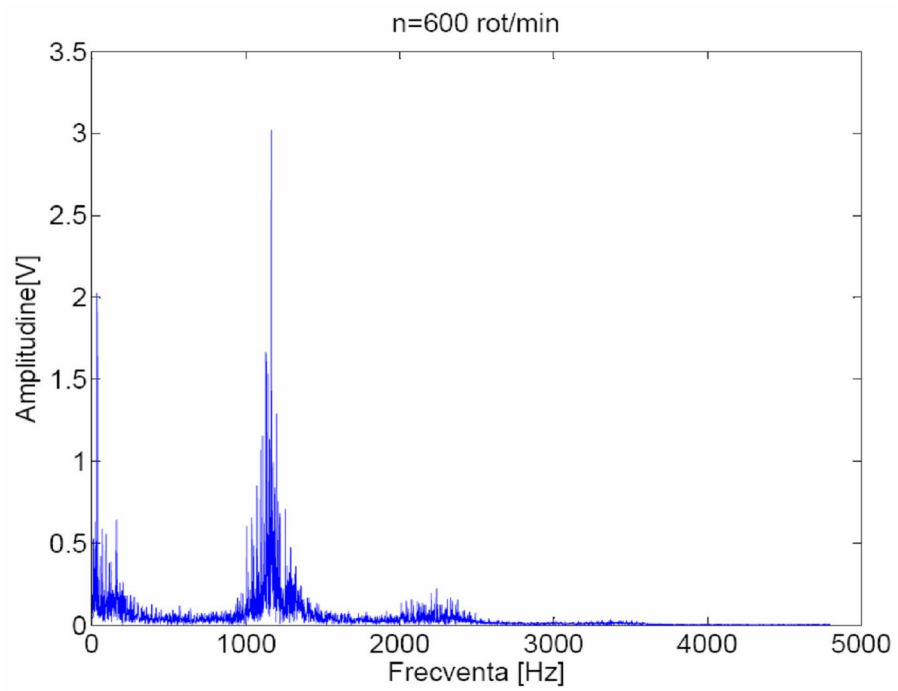


Figura 4, g

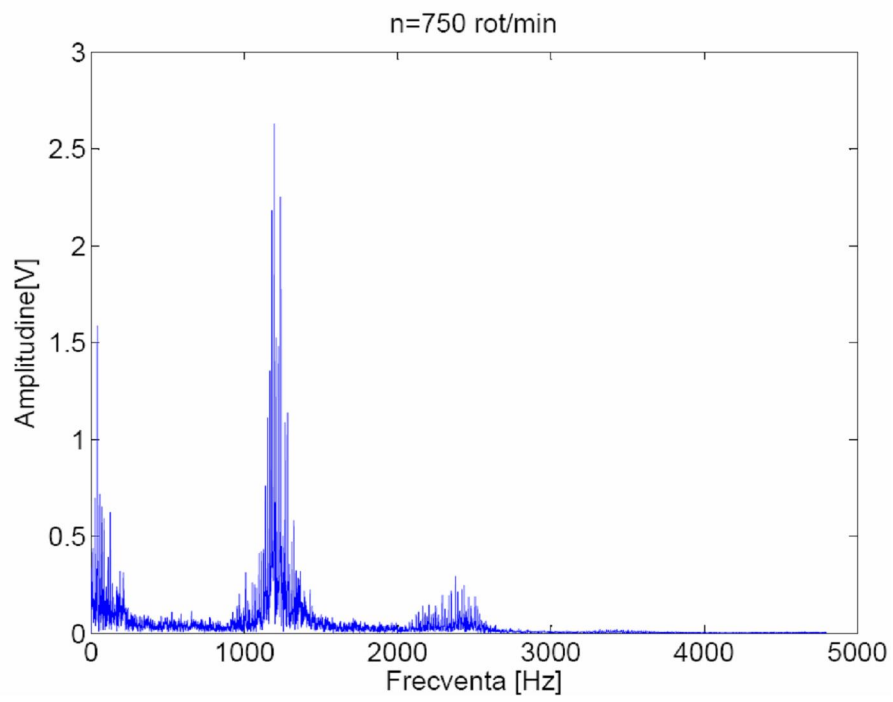


Figura 4, h

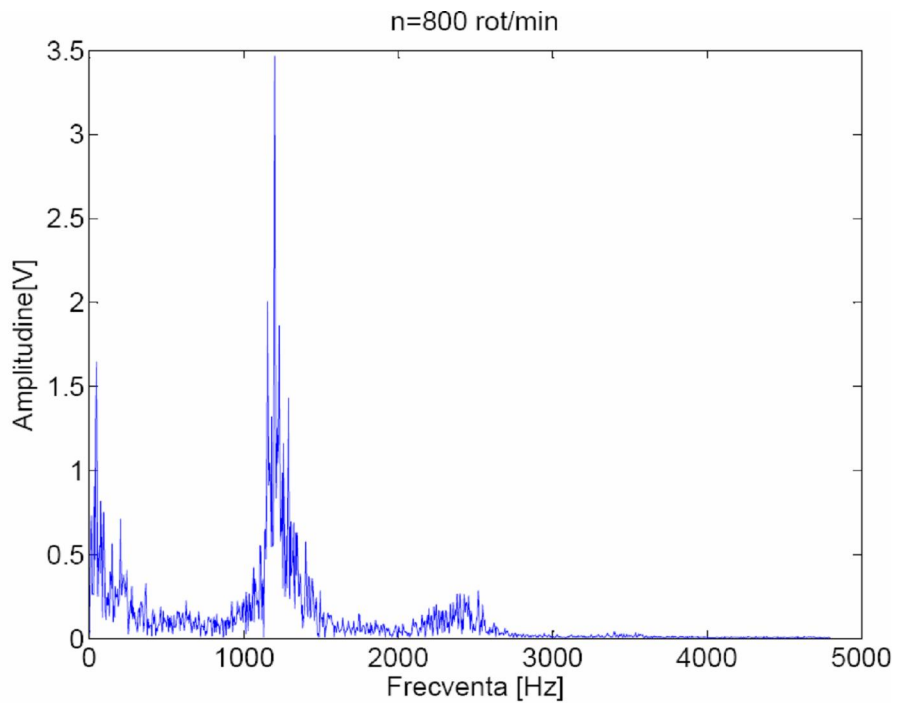


Figura 4, i

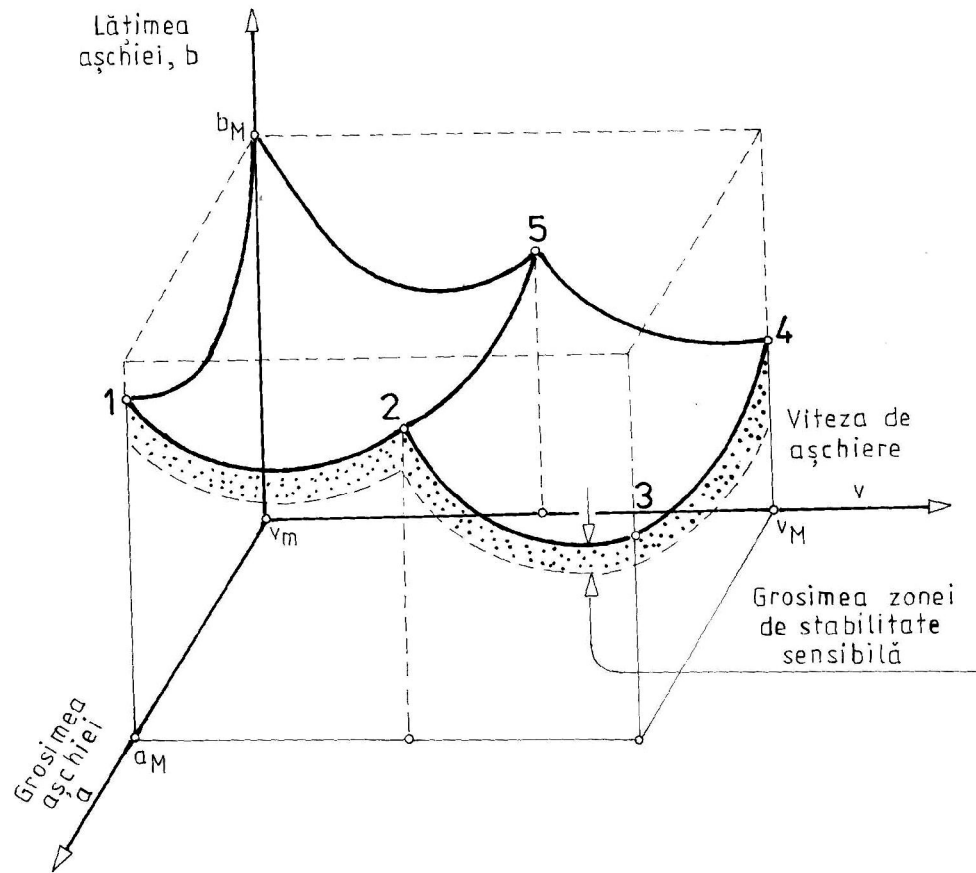


Figura 5

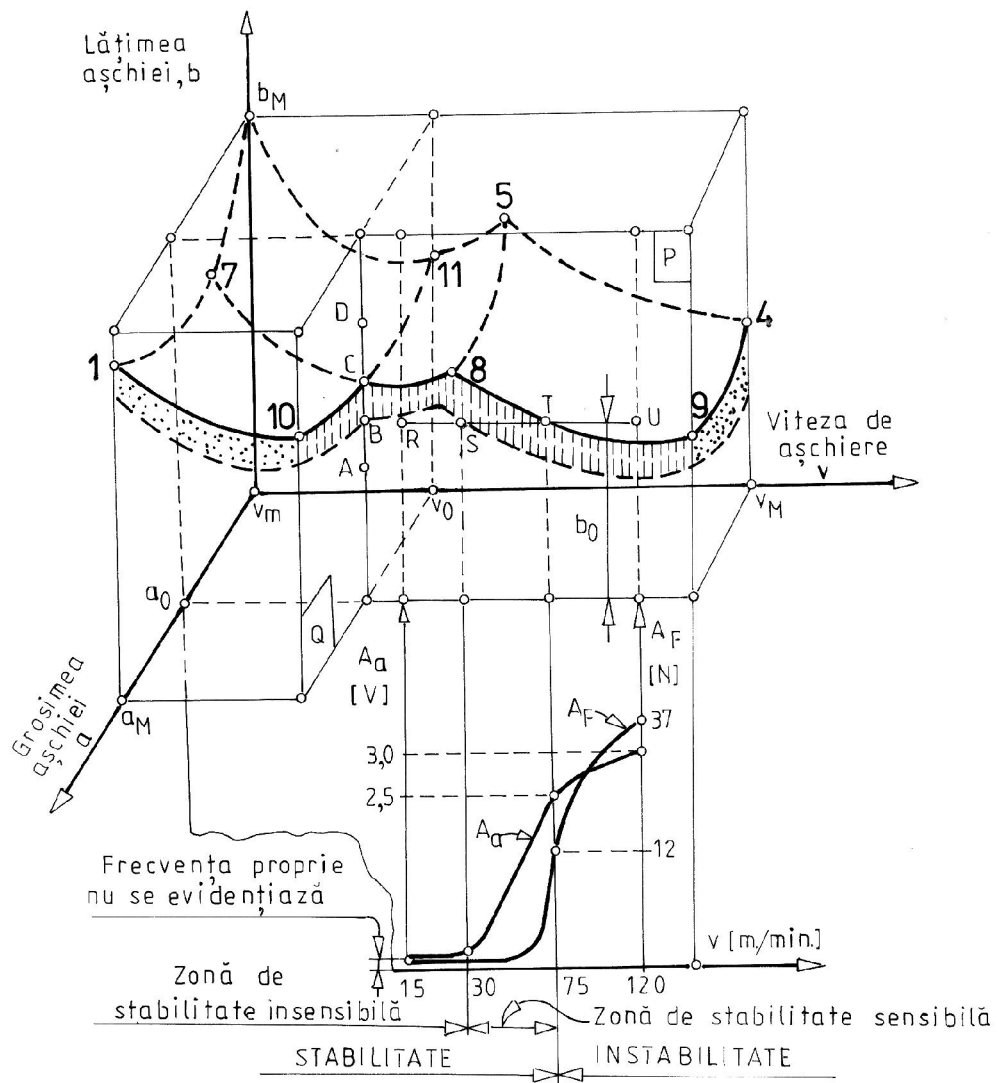


Figura 6

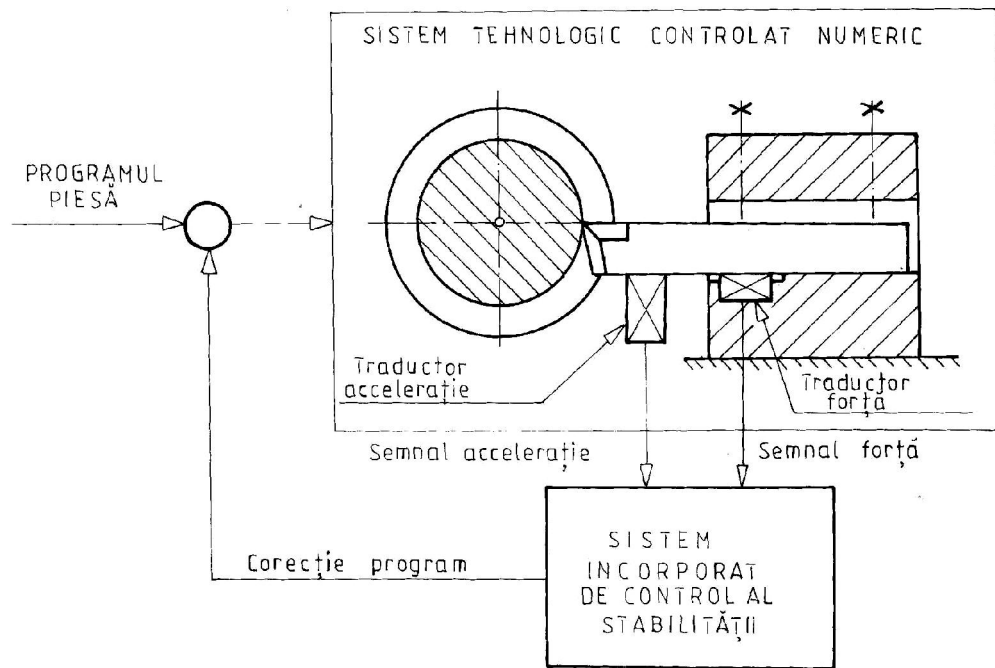


Figura 7

- Revendicari -

1. Metoda pentru controlul online al stabilitatii dinamice a aschierii, caracterizata prin aceea ca necesita monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie*, semnale care sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate conform unui algoritm ce include cinci pasi, si anume pasul *i*)-eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale, pasul *ii*)-scalarea celor doua semnale astfel filtrate, pasul *iii*)-transformarea Fourier a celor doua semnale, pasul *iv*)-stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, a n a l i z a n d transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza faptului ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, frecventele proprii importante

ale sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie, in timp ce in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceste frecvente proprii ale sistemului tehnologic si anume, semnalul forta nu le evidentiaza deloc, pe intreg domeniul de stabilitate, in timp ce semnalul acceleratie imparte domeniul de stabilitate in doua zone, o prima zona, care va fi numita *zona de stabilitate sensibila*, se afla in vecinatatea limitei de stabilitate si se caracterizeaza prin aceea ca frecventa proprie a sistemului tehnologic este evidentziata cu atat mai bine cu cat procesul se afla mai aproape de aceasta limita, iar o a doua zona este formata de restul domeniului de stabilitate si va fi numita *zona de stabilitate insensibila*, intrucat se caracterizeaza prin aceea ca, la ambele semnale, frecventele proprii ale sistemului tehnologic nu se evidentiaza, si c o n c l u z i o n a n d in urma analizei transformatorilor Fourier ale celor doua semnale, cu privire la domeniul si zona se afla procesul de aschiere in momentul curent, ca, *j*)-daca ambele semnale evidentiaza o frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se afla in domeniul de instabilitate; *jj*)-daca semnalul forta nu evidentiaza vreo frecventa proprie, in timp ce semnalul acceleratie o evidentiaza, atunci procesul se afla in zona de stabilitate sensibila, cu atat mai aproape de limita de stabilitate cu cat amplitudinea semnalului acceleratie, la respectiva frecventa proprie a sistemului, este mai mare; *jjj*)-daca niciunul dintre semnale nu evidentiaza vreo frecventa proprie, atunci procesul se afla in zona de stabilitate insensibila, dupa care se continua cu pasul *v*)-stabilirea acelor marimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, si modificarea valorilor acestora, fata de valorile programate prin programul piesa, in scopul atingerii unui deziderat in prealabil stabilit, tinand cont ca, in multe cazuri practice, latimea aschiei si viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai potriviti candidati pentru rolul de variabile de control al stabilitatii dinamice iar productivitatea procesului este frecvent desemnata drept criteriu de evaluare a performantei economice a procesului.

2. Echipament de control online al stabilitatii dinamice a aschierii conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, in scopul aplicarii metodei de control

online al stabilitatii aschierii, acesta include in structura sa trei componente si anume

- l) senzorii* care genereaza semnalul forta si semnalul acceleratie, conform metodei,
- ll) elementele necesare pentru achizitia celor doua semnale*, toate fiind integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei, determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii, precum si
- lll) doua interfate de comunicare*, una cu sistemul de control numeric al sistemului tehologic, care sa asigure modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat acest deziderat sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care, pe de o parte, sa asigure afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si, pe de alta parte, posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniilor de variatie ale frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si ale valorilor limita ale amplitudinilor A_f si A_a ale semnalului forta, respectiv acceleratie, care sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare in zona de stabilitate sensibila sau insensibila, ori in domeniul de instabilitate, toate aceste parti ale echipamentului fiind asamblate ca entitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care proiectarea echipamentului trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca entitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

- Obiectivul 2 -

DEZVOLTAREA UNUI SISTEM DE
REGLARE ADAPTIV-OPTIMALA A
INTENSITATII PROCESULUI

Activitatea 2.1: Conceperea unei tehnici de modelare economica a unei masini tehnologice

2.1.1 Abordarea holistic-integrată a conducerii adaptiv-optimale. Cazul sistemelor tehnologice

2.1.1.1 Alcătuirea sistemului de argumente științifice, tehnologice, comerciale și politice prin care se motivează abordarea

2.1.1.1.1. Argumente științifice

2.1.1.1.2. Argumente tehnologice

2.1.1.1.3. Argumente comerciale

2.1.1.1.4. Argumente politice

2.1.1.2 Conceperea unei noi paradigme - Manufacturare cu Business Integrat

2.1.1.2.1. Primul aspect al noii paradigme - optimizarea holistică

2.1.1.2.2. Al doilea aspect al noii paradigme - integrarea adaptivă

2.1.1.3 Construirea sistemului de criterii și restricții versus atribute și variabile, prin care să se implementeze abordarea

2.1.1.4 Concluzii

2.1.1.1 Alcătuirea sistemului de argumente științifice, tehnologice, comerciale și politice prin care se motivează abordarea

Viteza din ce în ce mai mare cu care se parcurg circuitele economice, de la studiul de piață și continuând cu decizia de fabricație a produsului, proiectarea produsului, proiectarea tehnologiei, fabricația și comercializarea produsului în vederea recuperării investiției și obținerii unui profit, este o caracteristică importantă a mediului economic actual. Sunt mulți factorii care au determinat această creștere a vitezei de rotație a capitalului, cum ar fi globalizarea, informatizarea, accelerarea tuturor proceselor tehnice și economice cu scopul de a reduce consumurile de bani și timp, personalizarea produselor, concurența acerbă care există pe unele piețe, la care

pot fi adăugați încă mulți alții. Pe de altă parte, decizia de a investi într-o afacere se cere să fie fundamentată pe baza analizei *întregului circuit economic*, întrucât sumele de bani investite sunt de multe ori foarte mari și investitorul nu își poate permite luarea unei decizii pe baza unei analize restrânse a oportunităților și riscurilor.

În fine, dezvoltarea în ultima vreme a unor sisteme organizatorice de producție, integrate pe orizontală și pe verticală, cum ar fi de exemplu producția de automobile, a făcut să crească mult interdependența dintre agenții economici care acționează într-o anumită industrie și de aceea deciziile, chiar la nivelul întreprinderilor mici, reclamă considerarea în întregime a scenei economice.

Cele de mai sus sunt de natură să stimuleze interesul pentru implementarea, la nivel conceptual, a unui nou mod de gândire, caracterizat prin *extinderea în spațiu și timp* a ariei de investigare folosită în luarea deciziilor. Tendințele expuse anterior se concretizează printr-un sistem de argumente, care pledează în favoarea *abordării holistic-integrate* a conducerii sistemelor tehnologice, argumente care vor fi prezentate în continuare.

2.1.1.1.1 Argumente științifice

Trei sunt domeniile științifice a căror evoluție rapidă din ultima vreme poate fi considerată, atât ca argument cât și ca suport, pentru abordarea, în întreaga ei complexitate, a problemei conducerii unui sistem tehnologic.

a) Primul dintre acestea este domeniul „*data mining*”, care, dezvoltat mai întâi în ideea de a fi utilizat în domeniul economic (în special în marketing), a fost extins spre domeniul tehnic, în special spre aria legată de manufacturarea produselor industriale. Această evoluție a fost stimulată de observația că, în controlul adaptiv al sistemelor industriale, apare frecvent nevoia modelării online a sistemului. Din cauza complexității acestuia, modelarea nu poate fi obținută prin compunerea unor modele elementare, fiind necesară construcția modelului pe baza unor seturi de date experimentale, adică folosind tehnici de tip „*data mining*”.

Pe de altă parte, acest domeniu este strâns legat de recenta evoluție ce a apărut în modul în care cunoștințele sunt obținute și utilizate (Fig.0.1). Astfel, pe lângă circuitul clasic al cunoștințelor, a apărut un circuit scurt al acestora, care pleacă de la instalația industrială și revine în acest punct, după ce a parcurs principalele etape specifice circuitului lung al cunoștințelor.

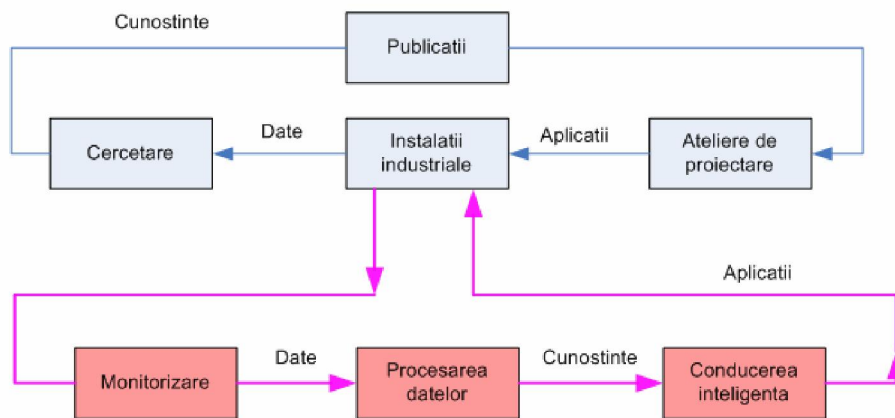


Fig. 0.1 Circuitul lung și circuitul scurt al cunoștințelor

b) Cel de-al doilea domeniu științific este *inteligenta artificială*, care, în special prin biomimetică, a reușit să dezvolte tehnici de modelare inedite și eficiente, cum ar fi spre exemplu rețelele neuronale, dar și tehnici de căutare, cum ar fi algoritmi genetici. Aceste tehnici completează arsenalul clasic de instrumente și deschid posibilitatea de a modela sisteme complexe și cu dinamică accelerată, așa cum sunt sistemele tehnologice.

c) În sfârșit, al treilea domeniu este cel al *cercetării operaționale*, care îmbină aspectele tehnice cu cele de organizare și management creând o punte de legătură între fizica proceselor industriale și managementul afacerii.

2.1.1.1.2 Argumente tehnologice

În trei domenii tehnologice au fost înregistrate evoluții spectaculoase în ultima vreme, ale căror consecințe se extind și asupra problemei conducerii sistemelor tehnologice, influențând, uneori în mod hotărâtor, modul conceptual de abordare.

Unul dintre aceste domenii tehnologice este cel al *acționării mașinilor*, care oferă posibilitatea de a acționa cu turație continuu reglabilă și cu control complet al mișcării, atât în ceea ce privește poziția, viteza și accelerația, cât și în ceea ce privește cuplul și puterea. Aceste sisteme de acționare, pot fi cu ușurință integrate în structuri cinematice complexe, unica problemă care mai necesită soluționare este legea după care acționarea este controlată.

Un al doilea domeniu tehnologic este cel al *sistemelor incorporate de control*, al cărui preț a scăzut mult, devenind foarte accesibile, și a cărui performanță a crescut semnificativ, astfel încât pot prelua sarcini complexe de control distribuit. Asocierea sistemelor de acționare cu cele de control încorporat reprezintă fundamente tehnologice solide pentru dezvoltarea sistemelor mecatronice. Aceasta a făcut ca sistemele tehnologice să aibă acționări independente pentru fiecare mișcare (în general, grad de libertate), indiferent dacă aceasta este realizată în cadrul ciclului de lucru, sau în cadrul operației de setare a sistemului tehnologic.

Un al treilea domeniu tehnologic, deosebit de relevant în ceea ce privește construcția sistemelor tehnologice, este acela al *sistemelor de măsurare în coordonate*. Acestea s-au dezvoltat mai întâi ca sisteme independente de măsurare, concretizându-se în mașini de măsurat în coordonate sau roboți de măsurare. În ultima vreme însă, prin introducerea traductoarelor de deplasare liniară sau unghiulară, independente de sistemele de acționare ale acestor deplasări, și practic neafectate de câmpul termo-mecanic generat de proces, s-a creat posibilitatea integrării fazei de măsurare în ciclul de prelucrare a piesei, apărând conceptul „*on-machine measurement*”. Facilitate elimină practic diferența dintre operațiile de prelucrare și cele de control dimensional.

2.1.1.1.3 Argumente comerciale

Viteza mare de parcurgere a circuitului economic, stimulată, printre altele, de comerțul electronic și de oportunitățile sistemului financiar electronic, solicită managerului *luarea unor decizii rapide*. Dar, fundamentul acestor decizii este de foarte multe ori tehnic, și în același timp complex. Spre exemplu, într-o licitație pentru fabricația unei componente sau unui sistem mecanic, managerul trebuie să ia decizii rapide privind cotația de preț și termenul de livrare. Cum implicațiile acestor decizii sunt cruciale, este imperios necesar ca managerul să dispună de un sistem de evaluare holistică a activității industriale, ocazionată de semnarea contractului prin care se angajează să furnizeze beneficiarului respectivul produs.

Mai mult, după ce contractul a fost semnat, managerul trebuie să aibă control asupra desfășurării procesului industrial, în conformitate cu evaluarea făcută în cursul licitației. Cum cea mai mare parte a consumurilor de orice fel ocazionate de realizarea contractului sunt generate de funcționarea sistemelor tehnologice, rezultă că, doar prin conducerea optimă a acestora, bazată pe abordarea holistică a tuturor aspectelor privind calitatea și costul produsului, poate fi redusă diferența dintre prognoză și desfășurarea reală a procesului industrial.

2.1.1.1.4 Argumente politice

Implicația majoră pe care sistemele tehnologice o au în ceea ce privește activitatea economică a generat orientarea spre acest domeniu a sistemului politic. Acesta din urmă a început să folosească împrejurarea de mai sus pentru a susține demersuri aflate la cel mai înalt nivel, de exemplu la nivel statal sau regional. Așa se face că fondurile de cercetare sunt orientate spre direcții prioritare, ce au fost stabilite luând în considerare chiar și unele interese politice. Spre exemplu, programele cadru ale Uniunii Europene, cum ar fi ultimul dintre acestea, PC7, stipulează cu claritate direcțiile prioritare ale cercetării științifice. Prin aceasta, se încearcă generarea unor cunoștințe noi, dar și utilizarea acestora, nu numai în scopul completării patrimoniului de cunoaștere al umanității, dar și, ori poate în primul rând, în scopul completării arsenalului de mijloace prin care să se obțină progresul economic, ca fundament pentru stabilitate politică și putere de decizie.

In cazul concret al sistemelor tehnologice, programul cadru PC7 formulează următoarea direcție prioritară de cercetare științifică: *NMP-2009-3.4-2 „Holistic and integrated approach to high-performance, reliable and adaptive machine tool design and production”*, la care scopul tehnic este legat de faptul că, datorită cererii pentru produse personalizate cu timp de livrare scurt, afacerile trebuie să acționeze pentru a putea satisface cererile clienților, și în același timp de a reduce costurile ciclului de viață și impactul asupra mediului.

Mașina uneltă și sistemul de producție industrial trebuie să își fundamenteze transformarea în viitor prin capacitatea de a propune, prin intermediul abordării holistice, la nivelul pieței globale, produse și servicii *high end*, în care produsul nu este mașina-uneltă însăși, ci capacitatea de producție, la cel mai bun ciclu de viață și cost. Se mai afirmă că cercetarea ar trebui să se concentreze asupra abordării holistice în ceea ce privește proiectarea mașinii unelte, a producției și a utilizării cu integrare completă a mașinii și proceselor, având în vedere calitatea, predictibilitatea și eficiența costurilor.

Aceasta implică dezvoltarea în următoarele direcții:

- mijloace de proiectare și manufacturare rapidă, robustă, pentru re-proiectarea conceptuală a sistemului;
- un mediu de proiectare pentru noile concepte privind mașinile unelte, cu linkuri inteligente către procesare și producție simulare (incluzând animația);
- abordări specifice, pentru a susține complexitatea integrării metodologiilor eterogene și a uneltelor, reprezentate de managementul procedural în mediul de proiectare.
- modele noi de afaceri și rețele dinamice, cu scopul de a optimiza costul ciclului de viață prin proiectarea programelor, având în vedere de asemenea problematica protejării mediului înconjurător și cea a robusteții, pentru a implementa noile tehnologii în sectorul firmelor mici și mijlocii.

Impactul așteptat în urma implementării modelelor de afaceri propuse și dezvoltările tehnice este reprezentat prin:

- reciclarea până la 100% a materialelor din care a fost fabricată mașina asociată cu reutilizarea componentelor mașinii.
- reducerea consumului de energie, între 30-40%;
- creșterea productivității, de 3-5 ori;
- creșterea fiabilității proceselor de precizie, cu până la 50%;
- extinderea capabilității interfeței om/mașina pentru o transparență de 100% a procesului;
- reducerea timpului de proiectare a mașinii și de fabricație, cu până la 50%.

2.1.1.2 Conceperea unei noi paradigme – Manufacturare cu Business Integrat

Pentru atingerea obiectivului, și anume *dezvoltarea unui sistem de reglare adaptiv-optimala a intensitatii procesului*, vom considera o nouă paradigmă care să fundamenteze această nouă abordare. În domeniul sistemelor tehnologice, ultima paradigmă lansată de comunitatea științifică este „*Computer Integrated Manufacturing*”, (CIM), potrivit căreia abordarea holistic-integrată pleacă de la nevoile clientului și, trecând prin proiectarea asistată de calculator a produsului (CAD) și proiectarea asistată de calculator a procesului de fabricație a produsului (CAM), ajunge la mașina uneltă, care realizează efectiv respectivul produs.

Sistemul de argumente științifice, tehnologice, comerciale, și politice prezentat mai sus induce ideea că, în locul circuitului tehnic pe care CIM îl acoperă, abordarea holistic integrată ar trebui să acopere circuitul economic, în întregime, prin introducerea paradigmei „*Manufacturare cu Business Integrat*” (Business Integrated Manufacturing), așa cum se arată în figura 0.2 .

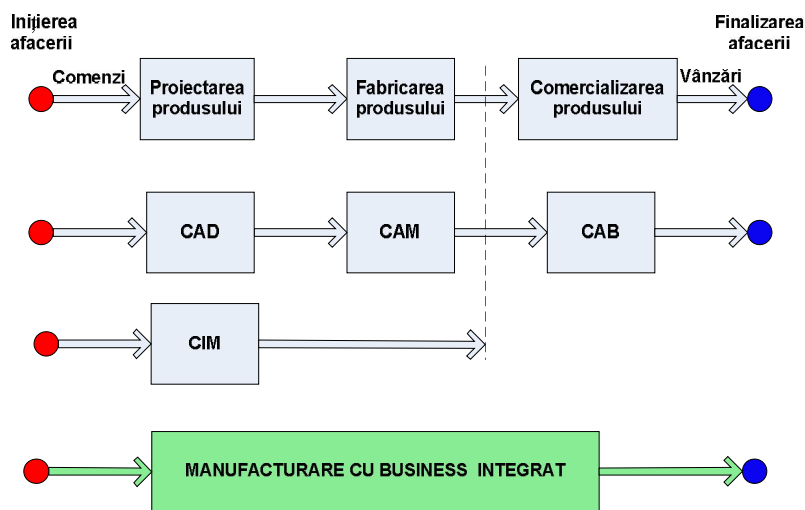


Fig. 0.2 Comparatie între diferite paradigme care privesc sistemele tehnologice de prelucrare mecanică.

Propunând și conturând această nouă paradigmă, se creează fundamentul conceptual pentru dezvoltarea unor sisteme tehnologice, a căror funcționare să poată satisface întregul set de exigente impuse de apariția conceptului de *dezvoltare durabilă*. Potrivit acestui concept, atât fenomenele naturale cât și cele economico-sociale care sunt utilizate pentru satisfacerea nevoilor curente ale omului, trebuie să poată fi reproduse timp îndelungat, fără a afecta mediul natural sau cultural în care se dezvoltă comunitățile umane.

În cazul concret al sistemelor tehnologice, dezideratul dezvoltării durabile se poate considera că se referă la două aspecte fundamentale ce privesc noua paradigmă, și anume: a) *optimizarea holistică* și b) *integrarea adaptivă*.

2.1.1.2.1 Primul aspect al noii paradigme - optimizarea holistică

Este evident faptul ca optimizarea apare ca un deziderat general al oricărei activități și se definește prin gradul de comparație superlativ.

Formal, o problemă de optimizare include *funcția obiectiv* ce reprezintă termenul de comparație, *sistemul de restricții* ce reprezintă domeniul de căutare și sistemul care este *subiectul optimizării*, acesta reprezentând aria de aplicație a rezultatelor obținute prin rezolvarea problemei. Distingem doua situații care pot apărea în cursul rezolvării unei probleme de optimizare.

Prima este aceea în care subiectul optimizării este un *sistem liniar*, ce poate fi descompus în componente, a căror funcționare și rezultate sunt independente. În acest caz, rezolvarea localizată a problemei optimizării, la nivelul fiecărei componente, poate fi considerată și ca soluție corectă pentru problema optimizării în întregime a sistemului considerat.

Cea de a doua situație, apare atunci când subiectul optimizării este unul *complex*, care nu poate fi descompus în componente independente și, de aceea, principiul suprapunerii de efecte nu se mai poate aplica, iar rezolvarea problemei optimizării, la nivelul fiecărei componente, nu reprezintă o soluție la problema optimizării sistemului în ansamblul său.

În general, abordarea pe un spațiu extins a optimizării duce la soluții caracterizate printr-un nivel mai ridicat de eficiență decât atunci când abordarea este locală și multiplă.

În cazul sistemelor tehnologice, apar ambele situații prezentate mai sus. Astfel, la nivelul unui proces de prelucrare elementar, fie acesta un ciclu de așchiere sau un ciclu de prelucrare a unei suprafețe, prin deplasarea sculei de-a lungul unei traiectorii date, optimizarea instantanee este echivalentă cu optimizarea globală.

Dacă însă, aria optimizării se extinde, cuprinzând procesele tehnice, dar și celelalte procese, economice sau comerciale, atunci apar diferențe majore între rezultatele obținute prin optimizare locală sau prin optimizare holistică. De aceea, în concordanță cu paradigma propusă ca fundament, și anume manufacturare cu business integrat, optimizarea trebuie să aibă caracter holistic, deși rezultatele optimizării se aplică separat la conducerea mașinii unelte, la conducerea negocierilor cu clientul și la managementul procesului de fabricație.

2.1.1.2.2 Al doilea aspect al noii paradigme-integrarea adaptivă

Abordarea holistică a conducerii optimale a sistemelor tehnologice este mult simplificată atunci când elementele ce formează obiectul optimizării se constituie într-un sistem integrat. Așa cum s-a arătat mai sus, evoluțiile științifice și tehnologice favorizează integrarea în sistemul tehnologic a unui număr din ce în ce mai mare de componente, precum controlul dimensional, controlul economicității procesului, controlul impactului ecologic al procesului sau altele.

Sistemele integrate sunt, evident, și complexe, ceea ce face ca să fie caracterizate prin *evoluții uneori neașteptate în ceea ce privește comportarea acestora*. În concret, acest lucru se manifesta prin *caracterul efemer* al oricărui

model ce descrie respectivul sistem și de aici apare nevoia reconstruirii frecvente a modelului.

Pe de alta parte, o rezerva importantă de creștere a eficienței este *adaptarea sistemului la situația concretă din fiecare moment al funcționării acestuia*, și nu numai la perturbațiile ce apar în ceea ce privește mărimile de intrare ale sistemului.

În cazul sistemelor tehnologice, modelele acestora, fie că ele descriu aspectele tehnice, economice, comerciale sau de mediu, *se modifică în limite largi, atât în timp cât și în spațiu*. Spre exemplu, un model care ar descrie relația dintre deformarea elastică a sistemului și erorile provocate de acest fenomen ar trebui să se modifice permanent în cursul deplasării sculei pe traiectoria programată și, mai mult, chiar la trecerea de la prelucrarea unui exemplar, la prelucrarea altui exemplar.

Un alt exemplu ar putea fi considerat cel al controlului erorilor de bazare. Urmare a erorilor inevitabile care afectează suprafețele de referință, sistemul de referință al unui exemplar din lot este diferit de cel corespunzător altui exemplar. De aceea, modelul de control al erorilor de bazare trebuie actualizat la fiecare exemplar în parte.

În fine, un alt exemplu, este oferit de modelul prin care se controlează consumul specific de energie. Acesta, variază în limite foarte largi (de la simplu la până de zece ori mai mult) cu variația adaosului de prelucrare.

Pe de altă parte, există multe motive care pledează pentru ca, în locul unui model matematic complex și durabil, să se prefere un model simplu și efemer, deși amândouă, teoretic, ar putea descrie la fel de bine, comportamentul unui sistem.

Cele de mai sus, induc ideea că, prin *adaptarea online a modelului*, asociată cu *integrarea cât mai completă a sistemului*, se poate obține un bun echilibru între rafinamentul modelării sistemului, simplitatea formalismului și sinergia abordării.

2.1.1.3 Construirea sistemului de criterii și restricții versus atribute și variabile, prin care să se implementeze abordarea

În condițiile abordării holistic-integrate a conducerii adaptiv-optimale a sistemului tehnologic, fundamentată pe noua paradigmă propusă, și anume *manufacturare cu business integrat*, structurarea problemei optimizării modului în care sistemul tehnologic funcționează impune ca, mai întâi, să se formuleze un *sistem de criterii*, care să reflecte interesele de nivel înalt ce sunt urmărite prin funcționarea sistemului tehnologic, și un *sistem de restricții* care să delimiteze spațiul de căutare al optimului.

În acest scop, prezenta abordare a problemei ia în considerație un anumit *set de atribute*, din care, o parte pot fi selectate drept criterii, iar altele drept restricții ale problemei optimizării. Acest set de atribute se compune din: *adaptabilitate, precizie, stabilitate, economicitate, ecologicitate și performanță*.

Pe de alta parte, în formalismul problemei, fiecare atribut trebuie reprezentat de o *variabilă* care să poată cuantifica numeric respectivul atribut, dar și să poată fi evaluată și controlată în cursul desfășurării procesului de prelucrare.

În diferite cazuri concrete, este dificil de identificat variabile care să aibă o astfel de capacitate. De aceea, un unic atribut poate fi reprezentat de mai multe variabile, fie considerate separat, fie asociate într-o formulă adecvată. Selectarea variabilelor funcție de atributul pe care îl reprezintă este, în același timp, subiect de opțiune managerială și de aceea, pot apărea situații când, același atribut, este reprezentat de variabile diferite.

Tab. 0.1. Sistemul de atribute și variabile utilizate în conducerea holistic-integrată

Criteriu restricție	Atributul	Variabilele care descriu/evaluatează atributul		
		Configurarea sistemului tehnologic	Programarea sistemului tehnologic	Funcționarea sistemului tehnologic
C/R	Adaptabilitate	-Timp de configurare -Putere instalată -Rezistența mecanică a sculei -Rigiditate	-Timp de programare -Facilități privind adaptarea programului la perturbații	-Timp specific de operare
R	Precizie	-Erori de sistem	-	-Erori de proces -Rugozitate
R	Stabilitate	-	-	-Lungimea contactului muchie-așchie
C	Economicitate	-Costul locului de muncă	-Costul programării	-Costul prelucrării
C	Ecologicitate	-Punctul limită al caracteristicii energetice	-	-Consumul specific de energie
C/R	Performanță	Rata specifică a profitului = (Preț – Cost)/ Timp specific		

În tabelul 0.1, sunt prezentate sintetic atributele și variabilele corespunzătoare, care pot fi considerate ca adecvate cazului sistemelor tehnologice de prelucrare prin așchiere, inclusiv atunci când acestea sunt flexibile sau reconfigurabile.

2.1.1.4 Concluzii

În dezvoltărilor conceptuale privitoare la abordarea holistic-integrată a conducerii adaptiv-optimale aplicate în cazul sistemelor tehnologice se pot trage următoarele concluzii:

1. Abordarea holistic-integrată a conducerii adaptiv optimale este susținută de evoluțiile înregistrate, atât în domenii științifice cum ar fi data mining, inteligența artificială și cercetarea operațională, cât în domeniul tehnologic reprezentate de dezvoltarea fără precedent a sistemelor de control și a sistemelor de măsurare în coordonate.
2. Viteza mare de parcurgere a circuitului economic necesită decizii rapide din partea conducerii întreprinderii; așadar managerul trebuie să dispună de un sistem de evaluare holistică a activității industriale și chiar să poată interveni asupra desfășurării procesului tehnologic în funcție de interesele și de politica întreprinderii.
3. Politica Uniunii Europene cu privire la dezvoltare este reflectată și asupra direcțiilor prioritare de cercetare stabilite prin intermediul programului cadru PC7. Una dintre direcțiile prioritare de cercetare științifică, și anume NMP-2009-3.4-2 „*Holistic and integrated approach to high-performance, reliable and adaptive machine tool design and production* ” se referă la abordarea holistică în ceea ce privește proiectarea mașinii unelte, a producției și a utilizării cu integrare completă a mașinilor și proceselor, având în vedere calitatea, predictibilitatea și nivelul costurilor.
4. Abordarea holistic-integrată trebuie să acopere circuitul economic în întregime, în condițiile exigențelor impuse de apariția conceptului de dezvoltare durabilă. Pentru aceasta am propus o nouă paradigmă Manufacturare cu Business Integrat care vizează două aspecte: optimizarea holistică și integrarea adaptivă.
5. Conducerea sistemelor tehnologice poate fi privită ca o problemă de optimizare, ce are la bază un set de criterii și de restricții. Criteriile și restricțiile pot fi considerate ca fiind atribute aferente sistemului tehnologic care pot fi evaluate și controlate pe parcursul procesului de prelucrare.

2.1.2 Conceperea unei metodici de conducere holistic-integrată a sistemelor tehnologice

2.1.2.1 Conceperea arhitecturii sistemului de conducere

2.1.2.2 Conducerea la nivel de program

2.1.2.3 Conducerea la nivel operațional

2.1.2.3.1. Obiectivele conducerii la nivel operațional

2.1.2.3.2. Tipologia modelelor

2.1.2.3.3. Identificarea relațiilor cauzale

2.1.2.4 Controlul economicității operației tehnologice

2.1.2.4.1. Modelarea econometrică a procesului de prelucrare

2.1.2.4.2. Costul specific

2.1.2.4.3. Timpul specific

2.1.2.4.4 Rata specifică a profitului

2.1.2.5 Conducere la nivel canonic

2.1.2.6 Conducere la nivel strategic

2.1.2.7 Concluzii

2.1.2.1 Conceperea arhitecturii sistemului de conducere

Abordarea holistic-integrată a problemei conducerii ansamblului proces-mașină presupune conceperea unei arhitecturi de control care să gestioneze optimal-adaptiv, atât aspectele referitoare la procesul de așchiere, cât și cele referitoare la economicitatea și ecologicitatea sistemului tehnologic (Fig. 2.3).

Conducerea la nivel de program presupune gestionarea sistemului astfel încât acesta să realizeze transformarea semifabricatului în piesă, prin intermediul unor operații tehnologice specifice.

Ideal ar fi ca toate cerințele, impuse piesei din punct de vedere tehnologic, să fie îndeplinite, fără a fi necesar altceva decât introducerea unui program piesă alcătuit corect. În realitate, aceste cerințe nu sunt îndeplinite, piesa prelucrată nu este identică cu piesa programată prin programul piesă, deoarece apar abateri de formă, dimensiuni sau de poziție reciprocă ale suprafețelor prelucrate.

De asemenea, parametrii regimului de aşchiere se pot dovedi ca fiind inadecvați, în sensul că, fie regimul de aşchiere este prea puțin intens, lucru care afectează productivitatea procesului, fie prea intens, ceea ce face ca stabilitatea sistemului tehnologic să nu fie asigurată. Prelucrarea în condițiile în care stabilitatea sistemului tehnologic nu este asigurată determină uzura prematură a sculelor aşchietoare, obținerea unor suprafețe care nu au calitate corespunzătoare și pune în pericol siguranța personalului și a mașinii.

Apare nevoia stabilirii unor corecții la programul inițial de prelucrare, astfel încât procesul de aşchiere să poată fi condus pentru a corespunde situație reale și de actualitate a sistemului tehnologic. Elaborarea corecțiilor este realizată prin *conducere la nivel operațional*, pe baza informațiilor obținute de la ansamblul proces - mașină.

Conducerea la nivel canonic constă în a comanda sistemul de control operațional pe baza unor reguli impuse. Aceste reguli (canoane) vizează aspecte legate de stabilirea unor direcții prioritare privind economicitatea, ecologicitatea, precizia de prelucrare sau productivitatea.

Conducerea la nivel strategic este realizată de sistemul de management și are la intrare modificările apărute în mediul economic precum și valorile curente ale indicatorilor de performanță, iar la ieșire ajustările de politici, necesare pentru adaptarea la mediu economic a sistemului tehnologic.

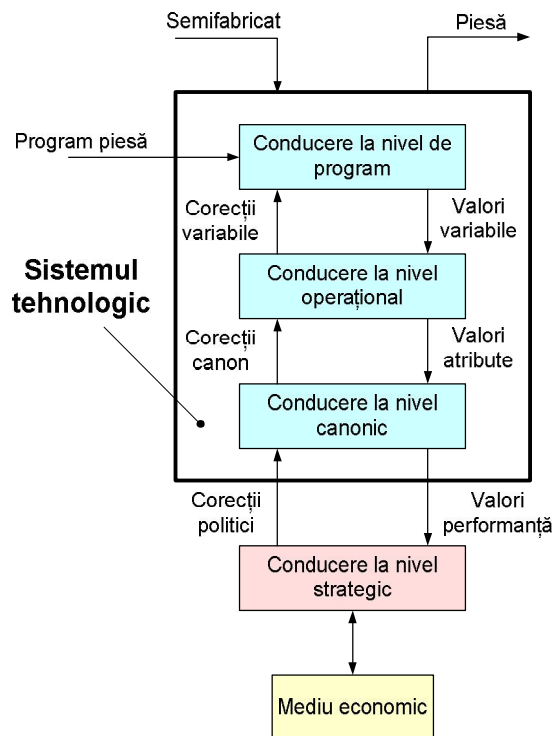


Fig.2.3 Sistemul de control holistic-integrat

2.1.2.2 Conducerea la nivel de program

Sistemele tehnologice la care se referă prezenta lucrare, sunt cele reconfigurabile, controlate numeric după program, în cazul cărora ideea cheie a reconfigurabilității hardware este structurarea mașinii unelte în module mecatronice universale. Fiecare modul asigură unul dintre gradele de libertate active ale mașinii unelte, iar joncțiunile dintre module reprezintă gradele de libertate pasive ale acesteia.

În alta lucrare [Marin 2009], a fost elaborat principiul controlului bazat pe *planificare reactivă*, în scopul de a elimina nevoia reconfigurabilității controlului numeric atunci când arhitectura hardware a mașinii unelte a suferit modificări. Potrivit acestui principiu, programul piesă este un produs software, care permite descrierea *cu înaltă rezoluție* a ciclului de lucru, pe baza datelor privind sarcina de prelucrare și caracteristicile sistemului tehnologic. În figura 2.5 se prezintă modul în care șirul seturilor de valori ale variabilelor sistemului este transmis unei unități de control logic, care le distribuie în mod adecvat modulelor mecatronice ale mașinii unelte.

Aceasta reprezintă conducerea la nivel de program a procesului și, dacă datele inițiale în produsul software ce reprezintă programul piesa nu ar suferi modificări, atunci rezultatele obținute ar fi exact cele programate. Din motivele arătate în capitolul precedent, această ipoteză nu se confirmă, și de aceea este necesară o buclă de control bazată pe reacție inversă, prin care sistemul să se adapteze la noile condiții. Această intervenție constă în *replanificarea ciclului de lucru al mașinii*, imediat ce, măcar una dintre datele inițiale, a suferit modificări.

Conducerea la nivel de program nu face obiectul acestei activități. În schimb, bucla de control bazată pe feedback, care, fiind parcursă în timpul funcționării sistemului tehnologic, este numită buclă de control operațional, a fost studiată în detaliu și prezentată în capitolele următoare ale lucrării.

2.1.2.3 Conducerea la nivel operațional

2.1.2.3.1 Obiectivele conducerii la nivel operațional

Arhitectura sistemului de conducere holistic-integrată, se prezintă în figura **Error! Reference source not found.**, evidențiindu-se elementele structurale ale conducerii la nivel de program și ale conducerii la nivel operațional.

Sistemul de conducere la nivel de program are ca intrare un model parametric al ansamblului sistem tehnologic-operație tehnologică, construit sub forma unui produs software specific, care este controlabil printr-un set de parametri. Inițial acești parametri au valori implicite dar, pe parcursul prelucrării piesei, acestea se corectează de către sistemul de conducere la nivel operațional, dacă situația curentă o impune. Din această cauză programatorul poate folosi doar valori aproximative ale acestor parametri.

Ieșirea modelului parametric software al ansamblului sistem tehnologic-operație tehnologică reprezintă traiectoria variabilelor de comandă, mai precis o listă ce conține poziția impusă fiecărei axe pe parcursul traiectoriei. Această listă este

recepționată de unitatea de control logic, care are rolul de secvențiere a ciclului de lucru, prin transmiterea la momente bine stabilite a valorilor de comandă pentru fiecare axă de deplasare a mașinii.

Ansamblul proces-mașină are drept intrare semifabricatul care trebuie transformat în piesă finită.

Sistemul de conducere la nivel de program este monitorizat de către sistemul de conducere la nivel operațional, prezentat în figura 2.42.4 , care construiește o bază de date ce va conține informații culese de la senzorii mașinii. Informațiile sunt achiziționate, atât în timpul prelucrării, cât și înainte și după aceasta. Înainte de prelucrare se identifică modelul semifabricatului, iar după ce prelucrarea s-a realizat se determină rezultatul prelucrării, evaluându-se astfel piesa obținută.

Conducerea la nivel operațional se bazează pe un *sistem de învățare*, ce are rolul de a construi două tipuri de modele: *modele de corecție a parametrilor de control* și *modele de evaluare a atributelor*.

Pentru generarea modelelor, sistemul de învățare determină în primul rând *relațiile cauzale*, pentru a determina acele variabile provenite din baza de date care vor fi folosite pentru construcția modelului. După identificare vor fi selectate *seturile de date relevante*, adică înregistrările din baza de date care vor fi utilizate la construirea modelului. Urmează analiza tipologiei modelelor disponibile, ce implică determinarea *tipului de model* prin care erorile de modelare sunt minime.

Modelele folosite pentru corecții au drept scop principal determinarea următorilor parametri de control care sunt folosiți de unitatea de rulare a modelului parametric software al ansamblului sistem tehnologic-operație tehnologică:

- *Deviația dimensională prognozată*, corespunzătoare unui set de puncte ce aparțin traiectoriei sculei în raport cu semifabricatul;
- *Lățimea admisibilă a așchiei*, mărime care influențează stabilitatea procesului de așchiere;
- *Grosimea admisibilă a așchiei*, parametru limitativ al avansului pentru a proteja muchia sculei așchietoare;
- *Aria admisibilă a așchiei*, parametru limitativ prin care se protejează sistemul tehnologic împotriva suprasolicitării cu forță;
- *Viteza optimă de așchiere*, parametru care influențează productivitatea, economicitatea și ecologicitatea procesului de așchiere;
- *Rugozitatea geometrică admisibilă*, funcție de rugozitatea reală limitată prin desenul de execuție al piesei.

Modelele de evaluare a atributelor furnizează valoarea curentă a atributelor care vor fi folosite de către sistemul de control canonic, sistem controlat de sistemul de control strategic. Aceste atribute sunt:

- consumul specific de energie;
- consumul specific de timp;
- consumul specific de sculă;
- costul specific;
- emisia de CO₂ pentru 1dm³ de material prelucrat.

Identificarea relațiilor cauzale va fi realizată utilizând metode din domeniul data-mining cunoscute sub denumirea de „filtre de atribute”. Pentru determinarea

relațiilor între variabilele de interes pentru care se realizează modelul și celelalte variabile conținute în baza de date, se vor folosi tehnicile RRelief și Corelation Feature Selection.

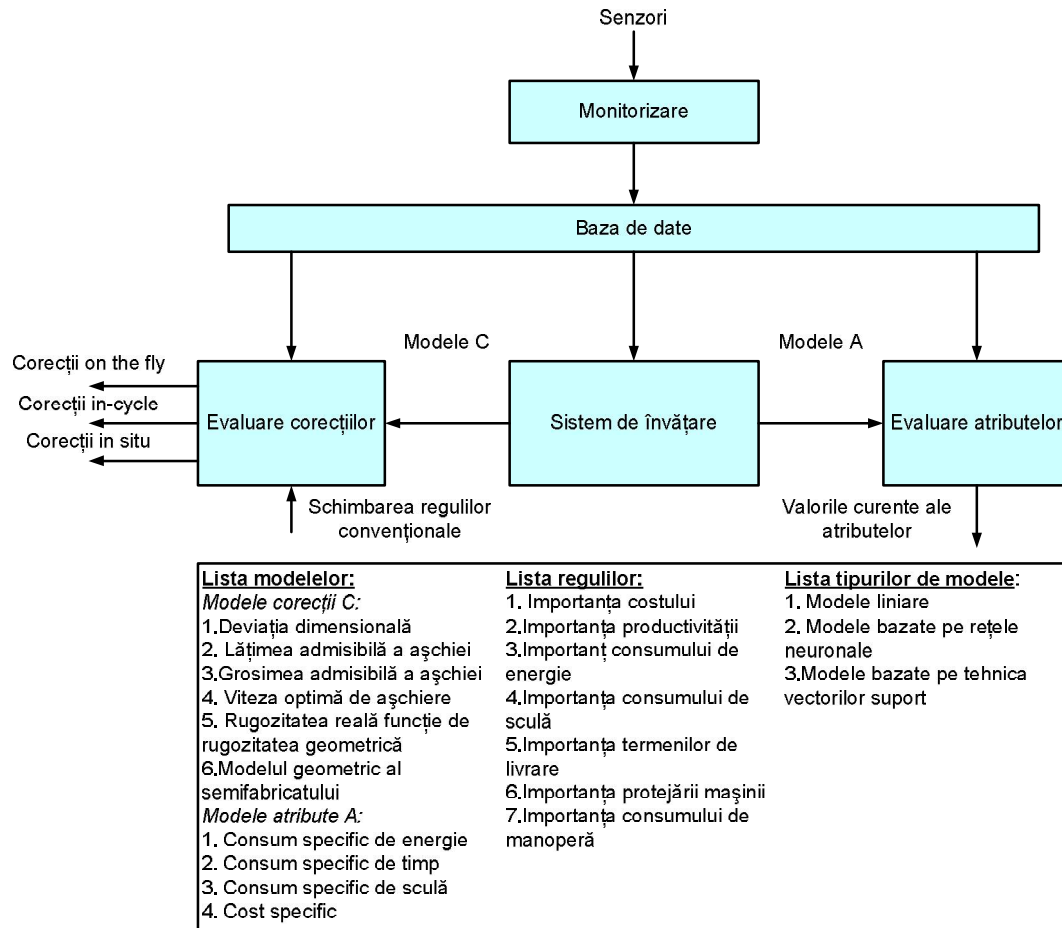


Fig.2.4 Sistemul de conducere la nivel operațional

Selectarea seturilor de date va avea în vedere ideea folosirii numărului optim de date pe baza cărora să se construiască modelul matematic, astfel încât acesta să descrie cât mai bine posibil comportarea ansamblului modelat.

Selectarea tipului de model se va realiza pe baza evaluării virtuale, retrospective a tuturor modelelor disponibile în sistemul de conducere operațional sub aspectul performanței de modelare. În acest scop, fiecare dintre modelele disponibile va fi testat prin aplicarea virtuală succesivă la controlul operațional al fiecăreia dintre piesele din lot care au fost deja prelucrate. Rezultatul simulării va fi comparat cu valorile măsurate ale parametrului controlat rezultând performanța de modelare. După ce toate modelele disponibile au fost astfel evaluate se va alege modelul cu cea mai bună performanță, și va fi utilizat la controlul operațional al piesei curente. În acest fel selectarea tipului de model este un proces de optimizare exhaustivă.

Construcția modelului constă în determinarea parametrilor modelului selectat, astfel încât acesta să descrie cât mai bine comportarea la momentul curent a sistemului modelat.

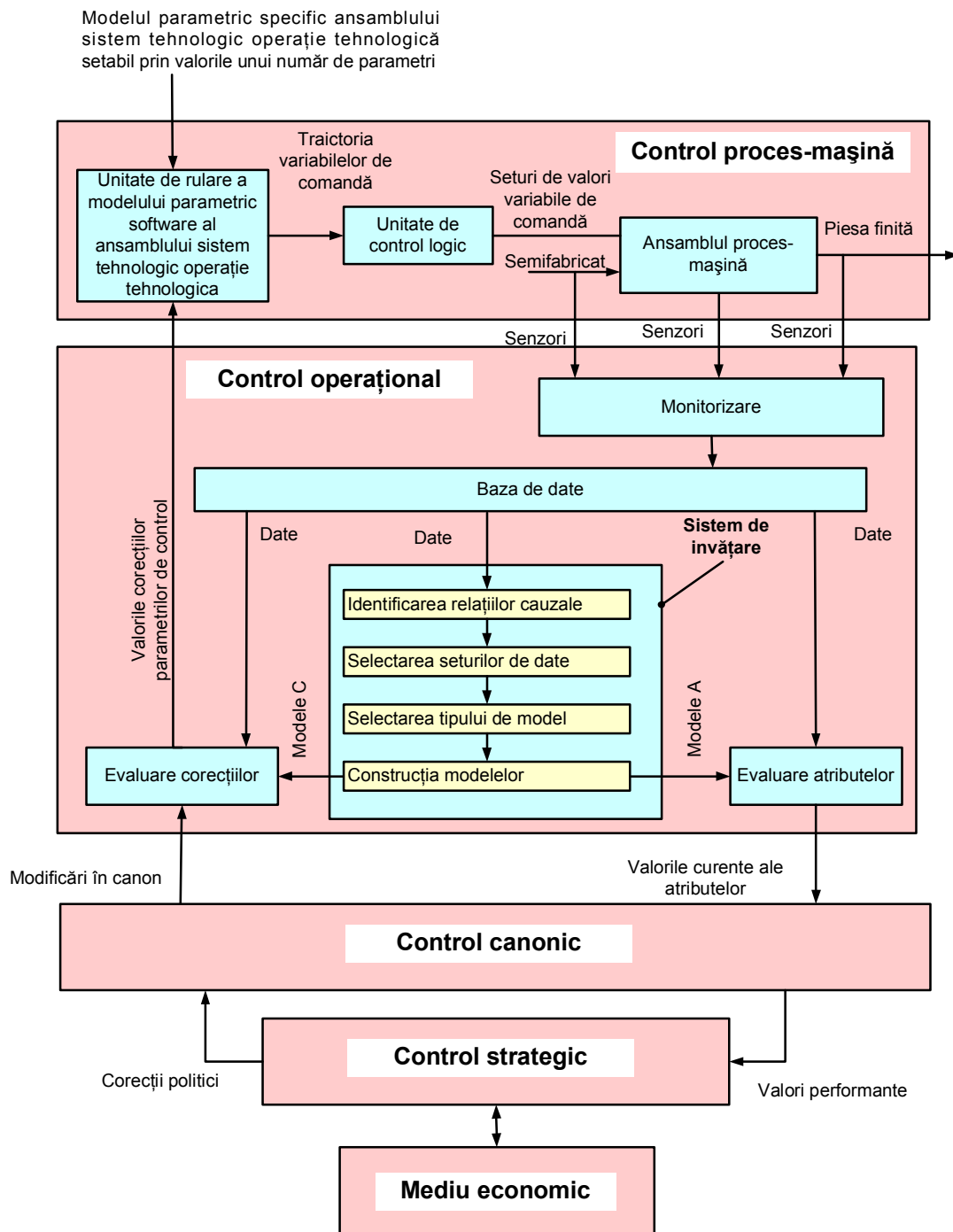


Fig.2.5 Arhitectura sistemului de conducere holistic-integrată

2.1.2.3.2 Tipologia modelelor

Pentru modelarea deviațiilor dimensionale vom avea în vedere folosirea următoarelor tipuri de modele:

- modele analitice obținute în urma unor procedee de regresie,
- modele neuronale,

- modele bazate pe tehnologia vectorilor suport SVM (Support Vector Machine).

Modele obținute prin procedee de regresie liniară

Orice algoritm de regresie are drept principal scop determinarea unei funcții \bar{f} care să aproximeze o funcție f ce nu este definită explicit, ci sub formă tabelară, prin intermediul unor dublete de forma $\langle \mathbf{x}_i, y_i \rangle$ cu $i=1..n$. Vectorii $\mathbf{x}_i \in \mathfrak{R}^m$ reprezintă datele de intrare ale modelului, iar valorile $y_i \in \mathfrak{R}$ reprezintă valorile funcției f pentru aceste date de intrare.

În cazul regresiei liniare, funcția \bar{f} reprezintă o combinație liniară a componentelor unui vector de parametri β . Cea mai simplă formă de regresie liniară este cea polinomială de ordinul 1. În acest caz, considerând că vectorii \mathbf{x} au dimensiunea m , expresia funcției \bar{f} este de forma:

$$\bar{f}(\mathbf{x}) = \bar{f}(x_1, x_2, \dots, x_m) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_m \cdot x_m + e \quad (2.1)$$

unde e este eroarea de modelare.

În cazul abordării problemei conducerii dimensionale a unui strung, vectorul \mathbf{x} poate avea de exemplu următoarea structură:

- $\{x_1, x_2, x_3\} = \{C, Z, F\}$, în cazul *controlului online* sau
- $\{x_1, x_2, x_3\} = \{C, Z, Ad\}$, în cazul *controlului predictiv programat*.

unde:

- C reprezintă valoarea axei „rotația arborelui principal”;
- Z reprezintă valoarea axei „translație paralelă cu axa arborelui principal”;
- F reprezintă o componentă a forței de așchiere;
- Ad reprezintă adâncimea de așchiere.

În aceste cazuri, prin regresie liniară se vor obține modele de forma:

$$\bar{f}_1(C, Z, F) = \beta_0 + \beta_1 \cdot C + \beta_2 \cdot Z + \beta_3 \cdot F + e_1 \quad - \text{în cazul controlului online sau}$$

$$\bar{f}_2(C, Z, Ad) = \beta_0' + \beta_1' \cdot C + \beta_2' \cdot Z + \beta_3' \cdot Ad + e_2 \quad - \text{în cazul controlului predictiv, unde}$$

vectorii $\beta_1 = \{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3\}$ și $\beta_2 = \{\beta_0', \beta_1', \beta_2', \beta_3'\}$ reprezintă parametrii modelelor matematice, e_1 și e_2 reprezintă erorile de modelare.

Pentru determinarea valorilor optime ale coeficienților, se poate aplica metoda celor mai mici pătrate, adică se va minimiza suma: $S = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{f}(x_i))^2$ pentru întreg

setul de date de antrenare. Pentru minimizare, se va determina situația în care derivatele parțiale al funcției S în raport cu variabilele modelului se anulează. Luând în considerare cazul controlului online, putem scrie:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 C_i - \beta_2 Z_i - \beta_3 F_i) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 C_i - \beta_2 Z_i - \beta_3 F_i) C_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial \beta_2} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 C_i - \beta_2 Z_i - \beta_3 F_i) Z_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial \beta_3} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 C_i - \beta_2 Z_i - \beta_3 F_i) F_i = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

ceea ce se poate exprima prin următorul sistem:

$$\begin{cases} n\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_1 C_i + \sum_{i=1}^n \beta_2 Z_i + \sum_{i=1}^n \beta_3 F_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ \beta_0 \sum_{i=1}^n C_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n C_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n Z_i C_i + \beta_3 \sum_{i=1}^n F_i C_i = \sum_{i=1}^n C_i y_i \\ \beta_0 \sum_{i=1}^n Z_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n Z_i C_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n Z_i^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n F_i Z_i = \sum_{i=1}^n Z_i y_i \\ \beta_0 \sum_{i=1}^n F_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n F_i C_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n Z_i F_i + \beta_3 \sum_{i=1}^n F_i^2 = \sum_{i=1}^n F_i y_i \end{cases} \quad (2.3)$$

sistemul de ecuații de mai sus poate fi scris sub formă matriceală astfel:

$$(\mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^T) \boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (2.4)$$

unde matricele sunt definite astfel:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & C_1 & Z_1 & F_1 \\ 1 & C_2 & Z_2 & F_2 \\ 1 & C_3 & Z_3 & F_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & C_n & Z_n & F_n \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad (2.5)$$

iar \mathbf{X}^T reprezintă transpusă matricei \mathbf{X} .

Rezultă că parametrii modelului matematic se determină rezolvând ecuația matriceală:

$$\boldsymbol{\beta} = (\mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^T)^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (2.6)$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații se determină parametrii modelului matematic β_0 , β_1 , β_2 și β_3 .

**Modele obținute pe baza tehnicii de regresie bazată pe vectori suport
(Support vector regression)**

Modelele SVM au fost inventate de către savantul de origine rusă Vladimir Vapnik, [Boser 1992], [Cortes 1995]. Inițial, SVM a fost folosit pentru probleme de clasificare, cum ar fi aplicațiile OCR (optical character recognition) și aplicațiile de recunoaștere a obiectelor. De asemenea, au fost obținute rezultate remarcabile și în cazul problemelor de regresie.

Algoritmii de regresie bazați pe vectori suport au drept principal scop, ca orice algoritmi de regresie, determinarea unei funcții \hat{f} , care să aproximeze o funcție continuă f , definită sub formă tabelară, prin intermediul unor dublete de forma $\langle \mathbf{x}_i, y_i \rangle$ cu $i=1..n$. Vectorii $\mathbf{x}_i \in \mathfrak{R}^m$ reprezintă datele de intrare ale modelului, iar valorile $y_i \in \mathfrak{R}$, reprezintă valorile funcției f pentru aceste date de intrare.

Spre deosebire de alte tehnici de regresie, funcția \hat{f} determinată de algoritm are o deviație maximă ε față de funcția necunoscută f , pentru valorile datelor de antrenare, adică $|\hat{f}(\mathbf{x}_i) - f(\mathbf{x}_i)| \leq \varepsilon$ pentru oricare $i=1..n$

Pentru cazul în care modelul Support Vector Regression (SVR) este de tip liniar, funcția \hat{f} este definită de o relație de tipul: $\hat{f}(\mathbf{x}) = \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} \rangle + b$, unde operatorul $\langle \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \rangle$ reprezintă produsul scalar dintre vectorii \mathbf{a} și \mathbf{b} . Un deziderat privind forma modelului matematic este legat de mărimea factorului \mathbf{w} care reprezintă complexitatea modelului. Norma vectorului \mathbf{w} trebuie să fie minimă. Determinarea funcției $\hat{f}(\mathbf{x})$ este o problemă de optimizare, care poate fi definită astfel:

$$\text{Minimizează: } \frac{1}{2} \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{w} \rangle \quad (3.7)$$

$$\text{cu restricțiile } \begin{cases} y_i - \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle - b \leq \varepsilon \\ \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2.8)$$

Există situații în care problema de optimizare nu are soluții, deoarece nu poate fi găsit nici un vector \mathbf{w} care să satisfacă condițiile impuse de restricții, adică nu există o funcție liniară $\hat{f}(\mathbf{x})$ care să aproximeze setul de date de antrenare cu precizia ε . Pentru a se determina totuși o soluție liniară acceptabilă, se pot introduce variabile adiționale, care să permită încălcarea restricțiilor, dar prin intermediul cărora să se introducă penalități la nivelul funcției obiectiv. Astfel problema de optimizare poate fi reformulată astfel:

$$\text{Minimizează: } \frac{1}{2} \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{w} \rangle + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \quad (2.9)$$

$$\text{cu restricțiile } \begin{cases} y_i - \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

Modelul va avea așadar doi parametri: parametrul ε care definește eroarea acceptabilă pentru setul de date de antrenare și parametrul $C > 0$ care reprezintă un factor de penalizare pentru elementele din setul de date, pentru care condiția $|\hat{f}(\mathbf{x}_i) - f(\mathbf{x}_i)| \leq \varepsilon$ nu poate fi îndeplinită.

Funcția de optimizare, precum și restricțiile, pot fi formulate sub forma unui lagrangian:

$$\begin{aligned} L(\mathbf{w}, b, \xi_i, \xi_i^*, \alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^*) &= \frac{1}{2} \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{w} \rangle + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) - \sum_{i=1}^n \alpha_i (\varepsilon + \xi_i - y_i + \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle + b) \\ &- \sum_{i=1}^n \alpha_i^* (\varepsilon + \xi_i^* + y_i - \langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle - b) - \sum_{i=1}^n (\eta_i \cdot \xi_i + \eta_i^* \cdot \xi_i^*) \end{aligned} \quad (2.11)$$

-unde $\alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^*$ reprezintă multiplicatorii Lagrange.

Problema de optimizare este reformulată astfel:

$$\text{Arg min}_{\mathbf{w}, b, \xi_i, \xi_i^*} \max_{\alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^*} L(\mathbf{w}, b, \xi_i, \xi_i^*, \alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^*) \quad (2.12)$$

unde $\alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^* > 0$.

Din condițiile de anulare ale derivatelor parțiale ale Lagrangianului în raport cu variabilele w, b, ξ_i și ξ_i^* , rezultă următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \mathbf{w}} = \mathbf{w} - \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) \cdot \mathbf{x}_i = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \xi_i} = C - \alpha_i - \eta_i = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \xi_i^*} = C - \alpha_i^* - \eta_i^* = 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

Ținând cont în L de aceste relații, problema de optimizare devine:

$$\begin{aligned} \max \left(\frac{1}{2} \left\langle \sum_{i=1}^n ((\alpha_i - \alpha_i^*) \cdot \mathbf{x}_i) \cdot \sum_{j=1}^n ((\alpha_j - \alpha_j^*) \cdot \mathbf{x}_j) \right\rangle - \varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) + y_i \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \right) &\text{ cu restricțiile:} \\ \begin{cases} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ (\alpha_i - \alpha_i^*) \in [0, C] \end{cases} & \quad (2.14) \end{aligned}$$

Această problemă de optimizare poate fi rezolvată folosind metode specifice, cum ar fi metoda Gradient Ascent.

Funcția $\hat{f}(\mathbf{x}_i) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \cdot \langle \mathbf{x}_i, \mathbf{x} \rangle + b$ va fi determinată de coeficienții α_i , α_i^* care vor fi nuli pentru o serie de înregistrări din setul de date. Așadar algoritmul selectează din setul de date o serie de înregistrări “remarcabile”, denumite *vectori suport*, înregistrări pe baza cărora se va construi modelul SVR.

Pentru regresie neliniară, produsul scalar este înlocuit de o transformare neliniară, denumită *kernel*. În mod uzual, se utilizează următoarele tipuri de kernel-uri:

- Kernel polinomial $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \langle \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j \rangle^d$
- Kernel polinomial neomogen $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \langle \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j + c \rangle^d$
- Kernel gaussian $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2}{2\sigma}}$

Pentru a realiza regresia cu vectori suport este necesară antrenarea algoritmului cu un set de dublete, $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)$, specificându-se următorii parametri: parametrul legat de mărimea zonei de insensibilitate ε , parametrul de regularizare C și parametrii specifici kernel-ului.

Selecția acestor parametri poate fi o sarcină dificilă, deoarece selectarea unor parametri improprii afectează performanța modelului obținut prin regresie. Pentru selecție se pot aplica mai multe strategii. De obicei pentru ε se alege o valoare egală cu nivelul zgomotului, dacă acesta este cunoscut. În practică, în cele mai multe situații, nivelul zgomotului nu este cunoscut. Pentru parametrul C se poate selecta o valoare mai mare decât cea mai mare dintre valorile funcției f , furnizată pentru datele de antrenare, însă această abordare face modelul sensibil la datele eronate înregistrate în setul de date de antrenare.

O altă strategie implică selectarea valorilor pentru toți parametrii, pe baza unui algoritm de validare încrucișată (cross validation).

Practic se utilizează două abordări:

-*n folds cross validation*- setul de date se împarte aleatoriu în n părți. Din cele n părți, $n-1$ părți sunt folosite pentru antrenarea algoritmului, iar a n -a pentru evaluarea erorilor modelului. Algoritmul este repetat de n ori, evaluându-se eroarea globală de modelare. Algoritmul se repetă pentru toate combinațiile de valori ale parametrilor, alegându-se acele valori, pentru care eroarea de modelare este minimă.

-*leave one cross validation*- abordarea este similară cu algoritmul precedent, însă numărul n este egal cu mărimea setului de date de antrenare.

Validarea încrucișată are dezavantajul că este costisitoare din punct de vedere computațional.

În această lucrare vom folosi algoritmul *n folds cross validation*. De asemenea, vom folosi abordarea descrisă în [Cherkassky 2004], conform căreia C se va alege $C = \bar{y} + 3\sigma_y$, unde \bar{y} reprezintă valoarea medie a ieșirilor pentru setul de date de antrenare, iar σ_y reprezintă dispersia pentru aceleași valori. Pentru parametrul ε , Cherkassky a determinat o relație empirică, prin care se obțin rezultate mai bune decât atunci când ε este egal cu nivelul zgomotului σ_y .

Această relație se obține multiplicând σ_y cu un parametru τ și cu o expresie ce ține seama de numărul n de înregistrări ale bazei de date folosite pentru antrenare.

$$\varepsilon = \tau\sigma\sqrt{\frac{\ln(n)}{n}} \quad (2.15)$$

Experimental s-a stabilit că pentru valoarea $\tau=3$, valoarea determinată pentru parametrul ε determină obținerea unui model mai precis. Pentru estimarea nivelului zgomotului, se poate aplica următoarea strategie: se construiește un model matematic de complexitate ridicată, cum ar fi un model de tip polinomial de ordin mare, sau se realizează un model de regresie de tip kNN (K Nearest Neighbor) cu parametrul k cuprins între 2 și 6. Prin algoritmul kNN, valoarea furnizată de model se determină prin medierea a celor mai apropiate k valori din setul de date pe care se construiește modelul. Nivelul zgomotului se poate aproxima cu relația:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{n}{n-d} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.16)$$

unde y_i și \hat{y}_i reprezintă valorile țintă furnizate în setul de date pentru care se evaluează nivelul de zgomot, respectiv valorile țintă evaluate de modelul de complexitate ridicată; n reprezintă numărul de înregistrări pentru care se evaluează nivelul de zgomot; d reprezintă parametrul legat de complexitatea modelului. Pentru modele polinomiale, d este egal cu gradul p al polinomului, iar pentru modele de tip kNN, $d=k/n$.

Pentru selectarea parametrului kernel-ului vom utiliza o tehnică de căutare exhaustivă. Valoarea parametrului kernel-ului va fi căutată într-un șir de valori discrete. Selectarea valorii optime a parametrului kernel-ului va fi realizată pe baza unui algoritm de validare încrucișată.

Rețele neuronale

O rețea neuronală artificială (ANN-Artificial Neural Network) reprezintă un tip de model matematic inspirat din rețelele neuronale biologice, alcătuite din neuroni interconectați prin intermediul sinapselor ce apar între axoni și dendrite.

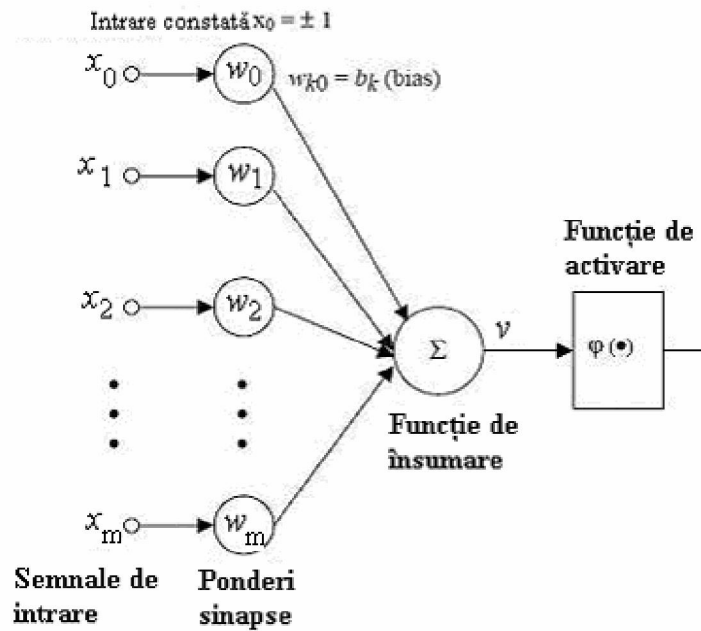


Fig.2.6 Structura unui neuron artificial

Rețelele neuronale artificiale sunt alcătuite din neuroni artificiali, a căror structură emulează structura neuronilor biologici. În figura **Error! Reference source not found.** se prezintă structura unui neuron artificial. Un neuron artificial reprezintă un element de procesare care pe baza unui număr m de intrări x_0, x_1, \dots, x_m generează o ieșire y . Sinapsele dintre neuroni sunt modelate cu ajutorul unor ponderi. În funcție de valorile acestor ponderi legăturile neuronului cu intrările sale sunt întărite, adică contribuie mai mult la valoarea funcției de ieșire a neuronului, sau sunt inhibate, adică contribuie puțin sau chiar deloc la valoarea funcției de ieșire a neuronului. Procesarea intrărilor de către neuron se realizează în două etape. În cadrul primei etape se efectuează însumarea valorilor intrărilor înmulțite cu ponderea corespunzătoare. În cadrul celei de a doua etape se calculează mărimea funcției de transfer a neuronului. De obicei această valoare, precum și valoarea corespunzătoare fiecărei intrări este limitată în intervalul $[-1, 1]$ sau $[0, 1]$.

În practică cele mai utilizate funcții de transfer sunt:

- funcția de transfer de tip prag, $f(v) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } v \leq 0 \\ 1 & \text{dacă } v > 0 \end{cases}$
- funcția de transfer liniară, $f(v) = v$
- funcție de transfer liniară cu saturație, $f(v) = \begin{cases} -1 & \text{dacă } v < -1 \\ v & \text{dacă } v \in [-1, 1] \\ 1 & \text{dacă } v > 1 \end{cases}$
- funcția de transfer sigmoidă, $f(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}}$

Mai multe unități elementare de procesare, adică mai mulți neuroni pot fi interconectați pentru îndeplinirea unei sarcini specifice, formând astfel o rețea neuronală. În cazul în care rețeaua neuronală este folosită pentru rezolvarea unor probleme de regresie, cea mai folosită structură de rețea neuronală este *arhitectura feed forward*. Arhitectura feed forward presupune gruparea neuronilor într-o structură fixă, aceștia fiind organizați pe straturi. Neuronii unui strat au conectate la intrările lor ieșirile neuronilor din stratul precedent sau intrările modelului în cazul neuronilor aflați pe primului strat.

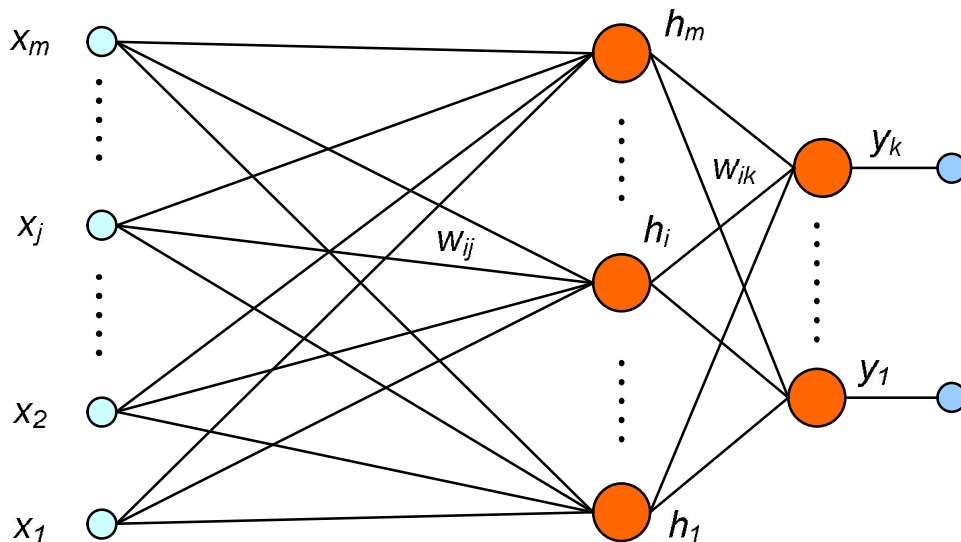


Fig 2.7 Structura unei rețele neuronale de tip feedforward

Stratul de neuroni care generează ieșirea poartă denumirea de *strat de ieșire*, celelalte straturi fiind *straturi ascunse*. Stabilirea structurii rețelei neuronale se realizează de obicei pe baza expertizei utilizatorului, sau folosind o strategie euristică. Numărul neuronilor de pe stratul de ieșire se stabilește ca fiind egal cu numărul ieșirilor. Pentru fiecare neuron trebuie specificat tipul de funcție de transfer.

Rețeaua neuronală calculează valoarea unei ieșiri y_k folosind datele de intrare astfel:

$$y_k = \varphi_k \left(\sum_{i=1}^n w_{ki} \cdot h_i \right) = \varphi_k \left(\sum_{i=1}^n w_{ki} \cdot \varphi_i \left(\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot x_j \right) \right)$$
, relație în care φ_k și φ_i reprezintă funcțiile de transfer corespunzătoare stratului de ieșire respectiv straturilor ascunse.

După stabilirea structurii rețelei neuronale este necesară antrenarea acesteia. Antrenarea reprezintă un proces de învățare prin care se realizează actualizarea valorii ponderii pentru fiecare sinapsă. Procesul de învățare este supervizat în cazul rețelelor de tip feedforward și poartă denumirea de *backpropagation training*. Astfel, rețelei îi sunt prezentate o serie de seturi de valori pentru variabilele de intrare și setul corespunzător de valori pentru variabilele de ieșire. În cazul în care funcțiile de transfer ale neuronilor sunt diferentiabile, algoritmul de antrenare este de tip gradient descent.

Pentru antrenare se utilizează un set de date alcătuit din l perechi de vectori $\langle \mathbf{x}(t), \mathbf{d}(t) \rangle$ cu $t=1..l$. Vectorii $\mathbf{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)\}$ reprezintă valori ale variabilelor de intrare, iar vectorii $\mathbf{d}(t) = \{d_1(t), d_2(t), \dots, d_l(t)\}$ reprezintă valorile

corespunzătoare funcțiilor necunoscute ce trebuie approximate. În urma antrenării rețeaua neuronală va genera un set de date de ieșire care $\mathbf{y}(t)$ care trebuie să aproximeze valorile funcție specificate prin vectorii $\mathbf{d}(t)$. Scopul antrenării rețelei este acela de a micșora erorile de modelare pentru datele de antrenare $\mathbf{e}(t) = \mathbf{d}(t) - \mathbf{y}(t)$. Actualizarea ponderilor pentru sinapse se va realiza astfel încât să fie minimizată o funcție cost. Cel mai frecvent în practică se utilizează funcția cost eroare medie pătratică dintre valoarea ieșirii rețelei și valoarea cunoscută a ieșirii obținută prin măsurare.

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l e_k^2(t), \quad \text{unde} \quad e_k(t) = d_k(t) - y_k(t). \quad (2.17)$$

Algoritmul de antrenare se bazează pe actualizarea ponderilor folosind valoarea negativă a gradientului funcției obiectiv în raport cu ponderile, și un parametru fix $\eta \in (0,1)$ care reprezintă rata de învățare. Ponderile sunt actualizate în mod similar, atât pentru sinapsele neuronilor de pe stratul de ieșire cât și pentru neuronii aflați pe straturile de intrare:

$$\Delta w_{ki}(t) = -\eta \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial w_{ki}(t)}, \quad \Delta w_{ij}(t) = -\eta \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial w_{ij}(t)} \quad (2.18)$$

Algoritmul de antrenare al rețelei neuronale este alcătuit din următorii pași:

1. Ponderile rețelei sunt stabilite inițial în mod aleatoriu, la valori foarte mici;
2. Se selectează o instanță din setul de date de antrenare;
3. Se calculează valoarea ieșirilor pentru neuronii aflați pe straturile ascunse și pentru neuronii de pe stratul de ieșire;
4. Se calculează valoarea funcției obiectiv;
5. Dacă valoarea funcției obiectiv este corespuzătoare sau numărul maxim de iterații impus operația de antrenare se consideră finalizată, dacă nu se continuă cu pasul 6;
6. Se calculează gradientul funcției obiectiv în raport cu ponderile sinapselor pentru neuronii de pe stratul de ieșire;
7. Se actualizează valorile ponderilor pentru neuronii de pe stratul de ieșire;
8. Se calculează gradientul funcției obiectiv în raport cu ponderile sinapselor pentru neuronii de pe straturile ascunse;
9. Se actualizează valorile ponderilor pentru neuronii de pe straturile ascunse;
10. Se reia algoritmul de la pasul 2.

2.1.2.3.3 Identificarea relațiilor cauzale

Din analiza literaturii de specialitate, s-a remarcat faptul că, de exemplu, modelul matematic corespunzător erorilor de prelucrare este construit pe baza unor cunoștințe provenite din experiențe anterioare. În cazul sistemelor tehnologice reconfigurabile, având în vedere faptul că structura sistemului se schimbă de la o fază de reconfigurare la alta, construcția modelului matematic nu se mai poate baza pe cunoștințe provenite din experiențe anterioare. De aceea, apare nevoia utilizării unor algoritmi de descoperire a relațiilor cauzale, ce există între variabila pentru determinarea căreia se construiește modelul matematic, și restul variabilelor aflate în componența bazei de date. Descoperirea relațiilor cauzale se bazează pe algoritmi de evaluarea atributelor.

Dacă, de exemplu, variabila pentru determinarea căreia se construiește modelul matematic este deviația dimensională, atunci mărimile măsurate de sistemul senzorial al mașinii pot fi considerate în raport cu mărimea deviației dimensionale ca fiind:

- atribute relevante, adică atribute care influențează mărimea deviației dimensionale;
- atribute irelevante, adică atribute care nu au nici o influență asupra mărimii deviației dimensionale (acestea pot fi considerate ca fiind aleatorii în raport cu valoarea pe care o ia deviația dimensională);
- atribute redundante, adică atribute care pot fi înlocuite cu alt atribut, față de care acesta este redundant, fără ca precizia modelului să fie influențată (în general atributele redundante sunt puternic corelate între ele).

În figura 2.8 este prezentată structura tipică a unui algoritm de evaluare a atributelor. Există mai multe posibilități de descoperire a setului de atribute relevante. Una dintre acestea constă în inițializarea algoritmului cu un set care conține toate atributele după care se elimină pe rând atributele redundante și nerelevante din setul inițial. O altă posibilitate este de a porni cu o listă de atribute vidă, la care se adaugă atribute relevante. În fine, se poate iniția algoritmul selectând un set aleatoriu de atribute, la care se vor adăuga atribute relevante și/sau se vor elimina atribute irelevante ori redundante.

În faza de evaluare se determină performanțele subsetului curent de atribute; dacă cel mai performant subset, determinat anterior, este inferior subsetului curent de atribute, atunci subsetul curent de atribute va fi reținut. Criteriul de oprire implică în general o condiție prin care se determină faptul că, prin adăugarea sau eliminarea unui atribut, nu se poate obține îmbunătățirea valorii funcției de evaluare a subsetului de atribute.

Algoritmii de mai sus au avantajul că necesită un număr mai mic de evaluări decât în cazul unei căutări exhaustive când, pentru un set de n atribute, numărul de evaluări N este dat de relația:

$$N = \sum_{i=1}^n C_n^i = \sum_{i=1}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} = 2^n - 1 \quad (2.19)$$

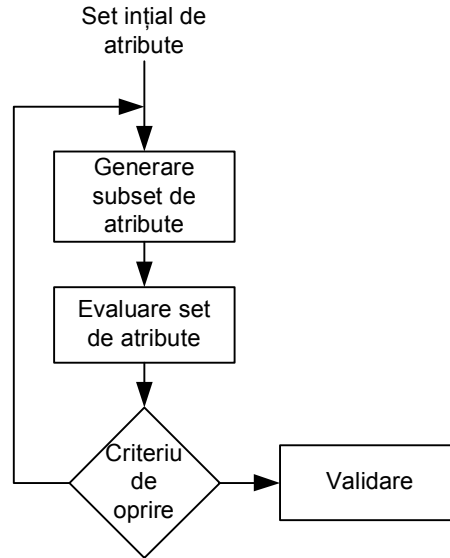


Fig 2.8 Structura tipică a unui algoritm de selectare a atributelor

Construirea unor modele matematice folosind atribute redundante sau irelevante influențează negativ precizia modelului matematic, sporindu-i în același timp complexitatea, afectând în mod nefavorabil timpul de construcție și cel de exploatare.

În general, pentru evaluarea atributelor există două abordări:

- folosirea unui filtru de atribute potrivit căruia atributele relevante se evaluează pe baza unui criteriu rezonabil, care este independent de problema reală;
- folosirea unei metode de tip *wrapper* care constă în aplicarea algoritmului pe baza căruia se construiește modelul matematic și evaluarea preciziei de modelare corespunzătoare diferitelor subseturi de atribute.

Metode de tip filtru de atribute

Metodele bazate pe filtre de atribute sunt preferate în general, având în vedere faptul că nu sunt costisitoare din punct de vedere computațional, datorită faptului că algoritmul pe baza căruia se selectează atributele este mai simplu decât algoritmul cu care se modelează datele. Dezavantajele folosirii unor astfel de metode sunt legate de faptul că, pentru evaluarea performanțelor fiecărui atribut, se folosesc criterii de performanță care nu au legătură cu modelul ce va fi folosit.

În cadrul acestei lucrări vom folosi următorii algoritmi de tip filtru:

-Correlation Feature Selection-

Algoritmul a fost dezvoltat de M. Hall în [Hall2000] și se bazează pe o observație simplă și evidentă: vom selecta atributele corelate cu variabila de ieșire pe baza căreia se va construi modelul matematic, dar se vor elimina atributele care sunt corelate între ele, adică atributele redundante. Se știe că un indicator al dependenței

lineare dintre două seturi de variabile X și Y este coeficientul de corelație, parametru statistic definit de relația:

$$\rho_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})}} \quad (2.20)$$

unde \bar{X} , \bar{Y} reprezintă valoarea medie pentru fiecare variabilă.

Pentru un subset de k atribute performanța (meritul) grupării este calculat cu relația:

$$Ms = \frac{k \cdot \bar{\rho}_{si}}{\sqrt{k + k(k-1)\bar{\rho}_s}} \quad (2.21)$$

Media coeficienților de corelație pentru fiecare atribut din setul de atribute selectate în raport cu variabila de interes $\bar{\rho}_{si}$, contribuie proporțional la „punctajul” grupării de atribute. Punctajul unui subset de atribute este mai scăzut în cazul în care unele din atribute sunt corelate între ele, adică media coeficientului de corelație corespunzător variabilelor din subset $\bar{\rho}_s$. Meritul subsetului este folosit pentru funcția de evaluare. Pentru generarea subsetului ce va fi evaluat se folosesc algoritmi de căutare: *greedy forward selection* sau *backward elimination*, algoritmi la care se atributele care determină creșterea respectiv descreșterea cea mai mare a funcției merit sunt adăugate respectiv eliminate succesiv, *best first* prin care se selectează subsetul de date pornind de la un subset vid la care se adaugă progresiv atributele care conduc la creșterea funcției merit, însă care spre deosebire de algoritmi de tip *greedy* permit backtracking-ul, adică reconsiderarea unor variante descalificate inițial dacă calea de căutare nu dă rezultate bune. De asemenea, pentru generarea subseturilor de date se poate utiliza algoritmul genetic considerând că trebuie rezolvată o problemă de optimizare a funcției merit.

-Rrelief pentru regresie-

Algoritmul Rrelief dezvoltat de Igor Kononenko [Kononenko1997] are ca scop evaluarea calității fiecărui atribut, în funcție de capacitatea acestuia de a surprinde variațiile variabilei de interes. Inițial algoritmul a fost dezvoltat pentru probleme de clasificare, adică pentru situații în care variabila de interes este discretă și are doar două valori corespunzătoare celor două clase. Algoritmul selectează în mod aleatoriu o instanță R_i din setul de date, și apoi determină cei mai apropiați doi vecini: unul din aceeași clasă denumit *nearest hit* H și unul din altă clasă *nearest miss* M . Pe baza acestor instanțe se actualizează valoarea estimată pentru calitatea atributului $W[A]$ folosind o funcție diferență definită pentru două instanțe I_1 și I_2 astfel:

$$\text{diff}(A, I_1, I_2) = \frac{|\text{valoare}(A, I_1) - \text{valoare}(A, I_2)|}{\max(A) - \min(A)} \quad (2.22)$$

Algoritmul Relief pentru clasificare:

Pentru toate atributele $W[A]=0$;

Pt. i de la 1 la m

 Selectează aleatoriu o instanță R ;

 Se determină nearest hit H și nearest miss M

 Pentru toate atributele A

$$W[A] = W[A] - \text{diff}(A, R, H)/m + \text{diff}(A, R, L)/m$$

 Sfarsit pentru

Sfarsit pentru

Valoarea calculată de algoritm aproximează următoarea diferență de probabilități:

$$W[A] = P(\text{valoare diferită pentru atributul } A | \text{nearest miss } M) - P(\text{valoare diferită pentru atributul } A | \text{nearest hit } H)$$

Algoritmul Relief pentru regresie nu poate folosi noțiunile *nearest miss* M și *nearest hit* H . Pentru a estima calitatea unui atribut se folosește relația:

$$W[A] = \frac{P_{\text{diff}C|\text{diff}A} \cdot P_{\text{diff}A}}{P_{\text{diff}C}} - \frac{(1 - P_{\text{diff}C|\text{diff}A}) \cdot P_{\text{diff}A}}{1 - P_{\text{diff}C}} \quad (2.23)$$

unde: $P_{\text{diff}A}$ reprezintă $P(\text{valoare diferită pt } A | \text{cele mai apropiate instante})$

$P_{\text{diff}C}$ reprezintă $P(\text{predictie diferită} | \text{cele mai apropiate instante})$

$P_{\text{diff}C|\text{diff}A}$ reprezintă $P(\text{predictie diferită} | \text{valoare diferită pt } A \text{ pentru cele mai apropiate instanțe})$

Algoritmul Rrelief are ca intrare un set de antrenare care este alcătuit dintr-o succesiune de vectori \mathbf{X} de dimensiune a , adică caracterizate prin a atribute, și din valorile variabilei de interes $\tau(\mathbf{X})$ corespunzătoare succesiunii vectorilor \mathbf{X} . Algoritmul are ca rezultat un vector cu estimările pentru calitatea fiecărui atribut.

Setează N_{dc} , $N_{dA}[A]$, $N_{dA\&dA}[A]$, $W[A]$ la 0

Pentru I de la 1 la m

 Selectează aleatoriu o instanță \mathbf{R}_i ;

Selectează cele mai apropiate k instanțe din setul de date I ;

Pentru j de la 1 la k

$$N_{dc} = N_{dc} + |\tau(\mathbf{R}_i) - \tau(\mathbf{I}_j)| \cdot d(i, j);$$

Pentru $A=1$ până la a

$$N_{dA}[A] = N_{dA}[A] + \text{diff}(A, R_i, I_j) \cdot d(i, j);$$

$$N_{dA\&dA}[A] = N_{dA\&dA}[A] + |\tau(\mathbf{R}_i) - \tau(\mathbf{I}_j)| \cdot \text{diff}(A, R_i, I_j) \cdot d(i, j);$$

Sf.pentru

Sf.pentru

Sf.pentru

Pentru $A=1$ până la a

$$W[A] = N_{dA\&dA}[A] / N_{dc} - (N_{dA}[A] - N_{dA\&dA}[A]) / (m - N_{dc})$$

2.1.2.4 Controlul economicității operației tehnologice

2.1.2.4.1 Modelarea econometrică a procesului de prelucrare

Modul în care sunt conduse sistemele tehnologice afectează performanțele acestora. Pe lângă influența modului de conducere asupra indicatorilor de precizie, se constată o influență puternică și asupra indicatorilor economici. În cazul sistemelor tehnologice pe care se realizează prelucrări prin așchiere, se observă faptul că parametrii regimului de așchiere influențează productivitatea, consumurile de sculă, de energie, durata de viață a mașinii unelte, costurile legate de manoperă și eficiența economică, în general specifică fiecărui sistem tehnologic.

În această lucrare propunem o metodă de control economic pentru mașinile unelte, care are drept scop îmbunătățirea unui set de atribute economice. Sistemul tehnologic interacționează cu piața prin executarea unui anumit serviciu (serviciu de fabricație), pentru un anumit client, cu care stabilește relații economice. Relația client-serviciu este determinată de următoarele atribute: *consumurile* necesare pentru efectuarea serviciului, *productivitatea* și *eficiența economică*.

Corespunzător acestor atribute vor fi controlate următoarele variabile: *costul*, *timpul de producție* și *rata de profitabilitate*. Valorile acestor atribute depind de o serie de factori externi sistemului tehnologic, cum ar fi costul energiei electrice,

costul sculelor, caracteristicile materialului prelucrat, costul de amortizare al mașinii unelte și altele. La nivelul mașinii unelte, controlul economicității se poate realiza doar prin modificarea parametrilor regimului de așchiere, adică a adâncimii de așchiere, avansului și vitezei de așchiere.

Pentru sistemul de control propus în această lucrare, mărimea avansului este folosită la controlul rugozității. Mărimea adâncimii de așchiere nu poate fi modificată decât în cazul în care se realizează mai multe treceri, prin împărțirea judicioasă a adaosului de prelucrare.

Vom considera cazul în care întreg adaosul de prelucrare trebuie îndepărtat într-o singură trecere. În această situație, nu se poate modifica adâncimea de așchiere, deoarece mărimea acesteia este dictată de mărimea adaosului de prelucrare, care a fost stabilită în funcție de modul de obținere a semifabricatului.

Ca urmare a acestui raționament, singurul parametru prin care poate fi realizat controlul economicității este viteza de așchiere v . Modelul economic are drept intrare viteza de așchiere, ca ieșiri atributele procesului de așchiere, iar ca parametri condițiile procesului de așchiere, cum ar fi adâncimea de așchiere, avansul, parametrii materialului prelucrat, etc.

Caracteristicile economice aferente procesului de așchiere, tratate în această lucrare, sunt:

- costul specific, c , definit ca fiind cheltuielile exprimate în Euro, necesare pentru detașarea unui volum de 1 dm^3 de material;
- timpul specific, τ , definit ca fiind intervalul de timp exprimat în minute necesar pentru îndepărtarea unui dm^3 de material;
- rata specifică de profit, r , definită ca fiind profitul exprimat în Euro, obținut în unitatea de timp.

2.1.2.4.2 Costul specific

Costul specific va fi definit astfel:

$$c = \frac{C_t}{V} [\text{Euro} / \text{dm}^3] \quad (2.24)$$

unde C_t reprezintă suma tuturor cheltuielilor de producție, exprimate în Euro, iar V -volumul de material îndepărtat, exprimat în dm^3 .

Cheltuielile de producție sunt definite ca fiind suma următoarelor componente:

- cheltuieli legate de manoperă,
- cheltuieli determinate de consumul de sculă,
- cheltuieli legate de costul materialului detașat,
- cheltuieli determinate de consumul de energie electrică,
- cheltuieli determinate de amortizarea mașinii unelte,
- alte cheltuieli, considerate constante.

Costul de specific al manoperei este definit astfel:

$$c_m = (\tau_a + \tau_b + \frac{\tau_{sr}}{V_s}) \cdot c_\tau \quad (2.25)$$

unde:

τ_a – reprezintă timpul auxiliar raportat la volumul de material îndepărtat exprimat în minute pe dm^3 ,

τ_b – reprezintă timpul de bază raportat la volumul de material îndepărtat exprimat în minute pe dm^3 ,

τ_{sr} – reprezintă timpul de schimbare și reglare a sculei, după ce aceasta s-a uzat, exprimat în minute,

c_τ – reprezintă costul unui minut de utilizare a locului de muncă,

V_s – reprezintă volumul de material ce poate fi prelucrat până la uzura sculei.

Parametrii regimului de aşchiere vor fi introduşi folosind următoarele unităţi de măsură:

- viteza de aşchiere va fi exprimată în m/min,
- adâncimea de aşchiere va fi exprimată în mm,
- avansul va fi exprimată în mm/rot,

Dar timpul de bază necesar pentru prelucrarea unui dm^3 de material poate fi exprimat prin relaţia:

$$\tau_b = \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} [\text{min}/\text{dm}^3] \quad (2.26)$$

Volumul de material ce poate fi îndepărtat până la uzura sculei este exprimat cu relaţia:

$$V_s = \frac{v \cdot s \cdot t \cdot T}{1000} [\text{dm}^3] \quad (2.27)$$

Iar durabilitatea sculei poate fi determinată folosind relaţia lui Taylor:

$$T = \frac{C_m^{\frac{1}{x}}}{v^m \cdot s^m \cdot t^m} [\text{min}], \quad (2.28)$$

unde C_m , x și y sunt constante dependente de materialul sculei și de materialul prelucrat.

Costul de utilizare a sculei pe perioada durabilităţii este definit cu relaţia:

$$C_s = \frac{C_{as} + C_{es}}{N} [\text{Euro}] \quad (2.29)$$

unde:

C_{as} -costul de achiziție a sculei exprimat în Euro;

C_{es} -costul de exploatare a sculei exprimat în Euro;

N -numărul de muchii aşchietoare corespunzătoare plăcuţei amovibile cu care se realizează prelucrarea.

Costul de utilizare al sculei pentru detaşarea unui dm^3 de material este:

$$c_s = \frac{1000 \cdot C_s}{T \cdot v \cdot s \cdot t} [\text{Euro}/\text{dm}^3] \quad (2.30)$$

Consumul de energie pentru detașarea unui dm^3 de material, depinde de caracteristica energetică a sistemului tehnologic și de debitul volumic al așchiilor:

$$k_w = \frac{1000 \cdot P}{v \cdot s \cdot t \cdot 60} [\text{Kwh}/\text{dm}^3] \quad (2.31)$$

unde:

P -reprezintă puterea absorbită de motorul acționării principale.

Costul energiei consumate pentru detașarea unui dm^3 de material este:

$$c_w = k_w \cdot P_{kwh} \quad (2.32)$$

unde: P_{kwh} reprezintă prețul unui Kwh exprimat în Euro

Considerăm că durata de utilizare a mașinii unelte depinde de intensitatea regimului de așchiere prin o relație asemănătoare cu relația lui Taylor:

$$T_m = \frac{K_m}{v^\alpha \cdot s^\beta \cdot t^\gamma} [\text{min}] \quad (2.33)$$

unde:

$\alpha, \beta, \gamma, K_m$ –reprezintă constante specifice mașinii unelte

Costul specific de amortizare al mașinii unelte este dat de relația:

$$c_m = \frac{1000 \cdot P_m}{v \cdot s \cdot t \cdot T_m} = \frac{P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} [\text{Euro}/\text{dm}^3] \quad (2.34)$$

unde:

P_m - reprezintă prețul de achiziție al mașinii, exprimat în Euro.

Costul unui dm^3 de material detașat este c_{mat} .

Cheltuielile constante în raport cu volumul materialului îndepărtat sunt considerate c_c

Combinând relațiile determinate precedent obținem:

$$c = \left(\tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} \right) c_\tau + \frac{1000 \cdot C_s \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} + \frac{1000 \cdot P \cdot P_{kwh}}{60 \cdot v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} + c_{mat} + c_c \quad (2.35)$$

2.1.2.4.3 Timpul specific

Atributul productivitate este definit ca fiind timpul necesar pentru detașarea unui dm^3 de material.

$$\tau = \frac{\tau_p}{V_p} = \tau_a + \tau_b + \frac{\tau_{sr}}{V_s} = \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr}}{v \cdot s \cdot t \cdot T} [\text{min}/\text{dm}^3] \quad (2.36)$$

Ținând de ecuația lui Taylor rezultă:

$$\tau = \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} [\text{min}/\text{dm}^3] \quad (2.37)$$

Unde:

τ_p - reprezintă timpul total necesar pentru prelucrarea unui exemplar din lot exprimat în minute;

V_p - reprezintă volumul de material ce trebuie detașat pentru obținerea unei piese.

2.1.2.4.4 Rata specifică a profitului

Atributul eficiență economică este exprimat prin rata specifică a profitului r definită ca fiind profitul raportat la unitatea de timp:

$$r = \frac{p-c}{\tau} \text{ [Euro/min]} \quad (2.38)$$

unde p este prețul specific de vânzare.

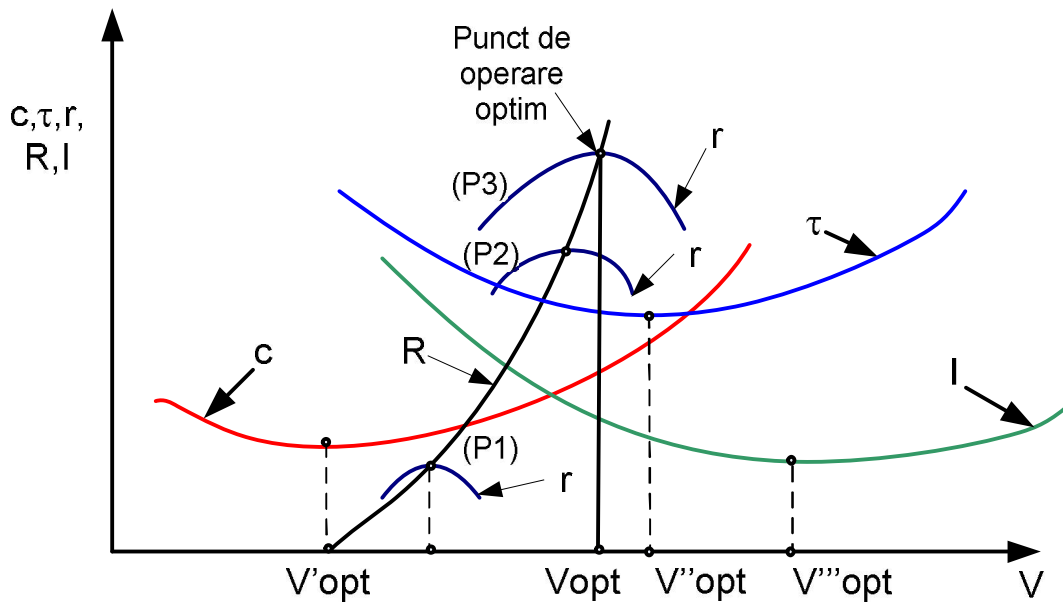


Fig. 2.9 Variația atributelor economice și ecologice în raport cu viteza de așchiere

În figura **Error! Reference source not found.** se prezintă variația ratei specifice a profitului, a costului specific și a timpului specific cu viteza de așchiere, aceasta fiind considerată drept variabilă de control al economicității (adâncimea fiind utilizată pentru controlul dimensional, iar avansul fiind utilizat pentru controlul rugozității).

Se observă că, atât variația cu viteza a costului specific, cât și a timpului specific prezintă minime valorile corespunzătoare ale vitezei de așchiere fiind V'_{opt} și respectiv V''_{opt} . Se mai constată, la nivel analitic, faptul că cele două valori sunt diferite, în general. Rezultă că nu este posibil să se obțină simultan cost minim și productivitate maximă. În ceea ce privește rata profitului specific, se constată că există o valoare optimă a vitezei de așchiere, V_{opt} , pentru care aceasta este maximă. În figură se prezintă și variația poziției punctului de operare optim în raport cu viteza pentru diferite prețuri specifice de vânzare curba R.

Se constată faptul că prețul specific de vânzare influențează semnificativ valoarea vitezei pentru care rata specifică a profitului este maximă. Rezultă că este necesară formularea unei politici în privința celor trei criterii de control al economicității, în funcție de poziția pe piață a produsului fabricat și a întreprinderii ce îl fabrică.

2.1.2.5 Conducerea la nivel canonic

Așa cum s-a arătat mai sus, criteriile și restricțiile care stau la baza formulării problematicei conducerii optimale a sistemului tehnologic, dar și atributele și variabilele care le reprezintă sunt multe, diverse, și foarte frecvent contradictorii. Spre exemplu, relația cu un client este de foarte multe ori, una specifică și nu se regăsește cu exactitate în cazul unui alt client. Acest lucru, trebuie luat în considerare dacă dorim ca să asigurăm o conducere a sistemului tehnologic adecvată nu numai sub aspect tehnic sau economic, ci și comercial. Un alt exemplu este acela în care, datorita particularității procesului de prelucrare, anumite variabile au valori particulare mici sau relativ constante și de aceea considerarea lor în problema optimizării este fie neimportantă, fie irelevantă. Aceasta împrejurare, generează nevoia unor schimbări în ceea ce privește structura criteriilor și restricțiilor pe care se construiește problema optimizării. În fine, există deziderate de natura organizatorică ce vin în contradicție cu exigentele problemei controlului sistemului tehnologic. În acest sens, pot fi considerate toate perturbațiile generate de indisponibilitatea unor mașini unelte sau a unor operatori, ori situații specifice generate de concurență.

Pentru a considera toate aceste aspecte, metodică de conducere holistic-integrată a sistemului tehnologic a prevăzut o buclă suplimentară de control care, pe baza evaluării valorilor curente ale atributelor, să formuleze modificări în canonul ce guvernează controlul operațional. Prin canon, a fost denumit, sistemul de reguli ce sunt considerate în elaborarea deciziilor la nivelul controlului operațional. Un exemplu de astfel de regula ar putea fi acea regulă care stabilește ponderea importanței costului sau productivității în cadrul prelucrării unui anumit lot de piese, având în vedere eventual termenele de livrare sau restricții de natura organizatorică.

Un alt exemplu, ar fi regula ce stabilește importanța ce trebuie acordată impactului ecologic al procesului în raport cu impactul economic al acestuia. În concepția prezentei metodici de conducere holistic integrată a sistemului tehnologic, canonul intră în competența operatorului mașinii unelte, care, dispunând de transparența completă privind desfășurarea procesului (aspect considerat prioritar în cadrul programului cadru FP7), poate formula și implementa modificări ale acestuia, având astfel o anumită „competență legislativă”.

Un exemplu de transparență privind desfășurarea procesului, care, urmare a metodicii de conducere propusă în cadrul acestei lucrări, poate fi cu ușurință implementată, este expunerea dinamică pe monitorul echipamentului numeric al mașinii a diagramei din figura **Error! Reference source not found.** unde se poate

vedea poziția punctului curent de funcționare în raport cu limitele ce formează referința sistemului de evaluare a funcționării.

2.1.2.6 Conducerea la nivel strategic

Există aspecte importante privitoare la parametrii de funcționare ai unui sistem tehnologic care se caracterizează prin viteza scăzută de evoluție în timp și, de aceea, sunt importante pe termen lung dar pot fi neglijate pe termen scurt. Un astfel de aspect este acela cu privire la intensitatea exploatarei unei mașini unelte. În această privință poate exista interesul să se mărească durata de viață a mașinii pentru motivul că, sub aspect financiar, nu se întrevide nici măcar pe termen mediu, posibilitatea de a fi înlocuită cu o alta, mai nouă, sau mai modernă, sau, dimpotrivă, poate exista interesul de a se scurta durata de viață a mașinii, întrucât, într-un termen mediu, există intenția de a schimba obiectul de activitate, dar nu există speranța de a putea valorifica într-un mod corespunzător respectiva mașină unealtă, în momentul schimbării acestui obiect. Precum acesta, pot fi date încă multe alte exemple, care decurg din strategia adoptată la nivelul acționariatului, al consiliului de administrație sau al conducerii operative. În mod concret, aceste aspecte reprezintă esența politicilor aplicate în procesul de producție și sunt analizate considerând, între altele, nivelul performanței mașinii unelte, rezultat în urma evaluării acesteia de către sistemul ei de conducere.

La rândul lor, aceste politici reprezintă fundamentul canonului aplicat în controlul operațional al sistemului tehnologic. În conceperea prezentei metodici de conducere holistic integrată a sistemului tehnologic, sursa de politici pe care operatorul fundamentează canonul sistemului de conducere este managementul, întrucât acesta deține informația necesară, atât cea de natură tehnico-economică (reprezentată de indicatorii de performanță ai funcționării sistemului tehnologic), cât și cea de natură comercială, reprezentată de relația cu piața și cu mediul investițional. Implementarea politicilor este o acțiune ce se desfășoară în structura organizatorică a societății comerciale și de aceea în figura **Error! Reference source not found.**, controlul strategic a fost lăsat în afara sistemului de conducere, dar jucând rolul de interfață prin care se realizează conducerea holistic integrată a sistemului tehnologic.

2.1.2.7 Concluzii

În urma conceperii metodicii de conducere holistic-integrată a sistemelor tehnologice au rezultat următoarele concluzii:

1. În vederea abordării holistic-integrate a problemei conducerii ansamblului proces-mașină, s-a avut în vedere o arhitectură structurată pe mai multe niveluri, care gestionează următoarele aspecte: *conducerea la nivel de program, conducerea la nivel operațional, conducerea la nivel canonic și conducerea la nivel strategic.*

2. Conducerea la nivel operațional are drept scop principal construcția a două tipuri de modele: modele de corecție a parametrilor de control și modele de evaluare a atributelor. Pentru adaptarea sistemului la condițiile de lucru actuale, aceste modele sunt actualizate, folosind un sistem de învățare, care utilizează date obținute din monitorizarea funcționării mașinii pe parcursul prelucrării pieselor ce alcătuiesc lotul.
3. Reducerea erorilor de prelucrare se poate realiza, fie prin reducerea intensității procesului de prelucrare asociată cu utilizarea unor mașini și scule mai precise, fie prin prognoza și compensarea acestora. S-a arătat că prognoza și compensarea erorilor de prelucrare este mai eficientă din punct de vedere economic.
4. În vederea prognozei și compensării erorilor de prelucrare, s-au avut în vedere două componente și anume eroarea datorată procesului și eroarea datorată sistemului de prelucrare. În vederea evaluării acestor erori s-a propus utilizarea unui sistem de măsură „on machine”.
5. Pentru control erorilor de proces s-a propus un algoritm care determină variabilele ce alcătuiesc modelul matematic, tipologia modelului, setul de variabile folosit pentru identificarea parametrilor modelului și care folosește modelele pentru evaluarea corecțiilor necesare compensării deviațiilor dimensionale.
6. În ceea ce privește erorile de sistem în lucrare a fost analizat cazul erorilor de fixare și s-a propus o soluție conceptuală de identificare și corecție a acestor erori. În particular, s-a analizat cazul identificării erorilor de fixare pentru suprafețe conice și cilindrice fixate în universalul unui strung.
7. În ceea ce privește controlul stabilității sistemelor tehnologice, s-a considerat fenomenul de instabilitate dinamică și s-au stabilit variabilele care pot fi folosite pentru control precum și modul în care acestea pot fi controlate pentru eliminarea fenomenului.
8. Modelarea econometrică a procesului de așchiere propusă în această lucrare are drept scop îmbunătățirea unui set de atribute economice și anume *consumurile* necesare pentru derularea procesului de prelucrare, precum și *productivitatea și eficiența economică a acestuia*. Pentru controlul acestor atribute s-a propus utilizarea vitezei de așchiere drept variabilă de control, în timp ce adâncimea de așchiere este utilizată pentru controlul dimensional, iar avansul poate fi folosit pentru controlul rugozității.
9. S-a stabilit că, prin modificarea vitezei de așchiere, productivitatea și consumurile nu pot fi simultan extremizate. De aceea s-a recurs la considerarea ratei profitului drept criteriu de optimizare, având în vedere și faptul că din punct de vedere strict economic obținerea profitului este rațiunea dezvoltării procesului de prelucrare. Pentru maximizarea ratei profitului trebuie determinată mărimea optimă a vitezei de așchiere care depinde de succesul produsului pe piață, adică de prețul de vânzare a acestuia.
10. În ultima vreme conceptul de dezvoltare durabilă a crescut ca importanță, pentru că agresiunea asupra mediului a devenit îngrijorătoare. În principal această agresiune constă în emisia de gaze cu efect de seră. Referitor la emisiile gazelor cu efect de seră se constată că nivelul în creștere al dioxidului de carbon emis ca urmare a arderii combustibililor fosili este principalul responsabil pentru fenomenul de încălzire globală.

11. La modelarea impactului ecologic al procesului, generat de emisiile de dioxid de carbon au fost luate în considerare următoarele surse: consumul de energia electrică, de sculă și de material de adaos. Variabila prin care se propune controlul ecologicității este viteza de așchiere.

Activitatea 2.2 - Dezvoltarea sistemului de monitorizare a consumurilor

În vederea monitorizării funcționării mașinii a fost proiectat un sistem dedicat care are drept scop construirea unei bazei de date în care vor fi stocate toate informațiile referitoare la evoluția în timp a unor mărimi care caracterizează procesul

de prelucrare. Pentru a monitoriza funcționarea strungului a fost conceput un program implementat în mediul de programare Microsoft Visual C++.

Acest program de monitorizare achiziționează date prin intermediul serverului de date OPC Factory Server. Serverul de date OPC Factory Server folosește un driver pentru a comunica prin rețea conform protocolului Modbus TCP IP. Calculatorul pe care rulează programul de monitorizare este conectat la o rețea Ethernet. Topologia rețelei este de tip stea, elementul central fiind un switch. Folosirea rețelei Ethernet a fost preferată datorită vitezei mari de transfer a datelor de 10-100Mbs.

La aceeași rețea este conectat și modulul de comunicație Ethernet din componența structurii mașinii. Software-ul de monitorizare achiziționează de la controlerul mașinii date referitoare la poziția celor două axe ale mașinii și poziția unghiulară a arborelui principal. Rezoluția traductoarelor corespunzătoare axelor este de 0,5 μm . Caracteristicile traductoarelor incrementale folosite cu ajutorul cărora se măsoară aceste mărimi sunt prezentate în tabelul 2.2 **Error! Reference source not found.**

Tab.2.2. Caracteristicile traductoarelor incrementale folosite pentru măsurarea deplasărilor axelor de lucru

Rezoluție	5000 impulsuri/rotatie
Rezoluție obținută prin multiplicare	20000 impulsuri/rotatie
Frecvență maximă	160KHz
Ieșire	driver RS422

În aceeași rețea Ethernet este conectat un al doilea controler care are posibilitatea de comunicare pe magistrala CAN Open. Protocolul CANOpen este un protocol de tip fieldbus bazat pe specificațiile Controller Area Network. CANOpen este un standard de protocol deschis care este acceptat și implementat de marea majoritate a producătorilor de echipamente de automatizare din întreaga lume. Variatoarele ATV71 pot fi utilizate ca noduri CANOpen. Al doilea controler este utilizat ca fiind master-ul pe magistrală CanOpen.

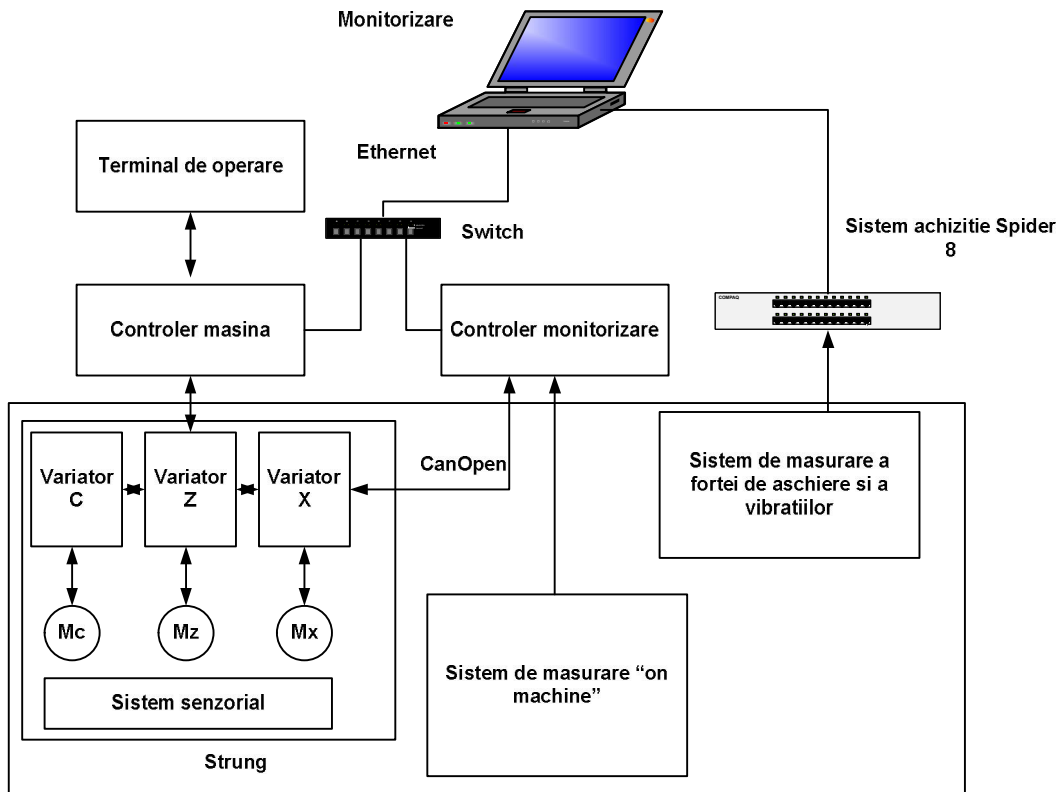


Fig 2.10. Structura sistemului de monitorizare

Pentru configurare s-a utilizat pachetul software Sycon produs de Hylscler.GmbH cu ajutorul căruia se poate defini fiecare dispozitiv de pe magistrală pe baza unui EDS (Electronic Data Sheet). Pentru fiecare din cele trei variatoare s-a definit câte un obiect PDO (Process Data Object). Pentru fiecare obiect PDO s-au selectat din EDS-urile dispozitivelor, EDS-urile fiind în acest caz identice pentru fiecare dispozitiv, următoarele obiecte care vor fi accesibile la nivelul Master-ului:

- valoarea curentului absorbit,
- valoarea cuplului dezvoltat,
- energia consumată,
- puterea debitată.

Având în vedere faptul că variatoarele de viteză ATV71 nu sunt aparate de măsură, producătorul nu furnizează detalii privind acuratețea cu care sunt măsurate aceste mărimi.

La structura controler-ului sistemului de monitorizare sau la structura de control al masinii poate fi adăugat un modul prin care se pot achiziționa date de la un sistem de măsurare „on machine”. Acest sistem este alcătuit din două comparatoare digitate Heidenhain de tip ST1278 cu următoarele caracteristici:

- ieșire compatibilă RS422,



- rezoluția 1 μm ,
- cursă 12 mm,
- acuratețe $\pm 1 \mu\text{m}$.

Modulul prin care se monitorizează semnalele furnizate de comparatoarele digitale este dotat cu patru intrări cu posibilitate de numărare rapidă de până la 1MHz.

Comparatoarele au fost montate pe un suport care are rolul de a le susține în timpul operației de măsurare. Controlerul care monitorizează comparatoarele digitale, reține valoarea curentă a numărătoarelor rapide, la fiecare ciclu de baleere a programului într-o zonă tampon de memorie.

Această zonă tampon reține fiecare valoare pentru circa 100ms, adică pentru 10 cicluri de baleere a programului. În zona tampon datele sunt poziționate în funcție de timpul la care acestea au fost achiziționate. Pe măsură ce date noi sunt introduse în buffer, datele vechi sunt șterse, însă în condiții normale, aceste date sunt accesate de programul de monitorizare la aproape fiecare ciclu de baleere al programului.

În controlerul master a fost implementat un program care transferă datele transmise de variatoare într-un zonă tampon de memorie alcătuită din 200 de cuvinte. Zona tampon este gestionată în mod similar cu zona tampon în care se depun valorile curente ale numărătoarelor care numără impulsurile furnizate de comparatoare.

Tabelul 2.3 Structura unei înregistrări obținute prin monitorizarea sistemului de măsură al mașinii prototip

Nr	Cod	Semnificație
1	Index	Valoare incrementată la fiecare 10 ms. Este supervizată de software-ul de monitorizare pentru a determina locația înregistrării în baza de date.
2	Cuplu C	Valoarea momentului debitat de motorul arborelui principal, exprimată procentual în raport cu cuplul nominal al motorului.
3	Putere C	Valoarea puterii instantanee absorbită de motorul arborelui principal, exprimată procentual în raport cu puterea nominală a motorului.
4	Consum C	Energie consumată de motorul arborelui principal exprimată în KWh.
5	Curent C	Valoarea curentului instantaneu absorbit de motorul arborelui principal. Exprimată în A.
6	Cuplu Z	Valoarea momentului debitat de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans longitudinal, exprimată procentual în raport cu cuplul nominal al motorului.
7	Putere Z	Valoarea puterii instantanee absorbită de motorul folosit pentru

		antrenarea lanțului cinematic de avans longitudinal, exprimată procentual în raport cu puterea nominală a motorului.
8	Consum Z	Energie consumată de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans longitudinal exprimată în KWh.
9	Curent Z	Valoarea curentului instantaneu absorbit de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans longitudinal. Exprimată în A.
10	Cuplu X	Valoarea momentului debitat de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans transversal, exprimată procentual în raport cu cuplul nominal al motorului.
11	Putere X	Valoarea puterii instantanee absorbită de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans transversal, exprimată procentual în raport cu puterea nominală a motorului.
12	Consum X	Energie consumată de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans transversal exprimată în KWh.
13	Curent X	Valoarea curentului instantaneu absorbit de motorul folosit pentru antrenarea lanțului cinematic de avans transversal. Exprimată în A.
14	Comparator 1	Valoarea deviației dimensionale măsurată cu ajutorul comparatorului aflat în partea inferioară a suportului.
15	Comparator 2	Valoarea deviației dimensionale măsurată cu ajutorul comparatorului aflat în partea superioară a suportului.
16	Comparator 3	Valoarea furnizată de comparatorul care determină poziția transversală a sanie strungului.
17	Unghi C	Poziția curentă a axei C, corespunzătoare arborelui principal, exprimată în minute.
18	Cota Z	Poziția curentă a axei Z, corespunzătoare axei longitudinale, exprimată în micrometri.
19	Cota X	Poziția curentă a axei X, corespunzătoare axei transversale, exprimată în micrometri.

Activitatea 2.3 – Conceperea si aplicarea la masina prototip a algoritmului de reglare adaptiv-optimala a intensitatii procesului

În scopul testării practice a posibilității de control al nivelului economicității unui proces de prelucrare, au fost evaluate numeric valorile celor trei criterii propuse pentru controlul economicității și anume costul specific c , timpul specific τ și rata profitului specific r , pentru un domeniu uzual al valorilor regimului de așchiere. S-a considerat cazul unei operații de strunjire a unei piese din OLC45.

Adâncimea de așchiere și mărimea avansului au fost considerate constante având următoarele valori $t=2\text{mm}$, $s=0,2 \text{ mm/rot}$. Mărimea vitezei de așchiere a variat între 140 m/min și 350 m/min domeniu uzual pentru scule cu plăcuțe din carburi metalice.

Pentru a modela costul specific al manoperei s-au considerat următoarele valori pentru parametrii modelului: $\tau_a = 1 \text{ min/dm}^3$, $\tau_{sr} = 1,4 \text{ min}$, $c_r = 0,14 \text{ Euro/min}$.

Pentru studiul de caz s-a considerat că se utilizează un cuțit cu plăcuțe amovibile dotat cu plăcuțe de carburi metalice de tip P30 cu 8 muchii așchietoare, cu raza la vârf de 0.8 mm. Pentru a determina durabilitatea sculei în funcție de viteza de așchiere, am folosit programul „Secolor Turning Calculator” de calcul al durabilității pentru plăcuțe de carburi metalice folosite pe strunjire produse de Secolor Tools. Coeficientul și exponentul din formula empirică a lui Taylor a fost determinat prin tehnici de regresie.

Pentru acest studiu de caz s-a considerat că prețul unei plăcuțe amovibile este de 4 Euro, prețul unui dm^3 de material este de 4 Euro, prețul unui KWh este de 0.15 Euro, iar prețul mașinii unelte, preț ce include și cheltuielile de întreținere este de 200000 Euro. De asemenea s-a considerat că mașina unealtă se amortizează în 20 ani în condițiile în care în fiecare an are 250 de zile lucrătoare și se lucrează câte două schimburi.

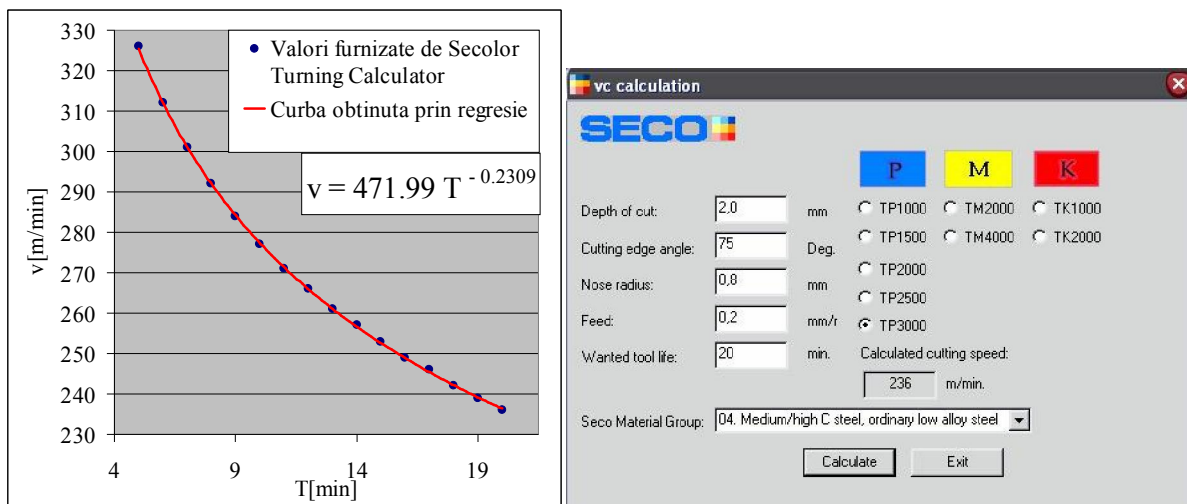


Fig. 2.11 Determinarea curbei durabilității

Pentru a determina energia specifică necesară pentru prelucrarea unui dm^3 de material a fost organizat un experiment care a constatat în strunjirea transversală a unei flanșe de diametru de 400 de mm, folosind strungul frontal SF280. Adâncimea de așchiere și avansul au avut valorile considerate în acest studiu de caz adică $t=2\text{mm}$, $s=0,2\text{mm/rot}$. Turația arborelui principal a fost menținută constantă, viteza de așchiere variind liniar pe parcursul prelucrării. Puterea absorbită de motorul acționării principale a fost monitorizată folosind sistemul descris în capitolul 4 al acestei lucrări.

În figura 2.12 se prezintă variația puterii absorbite de motorul acționării principale precum și variația energiei specifice cu viteza de așchiere. Se observă că puterea absorbită de motorul acționării principale variază liniar cu viteza de așchiere.

Prin regresie liniară s-a determinat relația dintre viteza de așchiere și puterea absorbită. Termenul liber din această relație corespunde puterii absorbite de motorul

acționării principale la mersul în gol. Energia specifică nu este constantă tocmai datorită existenței acestui termen liber.

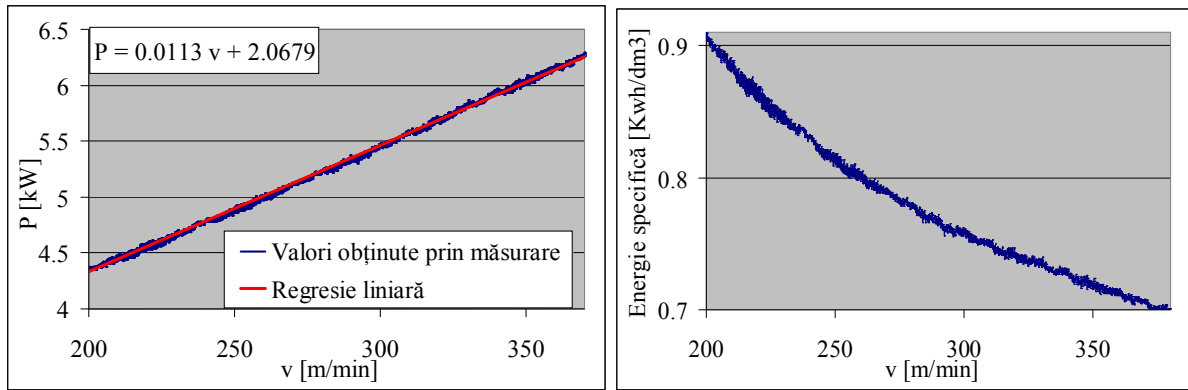


Fig. 2.12 Puterea absorbită de motorul acționării principale și energia specifică în funcție de viteza de așchiere

Suplimentar s-a obținut curba de variație a energiei specifice cu debitul de așchii prin variația adâncimii de așchiere. Pentru aceasta s-au folosit datele corespunzătoare unor piese prelucrate în cadrul experimentului de control al erorilor de proces care au fost prelucrate cu același avans (0,2 mm/rot).

În figura 2.13 **Error! Reference source not found.** se prezintă sintetic toate rezultatele obținute raportând puterea consumată la debitul de așchii, ceea ce reprezintă consumul specific de energie c_w în KWh/dm³, pe ordonată și debitul de așchii în dm³/min pe abscisă. În fereastra din figura se prezintă evoluția consumului specific de energie c_w în lungul axei Z, pentru unul dintre exemplarele lotului. Variația energiei specifice este foarte mare deoarece în acest caz s-a modificat adâncimea de așchiere, care influențează mai puternic consumul specific de așchiere.

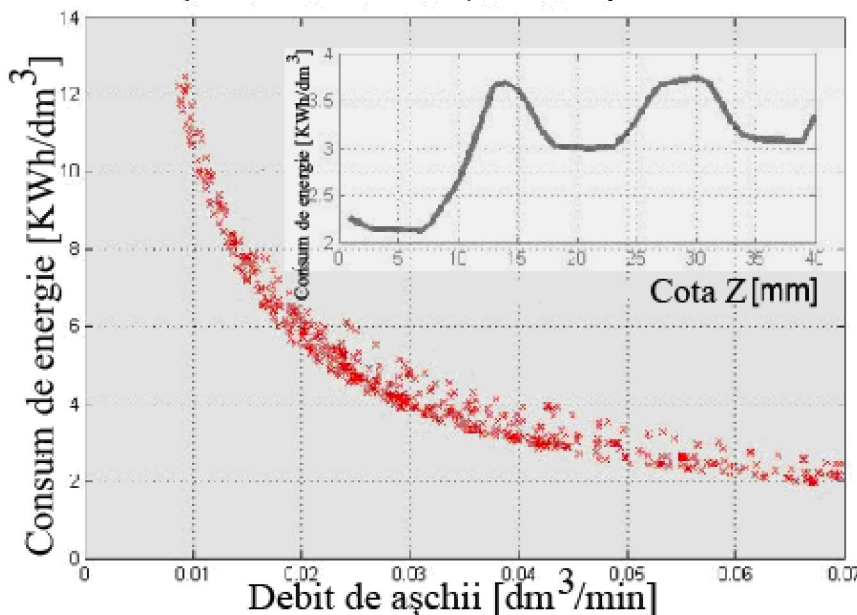


Fig. 2.13 Consumul de energie în funcție de debitul de așchii

În figura 2.142.14 se prezintă rezultatele obținute în ceea ce privește variația cu viteza a componentelor costului specific. Se observă că la nivelul actual de salarizare din România, ponderea salariilor este semnificativă.

Componenta datorată costului sculei este relativ scăzută ca importanță datorită costului scăzut al sculelor. În timp ce prima dintre aceste două componente scade cu viteza, cea de-a doua crește.

Componenta corespunzătoare consumului de material este constantă cu viteza, ceea ce era de așteptat. Componenta corespunzătoare energiei consumate este redusă ca pondere și scade cu creșterea vitezei de așchiere. Similar, se prezintă și componenta legată de amortizarea mașinii unelte.

Costul specific total înregistrează un minim la valoarea viteze de așchiere egală cu 270 de m/min. (Fig.2.15). Mai mult, dacă excludem componenta corespunzătoare consumului de material care este constantă în această aplicație, atunci variația costului specific în domeniul vitezelor de așchiere de la 140 la 350 m/min reprezintă aproximativ 43% față de valoarea sa minimă ceea ce arată importanța evidentă a controlului.

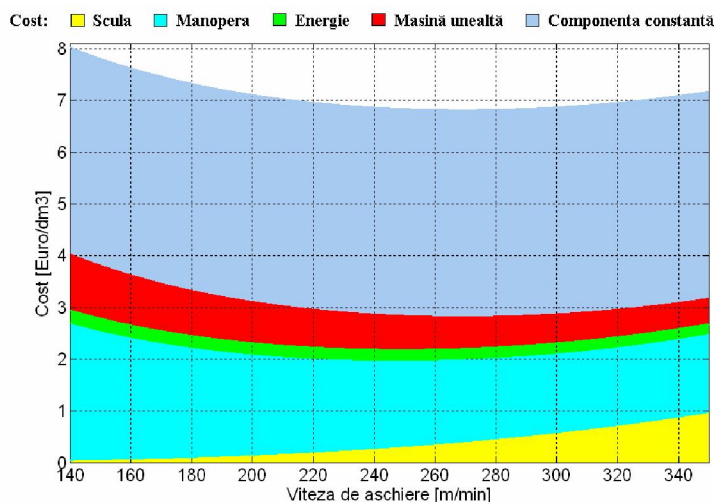


Fig. 2.14 Structura pe componente a costului specific funcție de viteza de așchiere

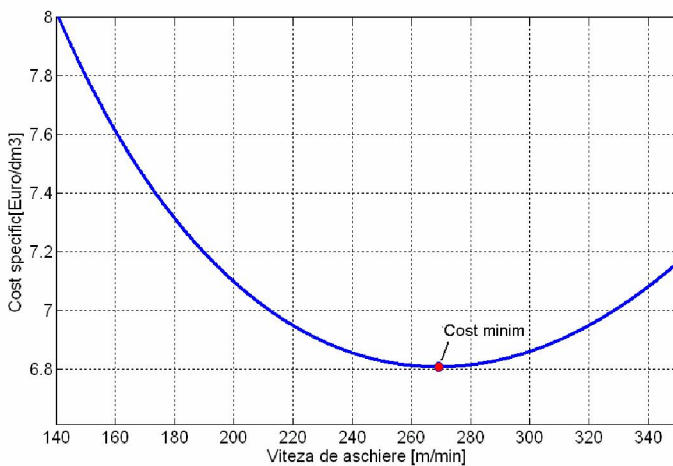


Fig. 2.15. Variația costului specific cu viteza de așchiere

În figura.2.16 se prezintă modul în care se modifică valoarea timpului specific τ o dată cu creșterea vitezei de așchiere. Se observă că valoarea optimă pentru care timpul specific este minim se încadrează în domeniul valorilor folosite ale vitezei de așchiere, ceea ce arată că optimizarea procesului după acest criteriu este interesantă din punct de vedere practic.

O altă observație care conduce la aceeași concluzie este că pe domeniul valorilor curente ale vitezelor de așchiere timpul specific variază semnificativ de la 10,8 la 19 min/dm³. Pe de altă parte se confirmă ideea că valoarea vitezei de așchiere optimă sub aspectul productivității este semnificativ mai mare decât cea corespunzătoare costului. Într-adevăr la $V=330\text{m/min}$, timpul specific este minim, iar la $V=270\text{m/min}$, costul este minim.

Este evidentă că apare întrebarea cum este mai bine să producem, mai mult și mai scump sau mai puțin și mai ieftin? Aceasta pentru că diferența între cele două valori optime ale vitezei de așchiere este destul de mare și anume 60 m/min.

Această ultimă observație pledează pentru nevoia de a considera drept criteriu de optimizare un alt indicator economic, mai sintetic decât costul și timpul specific, și care să reflecte interese mai generale legate de scopul investiției în procesul de prelucrare considerat.

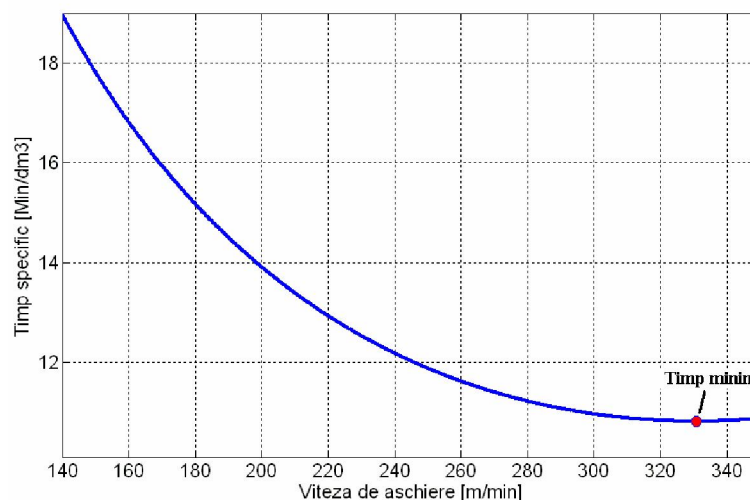


Fig. 2.16 Evoluția timpului specific cu viteza de așchiere

Pornind de la faptul că investitorul are la dispoziție mai multe oportunități de investiții și că ținta finală este valorificarea cât mai performantă a sumei investite, se poate considera că raportând profitul la suma investită și la timpul în care acesta a fost obținut se obține un indicator economic esențial, care, în această lucrare, a fost numit rata profitului specific r . În prezentul experiment s-a considerat că suma investită este aceeași indiferent de poziția de funcționare a sistemului tehnologic și de aceea rata profitului specific s-a măsurat în Euro/min.

În figura **Error! Reference source not found.** sunt prezentate rezultatele obținute în ceea ce privește nivelul ratei profitului specific corespunzător diferitelor valori ale vitezei de așchiere și diferitelor niveluri ale succesului pe care produsul fabricat îl are pe piață măsurat prin nivelul prețului de vânzare. Se observă că, pentru același nivel al prețului de vânzare există o valoare a vitezei de așchiere, pentru care

rata profitului specific este maximă. Mai mult, această valoare este întotdeauna în intervalul $V'_{opt} \dots V''_{opt}$.

De asemenea, se observă că există valori ale vitezei de aşchiere chiar aflate în domeniul curent de lucru pentru care rata profitului specific este negativă ceea ce înseamnă că investiţia făcută în procesul de aşchiere nici măcar nu este recuperată.

Pe de altă parte, creşterea nivelului preţului de vânzare are trei consecinţe importante şi anume:

- creşte lăţimea domeniului vitezelor de aşchiere pentru care procesul rămâne rentabil;
- creşte nivelul valorii maxime a ratei profitului,
- creşte valoarea V_0 a vitezei de aşchiere pentru care este maximă rata profitului specific.

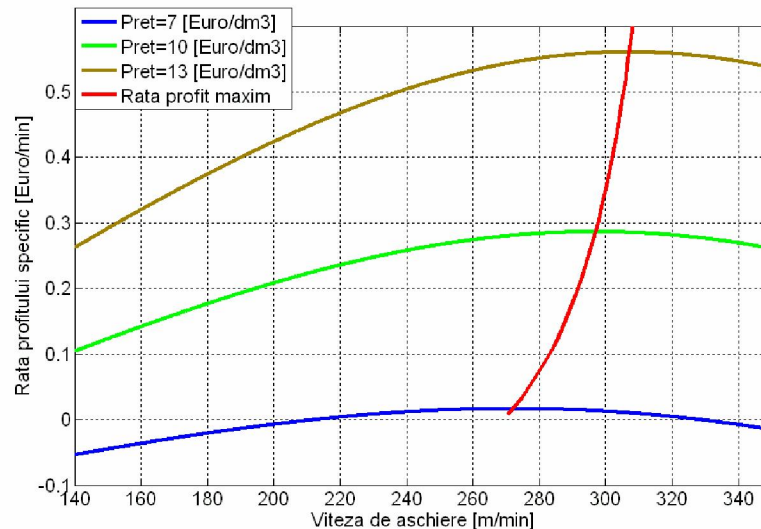


Fig. 2.17 Evoluţia ratei profitului specific cu viteza de aşchiere pentru diferite valori ale preţului de vânzare.

În figură se observă V_0 succesiv valorile de 272; 297 şi 307 m/min.

O altă observaţie care se poate face analizând aceste rezultate este că pe domeniul valorilor curente ale vitezei de aşchiere, nivelul ratei profitului specific se modifică în limite largi. De exemplu pentru cazul valorii maxime a preţului de vânzare, nivelul ratei profitului specific variază aproximativ de la 0,56 la 0,26 Euro/min. În fine din aceste rezultate se poate formula politica managerială ce trebuie implementată în controlul economicităţii şi anume că dacă produsul are succes pe piaţă atunci mai importantă este productivitatea decât costul.

În cazul în care produsul nu are succes şi preţul de vânzare se apropie de nivelul costurilor de fabricaţie atunci mai important devine costul. La limită se poate ajunge atunci când, lucrând cu viteza V'_{opt} se obţine nivelul minim al costului, iar preţul de vânzare este la acelaşi nivel, rata maximă a profitului specific fiind zero.

Această este poziţia critică de supravieţuire şi orice abatere de la această poziţie duce la pierderi. O altă limită este aceea în care lucrând cu viteza de aşchiere V''_{opt} se obţine un nivel minim al timpului specific, dar nu şi al ratei specifice a profitului. Cele două atribute ale economicităţii, relevate de aceşti doi indicatori,

adică productivitatea și eficiența economică, ar putea fi simultan la nivelul maxim, numai dacă nivelul prețului de vânzare ar fi infinit.

Este evident că această limită nu poate fi atinsă, Rezultă că valorile vitezei de aşchiere V'_{opt} și V''_{opt} sunt doar extreme care nu trebuie sau nu pot fi niciodată atinse ci doar folosite ca repere în implementarea politicii manageriale.

Controlul canonic are rostul de a implementa online această politică pe baza controlului strategic definit de managementul unității industriale.

Pe lângă aspectul economicității, politica managerială mai poate include formulări privitoare la controlul ecologicității, la respectarea unor termene, la rezolvarea unor conflicte sau la politici investiționale pe termen lung cum ar fi spre exemplu: intenția de a înlocui mașinile unelte vechi cu altele noi prelungind astfel activitatea întreprinderii în același domeniu, sau dimpotrivă renunțând la actualul domeniu în favoarea altuia în care actualele investiții nu mai sunt necesare.

Analiza de mai sus, ocazionată de experimentele privind controlul economicității, conduce și la concluzia că abordarea holistic-integrată a conducerii sistemelor tehnologice conduce la efecte economice semnificative, care, în cazul conducerii convenționale, nu pot fi obținute, așa cum se arată în figura 2.18.

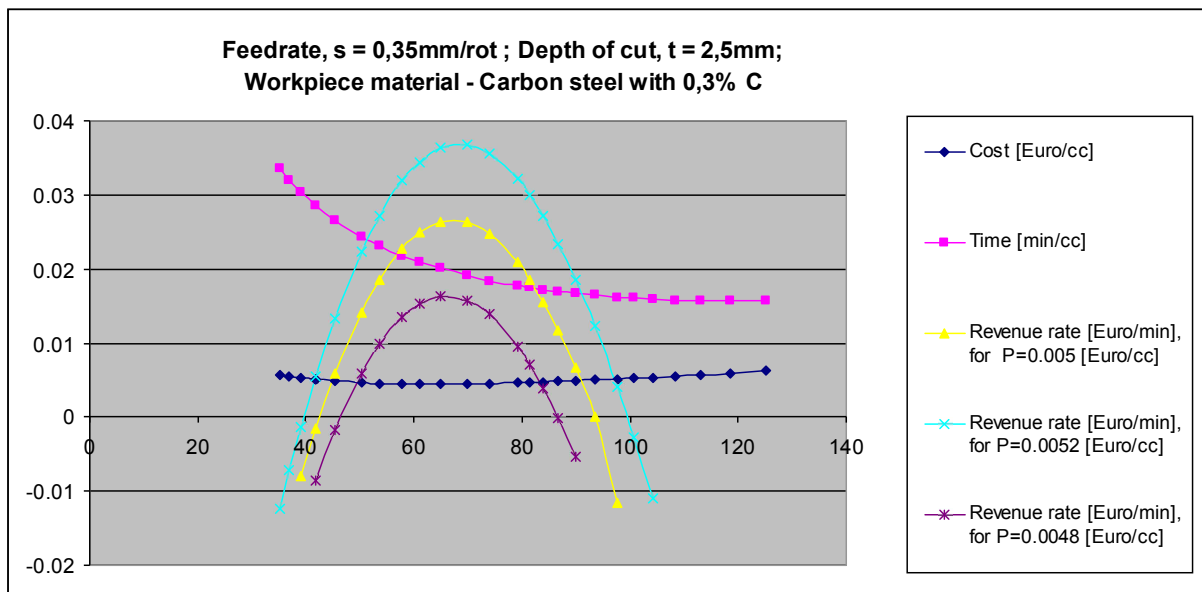


Fig. 2.18 Variația costului, timpului și a ratei profitului cu viteza de aşchiere, în cazul mașinii prototip

Bibliografie pentru obiectivele 1 si 2

1. [ANRE2008] **Agenția Națională de Reglementare în Domeniul Energiei România** - *Date referitoare la energia electrica furnizata în 2008 necesare etichetării*. - Disponibil pe [www.anre.ro\activitati.php?id=319](http://www.anre.ro/activitati.php?id=319). Accesat pe 3-03-2009
2. [Apostu1998] . **Cristian Apostu** - *Cercetări privind reglarea pozițională a sistemelor de prelucrare cu comandă numerică* - Teză de doctorat. Galați 1998
3. [Bandy 2005] . **H. T. Bandy M. A. Donmez D. E. Gilsinn C. Han M. Kennedy A. Ling N. Wilkin K. Yee** - *A Methodology for Compensating Errors Detected by Process-Intermittent Inspection* - National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899.NISTIR 6811
4. [Barata 2001] . **José Barata, L.M. Camarinha-Matos, Raymond Boissier, Paulo Leitão, Francisco Restivo and Mohammed Raddadi** - *INTEGRATED AND DISTRIBUTED MANUFACTURING, A MULTI-AGENT PERSPECTIVE* - roceedings of 3rd Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, 27-29 June, Enschede, Netherlands, pp. 145-156.
5. [Bing-hai 2004] . **Zhou Bing-hai, Xi Li-feng, Yu Chuan-meng** - *DCOM and MMS-based control software architecture for automated manufacturing system* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2006) 27: 951–959, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
6. [Blanco2004] . **Paulo M. P. A. Blanco, Marco A. Poli, Marcos R. Pereira Barretto** - *DISTRIBUTED OBJECT TECHNOLOGIES IN MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS* - ABCM Symposium Series in Mechatronics, Vol 1, pp 580-589, 2004
7. [Boser 1992] . **Boser B.E., Guyon I.M., and Vapnik V.N** - *A training algorithm for optimal margin classifiers*. In: *Haussler D. (Ed.)*, - Proceedings of the Annual Conference on Computational Learning Theory . 1992. ACM Press, Pittsburgh, PA, pp. 144–152.
8. [Bravo 2005] . **Bravo U, Altuzarra O, López de Lacalle LN (2005)** - *Stability limits of milling considering the flexibility of the workpiece and the machine*. - Int J Mach Tools Manuf 2005 45:1669–1680. ISSN 0890-6955
9. [Budak 2007] . **E. Budak, E. Ozlu** - *Analytical Modeling of Chatter Stability in Turning and Boring Operations: A Multi-Dimensional Approach* - Annals of the CIRP Vol. 56/1/2007, ISSN 0007-8506

10. [Carlson 2006] . **Shane A. Carlson, W. Edward Red and C. Gregory Jensen** - *Development of a Variational Part Model Using In-Process Dimensional Measurement Error* - Computer-Aided Design & Applications, Vol. 3, Nos. 1-4, 2006, pp 405-414,(ISSN 1686-4360)

11. [Carrino 2002] . **L. Carrino, G. Giorleo, W. Polini, U. Prisco** - *Dimensional errors in longitudinal turning based on the unified generalized mechanics of cutting approach. Part II: Machining process analysis and dimensional error estimate* - International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 1517–1525, ISSN 0890-6955

12. [Cherkassky 2004] . **Vladimir Cherkassky, Yunqian Ma** - *Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression* - Neural Networks ,Volume 17 , Issue 1 (January 2004), Pages: 113 - 126, 2004 ,ISSN:0893-6080

13. [Cho 2006] . **Cho Myeong-Woo, Kim Gun-Hee, Seo Tae-Il, Hong Yeon-Chan ,Cheng H.Harry** - *Integrated machining error compensation method using OMM data and modified PNN algorithm* - International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 1417–1427, ISSN 0890-6955

14. [Choi 2003] . **J.-P. Choi, S.-J. Lee and H.-D. Kwon** - *Roundness Error Prediction with a Volumetric Error Model Including Spindle Error Motions of a Machine Tool* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2003) 21:923–928, ISSN 0268-3768

15. [Corpus 2004 a] . **CORPUS William T. ; ENDRES William J. ;** - *Added stability lobes in machining processes that exhibit periodic time variation, part 2: Experimental validation* - Journal of manufacturing science and engineering ISSN 1087-1357, 2004, vol. 126, no3, pp. 467-474 [8 page(s) (article)] (23 ref.)

16. [Corpus 2004 b] . **CORPUS William T. ; ENDRES William J. ;** - *Added stability lobes in machining processes that exhibit periodic time variation, part 1: An analytical solution* - Journal of manufacturing science and engineering ISSN 1087-1357, 2004, vol. 126, no3, pp. 475-480 [6 page(s) (article)] (9 ref.)

17. [Cortes 1995] . **Corinna Cortes, Vladimir Vapnik** - *Support vector networks*, - Machine Learning, vol. 20, pp. 273-297, 1995, ISSN 0885-6125 (Print) 1573-0565 (Online)

18. [Donaldson 1972] . **Donaldson, R.R.** - *A Simple Method for Separating Spindle Error from Test Ball Roundness Error.* - CIRP Annals, vol.21/1, 1972, p.125.

19. [Dong2005] . **Ming Dong, F. Frank Chen** - *Petri net-based workflow modelling and analysis of the integrated manufacturing business processes* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 26: 1163–1172, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
20. [Eung-Suk 2005] . **Lee Eung-Suk, Sub Suk-Hwan and Shon Jin-Wook** - *A Comprehensive Method for Calibration of Volumetric Positioning Accuracy of CNC-Machines* - International journal, advanced manufacturing technology ISSN 0268-3768
21. [Fan1999] . **Yushun Fan , Wei Shi And Cheng Wu** - *Enterprise wide application integration platform for CIMS implementation* - Journal of Intelligent Manufacturing (1999) 10, 587-601, ISSN 0956-5515 (Print) 1572-8145 (Online)
22. [Fines 2007] . **Fines M. John, Arvin Agah** - *Machine tool positioning error compensation using artificial neural networks* - Engineering Applications of Artificial Intelligence 2007, ISSN:0952-1976
23. [Fung 2003] . **Fung H.K. Eric, Wong Y.K, Ho H.F, Mignolet P. Marc** - *Modelling and prediction of machining errors using ARMAX and NARMAX structures* - Applied Mathematical Modelling, Volume 27, Issue 8, August 2003, Pages 611-627 ISSN: 0307-904X.
24. [Gao 2006] . **Wei Gao, Yoshikazu Arai , Atsushi Shibuya , Satoshi Kiyono , Chun Hong Park** - *Measurement of multi-degree-of-freedom error motions of a precision linear air-bearing stage* - Precision Engineering 30 (2006) 96–103, ISSN 0141-6359
25. [Giacomo 2004] . **Benedito Di Giacomo, Benedito Di Giacomo, Fabricio Tadeu Paziani** - *REVERSAL TECHNIQUE APPLIED TO THE MEASUREMENT OF STRAIGHTNESS ERRORS* - ACBM Symposium Series in Mechatronics, vol 1, pp 479-484 2004
26. [Gilsin 2002] . **D.Gilsin, H.Bandy, A. Ling** - *A spline algorithm fo modelling cutting errors on turning centers* - Journal of Intelligent Manufacturing, 13, 391-401,2002, ISSN: 0956-5515 (print version) ISSN: 1572-8145 (electronic version)
27. [Gilsinn 2006] . *D.E. Gilsinn, B. Balachandran* - *Stability of Diamond Turning Processes That Use Round Nosed Tools* - Journal of manufacturing science and engineering,2001, vol. 123, no4, pp. 747-748 ISSN 1087-1357
28. [Gunasekaran2000] . **A. Gunasekaran, H. B. Marri and B. Lee** - *Design and Implementation of Computer Integrated Manufacturing in Small and Medium-Sized*

Enterprises: A Case Study - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2000) 16:46–54, ISSN 0268-3768

29. [Hall 2000] **Hall, M** - Correlation-based feature selection of discrete and numeric class machine learning. - In Proceedings of the International Conference on Machine Learning, pages 359-366, San Francisco, CA. Morgan Kaufmann Publishers

30. [Hanson 2000] . **HANSON Reed D, TSAO Tsu-Chin** - *Periodic sampling interval repetitive control and its application to variable spindle speed noncircular turning process* - Journal of dynamic systems, measurement, and control ISSN 0022-0434 CODEN JDSMAA 2000, vol. 122, no3, pp. 560-566 (18 ref.)

31. [Hsieh 2008] . **Jung-Fa Hsieh** - *NC data generation for 6-axis machine tools to produce a helical drill* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2008) 36:535–546, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

32. [Hsu 2007] . **Y.Y. Hsu, S.S. Wang** - *Mapping geometry errors of five-axis machine tools using decouple method* - International Journal of Precision Technology 2007 - Vol. 1, No.1 pp. 123 - 132, ISSN (Online): 1755-2079 - ISSN (Print): 1755-2060

33. [Huang2007] . **Chi-Yu Huang, Kai Cheng, Alan Holt** - *An integrated manufacturing network management framework by using mobile agent* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2007) 32: 822–833, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

34. [Ibaraki 2001] . **Ibaraki, S., Kakino, Y., Lee, K., Ihara, Y., Braasch, J., & Eberherr, A.**, - *Diagnosis and compensation of motion errors in NC machine tools by arbitrary shape contouring error measurement* - Proceedings of the LANDMAP 2001 Conference, 2001.

35. [Jayaram 2000] . **S. Jayaram, S. G. Kapoor, R. E. DeVor** - *Analytical Stability Analysis of Variable Spindle Speed Machining* - J. Manuf. Sci. Eng. -- August 2000 -- Volume 122, Issue 3, 391-398, ISSN 1087-1357

36. [Jywe 2001] . **Wen-Yuh Jywe and Chien-Hong Liu** - *Application of Ball Bar System and Genetic Algorithms for CNC Lathe Contouring Compensation* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 17:189–195, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

37. [Kim 2005] . **S.-M. Kim, S.-K. Lee** - *Spindle Housing Design Parameter Optimization Considering Thermo-Elastic Behaviour* - The International Journal of

Advanced Manufacturing Technology (2005) 25: 1061–1070, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

38. [Kim 2007] . **Jinho Kim, Dongik Shin, Deokwon Yun, and Changsoo Han** - *The Analysis of Radial/Axial Error Motion on a Precision Rotation Stage* - INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL, COMPUTER, AND SYSTEMS ENGINEERING VOLUME 1 NUMBER 4 2007 ISSN 1307-5179

39. [Kim2004] . **Dong-Sung Kim; Haas, Z.J.** - *Virtual factory communication system and its application to networked factory machine* - Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE Volume 3, Issue , 2-6 Nov. 2004 Page(s): 2389 - 2393

40. [Kononenko 1997] **I.Kononenko, S.J.Hong** - *Attribute selection for modeling* - Future Generation of Computer Systems, November 1997 ISSN 0176-739X,13, p. 181-195, 1997

41. [Kou1998] . **Chung-Hsien Kuo, Han-Pang Huang and Min-Chin Yeh** - *Object-Oriented Approach of MCTPN for Modelling Flexible Manufacturing Systems* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1998) 14:737-749, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

42. [Kubat 1998] . **Miroslav Kubat** - *Decision trees can initialize radial-basis function networks* - IEEE Transaction on Neural Networks, 9 (5) pp. 813–824, 1998. ISSN: 1045-9227.

43. [Kyoung 1999] . **Kyoung Gee Ahn and Dong Woo Cho** - *Proposition for a Volumetric Error Model Considering Backlash in Machine Tools* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 15, Number 8 / July, 1999

44. [Lamikiz 2008] . **A. Lamikiz & L. N. López de Lacalle & O. Ocerin & D. Díez & E. Maidagan** - *The Denavit and Hartenberg approach applied to evaluate the consequences in the tool tip position of geometrical errors in five-axis milling centres* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2008) 37:122–139 , ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

45. [Lee 1997] . **R.-S. Lee and C.-H. She** - *Developing a Postprocessor for Three Types of Five-Axis Machine Tools* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1997) 13:658-665, ISSN 0236-3768(Print) 1433-3015(Online)

46. [Lee 1998] . **E. S. Lee and H. G. Wi** - *A Comprehensive Technique for Measuring the Three- Dimensional Positioning Accuracy of a Rotating Object* - The

International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1998) 14:330-335, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

47. [Lee2003] . **Kichang Lee, Hanil Jeong, Chankwon Park, Jinwoo Park** - *Construction and performance analysis of a Petri net model based on a functional model in a CIM system* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2004) 23: 139–147 , ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

48. [Levi1999] . **Meir H. Levi, Marios P. Klapsis** - *CIMOSA: open system architecture for CIM*, - Computers in Industry, Volume 40 , Issue 2-3 (November 1999), Pages: 267 - 277, ISSN:0166-3615

49. [Li 2000] . **X. Li, P. K. Venuvinod and M. K. Chen** - *Feed Cutting Force Estimation from the Current Measurement with Hybrid Learning* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16: 859-862, 2000, ISSN 0238-3768

50. [Li 2001 a] . **Li X.** - *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 1. Measurement and Identification* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 17:649–653, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

51. [li 2001 B] . **X. Li** - *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 2. Modelling and Estimation of Thermally Induced Errors* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 17:654–658, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

52. [Li 2001c] . **X. Li** - *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 4. Cutting-Force-Induced Errors* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 17:659–664,ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

53. [Li 2001d] . **X. Li** - *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 3. Cutting Force Estimation Using Current Sensors* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 17:665–669, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

54. [Li 2001e] . **X. Li, P. K. Venuvinod, A. Djorjevich and Z. Liu** - *Predicting Machining Errors in Turning Using Hybrid Learning* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 18:863–872, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

55. [Li 2004] . **Z.Z. Li · Z.H. Zhang · L. Zheng** - *Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2004) 24: 541–552,ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
56. [Lin 2003] . **Y. Lin, Y. Shen** - *Modelling of Five-Axis Machine Tool Metrology Models Using the Matrix Summation Approach* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2003) 21:243–248, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
57. [Lin 2005] . **Chien-Chang Lin · Jui-Liang Her** - *Calibrating the volumetric errors of a precision machine by a laser tracker system* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 26: 1255–1267, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
58. [Liu2008] . **Quansheng Liu & Xiaoyan Sun & S. M. Mahdavian & Songlin Ding** - *Establishment of the model for flexible manufacturing system based on CORBA and IDEF0* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2008)ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
59. [Marin 2009] **Florin Bogdan Marin** - *Modelarea holonică a cinematicii sistemelor de prelucrare reconfigurabile* Teza de doctorat. 2009. Universitatea Dunarea de Jos din Galati
60. [Marri1998] . **H. B. Marri, A. Gunasekaran and R. J. Grieve** - *An Investigation into the Implementation of Computer Integrated Manufacturing in Small and Medium Enterprises* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1998) 14:935-942, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)
61. [Mei 2006] . **C.Mei, J.G. Cherng, Y. Wang** - *Active Control of Regenerative Chatter During Metal Cutting Process* - Journal of manufacturing science and engineering 998, vol. 120, pp. 674-683
62. [Mittal 2007] . **Rutash Mittal** - *New systems in Computer Integrated Manufacturing* - Proceedings of National Conference on Challenges & Opportunities in Information Technology (COIT-2007) RIMT-IET, Mandi Gobindgarh. March 23, 2007.
63. [Mize 2000] . **Christopher D. Mize, John C. Ziegert** - *Neural network thermal error compensation of a machining center* - Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology 24 (2000) 338–346, Precision Engineering

64. [Nagalingam 2008] . **Sev V. Nagalingam, Grier C.I. Lin** - *CIM—still the solution for manufacturing industry* - Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 24, Issue 3, June 2008, Pages 332-344, ISSN: 0736-5845

65. [Namachchivaya 2003] . **N. Sri Namachchivaya and R. Beddini** - *Spindle Speed Variation for the Suppression of Regenerative Chatter* - J. Nonlinear Sci. Vol. 13: pp. 265–288 (2003), ISSN: 0938-8974 (print version) ISSN: 1432-1467 (electronic version)

66. [National Research Council 1998] . **Committee on Visionary Manufacturing Challenges Board on Manufacturing and Engineering Design Commission on Engineering and Technical Systems National Research Council** - *Visionary manufacturing challenges for 2020*. - Washington, DC: National Academy Press; 1998. p. 156

67. [Ngoi 2000] . **B. K. A. Ngoi and C. S. Chin** - *Self-Compensated Heterodyne Laser Interferometer* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2000) 16:217–219, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

68. [Ojha 2005] . **D.K. Ojha, U.S. Dixit** - *An economic and reliable tool life estimation procedure for turning* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 26: 726–732, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

69. [Olgac 2005] . **Olgac, N. and Sipahi, R.** - *A unique methodology for chatter stability mapping in simultaneous machining*, - Journal of Manufacturing Science and Engineering , 2005, 127(4), 791—800, ISSN: 1087-1357

70. [OMAC 1999] . - *Open Modular Architecture Controls (OMAC) User's Group, 1999. Business Justification of Open Architecture Control*

71. [Orr 1999] . **Mark J. H. Orr, Kunio Takezawa, Alan Murray, Seishi Ninomiya, Mari Oide si Tom Leonard** - *Combining regression trees and radial basis function networks* - International Journal of Neural Systems 1999, ISSN: 0129-0657

72. [Othman 2006] . **Khalifa, Othman; Densibali, Amirasyid; Faris, Waleed** - *Image processing for chatter identification in machining processes* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 31, Numbers 5-6, December 2006 , pp. 443-449(7), ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

73. [OZLU 2007 a] . **OZLU E ; BUDAK E.** - *Analytical modeling of chatter stability in turning and boring operations-Part I: Model development* - Journal of manufacturing science and engineering 2007, vol. 129, no4, pp. 726-732, ISSN: 1087-1357

74. [OZLU 2007 b] . **OZLU E ; BUDAK E.** - *Analytical Modeling of Chatter Stability in Turning and Boring Operations—Part II: Experimental Verification* - Journal of manufacturing science and engineering 2007, vol. 129, no4, 733-739 , ISSN: 1087-1358

75. [Pahk 2002] . **H. J. Pahk, S. W. Lee** - *Thermal Error Measurement and Real Time Compensation System for the CNC Machine Tools Incorporating the Spindle Thermal Error and the Feed Axis Thermal Error* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2002) 20:487–494, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

76. [Polini 2003] . **W. Polini. U. Prisco** - *The estimation of the diameter error in bar turning: a comparison among three cutting force models* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2003) 22: 465–474, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

77. [Ptaszynski 2006] . **Wojciech Ptaszynski, Roman Staniek** - *Positioning accuracy of NC machine tools assigned to HSM* - 5th International Conference on Advanced Engineering Design : AED '2006. - Praga, 2006

78. [Raksiri 2002] . **Raksiri, C.,M Parnichkun** - *Kinematic and geometric error verification and compensation of a three axes vertical machining center.* - Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, Bangkok, Thailand, vol. 2, pp. 1008–1012.

79. [Raksiri 2004] . **Raksiri Chana, Manukid Parnichkun** - *Geometric and force errors compensation in a 3-axis CNC milling machine* - International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 1283–1291, ISSN: 0890-6955.

80. [Ramesh 2003] . **R. Ramesh, M.A. Mannan , A.N. Poo** - *Thermal error measurement and modelling in machine tools. Part I. Influence of varying operating conditions* - International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 391–404, ISSN: 0890-6955.

81. [Segonds 2004] . **Segonds S., LandonY., Mousseigne M., Lagarrigue P.** - *The characterisation of the dimensional change of the Z-axis in NC turning* - The

International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2004) 23: 800–805, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

82. [SEI2003] . **Carnegie Mellon Software Engineering Institute** - *Advanced Engineering Environments for Small Manufacturing Enterprises: Volume I* - TECHNICAL REPORT CMU/SEI-2003-TR-013 ESC-TR-2003-013

83. [Shahabi2007] . **H. H. Shahabi & M. M. Ratnam** - *On-line monitoring of tool wear in turning operation in the presence of tool misalignment* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2007 718-724, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

84. [Sharma2008a] . **Vishal S. Sharma, Suresh Dhiman, Rakesh Sehgal, S. K. Sharma** - *Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks* - Journal of Intelligent Manufacturing 2008, ISSN 0956-5515 (Print) 1572-8145 (Online)

85. [Sharma2008b] . **Vishal S. Sharma · S. K. Sharma · Ajay K. Sharma** - *Cutting tool wear estimation for turning* - Journal of Intelligent Manufacturing 2008 ISSN 0956-5515 (Print) 1572-8145 (Online)

86. [Smith 2005] . **Gregory C. Smith, Samson S. Lee** - *A method for detecting tool wear on a CNC lathe using a doppler radar detector* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 25: 270–280, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

87. [Soliman 1998] . **SOLIMAN E. ; ISMAIL F.** - *A control system for chatter avoidance by ramping the spindle speed* - Journal of manufacturing science and engineering ISSN 1087-1357, 1998, vol. 120, no4, pp. 674-683 (14 ref.)

88. [Spider2006] . - *The Spider toolbox. V1.71. Iunie 2006* - Disponibil la <http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/bs/people/spider> . Accesat în Februarie 2008.

89. [Staniek 2004] . **Staniek R., Ptaszynski W., Twardowski P.** - *Static and Dynamic Accuracy of NC Machine Tools Assigned to HSM* - Proc. of International Congress MATAR Praha 2004, vol.1, s. 215-220

90. [Suk 1998] . **Suk-Hwan Suh, Eung-Suk Lee and Se-Yong Jung** - *Error Modelling and Measurement for the Rotary Table of Five-axis Machine Tools* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1998) 14:656-663 ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

91. [Tsai2005] . **Ming Piao Tsai, James T. Lin** - *Web-based distributed manufacturing control systems* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 25: 608–618, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

92. [Tseng 2002] . **Pai-Chung Tseng, J.-L. Ho** - *A Study of High-Precision CNC Lathe Thermal Errors and Compensation* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2002) 19:850–858, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

93. [Tseng1997] . **Pai-Chung Tseng** - *A Real-Time Thermal Inaccuracy Compensation Method on a Machining Centre* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1997) 13:182-190, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

94. [Venkatesh1997] . **Kurapati Venkatesh, Mengchu Zhou, Reggie J. Caudill** - *Design of artificial neural networks for tool wear monitoring* - Journal of Intelligent Manufacturing (1997) 8, 215-226, ISSN: 0956-5515 (print version) ISSN: 1572-8145 (electronic version)

95. [Venuvinod 2007] . **P. K. Venuvinod and W. L. Jin** - *Three dimensional cutting force analysis based on the lower boundary of shear zone: Part 1: Single edge oblique cutting* - Int. J. Precision Technology, Vol. 1, No. 1, 2007, ISSN 0890-6955

96. [Vergidis2006] . **K Vergidis, A Tiwari and B Majeed** - *Business process improvement using multi-objective optimisation* - BT Technology Journal, Vol 24 No 2, 2006, ISSN: 1358-3948 (print version) ISSN: 1573-1995 (electronic version)

97. [Wang 2002] . **Charles Wang** - *Non-circular Contouring Measurement for Servo Tuning and Dynamic Performance of a CNC Machine* - Proceedings of the 2002 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Hiroshima, Japan, July 15-17, 2002

98. [Witten2005] . **Ian H. Witten and Eibe Frank** - *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques, 2nd Edition*, - Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005. ISBN-10: 0120884070

99. [Yang 2004] . **S.-H. Yang, K.-H. Kim, Y. K. Park , S.-G. Lee** - *Error analysis and compensation for the volumetric errors of a vertical machining centre using a hemispherical helix ball bar test* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2004) 23: 495–500, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

100. [Yang 2005] . **J.G. Yang, Y.Q. Ren, G.L. Liu, H.T. Zhao, X.L. Dou, W.Z. Chen si S.W. He** - *Testing, variable selecting and modeling of thermal errors on an*

INDEX-G200 turning center - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2005) 26: 814–818, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

101. [Yee 1992 a] . **K.W. Yee** - *Alternative Designs of a Real-Time Error Corrector for Machine Tools with "Encoder Position Feedback* - NISTIR 4832, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1992.

102. [Yee 1992 b] . **K.W. Yee and R.J. Gavin** - *Implementing Fast Part Probing and Error Compensation on Machine Tools* - NISTIR 4447, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1992.

103. [Yilmaz 2002] . **Alpay Yilmaz, Emad AL-Regib, Jun Ni** - *Machine Tool Chatter Suppression by Multi-Level Random Spindle Speed Variation* - Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2002, Vol. 124, ISSN: 1087-1357

104. [Zhang2008] . **Lianfeng (Linda) Zhang · Jianxin (Roger) Jiao** - *Modeling production configuration using nested colored object-oriented Petri-nets with changeable structures* - Journal of Intelligent Manufacturing, ISSN 0956-5515 (Print) 1572-8145 (Online)

105. [Zhan-Qiang 1999] . **Liu Zhan-Qiang** - *Repetitive Measurement and Compensation to Improve Workpiece Machining Accuracy* - The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (1999) 15:85–89, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online)

- Obiectivul 3 -
Conceperea unui sistem de programare si
prelucrare virtuala

Activitatea 3.1 Conceperea unui algoritm de
calcul al traiectoriei setului marimilor de stare in
functie de caracteristicile taskului ce trebuie
executat

3.1.1 **Prezentarea problemei**

3.1.2 **Modelarea cinematicii prin căutare exhaustivă**

3.1.3 **Modelarea holonica**

3.1.3.1 Generalizarea noțiunii de model

3.1.3.2 Aspecte generale privind modelarea holonică

3.1.3.3 Considerații teoretice privind structurarea și funcționarea holarhiilor

3.1.3.4 Proiectarea holarhiilor

-
- 3.1.3.5 Algoritm general al modelării holonice
 - 3.1.3.6 Comparație între algoritmi genetici și modelarea holonică
 - 3.1.3.7 Modelarea holonică
 - 3.1.3.8. Complementaritatea domeniilor de aplicare a algoritmilor genetici și a modelării holonice
 - 3.1.3.9 Varianta holonică a modelării cinematice

3.1.4 Modelarea holonică aplicată la procesarea imaginii.

- 3.1.4.1 Prezentarea problemei
- 3.1.4.2 Modelarea holonică a geometriei
- 3.1.4.3 Proiectarea holarhiei
- 3.1.4.4 Concluzii

3.1.1 Prezentarea problemei

Există multe situații în care profilul muchiei tăietoare înfășoară profilul suprafeței prelucrate prin deplasarea sculei după o anumită traiectorie. Traiectoria este programată prin programul piesă. Dacă profilul suprafeței piesei este complex, atunci contactul dintre profilul muchiei tăietoare și profilul suprafeței generate are loc în diferite puncte ale profilului muchiei tăietoare. În aceste cazuri, schimbarea sculei după uzarea muchiei impune necesitatea ca profilul noii scule să fie același cu profilul sculei uzate, întrucât poziția noii scule este identică cu cea anterioară, (sa se reproducă profilul ca forma și ca poziție) în caz contrar apărând erori ale profilului generat al piesei.

Această exigență impune restricții în conceperea formelor sculelor. O soluție care satisface această exigență este detalonarea și ascuțirea pe fata de degajare a sculei. Soluția prezintă numeroase dezavantaje. O altă soluție ar fi să se renunțe la exigența refacerii formei și profilului sculei, să se identifice noua formă și noua poziție a muchiei tăietoare (care diferă de forma și poziția anterioară a muchiei tăietoare) și, pentru a genera același profil al suprafeței prelucrate, să se modifice traiectoria sculei în cursul înfășurării profilului piesei.

Altfel spus, în loc de corecția de sculă, dorim să aplicăm o corecție de traiectorie. În acest fel s-ar găsi soluții mult mai economice de ascuțire a sculelor. Pe de altă parte, există tendința de a programa deplasarea sculei de-a lungul

traectoriei cu un avans variabil, astfel încât, în fiecare moment și în fiecare poziție, secțiunea așchii detașată de muchia tăietoare să fie optimă ca arie și ca formă. Ca urmare, chiar atunci când profilul suprafeței este o linie dreaptă, poziția relativă a profilului sculei ar trebui să se modifice în permanență, din cauza variației stratului de material detașat. Rezultă că, în acest caz, deși profilul este rectiliniu, totuși, la schimbarea sculei, apare nevoia menținerii profilului generator al muchiei prin ascuțire.

Ceea ce se propune în această lucrare este să nu impunem ca scula să își mențină forma și poziția, ci să asigurăm generarea suprafeței piesei prin re-identificarea formei și poziției, pe de o parte, și reprogramarea traiectoriei sculei, după fiecare ascuțire, pe de alta parte.

În Fig.3.1 se arată o sarcină de prelucrare, tipică pentru strunjire. Considerăm ca aceasta sarcină este realizată de mașina tehnologică reconfigurată ca un strung, care are un grad de libertate suplimentar, reprezentat de rotația în plan orizontal a cuțitului.

Generarea suprafeței finale se face prin deplasarea profilului sculei, în lungul unei elice generatoare, care este obținută prin combinarea rotației piesei cu translația sculei în lungul profilului longitudinal al acestei suprafețe.

Parcursul elicei generatoare în vederea obținerii prin așchiere a suprafeței finale este comandat discret, prin calculul coordonatelor unui număr mare de puncte succesive i , aflate pe elicea generatoare și comanda motoarelor care acționează mișcările sculei și piesei, astfel încât scula să se deplaseze din punct în punct, de-a lungul profilului longitudinal al suprafeței de prelucrat. Între două puncte i succesive, parcursul elicei este necontrolat dar, dacă numărul punctelor i este suficient de mare, atunci profilul sculei nu se abate semnificativ de la elicea generatoare.

Poziția profilului sculei într-un punct i de pe elicea generatoare este dată de următoarele coordonate: X_i, Z_i, φ_i și θ_i , corespunzător gradelor de libertate ale strungului, așa cum se arată în Fig.3.1.

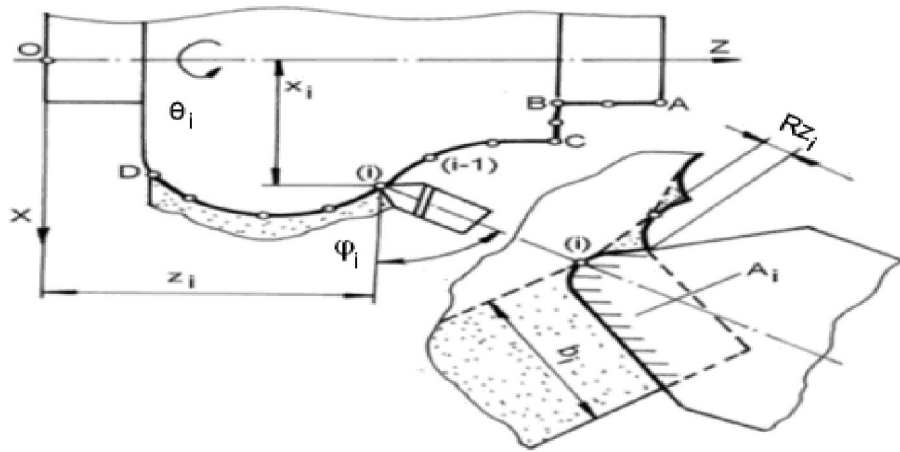


Fig.3.1. Schema procesului de prelucrare

Conținutul informațional al unei sarcini de prelucrare pentru arhitectura propusă este următoarea, așa cum se arată în Fig. 3.2:

- coordonatele punctelor de pe profilul nominal al suprafeței de prelucrat, precum și abaterile superioară și inferioară corespunzătoare;
- materialul semifabricat, Cmat;
- rugozitatea Rz a suprafeței finale;
- scula ce va fi folosită.

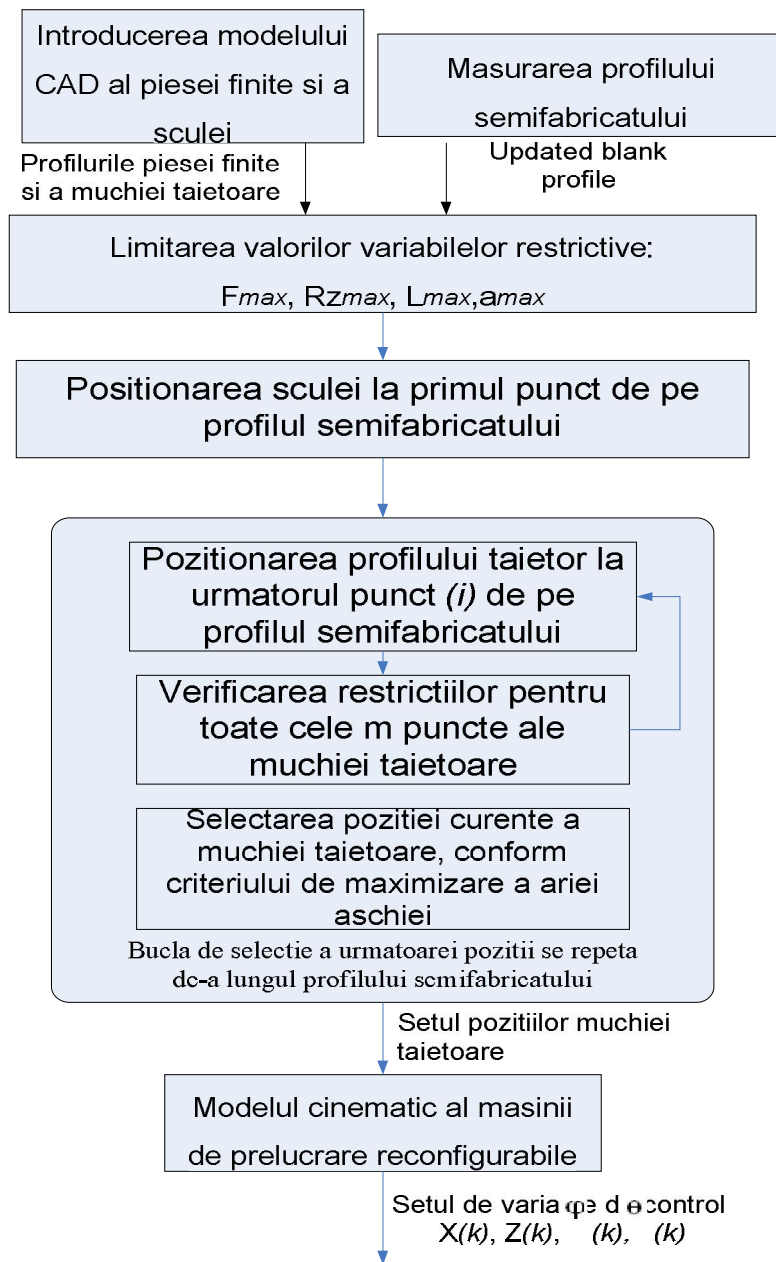


Fig.3.2 Algoritm de principiu

Baza de date a sistemului de manufacturare conține mai multe seturi de informații cu privire la sculele disponibile, cum ar fi: profilul sculei, forța admisibilă (F_{adm}), lățimea admisibilă a așchiei (L_{adm}), aria admisibilă a secțiunii așchiei (A_{adm}) și grosimea admisibilă a așchiei (a_{adm}), pentru diferite materiale. Aceste informații din baza de date a mașinii, împreună cu informațiile care definesc datele de intrare, anterior menționate, servesc la procesarea informației în cadrul etapei de optimizare, realizată virtual, înainte de începerea procesului. În timpul derulării operației curente, forța F , uzura sculei h și profilul suprafeței inițiale sunt

monitorizate, pentru a fi folosite în cadrul etapei de conducere bazată pe planificare reactivă. Sistemul de conducere generează ciclul de prelucrare a piesei, parcurgând cele două etape după cum urmează.

Etapa de optimizare debutează cu introducerea ca date de intrare a coordonatelor punctelor aflate pe suprafața nominală, a abaterilor superioară și inferioară corespunzătoare, a rugozității suprafeței finale, a coordonatelor punctelor pe profilul suprafeței inițiale, a coordonatelor punctelor de pe profilul sculei, a valorilor limita admisibile F_{adm} , A_{adm} , a_{adm} , L_{adm} , și a caracteristicii de material C_{mat} .

Coordonatele punctelor de pe profilul suprafeței nominale sunt obținute în urma procesării modelului CAD, reprezentat de fișiere desen generate de pachetul AutoCAD, fiind destul de multe pentru a putea fi suficient de bine descris profilul. Fiecăruia dintre aceste puncte i se atașează următoarele informații: abaterea superioară, abaterea inferioară, rugozitate și respectiv coordonatele X , Z , calculate prin însumarea valorilor nominale cu media abaterilor superioară și inferioară corespunzătoare punctului. Similar, se introduc datele care descriu suprafața inițială, reprezentate de coordonatele punctelor profilului acesteia. Coordonatele punctelor ce descriu profilul suprafeței finale sunt date în sistemul de referință solidar cu piesa.

În baza de date a mașinii sunt stocate coordonatele punctelor ce descriu profilul sculei, în raport cu sistemul de referință solidar cu aceasta, urmând ca în etapa de optimizare să se facă conversia la sistemul de referință al piesei. Etapa de optimizare presupune evaluarea offline a variabilelor de control având în vedere forma suprafețelor ce fac obiectul sarcinii de lucru.

Conform abordării prezente se definesc mai multe variabile precum urmează.

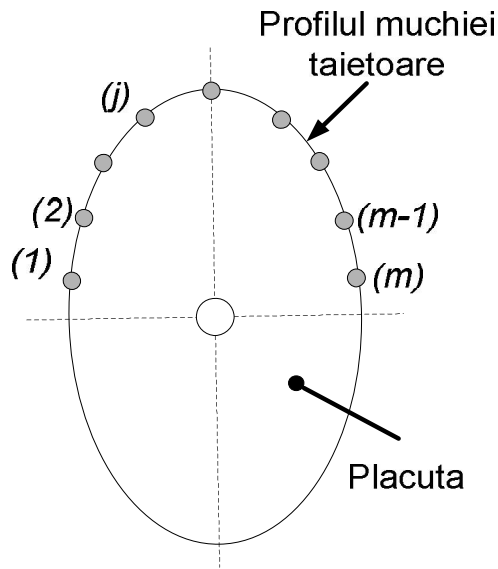


Fig.3.3 Plăcuța cu punctele remarcabile

Așa cum se arată în Fig.3.3, pe profilul muchiei tăietoare se definesc (m) puncte și ne referim la punctul curent de pe profilul muchiei tăietoare ca fiind punctul j . Similar, așa cum se arată în Fig.3.4, profilul piesei este descris de n puncte și ne referim la un punct curent de pe profilul piesei ca fiind punct i .

Poziția cuțitului se descrie prin urmare printr-o pereche (i, j) , unde i definește poziția curentă a muchiei tăietoare, și j este profilul curent a muchiei tăietoare. O altă variabilă folosită este k , care este variabila index a perechii (i, j) .

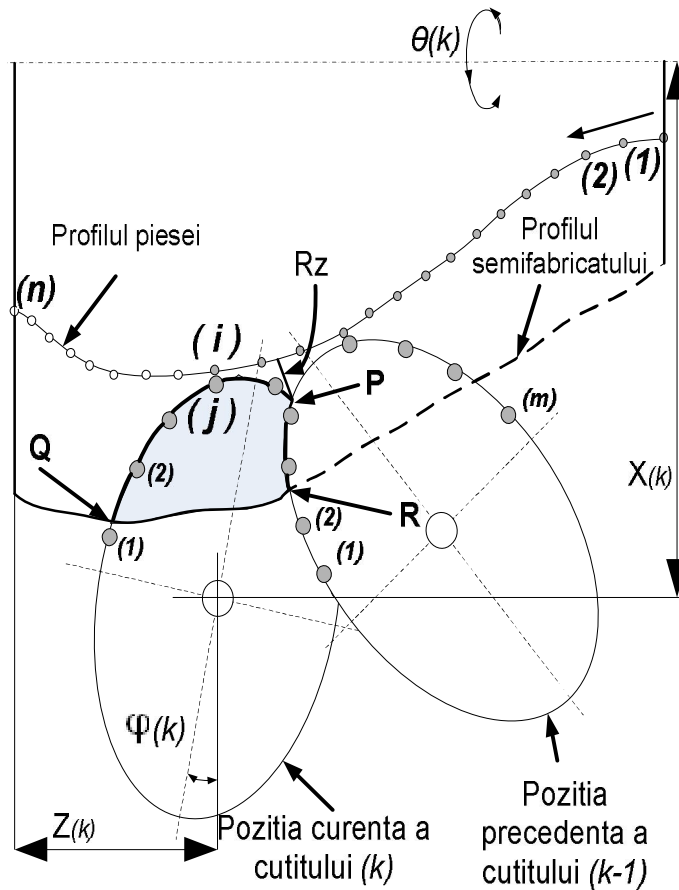


Fig.3.4 Problema identificării pozițiilor succesive

Algoritmul folosește ca referință poziția anterioară ($k-1$), așa cum se arată în Fig.4.4. În consecință orice poziție k este asociată cu valorile variabilelor $\varphi(k)$, $Z(k)$, $X(k)$. În algoritmul de optimizare folosim ca fiind valoarea curentă pentru L lungimea definită de lungimea segmentului $\{P,Q\}$, care reprezintă lungimea muchiei tăietoare (L_{ij}), R_z este rugozitatea curentă (R_{zij}), suprafața determinată de punctele PQR,i , este suprafața așchii (A_{ij}) iar PR reprezintă grosimea așchii (a_{ij}).

Controlarea modulelor se face trimițând succesiv poziția variabilelor $X(k)$, $Z(k)$, $\theta(k)$ and $\varphi(k)$, care sunt variabilele de control, calculate la coordonatele (i,j) .

Modelarea cinematicii înseamnă rezolvarea următoarei probleme: să se determine perechile (i,j) , în condițiile respectării atât a restricțiilor impuse cât și a criteriului de maximizare a productivității.

3.1.2 Modelarea cinematicii prin căutare exhaustivă

Ideea de bază a algoritmului de optimizare este că, pornind de la punctul curent i generat pe profilul piesei de către punctul j aflat pe profilul sculei, să se găsească următorul punct de pe profilul piesei, precum și următorul punct de pe profilul sculei, care îl va genera, respectând condițiile impuse ($A_{ij} < A_{adm}$, $L_{ij} < L_{adm}$, $a_{ij} < a_{adm}$, $R_{zij} < R_z$) și satisfăcând restricția ca punctele în contact de pe profilul sculei să aparțină zonei active a acestui profil (pentru ca generarea să fie posibilă), asigurând totodată o valoare maximă a ariei secțiunii așchiei, A_{ij} , pentru ca nivelul productivității să fie maxim (Fig.3.4). Pentru generarea unui punct i de pe profilul piesei, scula trebuie plasată astfel încât să fie tangentă la acest profil într-un punct j de pe profilul ei. Punctele i și j coincid, poziția sculei pentru această pereche de puncte fiind complet determinată. Algoritmul de optimizare este prezentat în Fig.3.5.

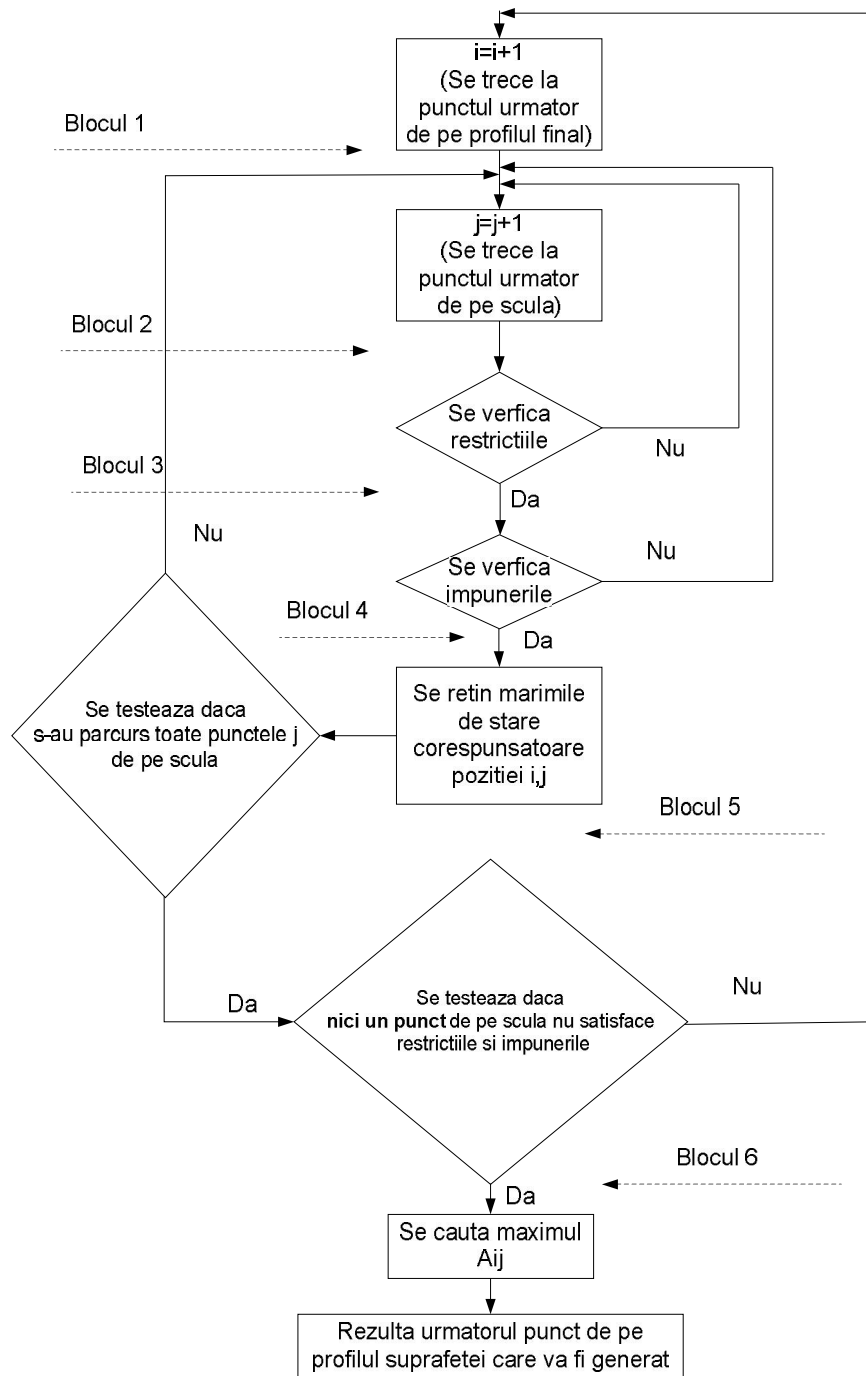


Figura 3.5. Schema logică a algoritmului de optimizare – varianta de căutare exhaustivă

Pentru această poziție a sculei, se determină din calcul valorile variabilelor controlate, A_{ij} , L_{ij} , a_{ij} , R_{zij} , apoi se testează dacă sunt satisfăcute condițiile impuse $A_{ij} < A_{adm}$, $L_{ij} < L_{adm}$, $a_{ij} < a_{adm}$, $R_{zij} < R_z$ și dacă este respectată restricția ca j să aparțină zonei active a profilului sculei. La punctul

curent i de pe profilul piesei, se testează consecutiv toate punctele j de pe profilul sculei. Rezultatele testărilor sunt reținute.

Așa cum se arată în Fig.3.5, la blocul 1 se trece la următorul punct de pe profilul suprafeței finale. În acest punct urmează să se execute pașii de la 2 la 5, atât timp cât se respectă condiția ca măcar un punct de pe profilul sculei să respecte restricțiile și impunerile. La blocul 3 și blocul 4 se verifică impunerile reprezentate de condițiile: $A_{ij} < A_{adm}$, $L_{ij} < L_{adm}$, $a_{ij} < a_{adm}$, $R_{zij} < R_z$ și respectiv restricția ca punctele să fie pe profilul activ al sculei. Acest ciclu se reia pentru fiecare punct al sculei, așa cum se arată în pasul de la blocul 2. În continuare, la blocul 5 se rețin punctele care satisfac condițiile. Ciclul de căutare se oprește în momentul în care pentru un punct de pe profilul suprafeței finale, toate punctele de pe profilul sculei nu satisfac condițiile, așa cum se reprezintă în blocul 6.

În Fig.3.6 se arată schema unei secvențe de generare a suprafeței finale, folosind algoritmul de optimizare al sistemului încorporat. De exemplu, să presupunem că ne aflăm în punctul de pe profilul suprafeței finale $i=21$ și poziția sculei este corespunzătoare punctului $j=16$ de pe profilul acesteia, tangent la profilul suprafeței finale. În continuare, ne propunem, să găsim următorul punct de pe profilul suprafeței finale, generat de un punct de pe profilul sculei, după ce piesa a executat o rotație completă. Pentru aceasta se trece la poziția $i=22$ și se testează succesiv punctele de pe profilul sculei, reținându-se acele puncte care verifică restricțiile și impunerile. Căutarea se oprește în momentul în care se găsește un punct de pe profilul suprafeței finale, pentru care toate punctele de pe profilul sculei, tangent la acesta, nu respectă condițiile, așa cum se observă în Fig.3.8. Punctele $i=25$ și $j=15$ reprezintă combinația pentru care aria așchiei ($A_{25/15}$) este maximă în cazul setului de puncte testat. Se consideră că noul i , adică, $i=25$ este noul punct curent și se continuă algoritmul de căutare a următorului punct de atins.

În Tabelul.3.7 se arată traiectoria mărimilor de stare și anume fragmentul ce corespunde zonei $i=12..25$, pentru secvența de generare a suprafeței finale din Fig.3.6. Traiectoria de la punctul $i=21$, $j=16$, la punctul $i=25$, $j=15$ este descrisă de succesiunea punctelor $i=22$, 23 , 24 , care împarte elicea corespunzătoare unei rotații, în 4 pași intermediari, de coordonate X , Z și $\Delta\theta$.

La fiecare pas intermediar este calculată turația n și mărimea $\Delta\theta$ a pasului intermediar. Turația n se înmulțește cu factorul K_s care ține cont de valoarea reală h a uzurii sculei. Mărimea $\Delta\theta$ a pasului intermediar se înmulțește cu coeficientul K_f , care ține cont de valoarea reală a forței din proces. Diferența de rotație între pașii intermediari $\Delta\theta$, în etapa de parcurgere a algoritmului de optimizare, ambii coeficienți au valoarea 1, urmând ca în etapa de conducere adaptivă valorile acestor coeficienți să fie modificate corespunzător datelor din monitorizare. De asemenea, la fiecare pas se rețin valorile variabilelor controlate: R_z , A , a , și L , rezultate în urma calculelor de maximizare a ariei așchii.

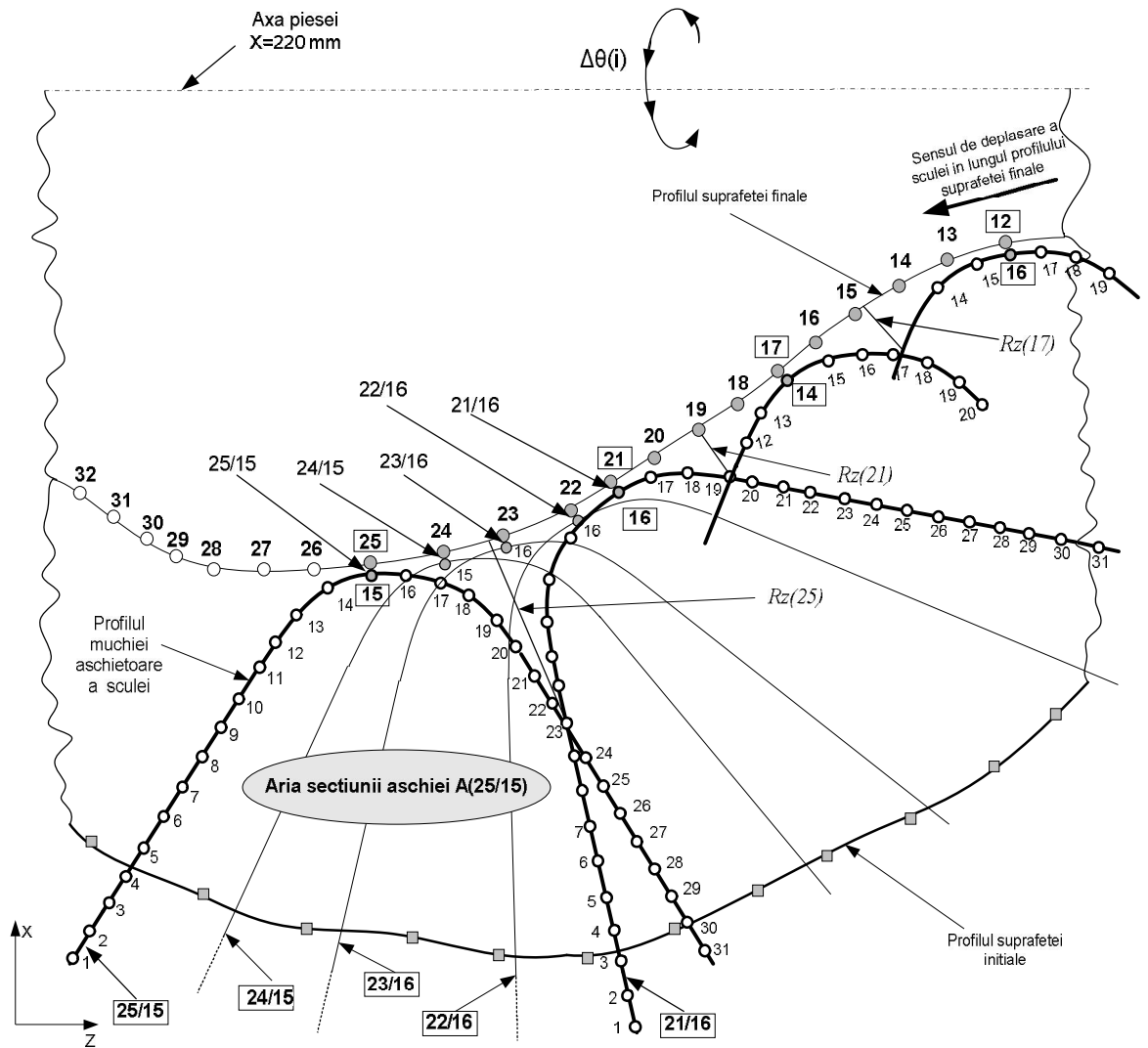


Figura 3.6. Schema unei secvențe de generare a suprafeței finale

Conducerea bazată pe planificare reactivă se concretizează în reluarea algoritmului de optimizare la modificarea suprafeței inițiale, precum și modificarea turației n , și a mărimii $\Delta\theta$ a pașilor intermediari, în conformitate cu evoluția în timp și spațiu a comportării sistemului de manufacturare și a modului de desfășurare a procesului.

În acest scop se monitorizează, cu o frecvență adecvată, profilul suprafeței inițiale, uzura sculei și forța. Profilul suprafeței inițiale se măsoară cel puțin la prima piesa din lot, folosind un dispozitiv de măsurare on-machine. Atât măsurarea profilului suprafeței inițiale, cât și profilul sculei se vor măsura folosind un **sistem cu vedere artificială**, reprezentat de o cameră și softul aferent.

Aceste măsurători se iau în considerare pentru rularea algoritmului de optimizare iar frecvența de măsurare este variabilă și trebuie decisă de operator. În ceea ce privește măsurarea uzurii sculei, aceasta se poate face cu diferite dispozitive. Frecvența de măsurare a uzurii este variabilă, executându-se după fiecare piesă sau după un număr de piese, după caz. Uzura sculei are ca efect modificarea valorii turației cu un coeficient $K_s = \frac{h_e}{h} \cdot t$, unde h_e este viteza economică de uzura sculei cunoscută, h este uzura măsurată iar t este timpul în care a apărut uzura h . Când coeficientul K_s este subunitar, turația va fi diminuată, pentru atingerea unei valori economice a vitezei de uzare a sculei. Monitorizarea forței din proces se face folosind un senzor plasat în port-cuțit. Se calculează $K_f = \frac{F_{adm}}{F}$, unde F_{adm} este forța admisibilă corespunzătoare sculei iar F este forța măsurată. În cazul în care K_f este subunitar, va fi diminuată mărimea $\Delta\theta$, ce reprezintă unghiul de rotație corespunzător unui pas intermediar. Așa cum se observă în Fig.3.7., coeficienții K_s și K_f au valoarea 1 în faza de optimizare offline, urmând ca valorile acestora să fie modificate online, ca urmare a conducerii adaptive.

i	j	Kf* $\Delta\theta$ [grade]	X [mm]	Z [mm]	φ [grade]	Ks*n [rot/min]	v [m/min]	Rz [µm]	A [mm ²]	a [mm]	L [mm]	l [mm]	Kf	Ks	Timp
11															
12	16	60	147,24	190,5	75,87	207,9	95	12,2	2,49	0,21	14	12	1	1	0,32
13	16	72	144,06	179,38	62,86	199,2	95								
14	15	72	139,3	170,25	54,73	187,4	95								
15	15	72	134,14	161,92	47,45	176,1	95								
16	14	72	128,98	154,38	41,22	166,1	95								
17	14	72	123,82	147,24	45,1	157,2	95	10,3	2,58	0,2	10	13	1	1	0,4
18	14	90	127,79	139,59	41,38	164,0	95								
19	14	90	113,1	132,15	48,65	141,5	95								
20	15	90	107,95	123,82	41,08	135,0	95								
21	16	90	103,58	115,49	45,05	129,9	95	11,7	2,53	0,2	16	13	1	1	0,5
22	16	90	98,42	107,95	47,82	124,4	95								
23	16	90	93,86	95,05	64,65	119,9	95								
24	15	90	90,88	83,74	70,27	117,1	95								
25	15	90	87,92	69,85	79,63	114,5	95	10,9	2,56	0,23	19	11	1	1	
2															
6															

Tabelul 3.7. Traectoria mărimilor de stare (fragmentul corespunzător zonei $i=12..25$ din Fig3.6).

j	12	13	14	15	16	17	18	19	20
i									
21					<u>2,53</u>				
22		0,68	0,62	0,59	<u>0,58</u>	0,6	0,65	0,7	
23		0,8	0,84	0,92	<u>0,98</u>	0,91	0,88		
24			1,32	<u>1,68</u>	1,61	1,59			
25				<u>2,56</u>	2,03	1,92			
26					2,15				
27									

Figura 3.8. Aria secțiunii aşchiei $A(i,j)$ determinată în raport cu poziția 21/14 a profilului muchiei sculei

3.1.3 Modelarea holonica

Pentru rezolvarea problemei pozitionarii successive s-au realizat doua aplicatii software corespunzatoare cautarii exhaustive si cautarii folosind algoritmi de modelare holonica. In cadrul acestei activitati s-a gasit ca o alternativa mai rapida si mai potrivita fata de algoritmul cautarii exhaustive, algoritmul de cautare folosind modelarea holonica. Acest algoritm, reuseste sa gaseasca pozitiile successive ale sculei, fara sa caute toate combinatiile posibile. Algoritmul de modelare holonica permite implementarea pe masina prototip, intrucat necesita un timp de procesare de pana la 10 ori mai mic decat algoritmul de cautare exhaustiva. Mai departe descriem conceptul de modelare holonica pentru ca apoi sa descriem algoritmul de modelare holonica.

3.1.3.1 Generalizarea noțiunii de model

Elaborarea conceptului de modelare holonică pleacă de la generalizarea noțiunii de model, susținută de următoarele trei idei cheie.

Ideea 1. Variabilele descriptive ale unui sistem sunt de foarte multe ori concretizate în variabile de stare ale sistemului. Acestea evoluează în timp ce caracteristicile sistemului rămân nemodificate perioade lungi de timp.

În scopul de a descrie un anumit sistem dat, se definesc variabilele descriptive ale acestuia, după care se căuta o relație între aceste variabile care să fie specifică respectivului sistem și numai lui. În mod curent, această relație se numește model. A modela un sistem este problema stabilirii unei relații între variabilele lui de stare. Forma în care se exprima această relație poate fi diversă cum ar fi :

- narativă (un exemplu de model narativ este descrierea cercului ca fiind „mulțimea tuturor punctelor din plan situate la egală distanță R față de un punct O , numit centrul cercului”)

- analitică (de exemplu polinom algebric, polinom trigonometric, expresii analitice complexe etc.).

- grafică (de exemplu sub forma unor diagrame sau nomograme)

- tabelar

- arbore decizional

- rețea neuronală

- model fizic.

Ideea 2. În anumite cazuri, unele dintre variabile sunt menținute nemodificate, în timp ce restul variabilelor pot fluctua, modelul devenind astfel unul particular. Variabilele ce rămân nemodificate sunt numite parametrii modelului. În acest fel, parametrii modelului descriu clase particulare de modele, toate aparținând unui model mai general (de exemplu, coeficienții unui model polinomial pot fi considerați parametri).

Ideea 3. Exploatarea modelului presupune găsirea unui set de valori particulare ale variabilelor acestuia (de exemplu, găsirea coordonatelor unor puncte de pe cerc în condițiile în care parametrii modelului au valori precizate). Se constată că orice acțiune de acest fel este în fapt un șir de operațiuni specifice modelului respectiv. Astfel, la modelele analitice, operațiunile sunt de calcul numeric, la modelele logice operațiile sunt de calcul logic, la nomograme sunt operațiuni geometrice, la tabel sunt operațiuni de selectare iar la modelele fizice sunt experimente de laborator și măsurare.

Există posibilitatea ca un model să fie atât de complex încât să necesite structurarea acestuia pe mai multe componente de formă diferită, de exemplu algebric, grafic, tabelar etc.

Cele de mai sus permit să considerăm că, în cazul cel mai general, un model poate fi considerat ca fiind echivalent cu operațiunea de exploatare a acestuia, care, la rândul ei, este, în toate cazurile, un *algoritm de desfășurare a unor operațiuni*, în prealabil definite.

În aceasta idee, orice produs software poate fi considerat echivalentul unui model.

Ideea 4. Precizia modelelor depinde atât de acuratețea cu care acestea descriu sistemul real, cât și de acuratețea cu care au fost evaluate variabilele modelului (de exemplu numărul de zecimale, în cazul unui model algebric). Cum, practic, precizia necesară nu este niciodată absolută, rezultă că, în fond, toate modelele sunt eronate în raport cu realitatea care o reprezintă.

Din această cauză, foarte frecvent, sunt acceptate și modelele discrete, la care variabilele pot lua un număr limitat de valori, iar numărul de forme în care modelul poate fi exploatat este limitat, totul rezumându-se la o problemă de combinatorică. Mai mult, sunt situații în care, în exploatarea modelului discret, pasul de discretizare a variabilei este mic și de aceea nu este neapărat necesară examinarea tuturor combinațiilor posibile, ceea ce deschide calea spre utilizarea unor algoritmi euristici pentru exploatarea modelului.

De exemplu, folosind algoritmi genetici se poate exploata modelul discret al unui cerc. Populația are un cromozom compus din două gene, X și Y, corespunzătoare coordonatelor de abscisă și ordonată. Fiecare genă are un număr de alele. Potrivirea care se căuta este distanța de la punctul considerat la centrul cercului dat și, cu algoritmul genetic, se pot găsi puncte care sunt dispuse pe acest cerc.

3.1.3.2 Aspecte generale privind modelarea holonică

Modelarea holonică are la bază sistemul distribuit de inteligență artificială. În acest sens, definim holonii ca fiind entități computaționale, reprezentate de un număr de procese ale sistemului de operare care rulează pe PC definite de algoritmul holonic. Acestea sunt capabile să comunice, să colaboreze și să acționeze pentru atingerea unei ținte. Omul informează asupra sarcinii ce trebuie îndeplinită de un holon (proces al sistemului de operare), care mai departe creează noi holoni (adică alte procese ale sistemului de operare) pentru a rezolva problema dată.

Holarhia – Se definește noțiunea de holarhie ca fiind un ansamblu de holoni structurați ierarhic pe baza relației de apartenență.

3.1.3.3 Considerații teoretice privind structurarea și funcționarea holarhiilor

Convenții sociale

Pentru a rezolva o problemă de coordonare, un grup de holoni se confruntă cu problema alegerii acțiunilor lor pentru a asigura echilibrul. În mod evident, nu există o soluție de selectare a echilibrului. Totuși, putem împărți

soluțiile care instruiesc holonii cum să aleagă un singur echilibru în orice joc. Această soluție va fi capabilă să ghideze holonii în procedura de selecție a acțiunii.

O convenție socială (sau lege socială) este această soluție care plasează constrângerile în alegerile acțiunilor posibile ale holonilor. Poate fi privită ca o lege care dictează cum trebuie holonii să își aleagă acțiunile într-un joc coordinativ, cu scopul de a atinge echilibrul. Convențiile sociale sunt moștenite de la crearea holonului și nu se pot schimba în decursul existenței lor.

Roluri

Coordonarea prin convenții sociale subliniază ipoteza că un holon poate calcula toate stările de echilibru dintr-o acțiune înainte de a alege o singură stare. Calcularea acestor stări de echilibru se poate face prin intermediul cunoștințelor dobândite.

Interactivitatea de gândire

Pentru a acționa rațional, un holon trebuie întotdeauna să reflecte la ceea ce el cunoaște despre starea curentă a holarhiei. Într-o holonie starea este parțial observabilă, în sensul că un holon nu poate cunoaște toate stările care descriu holonul, deci rezultă că holonul trebuie mai întâi să judece cu grijă ceea ce el cunoaște și ceea ce nu cunoaște, înainte de a alege o acțiune.

Într-un sistem multiholon, parțial observabil, acționează un holon rațional care gândește interactiv, ia în calcul informațiile celorlalți holoni, pentru a lua decizii.

Această observabilitate parțială, caracteristică holarhiei, poate avea consecințe variate în luarea deciziilor holonilor.

Informație și cunoaștere

În cazul observabilității parțiale care caracterizează caracteristicile unui holon, percepția unui holon asigură doar informații parțiale despre starea de adevăr, cu ajutorul unui model de observare determinant sau stocastic.

Stări și observații

Starea reală este $s=a=RRR$ și este parțial observabilă holonilor: fiecare holon i găsește o observație $\theta_i \in \Theta_i$, care asigură informația s prin funcția de informație P_i .

De exemplu, la $s =RRR$ holonul 1 observă $\theta_1=RR$, ceea ce înseamnă că vede cele două stări (coordonate) ale holonilor 2 și 3, (toate observațiile posibile ale holonului 1). Profilul observațiilor individuale (θ_i) ale holonilor definește observațiile combinate (θ).

Modelul de observație

Modelul divizat asociază fiecărei observații θ_i a holonului i un singur set de informații $P_i(s)$, care este un subset de coordonate de stare. Pentru început, $\theta_1 = RR$, este asociat cu setul de informații $P_1(s)=\{A,B\}$. În această problemă, fiecare observație este o funcție determinantă de stare: observarea fiecărui holon, la fiecare stare este determinată complet de generarea problemei.

Acțiuni și politici

În cazul unei probleme, fiecare holon răspunde la interlocutorul sau. Asemenea răspuns poate fi privit ca o acțiune luată de către holon și dată ca informație curentă. De exemplu, în partițiile finale (5.6), holonul 1 va răspunde NU, dând setul de informații $\{A, B\}$ și holonul 3 va răspunde Da, dând setul de informații $\{a\}$. În general, în decizia holonului efectuată sub observație parțială, politica fiecărui holon i este o hartă.

$$\pi_i : \Theta_i \rightarrow A_i$$

Proiectarea mecanismului

Problema studierii proiectării mecanismului este reprezentată de dezvoltarea protocoalelor de interacțiune holon, luând în calcul faptul că holonii pot fi interesați.

Holonii interesați

Exemplele date anterior reprezentau sisteme holonice, care constau în colaborarea holonilor. Faptul că holonii din asemenea sisteme trebuie să colaboreze pentru un scop comun permite dezvoltarea algoritmilor, cum ar fi algoritmi de coordonare, în care holonii se înțeleg să fie corecți unul cu altul și să acționeze așa

cum au fost instruiți. Un holon care trebuie să scaneze o imagine, de exemplu, nu va încălca niciodată protocolul alocat rolului, deoarece acest lucru va afecta performanța holarhiei..

Întâlnim holoni interesați, de exemplu, holoni care acționează în numele interesului propriu, care doresc să își mărească „profitul” (de exemplu să ocupe cât mai mult spațiul propriu în spațiul de căutare). În primul rând, trebuie să motivăm un holon să participe la protocol, ceea ce nu este un caz a priori. În al doilea rând, trebuie să luăm în calcul faptul că un holon va încerca să convingă protocolul în interesul său propriu. Dezvoltarea protocoalelor stabile și raționale individual pentru holoni reprezintă subiectul proiectării mecanismului teoriei de implementare. După cum vom vedea, o cale standard pentru a face față acestor două probleme este de a furniza holonilor instinctul de interes comun și interes propriu.

Se ia un set de **rezultate posibile O**, pe care un număr de holoni le preferă. Sarcina este de a proiecta o holarhie care, atunci când holonii sunt în acțiune, să aducă u rezultat dorit de la O, pentru început un rezultat care este favorabil social de către holoni.

Pentru a modela preferințele individuale ale holonilor, presupunem că fiecare holon $i=1, \dots, n$, deține câteva informații private $\theta_i \in \Theta_i$, care definesc tipul de holon, și care nu este dezvăluit celorlalți holoni. În particular, fiecare holon i are o **funcție de evaluare** $v_i(\theta_i, o)$, care este parametrizată pe θ_i , astfel încât holonul i de tipul θ_i , preferă rezultatele O doar dacă se respectă o funcție. Presupunem că toate funcțiile de evaluare ale tuturor holonilor sunt cunoștințe comune.

În proiectarea mecanismului, presupunem adițional existența unei **funcții de alegere socială** $f: \Theta \mapsto O$, care schițează orice profil $\theta=(\theta_i)$ al tipului de holon pentru un rezultat dorit, $o=f(\theta)$.

Putem privi f ca un algoritm care rezolvă o problemă de optimizare: fiind date n intrări, θ_i , funcția f calculează rezultatele o care măresc evaluările funcționale în setul de holoni. Funcția f se presupune a fi cunoaștere comună de-a lungul holonilor.

3.1.3.4 Proiectarea holarhiilor

Acțiunile holonului sunt definite pe baza a trei concepte diferite: operațiile, legile instinct și cunoștințele dobândite. Operațiile sunt acele acțiuni fundamentale care sunt universale, adică se derulează întotdeauna în același fel, indiferent de sarcina care urmează a fi realizată. Legile-instinct sunt reguli ce guvernează relația între holoni și care indică situația în care se aplică diferitele operații cu care este înzestrat sistemul de holoni. Cunoștințele dobândite sunt sintetizate în funcția multiplă de căutare, care este definită de utilizator și transmisă holonului primordial printr-un limbaj de învățare.

Holonul primordial este primul holon existent la începutul algoritmului, din care urmează să se dezvolte întregul ansamblu holonic. Acesta urmează să creeze noi holoni pentru a îndeplini sarcina primită. Trebuie să precizăm că holonii nou creați moștenesc în totalitate cunoștințele și proprietățile holonului primordial, care își pierde identitatea.

Se definește spațiul de căutare ca fiind acel spațiu în care holonii activează pentru găsirea unei soluții. De exemplu, spațiul de căutare poate fi o imagine, care este un spațiu 2D de căutare, sau un spațiu de căutare a stărilor sistemului definite de 5 variabile, care poate fi un spațiu 5D .

În continuare definim cele 3 părți constituente ale „gândirii” holonilor.

Operații

1) Operația de unificare – Reprezintă operația prin care doi sau mai mulți holoni se grupează într-o holarhie, formând un nou holon. Trebuie menționat că sensul de holon se pierde, atât timp cât nu există cel puțin un alt holon ca partener în rezolvarea sarcinii date.

2) Operația de izolare – este operația prin care un holon iese dintr-o holarhie pentru a fi partener de acțiune cu holonul format din „foștii colegi” de holarhie.

3) Naștere – este acțiunea prin care un holon creează noi holoni, la nivel software un proces va crea unul sau mai multe procese.

4) Distrugere – este acțiunea de distrugere proprie a unui holon. La nivel software un proces se termina din proprie inițiativă. Acesta operație apare atunci când un holon observă că nu se mai poate mișca în spațiul de căutare, deci motivul existenței lui dispare.

- 5) Schimbare de holarhie este acțiunea unui holon de a trece dintr-o holarhie în altă.
- 6) Propunere – este acțiunea prin care un holon informează asupra unei propuneri holonului sau holonilor vecini.
- 7) Acceptare – este acțiunea unui holoni de a accepta o propunere.
- 8) Ocupare coordonate – este acțiunea prin care holonul ocupă o poziție în spațiul de căutat, dată de funcția de căutare definită de utilizator prin limbajul specific.

Legile instinct

Legile instinct sunt acele legi universal aplicate, indiferent de forma funcției de căutare, care guvernează holarhia. Se definesc următoarele legi instinct.

- 1) Orice spațiu neocupat trebuie ocupat.
- 2) În cazul în care se observă propria inactivitate de căutare holonul se autodistrugere, apelând operația distrugere.
- 3) În cazul în care un holon observă că spațiul de căutare, este neocupat, și în același timp, nu poate sa ocupe acest spațiu singur, naște un holon, apelând la operație naștere.
- 4) Spațiu ocupat de alți holoni nu poate fi ocupat, modalitatea de a realiza contopirea mai multor spații este doar prin intermediul operației unificare.
- 5) Operațiile se execută doar între vecini din spațiul de căutare.

Cunoștințe dobândite

Cunoștințele dobândite sunt acele funcții care sunt furnizate de utilizator. Aceste cunoștințe definesc funcția prin care utilizatorul informează asupra sarcinii de găsire în spațiu de căutare.

Funcțiile acestea descriu lapidar o realitate si pot duce la descrierea ambigua, așa cum se va arata în capitolul 5. Această informare se face printr-un limbaj de învățare , care se bazează pe o logică de tip euristic.

În continuare se definesc câteva funcții ale limbajului de învățare.

- 1) definirea spațiului de căutare.

Space - *indicație dimensiune spațiu*. *Funcție de citire a valorilor* - unde *indicație dimensiune spațiu* indică dimensiunea spațiului de citit iar *Funcție de citire a valorilor*- indica funcția care indică spațiul.

De exemplu, Space.2d.GetImage – se definește spațiu 2d care poate fi citit cu funcția citește imagine, pentru spațiul definit de o imagine.

2) citirea stării poziției curente.

ReadPoz (*dimensiune 1, dimensiune 2...dimensiune n*) unde *dimensiune 1, dimensiune 2...dimensiune n* este indicația de poziție în spațiu

De exemplu, ReadPoz(X,Y,Z,K,M) – citește valoarea curentă din spațiul 5D

3) Definierea funcțiilor secundare de evaluare - permit definierea funcțiilor secundare care permit analizarea poziției curente.

SecondaryFunction.1=CalcSurface($P1,P2,..Pn$) – unde $P1,P2,..Pn$ sunt puncte.

De exemplu se calculează suprafața determinată de punctele $m1, m2, m3, m4, m6$ sau lungimea liniei determinată de $X2,X5$.

SecondaryFunction.2=CalcLenLine(X2,X5)

Cu ajutorul funcțiilor secundare se definește funcția primară, care reprezintă definirea soluțiilor de căutat din spațiu.

4) Definiere funcției scop

PrimaryFunction=Search(SecondaryFunction.2>SecondaryFunction.5, SecondaryFunction.1=MAX) ;

De exemplu se definește funcția scop ca fiind acea poziție pentru care rezultatul funcției 2 este mai mare decât rezultatul funcției 5, iar rezultatul funcției 1(să presupunem că aceasta calculează aria) este maxim.

3.1.3.5 Algoritmul general al modelării holonice

Un algoritm de modelare holonică are în vedere parcurgerea următorilor pași majori (Fig.3.1).

- Ocuparea aleatorie are în vedere plasarea în spațiu de căutare a holonilor și marcarea pozițiilor ca făcând parte din „teritoriul propriu a unui holon”.
- În continuare, fiecare holon caută poziții calculând pentru fiecare funcțiile secundare;
- Se calculează pentru pozițiile curente valorile funcțiilor;
- Se evaluează funcția scop;
- Operațiile între holoni ocupă până la căutarea pozițiilor de pe întreg spațiul de căutare până când tot spațiul de căutare a fost împărțit între holoni. Trebuie precizat că aceasta nu înseamnă neapărat că toate pozițiile din spațiu au fost evaluate singular.

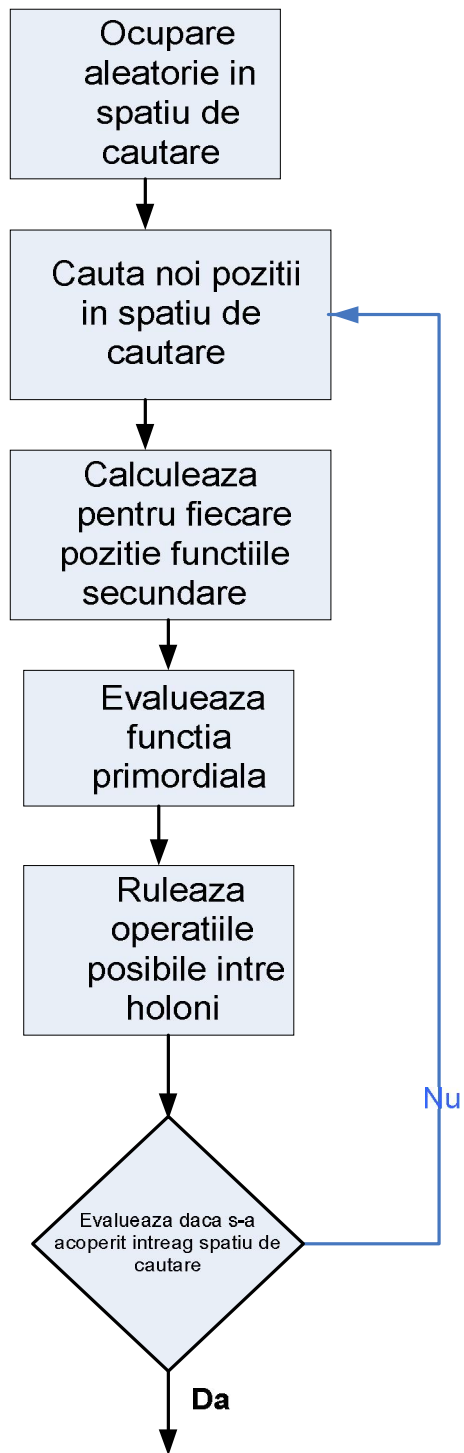


Fig.3.9 Algoritmul de modelare holonică

3.1.3.6 Comparație între algoritmi genetici și modelarea holonică

În cazul algoritmilor genetici, entitatea fundamentală este individul aparținând unei populații. Individul reprezintă o soluție a problemei iar totalitatea indivizilor reprezintă totalitatea soluțiilor problemei. Spațiul de căutare este tocmai totalitatea soluțiilor problemei. Ceea ce se caută este aceea soluție care satisface într-un grad suficient de înalt condiția impusă. Pe de altă parte, fiecare individ din populație este descris cu același număr de variabile, acestea reprezentând variabilele soluției problemei. Numărul variabilelor rămâne neschimbat de la o generație la alta a respectivei populații.

În cazul modelării holonice, entitatea fundamentală nu este individul, ci populația căruia el îi aparține. Populația reprezintă o soluție a problemei. Numărul total de soluții nu este nici cunoscut și nici limitat. Din această cauză, spațiul de căutare este de asemenea nelimitat. Spre deosebire de individul de la algoritmi genetici, care este caracterizat de un număr fixat de variabile și reprezintă o soluție a problemei, populația în cazul modelării holonice este caracterizată de un număr variabil de variabile, de asemenea este o soluție a problemei.

Funcția de fitness

La algoritmi genetici, funcția de fitness este o funcție având un număr de variabile egal cu numărul de componente ale soluției problemei. Construcția funcției se realizează astfel încât valoarea acesteia să reprezinte calitatea unei soluții particulare, de exemplu dacă, pentru un set particular de valori ale componentelor soluției, funcția de fitness are valoarea zero, atunci se consideră că acest set de valori ale componentelor caracterizează soluția problemei. De remarcat faptul că funcția de fitness caracterizează calitatea globală a soluției și nu calitatea individuală a fiecărei componente a acesteia. De aceea, pot apărea cazuri în care o componentă a soluției corespunde soluției căutate, dar este rejectată, nefiind reținută pentru construcția soluției definitive.

În cazul modelării holonice, funcția de fitness nu are numărul de variabile egal cu cel al soluției problemei, ci un număr mai mic de variabile. Acest număr de variabile este ales astfel încât să caracterizeze doar una sau câteva componente ale soluției. Valoarea funcției caracterizează calitatea doar a acelor componente ale soluției. Odată găsite valorile acestor componente, ele sunt păstrate, pentru a alcătui

soluția completă. Pe scurt, evaluarea și îmbunătățirea unei soluții, se face considerând succesiv câte o componentă a soluției complete, spre deosebire de algoritmi genetici în care se evaluează doar calitatea soluției complete .

Operatorii algoritmului în cazul algoritmilor genetici

În cazul algoritmilor genetici, operațiile care se execută sunt: selecția, încrucișarea , mutația și evaluarea.

- Operația de selecție constă în reținerea indivizilor cu valori favorabile ale funcției de fitness și completarea grupului cu noi indivizi din populația definită inițial. Există mai multe tehnici de realizare a acestei operații, pentru care rezultatele sunt diferite. Un element aparte este elitismul care se referă la păstrarea indivizilor performanți, cu riscul de a localiza spațiul de căutare dar cu avantajul de a converge rapid spre soluția definitivă sau înlocuirea acestora, cu riscul de a amâna sau chiar rata convergența, dar cu avantajul de a explora mai uniform spațiul de căutare și de a evita extremele locale.

- Operația de încrucișare este acțiunea de regenerare a grupului, în urma căreia rezultă un număr de indivizi egal cu numărul inițial dar diferiți în ceea ce privesc caracteristicile.

- Operația de mutație constă în înlocuirea aleatorie a valorii unei caracteristici la câteva procente din populația selectată, cu scopul de a extinde spațiul de căutare.

- Operația de evaluare constă în calculul funcției de fitness și clasificarea pe această bază a indivizilor ce formează grupul considerat.

3.1.3.7 Modelarea holonică

În cazul modelării holonice, operațiile care se execută sunt: nașterea - distrugerea, evaluarea, unificarea, izolarea, schimbarea de holarhie, dialogul, explorarea vecinătății.

○ Operația de naștere- distrugere are două forme de aplicare, prima se referă la adăugarea unui nou holon în spațiul de căutare de către un alt holon. Această operație este executată când un holon observă spațiu de căutare vecin care nu poate fi atins, dintr-un motiv sau altul, de către acesta. A doua formă de aplicare are în

vedere capacitatea unui holon de a-și iniția propria dispariție din spațiul de căutare. Motivele care generează această acțiune sunt reprezentate de constatarea holonului în cauză că nu mai execută operația de explorare a vecinătății, în timp ce holonii din holarhie execută încă această operație și observă că este posibil să limiteze acțiunea holonilor vecini. Un caz particular de naștere este cel de populare a spațiului de căutare prin multiplicarea holonului primordial. Acesta naște un număr aleator de holoni plasați de asemenea aleator în spațiul de căutare.

- Operația de evaluare constă în determinarea valorilor curente ale funcțiilor de fitness pentru poziția curentă din spațiul de căutare. Funcțiile de fitness sunt reprezentate de cunoștințele dobândite de către holoni, care sunt transmise de către operator printr-un limbaj dedicat acestei clase de aplicații.
- Operația de unificare reprezintă acțiunea de grupare a doi sau mai mulți holoni pentru a forma un holon de rang superior în cadrul holarhiei.
- Operația de izolare constă în acțiunea unui holon de a ieși din holarhia curentă urmând ca să acționeze independent.

Motivul acestei acțiuni este acela că observă că un spațiu vecin holarhiei părăsite este neexplorat și că foștii colegi de holarhie sunt limitați în a explora împrejurimile din spațiul de căutare.

- Operația de schimbare de holarhie este reprezentată de acțiunea unui holon care trece la o holarhie vecină din motivul că scopul individual este mai bine reprezentat în noua holarhie. Această operațiune trebuie precedată de operația de dialog, în care holonul dialoghează cu noua holarhie pentru a fi acceptat.

- Explorarea vecinătății este acțiunea de mutare în spațiul de căutare în vederea aplicării operației de evaluare asupra proprietății punctului ocupat.

Formularea problemei

În cazul algoritimilor genetici, macheta pe baza căreia se formulează problema este următoarea: dându-se un spațiu de căutare cu n dimensiuni, să se găsească punctul din acest spațiu care satisface o condiție dată. O soluție a problemei este

reprezentată de oricare dintre punctele spațiului de căutare. Rezultatul este setul de valori ale celor n coordonate ale punctului pentru care condiția dată este cel mai bine satisfăcută.

La modelarea holonică, macheta pe baza căreia se formulează problema este următoarea: dându-se un teren de acțiune, se cere structurarea spațiului ocupat de acesta, astfel încât elementele structurale ce îl compun să satisfacă un set de condiții date. Soluția problemei este o structurare a spațiului pentru care condițiile impuse sunt satisfăcute, în limitele unui câmp de toleranță. Spre deosebire de algoritmi genetici, soluțiile problemei nu pot fi organizate într-un clasament.

Motorul evoluției

În cazul algoritmilor genetici, motorul evoluției este succesiunea operațiilor în bucla ce constituie algoritmul. Bucla este parcursă fie de un număr dat de ori, după care algoritmul se oprește, fie de un număr nedefinit de ori, oprirea algoritmului fiind determinată de respectarea unei condiții de performanță. Modul de parcurgere în cadrul buclei rămâne permanent același, indiferent de stadiul în care se află procesul evolutiv. Evoluția calculului în direcția obținerii soluției problemei are la bază similitudinea dintre evoluția populației dintr-o specie dată, odată cu modificarea ecosistemului, pe de o parte, și pe de altă parte, evoluția unei populații artificiale, care are la bază un algoritm genetic similar.

În cazul modelării holonice, motorul evoluției este însușirea fundamentală a holonilor de a-și satisface cât mai bine propriul interes prin explorarea vecinătății. La aceasta se mai adaugă celelalte operații care asigură extinderea procesului evolutiv la întregul teren de acțiune.

Motivul pentru care sensul evoluției este întotdeauna spre găsirea soluției (și nu invers) este acela că, decizia luată de fiecare holon, în fiecare moment al evoluției, este de a-și satisface mai bine interesele (și nu mai rău).

3.1.3.8. Complementaritatea domeniilor de aplicare a algoritmilor genetici și a modelării holonice

Din analiza comparativă a celor două tehnici de calcul evolutiv și anume algoritmi genetici, în prezent cunoscuți și aplicați pentru rezolvarea unor probleme

de căutare și modelarea holonică propusă în cadrul prezentei teze, rezultă domeniile în care aceste tehnici pot fi utilizate.

Astfel, algoritmi genetici pot fi utilizați pentru problemele de căutare în care criteriul de căutare este exprimat prin valoarea unei funcții, iar ținta este o anumită valoare a acesteia. Cele mai frecvent întâlnite probleme de căutare sunt cele în care se caută optimul, numite probleme de optimizare, la care funcția de căutare este utilizată drept funcție obiectiv iar restricțiile sunt utilizate pentru delimitarea spațiului de cautare.

Algoritmi genetici nu pot fi însă aplicați atunci când criteriul de căutare este exprimat prin valorile unui număr de funcții iar ținta este respectarea unor condiții cu privire la valorile acestor funcții. De asemenea, algoritmi genetici nu pot fi utilizați atunci când numărul de componente ale soluției căutate nu este apriori cunoscut. În fine, în problemele la care ținta căutării nu este unică (cum este valoarea țintă a funcției obiectiv, în cazul algoritmilor genetici), ci variază funcție de punctul din terenul de acțiune în care are loc evaluarea, nu pot fi rezolvate cu algoritmi genetici din același motiv pentru care utilizarea acestora nu este fezabilă, din cauza numărului extrem de mare de soluții care formează populația totală.

Modelarea holonică poate fi considerată ca o tehnică de rezolvare a acelor probleme de căutare, la care structura soluției este necunoscută, exigențele căutării sunt multiple, spațiul de căutare nu poate fi delimitat, putând fi delimitat doar terenul de acțiune. Rezultă că, cele două tehnici de calcul evolutiv se completează, permițând extinderea gamei problemelor, ce pot fi tratate prin calcul evolutiv. În acest moment, nu se poate face o evaluare comparativă, nici măcar provizorie, a performanțelor celor două tehnici. Calitativ, se poate aprecia însă că, la problemele complexe modelarea holonică este o tehnică mai bună, iar la problemele simple, algoritmi genetici, ar putea fi superiori.

3.1.3.9 Varianta holonică a modelării cinematice

Descrierea algoritmului holonic pentru simularea cinematicii

Similar cu modelarea geometrică, algoritmul de modelare cinematic presupune parcurgerea următorilor pași (Fig.3.9):

1) *Ocupare aleatorie* – holonii – reprezentați de forma muchiei tăietoare sunt plasați tangent la traiectoria finală, așa cum se arată în figura de mai jos, poziția a;

2) *Eliminări preliminare* – în cadrul holarhiei se ia decizia ca unii dintre holoni să dispară deoarece se constată că în condițiile impuse sunt prea mulți. În acest sens, se face o strategie minimală în care se consideră că, de exemplu, pentru a respecta restricția de rugozitate, considerând poziția cuțitului fără mișcarea suplimentară considerată în arhitectura propusă, numărul de holoni sunt prea mulți. Astfel se elimină un număr de holoni pentru a îndeplini această condiție.

3) *Ocupare preliminară* – holonii încearcă să ocupe poziții intermediare pe traiectoria finală, considerând gradul suplimentar și încearcă să evalueze restricțiile.

4) *Eliminare holoni*- în această etapă se elimina holonii care s-au “îngrămădit” într-o holarhie locală și care nu sunt necesari.

5) *Naștere de holoni* – datorită faptului că holonii se “îngrămădesc” și formează noi holarhii locale, rămâne inevitabil “spațiu” neocupat. Din acest motiv, holarhiile locale comunică, evaluează distanța între ele și decid nașterea de noi holoni. Așa cum se arată în figura reprezentând ocuparea pozițiilor conform algoritmului (Fig.3.11), holarhia albastră a născut 2 holoni și cea roșie încă unul, în relație cu prima. În același timp, în relație cu holarhia locală violet, holarhia roșie a mai născut încă un holon.

6) *Efectuarea distribuției în holarhie*. După ce toate holarhiile locale au fost unite și au format o singură holarhie, se încearcă distribuirea pentru a atinge pozițiile care satisfac restricțiile.

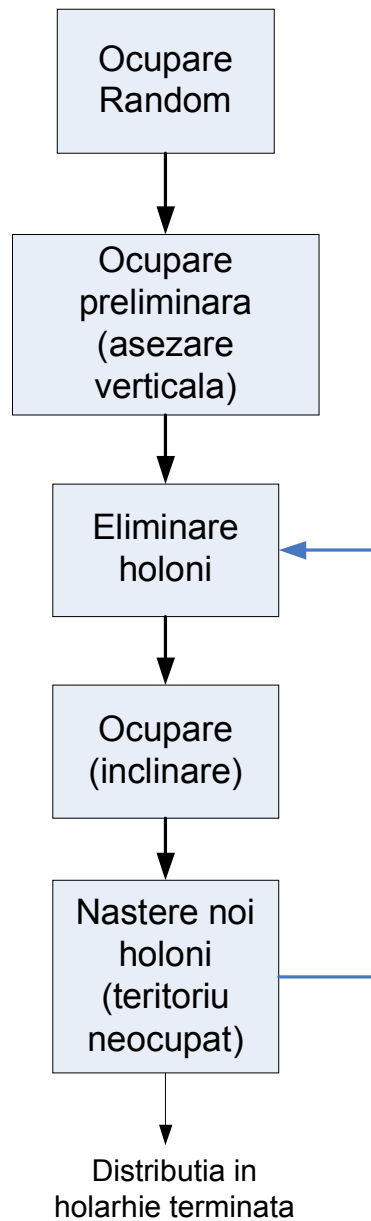


Fig.3.10 Schema de principiu a algoritmului de modelare holonică

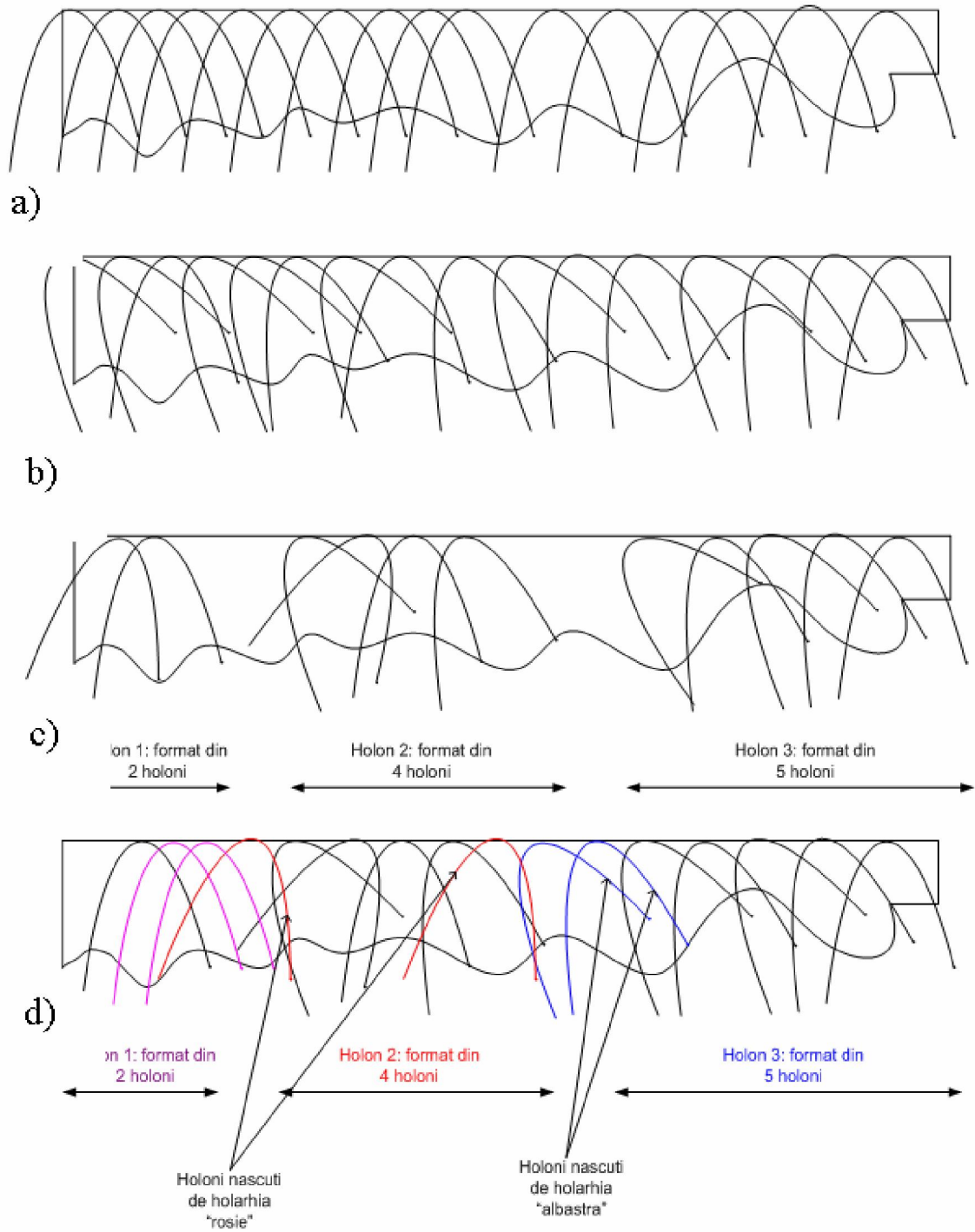


Fig.3.11 Ocuparea pozițiilor conform algoritmului

Limbaajul de învățare a holonilor

Holonii, ca entitati software independente si cooperante, sunt înzestrați cu cunoștințe și instinct:

Cunoștințele sunt reprezentate de funcțiile de calculare a suprafeței, de calculare ariei, de calculare a lungimii așchii sau de calculare a rugozității.

Proiectarea holarhiei

În continuare, se descrie proiectarea holarhiei luând în considerare caracteristicile cheie. Similar cu proiectarea holarhiei pentru modelarea geometriei au rezultat asemănări între cele două precum urmează:

În ceea ce privește mediul, percepția, controlul și convențiile sociale cele două holarhii se aseamăna. De asemenea caracteristica de a negocia, dar nu de a licita se aseamăna în abordarea prezentată.

Singura deosebire între cele două arhitecturi holonice este dată de caracteristica care descrie interesele proprii și cele comunitare. Dacă la modelarea geometrică, holarhiile acționau într-o primă fază în interes personal, în mod “egoist”, la modelarea geometrică, atât în interiorul holarhiilor locale cât și între ele, există doar interese comunitare. Această caracteristică este dată de problematica poziționării unui holon care este dependent de holonii vecini.

Intrucat algoritmul de calcul al traiectoriei setului marimilor de stare in functie de caracteristicile taskului ce trebuie executat, necesita cunoasterea profilului muchiei taietoare a cutitului, s-a dezvoltat o aplicatie software de vedere artificiala, folosind algoritmul de modelare holonica anterior prezentat 1, capabila sa recunoasca profilul muchiei taietoare.

3.1.4 Modelarea holonică aplicată la procesarea imaginii.

3.1.4.1 Prezentarea problemei

Se propune o nouă abordare pentru procedura de investigare bazată pe vedere artificială cu scopul de a identifica imaginea reprezentată de un cuțit de strung. Se

urmărește identificarea profilului muchiei tăietoare din imagine, prin parcurgerea a doua etape: (i) împărțirea imaginii în regiuni omogene, (ii) urmărirea cu atenție a limitei fiecărui obiect, bazându-se pe proprietăți geometrice descrise de un limbaj specific și (iii) măsurarea acestora. Pentru identificarea profilului muchiei tăietoare trebuie să identificăm scula introdusă, profilul corpului cuțitului și apoi, identificarea punctelor care definesc profilul. Aplicații referitoare la mașini unelte dotate cu vedere artificială în scopul de a măsura scule au fost de un interes major în comunitatea de cercetători în anii recentți. Câteva soluții au fost propuse, ca de exemplu descriptorii geometrici, informație necesară pentru a face clasificarea sau metoda de detecție a muchiei bazată pe invarianța momentului.

Majoritatea cercetătorilor foloseau tehnicile cunoscute și algoritmi din domeniul vederii artificiale. În timp ce alte tehnici de vedere artificială au ca scop doar măsurarea profilului tăietor, în cazul nostru, avem nevoie să identificăm diferite componente ale scenei.

Segmentarea, definind acțiunea procesului de grupare în care componenta unui grup este similară în privința anumitor caracteristici cu alta, este o parte importantă a procesării imaginii. Granițele care formează o imagine reprezintă un nivel înalt de reprezentare a scenei, prin însumarea suprafețelor, care au aceleași proprietăți, conectate în "regiuni". Scopul este ca regiunile găsite să corespundă obiectului real. În timp ce criteriul pentru majoritatea algoritmilor propuși în literatură este culoarea sau intensitatea, se propun anumite condiții pe lângă culoare, specifice problematicii identificării sculelor, definite printr-un limbaj "ambiguu". În ultimii zece ani, cercetători au dezvoltat numeroși algoritmi pentru segmentare cum ar fi: câmpul aleatoriu Markov, presegmentarea și reprezentarea ierarhică sau Image Foresting Transform. Algoritmii propuși folosesc conceptul holonic pentru a atinge aceste scopuri.

Diferența dintre holoni și agenți este reprezentată de caracteristicile adiționale ale holonilor în comparație cu agenții - recurența în definirea holarhiilor. În acest sens, un holon este format din câțiva holoni subordonați, care pot fi formați din alți holoni subordonați.

Sunt câteva caracteristici ale holonului care definesc capacitatea de interacțiune: sunt autonomi holonilor subordonați, sunt dependenți holonilor de nivel mai înalt și acționează în coordonare cu alți holoni de același nivel. Permeabilitatea dintre holoni este limitată de relațiile dintre ei, de exemplu, considerând modelul de societate descris de Koestler, celulele construiesc țesutul unui organ (o holarhie de celule), nu interacționează cu alt organ (holarhie de țesuturi).

Considerăm că folosirea inteligenței distributive holonice in domeniul vederii artificiale aplicate la masinile unelte este un pas important spre dezvoltarea algoritmilor de performanță înaltă.

3.1.4.2 Modelarea holonică a geometriei

Se propune o abordare holonică, unde identificarea obiectelor din scenă este efectuată prin identificarea regiunilor de bază (identificare culorilor de bază), îmbinând regiuni mai largi pentru a realiza descrierea geometrică.

Precizând interacțiunile dintre componentele de imagine și formulând cerințe pentru holonii care caută obiecte, cu ajutorul unui limbaj specific pentru aceasta problemă, se realizează procesarea imaginii. Deși în abordarea prezentă are in vedere identificarea unei scene formată din cuțitul de strung, tehnica de vedere artificială bazată pe modelarea holonică poate fi utilizată cu succes la orice aplicație în care scena este compusă din mai multe obiecte.

Cercetarea prezentată are în vedere problema recunoașterii scenei pentru a identifica profilele muchiei tăietoare și a port cuțitului. Avem nevoie să identificăm profilele de scule necunoscute, fără ajutorul operatorului, construind un *sistem de măsurare fără intervenția operatorului*. În Fig.3.12 este descrisă problema de identificare a profilului muchiei tăietoare. Algoritmul de conducere propus presupune cunoașterea punctelor care descriu profilul muchiei tăietoare. Algoritmul de optimizare implică cunoașterea exactă a poziției descrise de profilul muchiei tăietoare pentru a realiza procesul de prelucrare, folosind gradul de libertate suplimentar, reprezentat de modulul hardware de rotație a sculei.

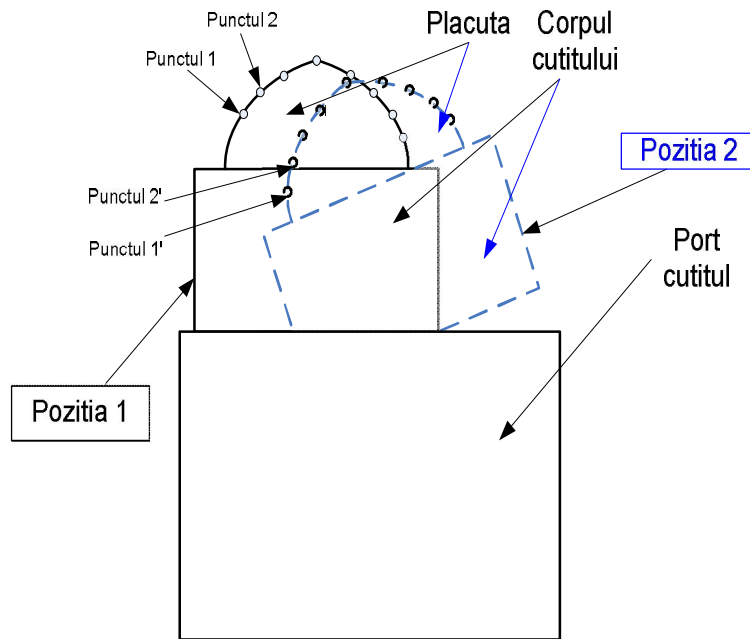


Fig.3.12 Problema de identificare a profilului

Un dezavantaj care apare în practică este că fiecare montare a cuțitului pe mașina va implica erori de poziționare. Prima problema de rezolvat, identificarea punctelor care descriu profilul muchiei tăietoare este o necesitate pentru arhitectura de control propusă pentru strungul reconfigurabil. În al doilea rând, este nevoie să identificăm profilul port cuțitului pentru a rezolva problemele de coliziune. Plăcuța este descrisă prin poziția exactă a punctelor de pe profilul său. Prin urmare, trebuie să cunoaștem poziția exactă a punctelor în noua poziție (de exemplu, să identificăm care dintre punctele profilului în noua poziție este punctul '1'), nu numai profilul descris.

Poziția punctelor importante nu poate fi determinată ca o eroare de translație, căci este determinată și de eroarea de rotație. Rezultă că, folosind doar algoritmul de detecție al conturului în cazul unei scene necunoscute, nu se poate identifica scena.

Poziția 1, descrisă cu negru, așa cum se prezintă în Fig.3.12 descrie poziția ideală și punctele 1,2,3...n care o descriu. A doua poziție reprezintă poziția reală a cuțitului cu erorile de poziționare și punctele 1,2,3...n. Punctele trebuie identificate, în ordine succesivă și coordonatele trebuie să fie calculate în raport cu punctul de referință al camerei, care este cunoscut. În plus, coordonatele punctelor în sistemul de referință al mașinii sunt calculate față de coordonatele de referință ale camerei și coordonatele port sculei (aceasta este ieșirea de la senzorii pentru axele X și Z).

Pentru a identifica punctele importante de pe profilul plăcuței și de pe cel al portului cuțit este necesar să identificăm obiectele din scenă.

Recunoașterea obiectelor este o cerință fundamentală a mașinii cu vedere artificială, ceea ce se rezumă la următoarea situație: se scanează o scenă, se extrag caracteristici și acestea sunt folosite pentru a afirma dacă anumite obiecte sunt prezente în scena și care sunt pozițiile lor exacte.

Localizarea presupune că identitatea obiectului este cunoscută. O cerință și mai dificilă este identificarea, unde informația despre obiect este reprezentată de o anumită formă. Cerința de identificare este de a descoperi atât forma cât și poziția obiectului țintă. Dacă obiectele sunt identificate cu anumite culori și/ sau intensitate, obiectele sunt ușor de identificat. În cazul nostru, sunt diferite tipuri de cuțit și plăcută iar problema, din punct de vedere al algoritmului de vedere artificială constă în faptul că există o varietate de culori și configurații geometrice posibile. Așa cum se observă în Fig.3.13, scena este compusă dintr-o arie variată de culori și, în practică se întâlnește situația în care sculele se murdăresc cu lichidul de răcire, prezentând suprafețe murdare, plăcuta se modifică în timpul condițiilor grele de lucru, etc. Scopul este de a identifica profilul plăcuței, de a măsura profilul, de a identifica poziția relativă în scena, apoi de a identifica portul cuțit și de a măsura profilul său.



Fig.3.13 Scena cuțitului

Ca o consecință, este o provocare construirea unui sistem de măsurare fără ajutorul operatorului în condițiile descrise mai sus. O problemă care decurge

este cea a descrierii scenei pentru a identifica obiectele. Tradițional, scopul este de a stabili "corespondența" dintre diferite imagini ale aceleași scene, pentru a determina care regiune corespunde imaginii sau regiune în alta imagine, pentru a identifica obiecte diferite din scenă. Aceste puncte corespondente sau regiuni sunt apoi utilizate pentru a identifica poziția. În mod frecvent, pentru a identifica obiectele, algoritmul începe scanarea de la primul pixel al primei coloane și se continuă scanarea pentru toate rândurile pentru a detecta conturul profilului.

Conform abordării prezente, holonii sunt plasați la întâmplare în scenă și prima lor sarcină (scop individual) este de a determina obiectele cu aceleași caracteristici de culoare.

Procesul de identificare geometrică constă din două stadii:

i) identificarea regiunilor și ii) unirea regiunilor și construirea obiectelor.

În timpul stadiului de identificare a regiunilor, holonii scanează imaginea începând cu poziția lor curentă, până ce ei ocupă aria de aceeași culoare din jurul poziției inițiale. În al doilea stadiu, holonii negociază pentru a forma noi holoni (care ocupă obiectele de căutat), ghidându-se pentru identificarea scenei de un limbaj "ambiguu". Limbajul care descrie scena folosește informații relevante, la fel cum percepția umană prelucrează și reține informația vizuală.

Algoritmul de potrivire geometrică extrage caracteristicile geometrice din limbajul care descrie scena, prin organizarea și stocarea acestor caracteristici și legăturile spațiale dintre aceste trăsături, într-o manieră care facilitează căutarea rapidă în faza de scanare a imaginii.

De exemplu, scena noastră poate fi descrisă ca fiind compusă din două obiecte, unul cu o formă triunghiulară sau rectangulară și al doilea obiect cu o arie mai mare decât primul, de o formă cvasi-rectangulară. Așa cum se prezintă în Fig.3.8, algoritmul a identificat două obiecte descrise de limbaj. Conturul estompat este imaginea rezultată iar contururile regiunilor sunt desenate cu linii negre. În cazul testat, este simplu de descris o unealtă de tăiat ca fiind împărțită în plăcuță și portul cuțit.

În Fig.3.14 sunt prezentați pașii de bază ce trebuie urmăriți pentru identificarea scenei, în acord cu abordarea holonice propusă. Prin urmare, holonii

selectează regiuni (situația scenei este descrisă în Fig.3.15), apoi aceștia negociază unificarea cu vecinii lor, și acceptă unificarea dacă sunt de acord holonii parteneri. După aceea, regiuni care nu aparțin niciunui holon (ariile reprezentate cu diferite culori semnificative și de mărimi considerabil mici) sunt înglobate în holonii existenți. Pasul final este de a identifica obiectele și de a le măsura. În Fig.3.15 este prezentat pasul intermediar de ocupare a regiunilor de către holoni. Holonul 42 și 6 ocupa regiunile cu aceleași caracteristici de culoare și vor forma un nou holon, holonul numărul 264 (prezentat în Fig.3.15), reprezentând o arie cu aceleași caracteristici. Holonul 31, alături de alți holoni vor forma un nou holon, "holonul din regiunea roșie". Alți holoni, ca de exemplu holonul numărul 77 scanează imaginea pentru a ocupa alte regiuni. Așa cum se prezintă în Fig.3.14, în primul stadiu holonii scanează imaginea și identifică regiuni.

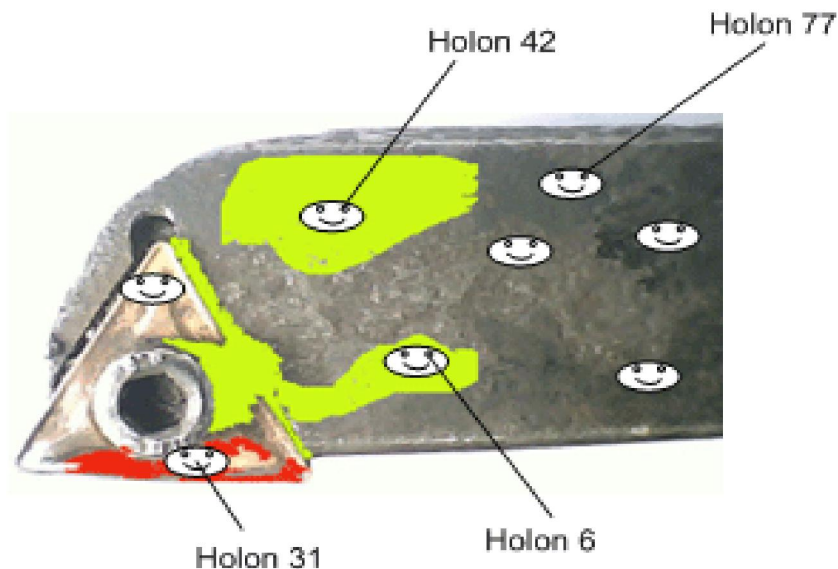


Fig. 3.14. Holonii care au ocupat regiuni (cu galben).

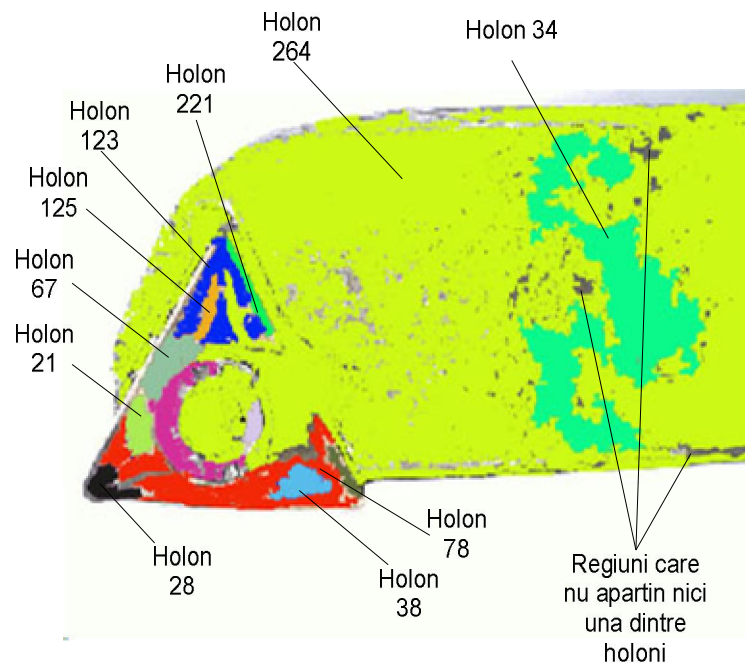


Fig. 3.15 Regiunile ocupate de holoni după prima etapă.

Ariile galbene, verzi, roșii, albastre, etc. sunt regiuni identificate de holoni și în continuare, când ne referim la o regiune folosim numele holonului care ocupa. Un pas intermediar este de a completa două stadii, cum ar fi regiuni care nu aparțin niciunui holon. Aceste regiuni sunt acele regiuni cu o variație considerabilă de culoare, de arii considerabil mici.

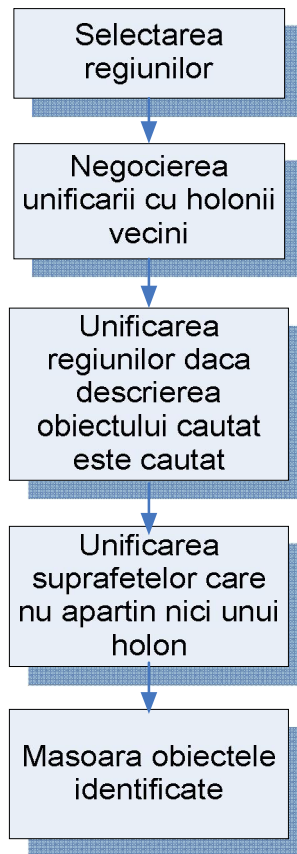


Fig.3.16 Algoritmul conceptul folosind abordarea holonică

Regiunile vor fi subiect de negociere între holonii vecini și urmează să fie incluse în regiunea proprie. În al doilea stadiu, holonii negociază cu toți vecinii lor pentru a forma un nou holon, reprezentând obiectul identificat (plăcuța sau port cuțitul). Precum se prezintă în Fig. 3.15, trei holoni vecini negociază și ajung la concluzia că, prin unificare lor va rezulta un nou holon (holonul 221) care este un obiect de căutat. Este de observat că procesul de negociere este efectuat doar între holonii vecinii și nu între toți holonii. După formarea noului holon, se va continua negocierea cu alți holoni vecini. Holonii au un scop comun ca grup: de a împărți scena în obiecte identificabile, plăcuța și portul cuțit.

Holonii vor lucra în anumite condiții care precizează descrierea geometrică (scopul comun), identificarea regiunilor cu aceleași caracteristici de culoare (scop individual). Pentru a calcula mai bine posibilitatea de unificare a holonilor, este necesar de a asocia obiectele posibile căutate cu fiecare alternativă posibilă.

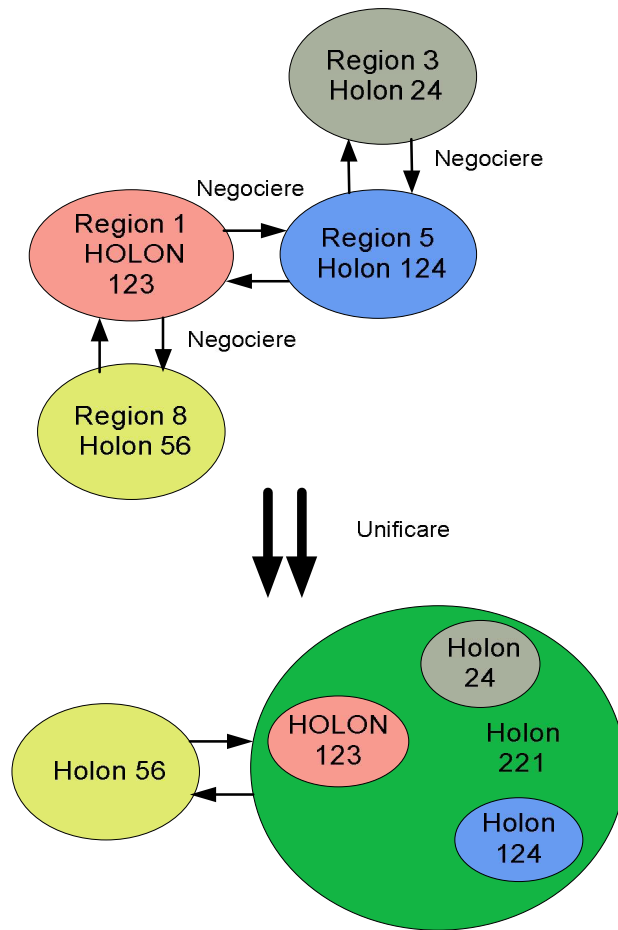


Fig.3.17 Negociere inter-holonică pentru a forma un nou holon.

Un holon ia în calcul aceste alternative, cu scopul de a decide fie dacă acceptă propunerea de "unire" sau nu. Negocierea este compusă din câteva mici negocieri unde caracteristicile geometrice sunt discutate individual.

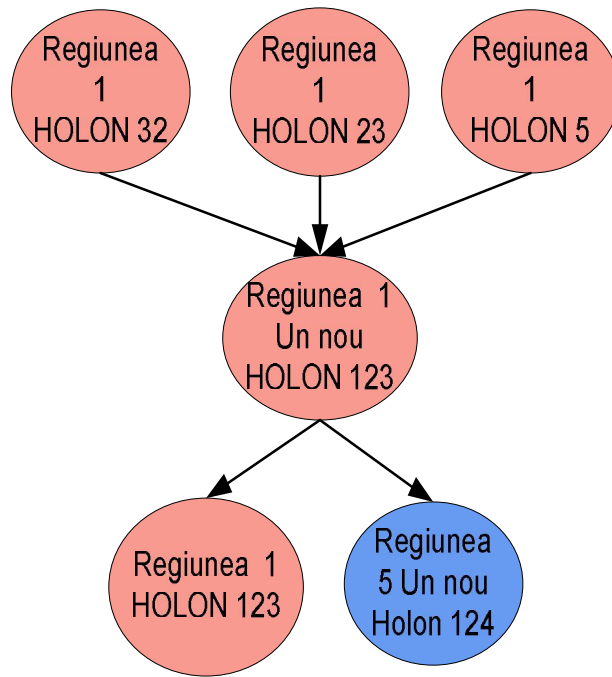


Fig.3.18 Recurența holonică.

Holonii au câteva obiective, cum ar fi minimizarea numărului regiunilor din scena și de a ajunge la descrierea geometrică cea mai bună posibilă. Este de remarcat că, în cazul de față sunt două nivele de holarhii, unul este reprezentat de holonii cu regiuni de culoare, alcătuit din holoni care ocupă zone cu aceeași culoare, și al doilea nivel este reprezentat de holonii obiect, compuși din holoni ce ocupă câteva regiuni (de culori diferite) și care formează obiectele căutate. Al treilea holon este holonul unealtă, alcătuit din doi holoni: holonul cuțit și holonul port cuțit. Importanța recurenței holarhiei este evidentă în al doilea stadiu. Sunt două situații de luat în calcul: doi sau mai mulți holoni sunt în aceeași zonă a unui obiect când discută posibilitatea de "unire" și vor forma un nou holon (compus din câțiva holoni), cu scopul comun de a identifica regiunea, și al doilea, holonii observă că există zone care nu aparțin niciunui holon, ceea ce presupune că un holon va "da naștere" altui holon, pentru a ocupa acea zonă.

În Fig.3.18 este prezentată schița recurenței holarhiei, cum trei holoni se unesc într-unul singur, negociază și consideră că zonele formate de ei vor forma obiectul căutat. Relativ la alte situații, un holon se poate divide în doi holoni, dacă nu este nicio zonă vecină aparținând vreunui holon. Așa cum am prezentat mai sus, permeabilitatea unor holarhii este limitată. De exemplu, un "holon de regiune

roșie" nu va fi capabil să facă parte din "holarhia albastră", dar "holarhia albastră" și "holarhia roșie", alături de alte holarhii, formează " holarhia plăcuței".

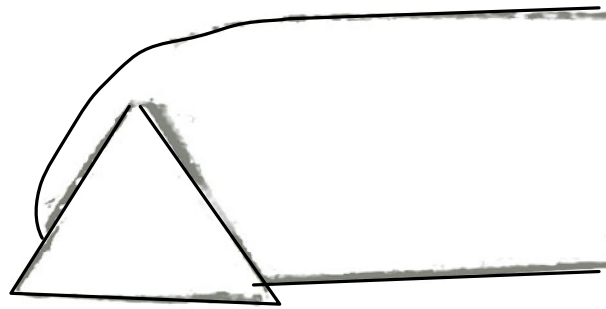


Fig.3.19 Două obiecte identificate prin descrierea geometrică.

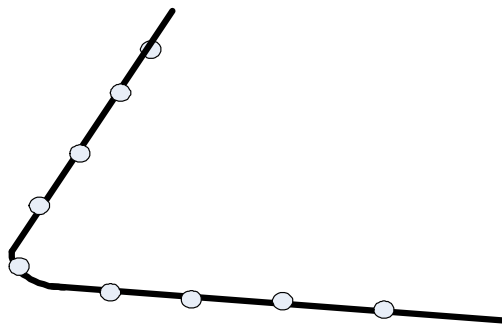


Fig.3.20 Punctele remarcabile de pe profilul plăcuței

În Fig.3.19 sunt prezentate obiectele identificate, plăcuța și port cuțitul. Punctele sunt identificate cu succes pe profilul cuțitului folosind conceptul de inteligență distributivă holonică, așa cum se arată în Fig.3.20. Punctele de pe cuțit sunt folosite pentru a compara profilul anterior (dacă nu este prima dată când se face identificarea sculei) și se determină uzura sculei cat si eroare de pozitionare. Rezultatele abordării propuse pentru identificarea scenei, fără a fi necesara intervenția operatorului au arătat că algoritmul propus este efectiv pentru măsurarea neasistată de operator.

3.1.4.3 Proiectarea holarhiei

În continuare, se descrie constituția și proiectarea holarhiei, luând în considerare următoarele idei cheie:

Limbajul care descrie scena de căutat

Limbajul care descrie scena este reprezentat de descrierea scenei printr-o ontologie specifică. De exemplu, în comunitatea umană cerem informații cu privire

la găsirea unui anumit obiectiv dintr-un oraș, interlocutorul va da informații ambigue, dar îndeajuns pentru a ne atinge ținta. Interlocutorul nu ne va indica exact, să continuăm drumul încă 40 metri apoi, la prima intersecție să virăm la stânga, apoi în 500 de metri ajungem la obiectiv. Răspunsul este ambiguu, de exemplu: „Mergeți până la prima intersecție, apoi virați la stânga la intersecția cu semafor și veți observa o clădire înaltă, în față se afla 2 muzee. Nu știu exact care este muzeul de științele naturii din cele două, dar muzeul pe care îl căutați are o statuie cu un elefant în față”. În acest sens, folosind inteligența distribuită putem descrie o scenă în mod ambiguu, la fel cum noi, oamenii ne exprimăm. Deși informațiile sunt ambigue, nu sunt exacte, ne este de ajuns interpretând mediul să găsim ținta noastră. De fapt, asociem niște caracteristici unei scene și le căutam: “clădire înaltă”, “prima intersecție cu semafor”, “muzeul cu o statuie elefant în față”, sunt informațiile care ghidează în identificarea “scenei” și găsirea țintei.

Limbajul ambiguu de descriere a scenei este o încercare de a emula limbajul natural și de a genera descrierea unei scene statice. De notat este că sistemul nu cunoaște în momentul evaluării scena, și nu a mai analizat-o (nu a mai văzut-o) și a extras informații. Spre deosebire de sistemele cu rețele neuronale, unde sistemul este antrenat să recunoască anumite obiecte din scene, și apoi este testat în recunoașterea acestora, sistemul de vedere artificială propus este capabil să recunoască obiecte din scenă fără un antrenament anterior. Nu este un limbaj care și extrage informațiile dintr-o scenă și apoi recunoaște un anumit obiect, este un limbaj care descrie informațiile în mod ambiguu. Pentru aplicația prezentă limbajul descrie numai scene 2D. Limbajul are în vedere diferite informații care descriu scena așa cum se descrie mai jos:

Culoarea

De cele mai multe ori, un anumit obiect din scenă este descris de o gamă de culori bine determinată. În schimb, sunt cazuri când această informație nu este de ajuns pentru a identifica scena. De asemenea, în cazul unor iluminări de intensitate și colorație variabilă, descrierea culorii nu este un indicator care scade din

rezultate. În cazul limbajului propus, instrucțiunea care definește culoarea obiectului descris este precum urmează:

Object1.Colour=(Interval culoare Roșu,Interval culoare Verde, Interval culoare albastru).

Ex. Object1.Colour=(123:234,23:45,56:89). Obiectul 1 are culoarea Roșu din triedrul RGB(Red, Green, Blue) in intervalul 123:234, Verde in intervalul 23 45 iar Albastru este situate in intervalul 56:89.

Forma

Limbajul propus permite doar reprezentarea 2D a scenei (Fig.5.10, Fig.5.11).

Funcția proprie pentru definirea restricției este Object.Forma (GeomErr-eroare g, restricție 1, restricție 2....)

GeomErr definește eroarea de formă și se exprimă în procente.

Restricție 1, restrictive 2, etc., definește restricții specifice fiecărei forme.

Ex: Object1.Triangle(GeomErr=20,RaphH<0.1) definește eroarea de forma de 20% și restricția ca raportul dintre latura mică și latura mare să nu fie mai mare de 0.1.

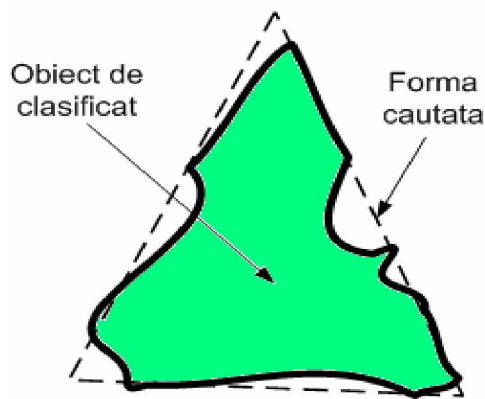


Fig.3.21 Obiectul de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

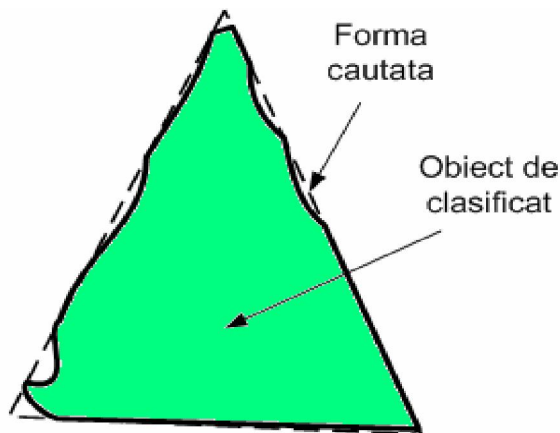


Fig.3.22 Obiectul de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

Poziție relativă

Pentru a descrie scena este necesar ca să se definească relația între diferite obiecte găsite. În acest sens limbajul are mai multe funcții. De exemplu, în Fig. 5.23.a se reprezintă o posibilă configurație de obiecte pentru a reprezenta un cuțit. În acest caz se va folosi indicația ON, pentru a descrie faptul că obiectul triunghi este peste obiectul dreptunghi.

În cazul al doilea, reprezentat la Fig. 5.23.b se va folosi funcția „near”.

Funcția „near”.

Această funcție descrie condiția de poziționare a două obiecte de a se afla în vecinătate.

Exemplu: Object1 near Object2(only Object1.h) – indică că obiectul 1 se află lângă obiectul 2, iar numai latura mică a obiectului 1 trebuie să fie în vecinătate cu obiectul 2.



Fig.3.23 Două configurații de cuțite descrise în limbajul specific

Relații de poziționare

Condiția suplimentară de relație între suprafețele obiectelor de căutat este o informație importantă care sporește eficacitatea căutării.

Aceasta se indică prin indicarea proprietăților obiectelor.

Exemplu: Object1.surface>Object2.Surface(0.5,0.2)

Ontologia limbajului:

Proprietățile obiectului sunt accesate prin intermediul operatorului punct .

ObjectToFind=2;Only.

Object1:Triangle(GeomErr=20,RaphH=0.1)

Object2: Rectangle(GeomErr=30)

Object1 near Object2 only Object1.h

Object1.surface>Object2.Surface(0.5,0.2)

Object1.colour<Object2.Colour(30)



Fig. 3.24 Scena de identificat

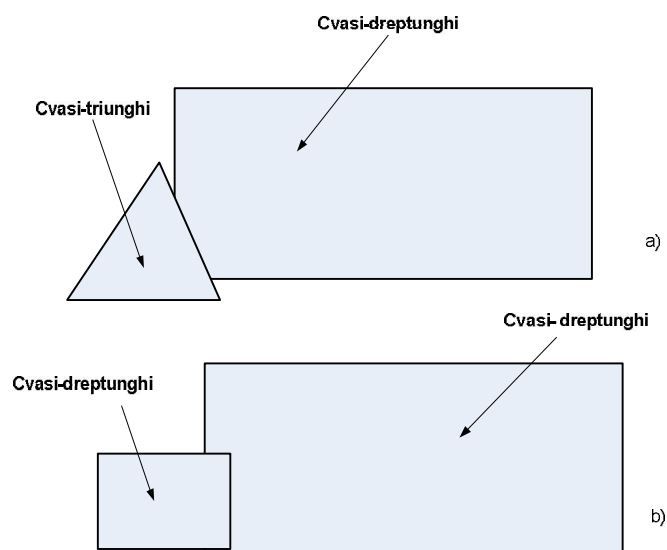


Fig.3.25 Reprezentarea ambiguă a scenei

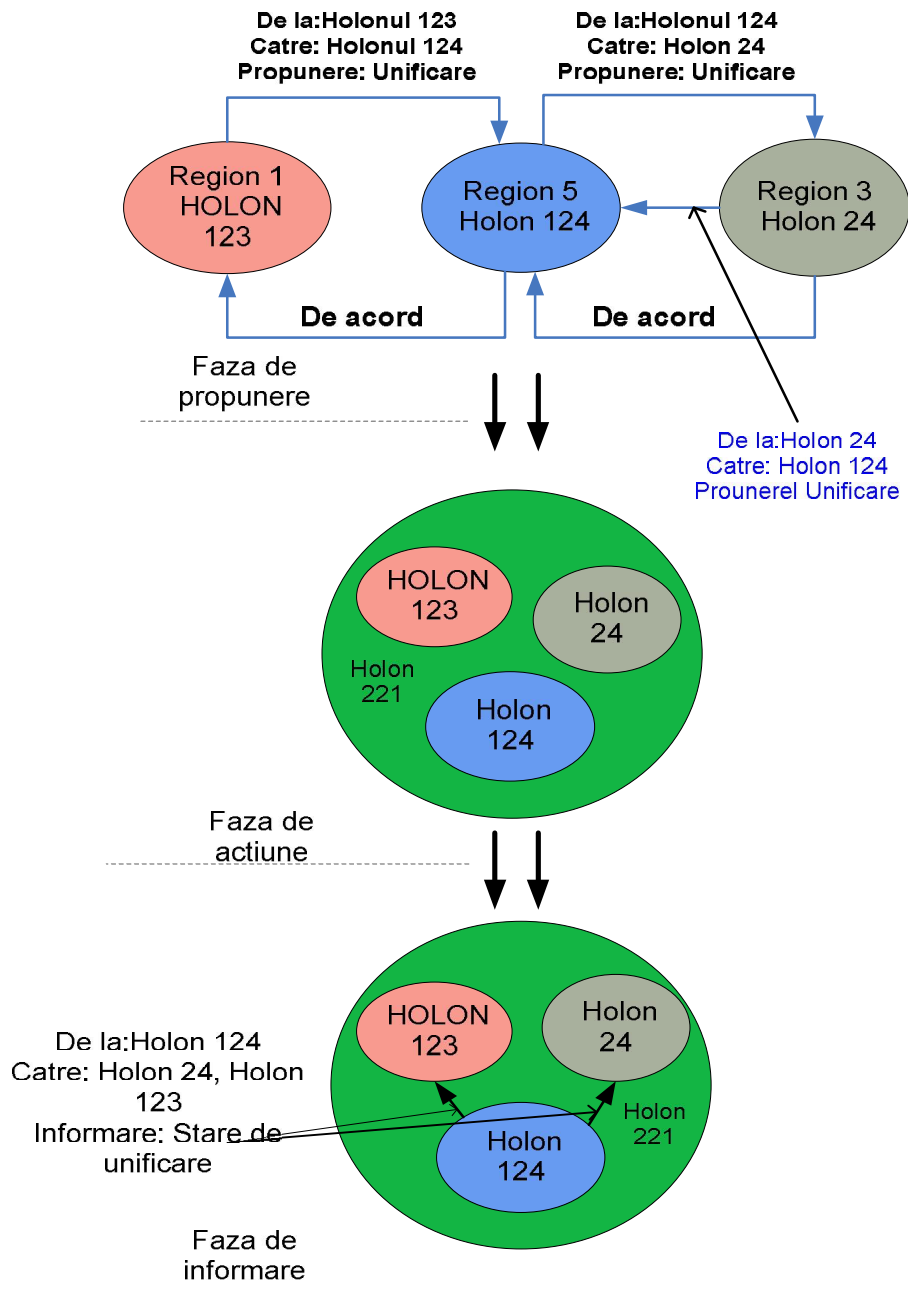


Fig. 3.26 Fazele constituirii holarhiei finale

Negocierea este un proces prin care o decizie este luată de doi sau mai mulți holoni, fiecare încercând să atingă un scop individual sau comun. Holonii comunică propuneri, care pot să intre în conflict sau să se interfereze, și apoi încearcă să ajungă la o alternativă acceptată.

De subliniat este că nu toți holonii din holarhie trebuie să fie de acord să accepte un alt holon. Prin urmare, un holon poate să decidă singur dacă acceptă să

include în holarhie, fără să propună asta restului holarhiei. Așa cum se vede în Fig.3.26, Holonul 124, în faza de propunere întreabă Holonul 24 să facă parte dintr-o nouă holarhie, fără să întrebe Holonul 123 despre acceptarea lui 24, deși în același timp, Holonul 123 este de asemenea întrebat dacă acceptă să fie parte din holarhie. În holarhia prezentată am folosit comunicația asincronă, ceea ce înseamnă că holonul care trimite propuneri continuă să raționeze și să acționeze, până când replica sosește la un timp decalat. În continuare se descriu caracteristicile fundamentale care caracterizează holarhia.

Mediu

O proprietate fundamentală care caracterizează “lumea”, din punctul de vedere a unui holon este mediul în care activează. Afirmăm că lumea este în totalitate observabilă pentru un holon, dacă acesta cunoaște starea lumii și parțial observabilă, dacă nu o cunoaște în totalitate.

Holonii se confruntă cu medii care pot fi statice sau dinamice (se schimbă în timpul acțiunilor holonilor). În abordarea noastră, mediul este dinamic, deoarece proprietatea unei suprafețe se schimbă de la un holon la altul (ca o consecință la formarea de noi holarhii).

Într-o holarhie, prezența mai multor holoni face ca mediul, din punct de vedere a unui holon să pară dinamic. Acest lucru poate cauza probleme, de exemplu în cazul unor holoni concurenți se poate observa o comportare instabilă. Din acest motiv concluzionăm că mediul scenei poate fi doar unul dinamic.

Percepția

Pentru a acționa în mod rațional, un holon trebuie să reflecte ceea ce cunoaște despre lumea înconjurătoare la momentul curent. Dacă starea lumii este total observabilă, un holon poate să gândească fără deliberare defensivă. Dacă starea lumii este parțial observabilă, holonul trebuie să ia în considerare ceea ce cunoaște, să comunice cu ceilalți holoni pentru a descoperi mediul în care acționează. Într-o holarhie, observabilitatea parțială forțează un holon să gândească interactiv, adică să ia în considerare informații trimise de ceilalți holoni în acțiunea curentă. Observabilitatea parțială poate să aibă consecințe variate în decizia holonilor. În abordarea noastră observabilitatea parțială descrie percepția unui holon.

Controlul

Ideea cheie a conceptului holonic este controlul descentralizat pentru a crea o robustețe la scenarii necunoscute. Ideea filozofică din spatele conceptului este că, dacă un holon a făcut o greșeală, rezultatul va fi ca unele dintre greșeli nu vor fi repetate de ceilalți din holarhie. “Pierderea” unui holon nu este importantă, orice holon poate să nască oricât de mulți holoni este nevoie. De asemenea, avantajul conceptului este că realitatea este văzută și încercată de mai multe entități, în același timp, comportarea holonului cere o soluție bună și universal acceptată, care va fi copiată, și mai mult, se va căuta o îmbunătățire a acesteia.

Convenții sociale

Pentru a rezolva o problema de coordonare, un grup de holoni se confruntă cu problema alegerii acțiunilor lor pentru a rezulta un echilibru. O convenție socială (sau lege socială) este o constrângere la posibilele acțiuni ale holonilor. Poate fi privită ca o regulă care dictează cum holonii ar trebui să își aleagă acțiunile pentru a atinge un echilibru. Observabilitatea parțială are consecințe deosebite asupra convențiilor sociale.

Aceasta este datorată faptului că fiecare holon trebuie să ia în considerare opinia celorlalți holoni în luarea deciziilor, care poate să crească complexitatea problemei în mod semnificativ.

Negociere, nu licitație

Holonii nu dialoghează doar schimbând mesaje singulare, ei schimbă propuneri pentru a face negocieri. În cazul holarhiei propuse, holonii negociază dar nu fac licitații. În comparație cu sistemele holonice clasice, holonii noștri nu fac licitații, pentru că fiecare holon ocupă o singură culoare iar teritoriul nu este un scop comun disputat.

Holoni cu interese proprii și holoni cu interese comunitare

Holarhia utilizată folosește caracteristica holonilor de interes propriu în etapa de maximizare a teritoriului ocupat. În etapa a doua, de negociere, de unire în noi holarhii, holonii devin interesați de scopul comun, adică au interese comune. În faza de unificare a suprafețelor care nu aparțin niciunui holon, de dimensiune mică,

ordonăm holonii lexicografic ca prioritate (holonul 1 are prioritate în fața holonului 2, și prin urmare unificarea noului teritoriu este făcută de holonul 1.

3.1.4.4 Concluzii

Utilizand o abordare clasică a identificării scenei unui cuțit de strung, folosind algoritmi clasici din vederea artificială nu se reușește să se efectueze identificarea pentru scule necunoscute, în condițiile unei scene în care există culori variate. O abordare holonică este propusă pentru identificarea obiectelor din scenă care este realizată prin identificarea regiunilor de bază (prin identificarea culorii de bază) care apoi sunt îmbinate în regiuni largi pentru a corespunde cu descrierea geometrică.

Precizarea interacțiunilor dintre componentele din imagine definite de cerințele urmărite de holoni, care caută obiecte, și alte trăsături asociate sunt realizate de un limbaj specific pentru această problemă specifică. Metoda propusă se dovedește a fi efectivă și potrivită pentru măsurarea fără ajutorul operatorului a plăcuței și a port - sculei. Abordarea propusă are, de asemenea, potențialul de a trata probleme de identificare a obiectelor din scenă pentru alte probleme din industrie. Câteva teme rămân de studiat pe viitor. În primul rând, o metodologie pentru a perfecționa limbajul de descriere a scenei pentru a identifica alte obiecte. În al doilea rând, din moment ce identificarea scenei este bazată pe o cameră staționară, este o provocare de a identifica un spațiu 3D folosind câteva camere. În al treilea rând, accentul trebuie pus pe dezvoltarea limbajului de inter-negociere dintre holoni pentru modelarea holonică a geometriei.

Activitatea 3.2: Dezvoltarea unui produs informatic destinat implementării algoritmului

3.2.1 Implementarea software

3.2.2 Experimentări și analiza rezultatelor obținute

3.2.3 Concluzii

3.2.1 Implementarea software

S-au realizat programele corespunzătoare celor două abordări, cea exhaustivă și cea holonică (Fig.3.27). În urma testelor, a rezultat un timp de până la 10 ori mai scurt pentru varianta holonică a abordării.

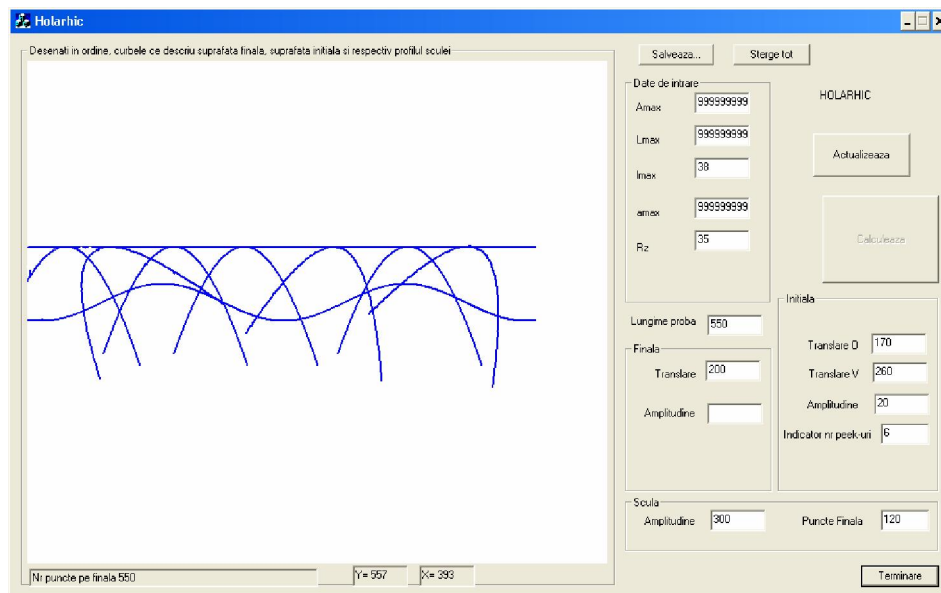


Fig.3.27 Interfața programului care realizează modelarea holoncică a cinematicii

În interfața program se stabilesc profilul final și cel inițial al semifabricatului, cât și parametrii sistemului. În Fig.3.28 se arată planificarea pentru profilurile date și parametrii următori:

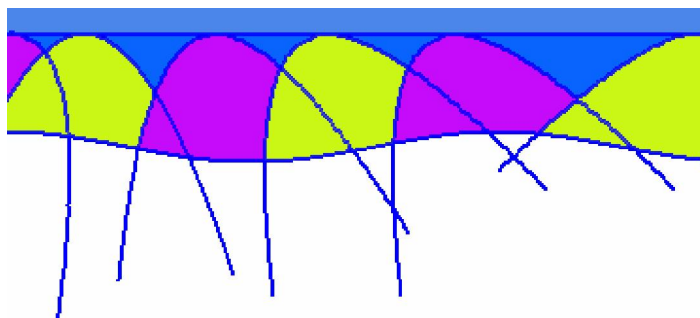
$$Rz \max = 35$$

$$l_{\max} = 180$$

$$L_{\max} = 350$$

$$A_{\max} = 90$$

Datele care rezultă din programe sunt variabilele de control cât și mărimile parametrilor măsurate la fiecare poziționare, așa cum se arată în Tab.4.1:



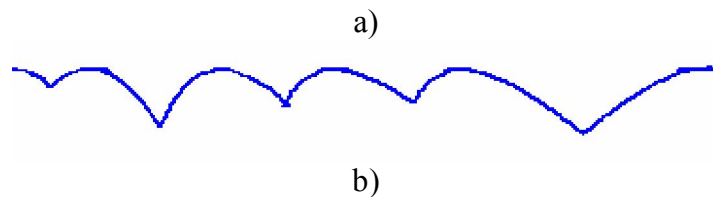


Fig.3.28. a) planificarea obținută; b) profilul rezultat

		i	i	oi	oi	i	i	4	i	i	zi	i
24	3	37	37	1	1	14		0				
09	3	34	00	42	93	14	763	2	0	5	5	0
7	8	46	00	94	30	4	792	2	00	9	5	7
1	9	82	00	56	38	6	794	2	3	9	1	0
8	0	30	00	00	38	6	789	2	6	6	0	2
5	8	78	00	26	30	4	776	2	3	9	0	3
3	5	30	00	8	14		755	2	5	3	0	2
5	4	8	00		93	14	796	2	2	2		4
	9	0	00		38	6	091	1	2	0	1	1

Tabelul 3.29 Datele de ieșire din softul dezvoltat

3.2.2 Experimentări și analiza rezultatelor obținute

Cazul 1. Testarea reactivității sistemului la modificarea comportării sistemului(Fig.3.30).

În funcție de lungimea maximă a zonei active a muchiei tăietoare, putem să constatăm instabilitatea sistemului și trebuie să acționăm în privința aducerii la un nivel acceptabil. Folosind unealta soft dezvoltată constatăm că, în cazul micșorării valorii

parametrului L_{max} a modelului, determinată de constatarea instabilității din sistem, variabilele de control sunt modificate în consecință. În figura de mai jos se observă cum sistemul reacționează surprins în trei situații succesive, cea reprezentată în Fig.3.30 a,b,c, prin modificarea variabilelor de control, care generează o altă planificare a procesului. În acest sens, observăm că, cu cât instabilitatea crește, sistemul reacționează rezultând odată cu modificarea planificării, micșorarea productivității.

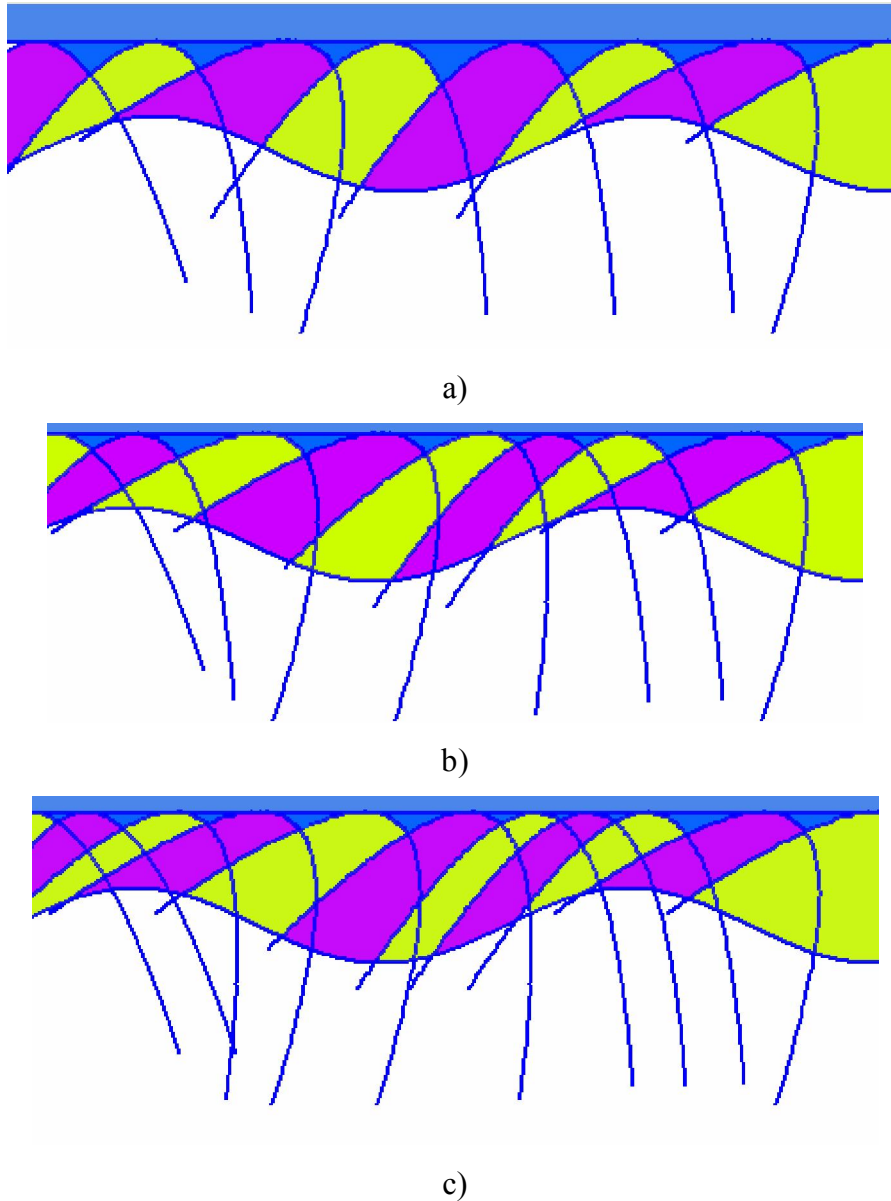
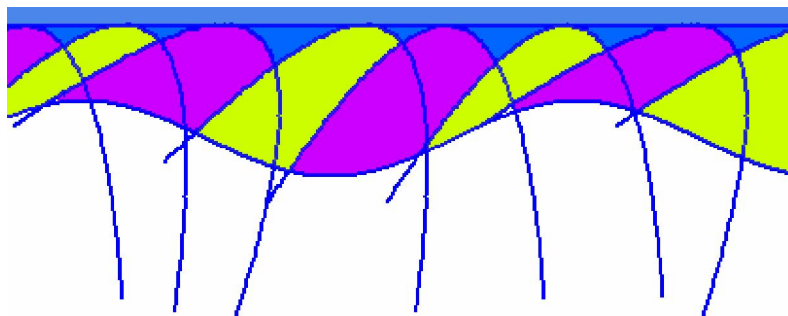


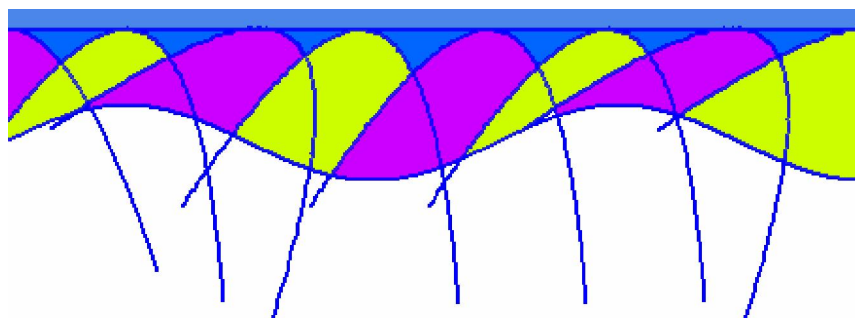
Fig.3.30 Testarea reactivității sistemului a) $L_{max} = 140$ - 8 poziții succesive,
 b) $L_{max} = 80$ - 9 poziții succesive c) $L_{max} = 75$ - 10 poziții succesive.

Cazul 2: Modificarea planificării în cazul varierii caracteristicilor definitorii ale semifabricatului. În Fig.3.31 se arată modificarea planificării de la un semifabricat la altul,

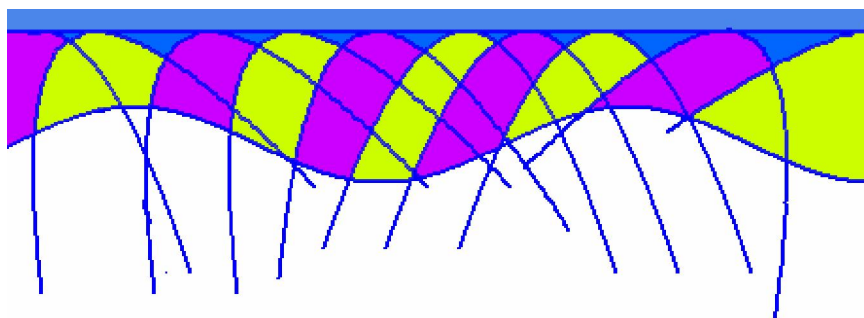
în cazul modificării cerințelor semifabricatului și anume, a rugozității maxime. Se observă că odată cu micșorarea rugozității maxime impuse, planificarea procesului se modifică pentru a respecta parametrul, în sensul măririi numărului de poziționări succesive în timp.



a)



b)



c)

Fig.3.31 Modificarea planificării în cazul varierii rugozității. a) $R_z = 39$ 8 poziții succesive, b) $R_z = 25$ 9 poziții succesive c) $R_z = 21$ 11 poziții succesive

Cazul 3. Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale

Așa cum se arată în Fig.3.32 a, în cazul folosirii arhitecturii de sistem propus, productivitatea mărită datorită existenței gradului suplimentar de libertate și controlului folosind nu doar una sau doua restricții. În fig.3.32 b, se arată cazul procesării cu un strung CNC, cu o arhitectură clasică, folosind sistemul de programare actual, în care parametrii tehnologici se aleg din tabele și practic au fost stabiliți la limita inferioară a valorilor restricțiilor.

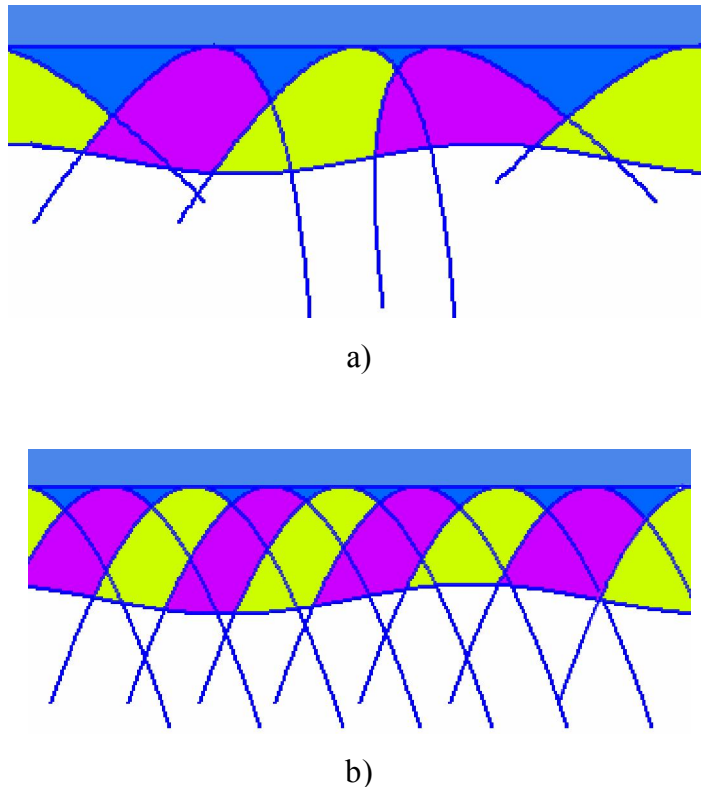
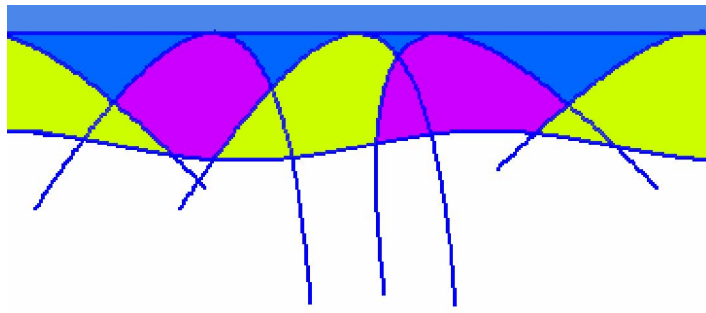


Fig.3.32 Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale a)

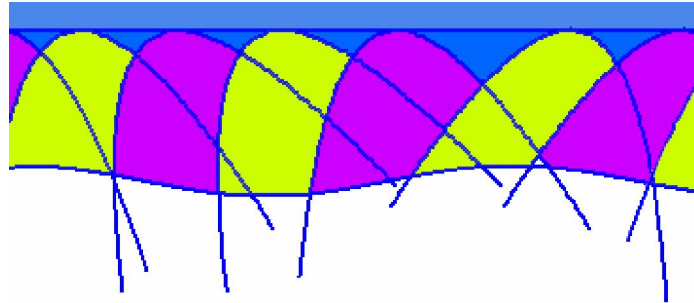
Rz= 35 cazul 5 poziționări succesive b) Rz=35 9 poziționări succesive

Cazul 4: În cazul modificării adaosului de prelucrare la procesarea unui semifabricat pentru 20 de unități diferența între mărimea adaos, cu aceleași valori ale parametrilor sistemului, se observă adaptabilitatea sistemului (Fig.3.33).

Dacă în cazul al doilea, restricțiile care au limitat poziționarea au fost lungimea așchii și aria așchii, datorate unui adaos de prelucrare mai mare, în primul caz, acestea nu au limitat poziționarea, singura restricție care a impus poziționarea a fost rugozitatea.



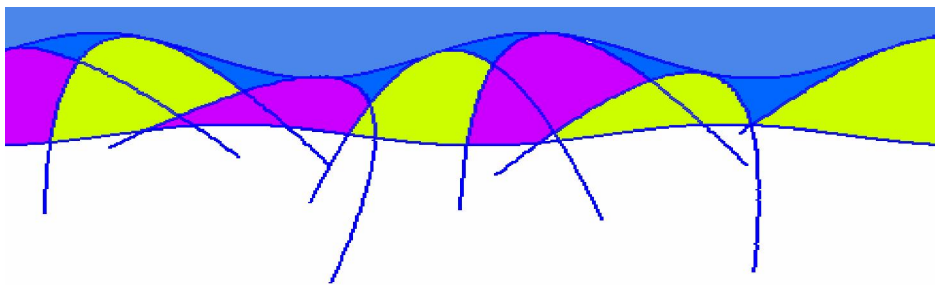
a)



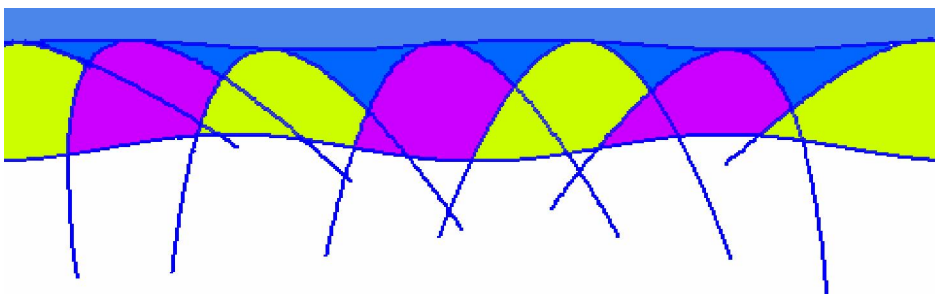
b)

Fig.3.33 Modificării adaosului de prelucrare: a) adaos de prelucrare 20; b) adaos de prelucrare 40.

Cazul 5 : Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, folosind ca intrare în produsul informatic aceleași valori ale parametrilor (Fig.3.34.). Se observă că sistemul este capabil să își modifice planificarea pentru a realiza profilul impus. Datorită dimensiunii muchiei tăietoare se observă în figura, c, cum la poziția 4, aceasta a determinat planificarea.



a)



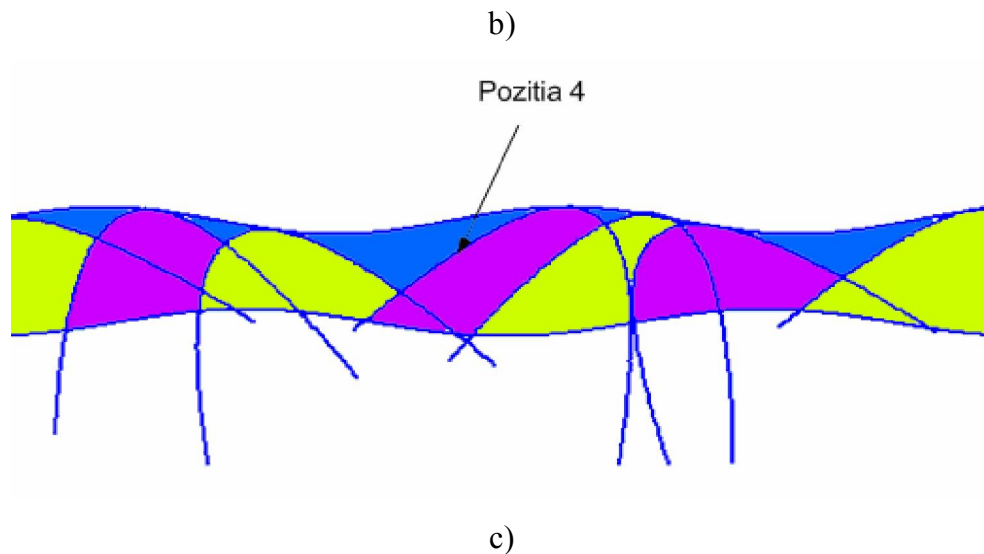
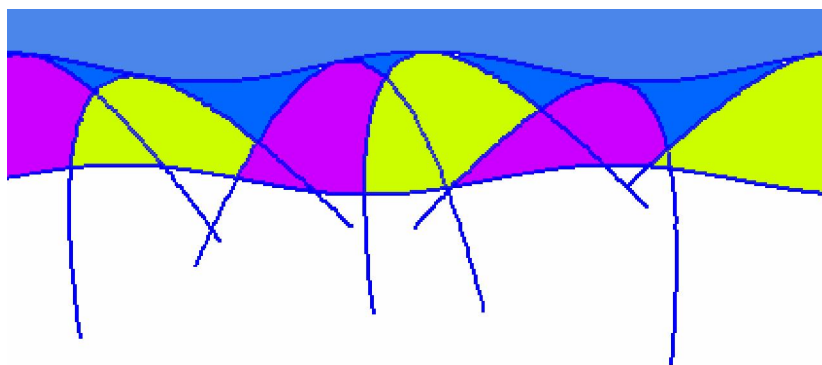
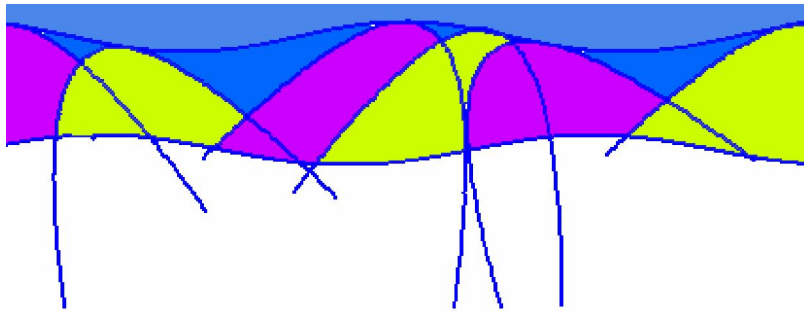


Fig.3.34. Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, a),b) și c) au profiluri ale suprafeței finale diferite

Cazul 6: Comparație între rezultatele obținute folosind varianta de modelarea holonică și căutarea exhaustivă (Fig.3.35).

Folosind aceiași parametri, cât și aceiași profiluri, observăm că există diferențe de planificare între cele două soluții. Bineînțeles, căutarea exhaustivă produce cele mai acurate rezultate, în sensul că productivitatea este maximizată, prin găsirea și încercarea tuturor pozițiilor posibile, în timp ce abordarea modelării holonice are o anumită rată de eșec în extremul funcției obiectiv. În urma experimentărilor a rezultat o rată de găsire a soluțiilor maximizate, cu până la maxim 10 % mai mică decât căutarea exhaustivă. Luând în considerare că, în același timp căutarea exhaustivă necesită un timp de procesare de până la 10 ori mai mare decât varianta holonică și, având în vedere că acest soft trebuie să controleze online procesul, considerăm că varianta holonică este cea mai potrivită pentru conducerea sistemului de prelucrare.





b)

Fig.3.35 Comparație între rezultatele obținute folosind varianta de modelarea holonică și căutarea exhaustivă. a) căutare exhaustivă; b) modelarea holonică.

3.2.3 Concluzii

În ceea ce privește modelarea holonică a cinematicii, avantajul vitezei de procesare pentru găsirea soluției față de căutarea exhaustivă arată puterea reprezentată de conceptul de inteligență distribuită.

Activitatea 3.3 Implementarea algoritmului în arhitectura sistemului de control a mașinii prototip

3.3.1 Construcția strungului reconfigurabil folosit pentru implementarea experimentală a conducerii bazate pe planificare reactivă și modelare holonică

3.3.2 Piesa de testare a sistemului de conducere bazat pe planificare reactivă

3.3.1 Construcția strungului reconfigurabil folosit pentru implementarea experimentală a conducerii bazate pe planificare reactivă și modelare holonică

Aplicația experimentală a conducerii bazate pe planificare reactivă și modelare holonică a urmărit atât realizarea constructivă a unui strung reconfigurabil, cât și materializarea conceptului de conducere bazată pe planificare reactivă. Ideea conceptuală a fost arhitectura hardware a strungului reconfigurabil care se prezintă în cele ce urmează.

Construcția și cinematica strungului universal reconfigurabil presupune ca prin reconfigurare să permită strunjirea suprafețelor profilate longitudinal interior sau exterior, profilate transversal interior sau exterior, a filetelor dispuse pe suprafețe profilate longitudinal, precum și detalonarea sculelor cum ar fi frezele cilindrice, frezele-melc cilindrice, frezele-melc globoidale, etc.

În literatura de specialitate și în practica industrială sunt cunoscute strungurile universale cu comandă numerică, strungurile cu comandă numerică pentru prelucrat suprafețe profilate transversal, strungurile de detalonat cu comandă numerică și strungurile revolver cu comandă numerică. Aceste tipuri de strunguri au următoarele *dezavantaje*:

- nici unul nu poate realiza prelucrarea tuturor tipurilor de suprafețe, ci doar o anumită categorie de suprafețe, ceea ce implică un nivel ridicat al capitalului investit;
- la strunjirea profilată longitudinal unghiurile κ și κ_1 se modifică de-a lungul profilului, ceea ce impune restricții în ceea ce privește forma profilelor ce pot fi strunjite în cursul unei faze de prelucrare date;
- la prelucrarea suprafețelor profilate transversal are loc o variație importantă a unghiurilor α și γ ale muchiei tăietoare, care limitează domeniul suprafețelor ce pot fi obținute;
- strungurile de detalonat nu permit realizarea unor suprafețe elicoidale dispuse pe suprafețe de revoluție profilate longitudinal și nici detalonarea dinților frezelor-melc ale căror muchii sunt dispuse pe astfel de suprafețe elicoidale. Spre exemplu nu se poate prelucra pe nici unul din strungurile cunoscute o freză melc globoidală;

- la strunjirea suprafețelor profilate longitudinal punctul generator al muchiei tăietoare se modifică funcție de panta profilului; de aceea se impune ca, la reascuțirea cuțitului, profilul muchiei tăietoare al sculei să nu se modifice, întrucât în caz contrar apar erori de generare.

Strungul universal reconfigurabil, *înlătură dezavantajele de mai sus prin aceea că*, în scopul de a putea strunji suprafețe profilate longitudinal sau profilate transversal, precum și suprafețele elicoidale dispuse pe acestea, și de a putea controla poziția muchiei tăietoare în raport cu suprafața prelucrată, se compune din patru module independente, controlate numeric, doua de rotație și doua de translație, care pot fi configurate, astfel încât să formeze un cadru la capetele căruia sunt piesa, respectiv scula. Corelarea pozițiilor celor patru module în cursul generării suprafeței, astfel încât parametrii geometrici ai acesteia și parametrii regimului de lucru să aibă valorile programate, este realizată de un *interpolator*, care este autoconfigurabil ca lege de interpolare și ca sistem de referință. Informația conținută în programul piesă este procesată de un *interpretor*, care este autoconfigurabil în funcție de poziția relativă a modulelor strungului, și care, în plus, *semnalează* coliziunile ce ar putea apărea în cursul executării programului piesă.

Strungul universal reconfigurabil are următoarele *avantaje*:

- are un grad ridicat de universalitate, care permite ca, folosind o unică mașină, să poată fi prelucrate toate tipurile de suprafețe de revoluție;

- la prelucrarea suprafețelor profilate longitudinal, inclusiv arbori în trepte, sania portcuțit poate orienta scula în raport cu suprafața prelucrată, astfel încât valorile funcționale ale unghiurilor κ și κ_1 să poată fi controlate după necesitate (de exemplu să fie menținute constante);

- la prelucrarea suprafețelor prelucrate transversal, sania portcuțit poate orienta scula în raport cu suprafața prelucrată, astfel încât valorile funcționale ale unghiurilor α și γ să poată fi controlate după necesitate;

- la prelucrarea suprafețelor de așezare ale sculelor detalonate, cele patru mișcări oferite de modulele care compun strungul pot fi corelate folosind un interpolator reconfigurabil, astfel încât să se controleze direcția de detalonare (axial, radial sau altă direcție), legea de detalonare (arhimedică, logaritmică sau altă lege), profilul suprafeței pe care este dispusă elicea dinților sculei (de exemplu circular, pentru o freză melc globoidală), profilul transversal al dinților sculei (de exemplu profilul evolventic al unei

freze-melc globoidale), precum și înclinația canalelor dinților sculei (eventual forma elicoidală a acestora);

- din cauză că poziția sculei în raport cu normala la profilul piesei în punctul curent poate fi menținută mereu aceeași, punctul generator al profilului nu se schimbă în timpul generării și de aceea nu se impune ca, la reascuțirea cuțitului, profilul muchiei tăietoare al sculei să nu se modifice, evitându-se astfel apariția unor erori de generare cauzate de imperfecțiunea profilului rezultat după reascuțire;

- la citirea programului piesă, interpretorul verifică, atât semantica și sintaxa, cât și posibilitatea de apariție a unei coliziuni în timpul executării programului piesă.

În cele ce urmează se va face o descriere detaliată în legătură cu figurile 6.1, 6.2, și 6.3 care reprezintă:

- Fig.3.36- Strungul configurat pentru strunjirea, filetarea și detalonarea profilelor longitudinale;
- Fig.3.37 Strungul configurat pentru strunjirea profilelor transversale;
- Fig.3.38 Poziționarea sculei cu vârful în centrul de rotație al ansamblului rotativ portcuțit.

Strungul universal reconfigurabil este compus din patru module independente, controlate numeric, având fiecare senzori de poziție și motoare de acționare independente. Aceste module sunt: universalul, sania longitudinală, sania transversală, masa rotativă.

Operațiile ce pot fi executate cu ajutorul acestui nou tip de strung sunt:

- strunjirea suprafețelor profilate longitudinal, sau frontal, exterioare sau interioare;
- filetarea suprafețelor profilate longitudinal sau frontal, exterioare sau interioare;
- detalonarea dinților dispuși pe suprafețe profilate longitudinal sau frontal.
- strunjirea suprafețelor prelucrate transversal, exterioare sau interioare;
- filetarea suprafețelor prelucrate transversal, exterioare sau interioare.

Strungul universal reconfigurabil, configurat pentru strunjirea și detalonarea profilelor longitudinale (Fig.3.36) este alcătuit din partea fixă a strungului 1, universalul 2, piesa de prelucrat 3, cuțitul de strung 4, portcuțitul 5, ghidajul saniei longitudinale 6, masa rotativă 7, sania transversală 8, ghidajul saniei transversale 9. În timpul prelucrării suprafețelor profilate longitudinal, prin rotirea mesei rotative 7, cuțitul de strung va avea poziția controlată astfel încât unghiurile κ și κ_1 să fie constante.

Atribuind portcuțitului o mișcare de rotație în jurul unei axe perpendiculare pe axa piesei se dă posibilitatea orientării sculei după direcția de detalonare, iar prin interpolarea deplasărilor după axele x și z ale cuțitului și corelarea acestora cu rotația piesei se poate realiza detalonarea unor freze-melc profilate longitudinal (de exemplu detalonarea unei freze-melc globoidale).

Strungul universal reconfigurabil, configurat pentru strunjirea și filetarea suprafețelor profilate transversal, Fig.3.37, este alcătuit din partea fixa a strungului 1, universalul 2, piesa de prelucrat 3, cuțitul de strung 4, portcuțitul 5, ghidajul saniei longitudinale 6, masa rotativa 7, sania transversală 8, ghidajul saniei transversale 9. Prin montarea mesei rotative 7 cu axa acesteia paralelă cu axa de rotație a semifabricatului de prelucrat, având vârful tăietor al cuțitului pe axa de rotație al mesei rotative, se pot prelucra suprafețe de revoluție poliexcentrice, precum și suprafețe profilate cum ar fi camele.

Prin poziționarea vârfului cuțitului de strung pe axa de rotație a mesei rotative 7, Fig.3.38, axa de rotație a mesei rotative , 11, fiind paralelă în plan orizontal cu axa de rotație a semifabricatului 10, se elimină necesitatea deplasării pe verticală a cuțitului.

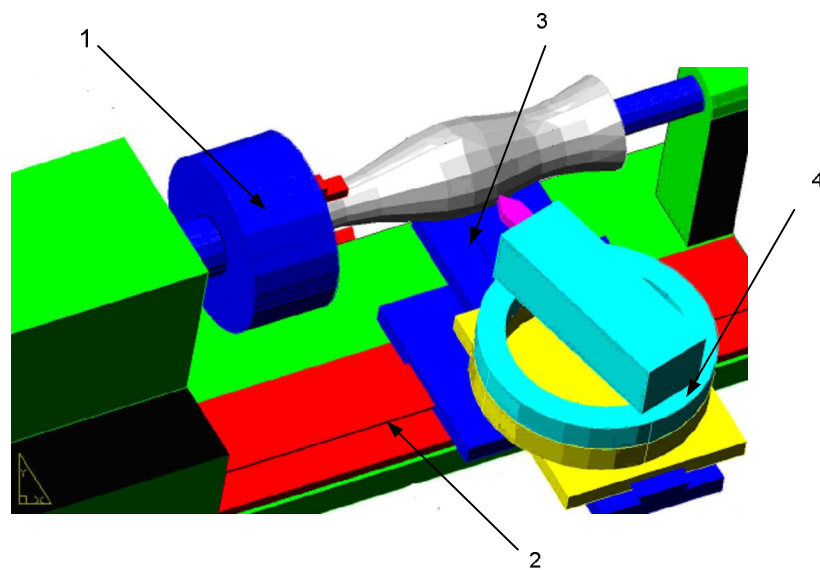


Fig. 3.36 Configurarea strungului pentru prelucrarea unor suprafețe profilate longitudinal:

- 1- modulul de rotație a piesei ;2- modulul de translare longitudinală; 3- modulul de translare transversală; 4 - rotația cuțitului în plan orizontal

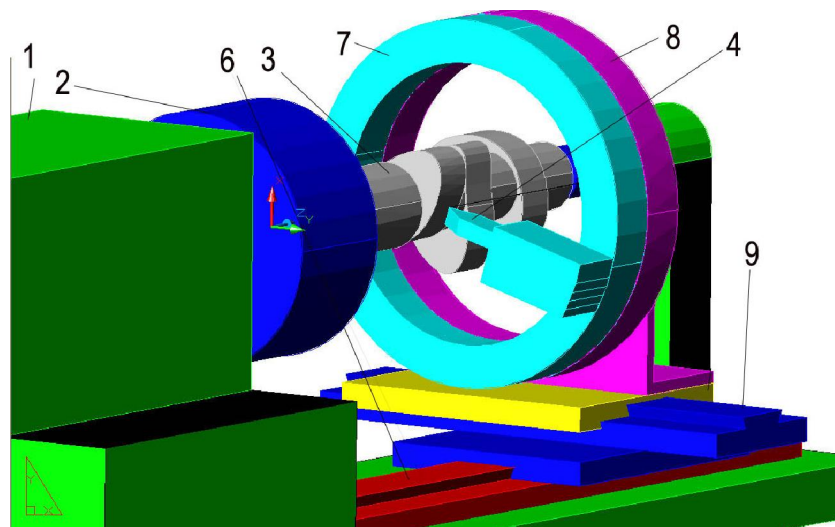


Fig.3.37 Configurarea strungului în vederea prelucrării unei suprafețe profilate transversal

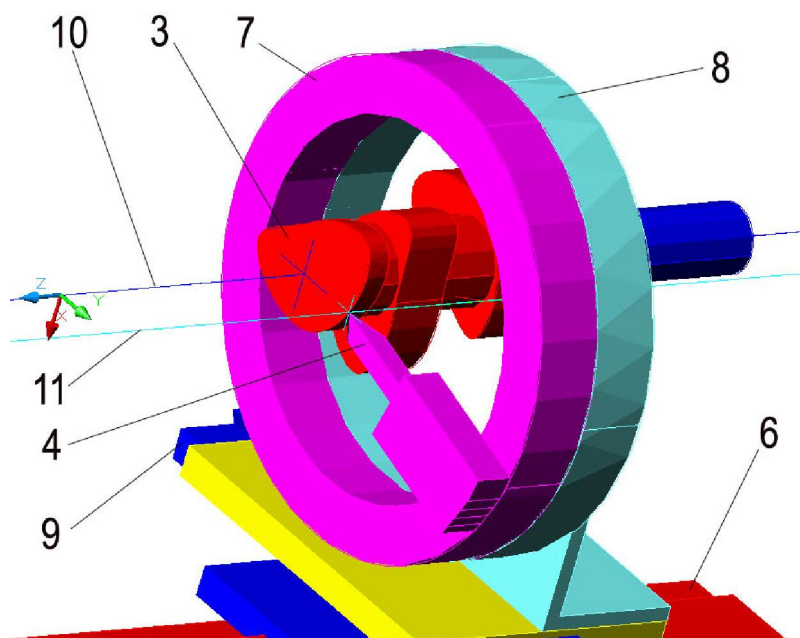


Fig.3.38 Poziționarea sculei cu vârful în centrul de rotație al ansamblului rotativ portcuțit

3.3.2. Modul în care a fost realizată practic arhitectura hardware

Sub aspect practic arhitectura hardware a fost realizată plecând de la un strung frontal existent în laborator, care asigura rotația piesei și translația transversală și longitudinală a cuțitului, la care s-a adăugat o masă rotativă și un colțar suport, care să permită realizarea cinematicii prezentată în Fig.3.36, Fig.3.37. și Fig.3.38. Această masă rotativă a fost concepută în cadrul prezentei lucrări iar pentru proiectarea și realizarea practică a acesteia s-a făcut o comandă către WMW World Machinery Works – Bacău. În figurile 3.39...6.44 se prezintă construcția mesei rotative.

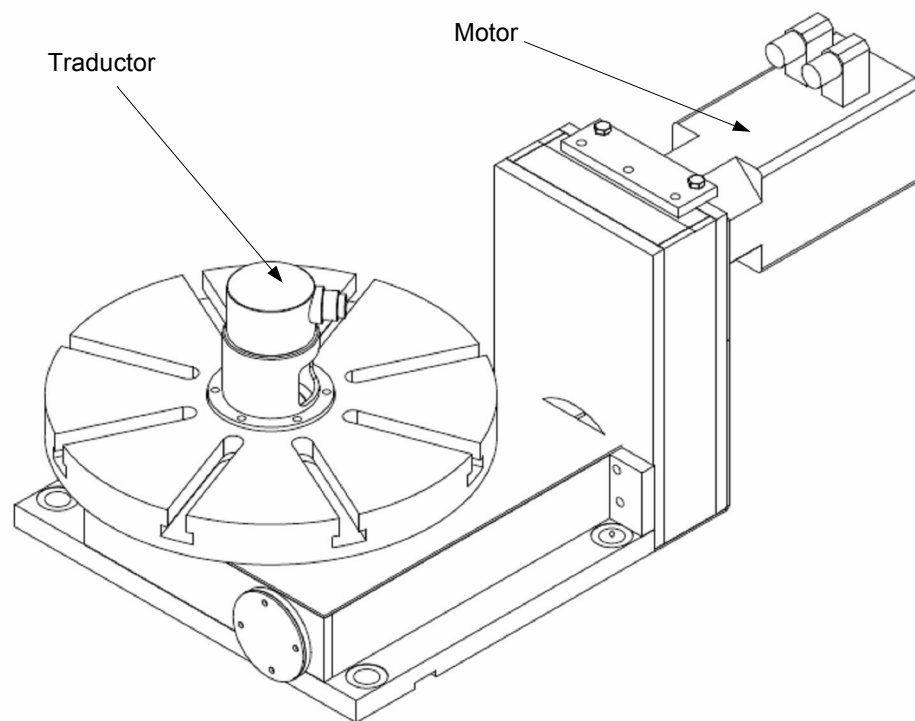


Fig.3.39 Vedere generală a mesei rotative care asigură un grad de libertate suplimentar.

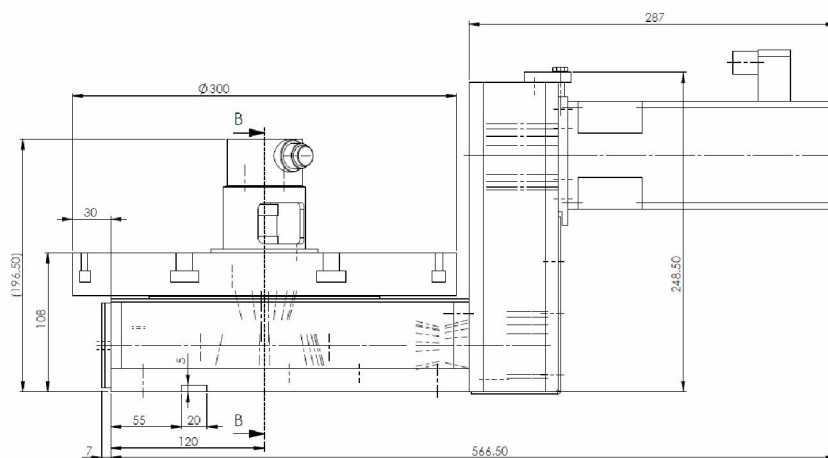


Fig.3.40 Vedere după direcția axei Z.

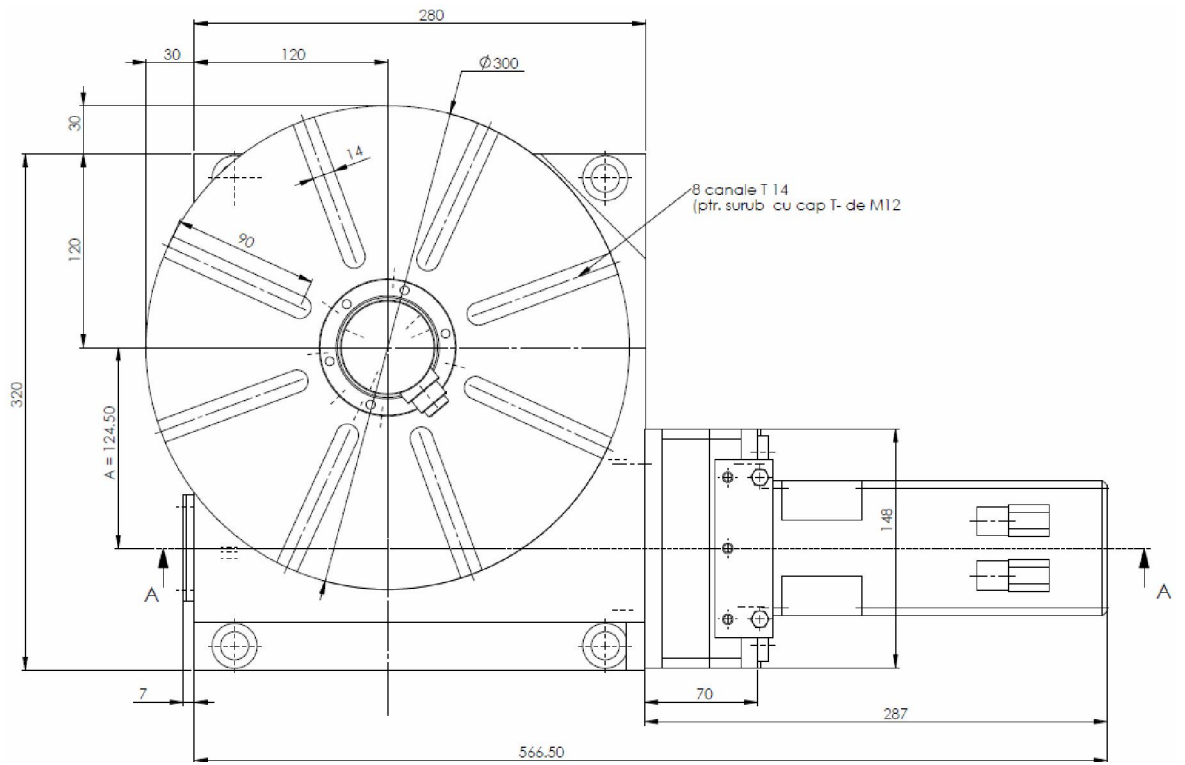


Fig. 3.41 Vedere după direcția axei Y.

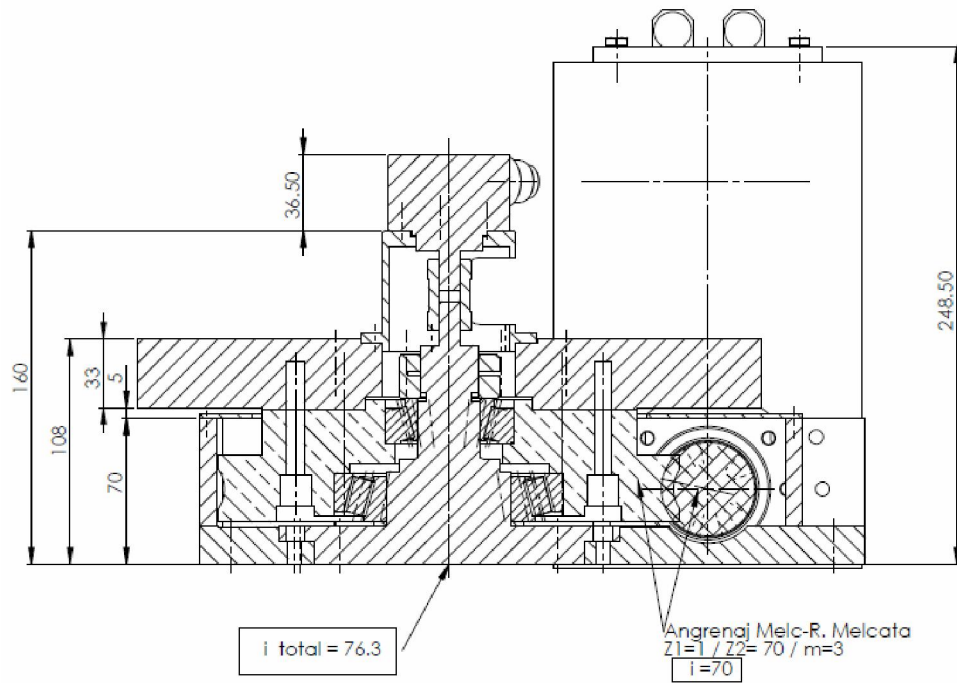


Fig.3.42 Secțiune ce conține axa mesei rotative.

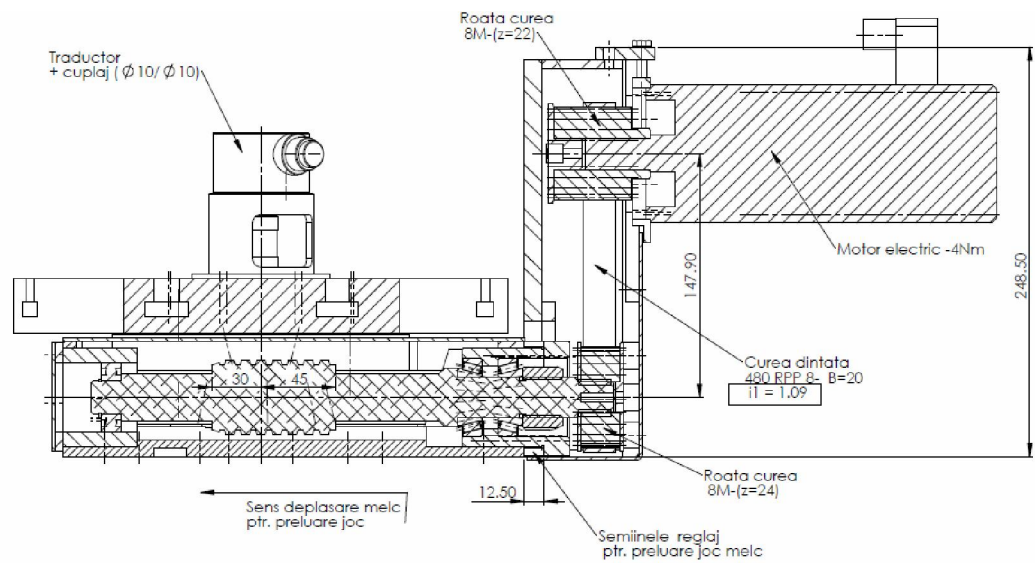


Fig.3.43 Secțiune ce conține axa melcului de antrenare.

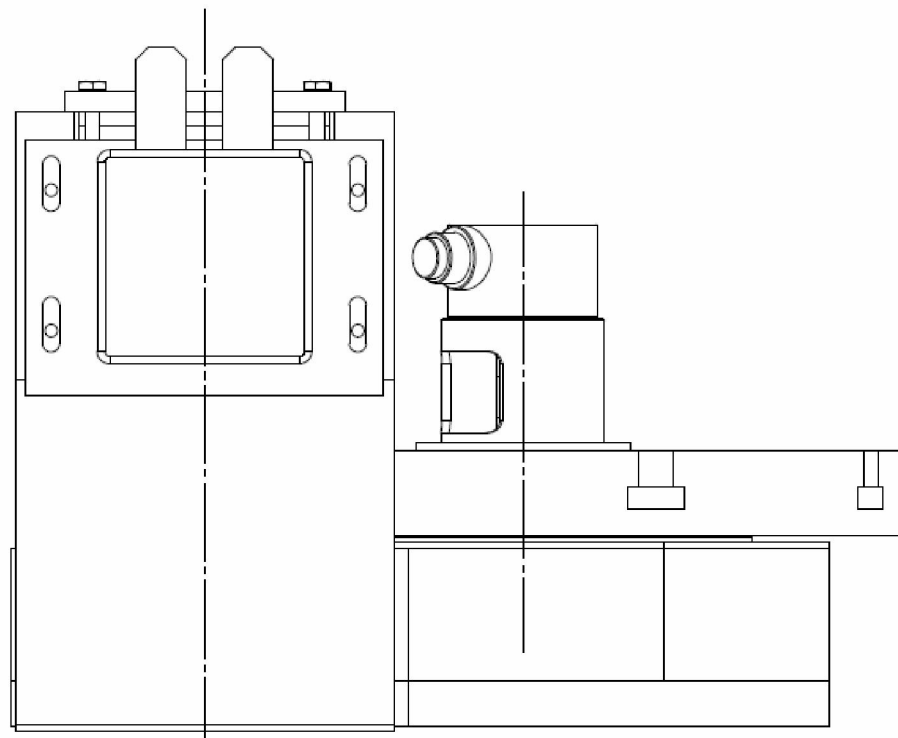


Fig.3.44 Vedere după direcția axei X

Rotația cuțitului, care este fixat într-un port-cuțit, la rândul lui strâns pe masa mașinii cu ajutorul unor bride și al canalelor în T ale mașinii, este asigurată de un motor, așa cum se arată în Fig.3.39. Aceasta transmite mișcarea la un agrenaj melc-roată melcată, de tip DUPLEX, pentru a regla jocul la nivelul minimului necesar. Rotația mesei este transformată în impulsuri de către un traductor solidar cu masa. În acest fel, pe lângă

deplasările X și Z, pe care le oferă săniile longitudinale și transversale ale strungului, scula mai poate primi online o rotație care să o aducă în poziția necesară conform Fig.3.41.

3.3.3 Piesa de testare a sistemului de conducere bazat pe planificare reactivă

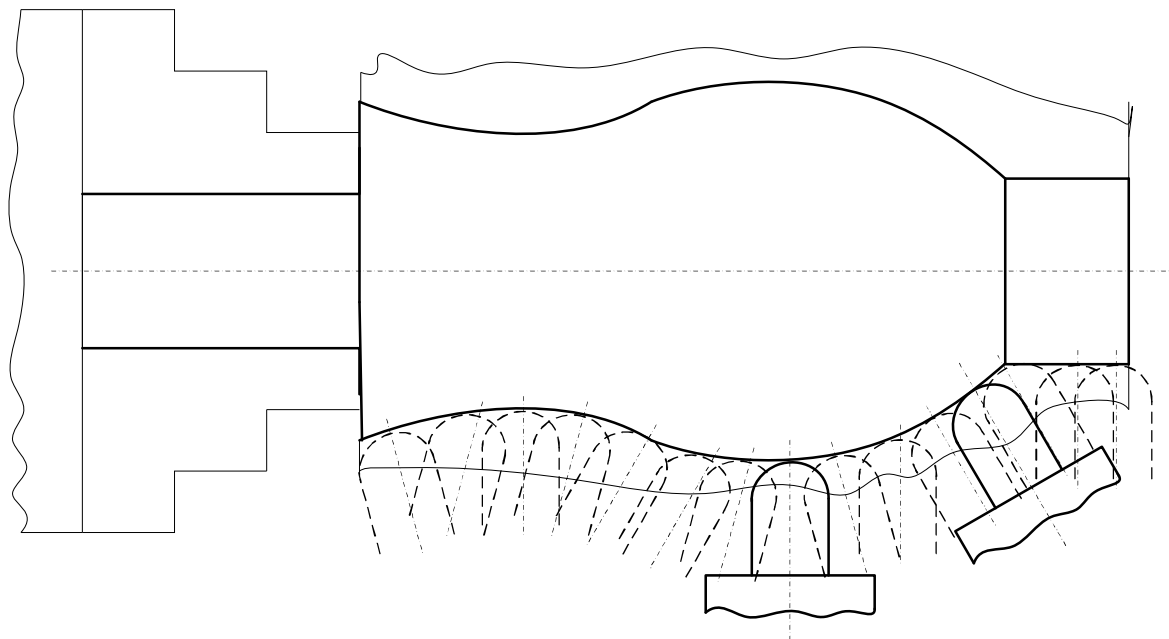


Fig. 3.45 Schița piesei de testare și a pozițiilor succesive ocupate de sculă în timpul prelucrării acesteia.

C. Prezentarea in extenso a rezultatelor obtinute

a) Articole stiintifice publicate

[1] Constantin I.C., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Marin F.B, Online Machining Errors Compensation, 5th WSEAS Int. Conf. on DYNAMICAL SYSTEMS and CONTROL (CONTROL '09)

Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on DYNAMICAL SYSTEMS and CONTROL

Online machining errors compensation

IONUȚ CONSTANTIN, ALEXANDRU EPUREANU, VASILE MARINESCU, MIHAELA BANU,
FLORIN BOGDAN MARIN

Manufacturing Science and Engineering Department
Dunarea de Jos University

47, Domneasca Street Galati 800008

ROMANIA

alexandru.epureanu@ugal.ro <http://www.tcm.ugal.ro/personal/Epureanu.html>

Abstract: - In this paper a method for compensating machining errors is presented. The method considers only two error components which are treated separately, namely the process error component and the system error component. The problem of error compensation implies for the workpiece surface to be as close as possible to the target surface. Generally, the target surface is characterized by a parameters set such as nominal dimensions, tolerance, surface roughness and relative position of the machined surface with respect to one or several reference surfaces. In many cases the reference surfaces are already machined and their position is different with respect to their nominal position as result of system errors. In order to obtain a low positioning error of the machined surfaces, the actual position of the reference surfaces must be known. Also, the process errors which are caused by cutting forces, thermal effects and tool wear must be determined. The method proposed in this paper implies three stages: remanent error measurement using on-machine measuring system, followed by error modelling and compensation. The aim of this method is to compensate machining errors in order to avoid where it is possible, the current approach which implies dividing the machining allowance in two passes. Experiments to evaluate the accuracy of the modelling showed that the process error can be reduced by using this method.

Key-Words: - Error compensation, On-machine measurement, Error modeling, Machining error, System error.

1 Introduction

Reduction of the dimensional errors is a goal for machining processes because it allows the production of more precise parts and finally of high quality mechanical products. For reducing the machining errors level, one may act on the cutting conditions in order to diminish the process intensity combined with the use of more precise machine tools and cutting tools. All this passive approach, which ensures high accuracy, involves an economic component which leads to increased costs and decreased productivity because of reducing the intensity of cutting, increased cost of purchasing machine tools and the use of expensive tools.

In practice the machining is performed in two stages which consist in roughing and finishing passes. The machining process is intensive during the roughing passes; the material removal rate is high. The surfaces obtained as a result of roughing cuts are imprecise as shape and dimension. The machining process is less intensive during the finishing cut and this is why the machining errors are lower after this pass. Often the machining allowance can be entirely removed in one pass, but the division of the allowance is performed in order to obtain precise surfaces. In these cases the division of the allowance in roughing and finishing cuts is not judicious from an economic standpoint.

Another approach which can be considered is to use common machine tools and not to limit the process intensity, but to use a control strategy which consists in dimensional error prognosis and compensation. This control strategy is more effective from an economic standpoint because it allows obtaining of the precise parts without the required investment in highly precise machine tools, while using intensive cutting regimes that ensure high productivity.

During the batch machining, the machining allowance does not vary significantly from one specimen to another. Also the workpiece material characteristics and the cutting conditions are almost similar. These aspects can be a starting point in determining the corrections to be applied in order to improve dimensional accuracy.

The solutions found in literature are based on separate compensation of each dimensional error components which can appear after the machining. Thus, in terms of errors induced by thermal effect, some authors propose to reduce the thermal errors by using an appropriate design of machine tools components [1] or by error compensation. The error compensation is performed after measuring the temperature of components of the machine tools, followed by modelling the strains field induced by thermal effect [2], [3]. Other authors propose different strategies to compensate the errors induced by cutting forces [4], [5] or by tool wear [6], [7].

The remaining of this paper is organized as follows: in section 2 the problem formulation is presented, in section 3 the problem solution is presented. Section 4 presents the experiments conducted to validate the proposed solution.

Finally the main conclusions are presented

2 Problem Formulation

In order to enhance the machine tool precision, the machined surface must be as close as possible to the nominal surface which we will be called the target surface. Generally, the target surface is characterized by parameters set such as nominal dimensions, tolerance, surface roughness and its relative position with respect to one or several reference surfaces.

In many cases the reference surfaces are already machined and their position is different compared with their nominal position as a result of system errors. Also, the process errors which are caused by cutting forces, thermal effects and tool wear must be determined.

The problem that we intend to solve in this paper is to achieve acceptable precision, during the batch machining using common machine tools, without dividing the machining allowance in roughing and finishing passes where this is possible.

In this study, the errors which appear as result of springback phenomenon caused by the redistribution of internal stresses in the workpieces material are not taken in account.

3 Problem Solution

3.1 Key ideas

The dimensional control will be performed point by point. The dimensional control will model the error in a large number of points belonging to the machined surface. By compensating the entire deviation in each point the following components will be compensated: deviations from the nominal dimensions, shape deviations and deviations on the relative surface position in relation to the position of the reference surfaces. The shape deviations and the deviations on the relative surfaces position cannot be made by using the common offset based correction.

Before and after machining, the workpiece surfaces will be measured using on-machine measurement system by exploring a large number of points. Also the workpiece reference surfaces will be measured during a separate working stage. The machined surface will be also measured in a separate stage. Data obtained from measurement stage will be stored in a database and will be used to build the mathematical model for dimensional errors prediction.

The same database will store data obtained from technological system monitoring during machining operation. The data will be obtained by recording the quantities obtained by sensors used to measure variables which would influence the accuracy of the machining process. Quantities measured by the sensors will be used as parameters of the mathematical model prediction errors.

The dimensional corrections will be made in order to eliminate the system errors and also the process errors.

The structure of parameters that influence the dimensional accuracy can change during the use of the machine tool. So it is necessary to determinate the causal relation between the dimensional error and the other variables which are contained in the database. The most important change in the causal relation between dimensional error and different measured quantities appears when using reconfigurable machine tools. These machines can be used in different configurations for different batches. Therefore according to the current system configuration it is necessary to analyze which quantities can be used to predict and compensate the dimensional deviations.

Taking into account that for building the mathematical model, the control system can use data from monitoring of the machined batch, the following question emerges: How many workpieces data can be used for building of the mathematical model of dimensional deviations?

3.2 The adaptive control of process errors

The adaptive control algorithm proposed in this paper implies the crossing of several steps which are to be made in order to determine the manner in which the process error will be compensated. The algorithm structure is presented in figure 1 using the yellow blocks. The first step is to establish the control variables through which the process can be controlled in order to reduce the dimensional deviations. As we already mentioned, the dimensional deviations will be compensated point by point. In order to reduce the dimensional deviations the mobile parts of the machine tool will be commanded so that deviations between the target and the final workpiece surfaces to be minimal. So, in order to determine the control variables, the kinematics structure of machine tool must be taken into account.

The second step is to determine causal relation, action involving the selection of variables on which may establish parametric model to be used for dimensional control. These variables correspond to fields in the database that were obtained by monitoring the machining system during the measurement and machining cycles of the previous parts. The causal relation is determined intermittently after machining each workpiece, taking into account the data

corresponding to the last workpieces machined. In order to determine the causal relations, the Relief Feature Selection algorithm [8] will be used.

After determining the causal relation it is necessary to establish the dataset used for model training. Also, the model format must be selected. Let us consider the moment in which the process error for the k -th workpiece of the batch must be predicted in order to compensate the dimensional deviation. Also let us consider that the system can select a prediction model from m model formats available. The following question emerges: which of these formats should be used and which data should be used for model training, in order for the model errors to be lower? This is a combinatorial optimization problem, which can always be solved by exhaustive evaluation of the all possible combinations and the selection of the best combination.

In practice the number of such combinations is not too big so an exhaustive performance evaluation is feasible. If the number of combinations is high, then a heuristic search, such as genetic algorithms for example, could be considered.

If the exhaustive performance evaluation is used than the algorithm will evaluate the modeling performance in the case of the previous workpiece already machined ($k-1$ workpiece) for each model format by training the model using data corresponding to the last workpieces.

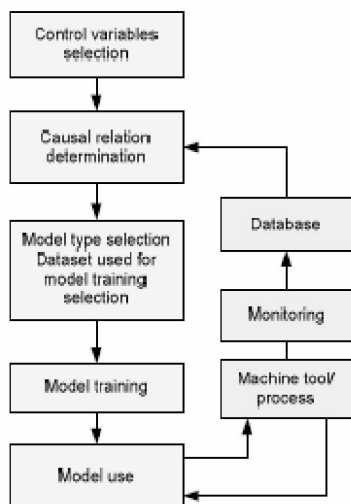


Fig. 1. Process error compensation

The best model format will be used. The model use implies error prediction followed by changing values of

the control variables in such manner so the error will be reduced.

3.2 The adaptive predictive control of the system errors

In cutting processes one of the most important system error source is represented by the fixturing errors. If the machined surface position is specified in relation to its reference surfaces, the deviations of the surface position may occur as result of the fixturing device errors. The parameters of the reference surfaces must be determined in order to obtain a precise machined surface. Also using the reference surfaces parameters, the parameters of the machined surface must be computed.

The adaptive control of the system errors will consist in the following operations:

1. The reference surfaces will be explored in a large number of points using on-machine measurement system. During the measurement cycle the cutting tool will be replaced with a touch probe. The touch probe will retrace the path followed by the cutting tool for reference surface generation if this procedure is possible.
2. The equations of reference surfaces are determined in condition in which the fixturing error occurs. About the reference surfaces the following elements are known from the beginning: their nominal position and their nominal shape.
3. The reference surfaces parameters are identified using their equations and regression techniques.
4. The target surface parameters are determined so the deviations on the relative surface position are minimum.

4 Experiments and discussions

In order to experimental test the proposed approach of the control system an experimental stand which consisted in a numerical controlled lathe was used. A small batch of 40 workpieces was machined. The machining process consisted in a longitudinal turning operation. The machining allowance varied from one workpiece to other and also for each workpiece the machining allowance varied along the axis of the workpiece because previously conical surfaces were machined. The machining allowance was between 0.5 mm and 2.5mm.

Before and after the machining, each workpiece was measured using on-machine measurement system. In this way the machining allowance and the process error were measured.

During the machining, several quantities were measured:

- the cutting force was measured using two sets of strain gauges. Using the strain gages two components of the

cutting force was measured: the main component and the component corresponding to the feed movement.

- the value of the drawn current for each motor which drives the machine axis and the current drawn from the motor driving the spindle. Also the torque and the power delivered by these motors were recorded. These data was obtained from the speed drives which control the motors, using a CANopen bus.

-the workpiece coordinates corresponding to the current machined point (Z longitudinal coordinate and C rotation of the spindle).

Each of these variables was recorded for each workpiece in a database.

In order to determine the causal relations between the variables and the machining error, the Rrelief algorithm was used. The data used by the algorithm was obtained from the last workpiece. The algorithm indicated that the machining error is dependent with the machining allowance, with the cutting force components, and also with the coordinates (Z longitudinal and C rotation) of the point in which the cutting process takes place. The average value of the merit calculated for each variable using Relief algorithm is presented in Table 1.

Table 1. Average merit obtained using Rrelief algorithm

Variabile	Merit
The main component of the cutting force F_1	0,011588
Machining allowance	0,011027
The component corresponding to the feed movement F_2	0,010861
Z coordinate	0,007227
C coordinate	0,005482

However, the deficiency Rrelief algorithm is that it does not exclude attributes that are interdependent. To determine the redundant attributes the correlation matrix can be used. By analyzing this matrix it has been established that the main force component and the force component which corresponds to the feed movement are very correlated. Also these variables are correlated with the machining allowance.

In order to model the process errors, the following model formats were considered: linear models obtained by regression, artificial neural network models and support vector regression models. For each model format, groups of maximum three variables were considered as model parameters.

In the groups of variables were considered the most important attributes, namely the machining allowance, the cutting force and also the workpiece coordinates Z and C.

Regarding, the number of workpieces that were used for model training, for each model format and model

structure the data corresponding to the last workpiece, last two or three workpiece was used.

Model performance evaluation was done using an indicator called the error reduction rate, which is the ratio between the maximum error occurred when the would not have applied corrections and maximum error occurred in a situation where the error had been corrected.

The best modelling performance, for the considered case was obtained for linear models, considering the data corresponding to the last two workpieces.

Table 2. Error reduction rates for different linear models structures

Model structure	$\epsilon = f(A)$	$f(F_1)$
Error reduction	3,58	2,98
Model structure	$f(z, c, F_1)$	$f(z, c, A)$
Error reduction	2,90	3,54

Feedforward ANN models were also used for error prediction. The number of ANN layers was set to two. The activation function for the hidden layer neurons was sigmoid function. For the output layer the activation function was linear. The number of neurons of the hidden layer was set to 5. In order not to overtrain the network, validation data was random extracted from the training data. The rate of reduction of error was slightly lower than for linear models. The best results were obtained for the models trained with data corresponding to the last two workpieces.

Table 3. Error reduction rates for different ANN models structures

Model structure	$\epsilon = f(A)$	$f(F_1)$
Error reduction	3,38	2,96
Model structure	$f(z, c, F_1)$	$f(z, c, A)$
Error reduction	2,11	2,70

The error was also modelled using Support Vector Regression (SVR) technique. The cost function was ϵ -insensitive cost function. The kernel application used was gaussian. In order to establish the values for the model parameters ϵ și C the procedure described by Cherkassky in [8] was used. In order to determine the kernel parameters a grid search technique was used for values between 2 and 512. The results were not so good as the results obtained by using linear regression models or ANN models.

Table 4. Error reduction rates for different SVR models structures

Model structure	$\varepsilon = f(A)$	$f(F_1)$
Error reduction	3.01	2.90
Model structure	$f(z, c, F)$	$f(z, c, A)$
Error reduction	2.48	3.63

4 Conclusion

The experimental research revealed that process errors can be modelled quite accurately using linear regression, ANN or SVR.

However, for the case analyzed in this paper linear regression models gave the best results.

Also it was established that the process error can be modelled with good accuracy considering the data corresponding to the last two batch workpieces.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007

References:

[1] S.-M. Kim, S.-K. Lee, Spindle Housing Design Parameter Optimization Considering Thermo-Elastic Behaviour- *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, 25: 1061-1070
 [2] Pai-Chung Tseng, A Real-Time Thermal Inaccuracy Compensation Method on a Machining Centre - *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1997, 13:182-190

[3] Christopher D. Mize, John C. Ziegert- Neural network thermal error compensation of a machining center - *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology* 24 (2000) 338-346
 [4] W. Polimi, U. Prisco - The estimation of the diameter error in bar turning: a comparison among three cutting force models - *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2003) 22: 465-474
 [5] L. Carino, G. Giorleo, W. Polimi, U. Prisco- Dimensional errors in longitudinal turning based on the unified generalized mechanics of cutting approach. Part II: Machining process analysis and dimensional error estimate. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002) 1517-1525.
 [6] Kurapati Venkatesh, Mengchu Zhou, Reggie J. Caudill - Design of artificial neural networks for tool wear monitoring - *Journal of Intelligent Manufacturing* (1997) 8, 215-226.
 [7] Gregory C. Smith, Samson S. Lee - A method for detecting tool wear on a CNC lathe using a doppler radar detector - *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2005) 25: 270-280
 [8] Vladimir Cherkassky, Yunqian Ma -Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression-*Neural Networks*, Volume 17, Issue 1 (January 2004), pp: 113 - 126, 2004
 [9] I.Kononenko, S.J.Hong - Attribute selection for modeling - *Future Generation of Computer Systems*, November 1997 ISSN 0176-739X,13, p. 181-195, 1997

[2] Marin F.B., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Constantin I.C., Online high resolution machining process control, 5th WSEAS Int. Conf. on DYNAMICAL SYSTEMS and CONTROL (CONTROL '09)

Online High Resolution Machining Process Optimal Control

FLORIN BOGDAN MARIN, VASILE MARINESCU, MIHAELA BANU, ALEXANDRU EPUREANU,
IONUȚ CONSTANTIN.

Manufacturing Science and Engineering Department
Dunarea de Jos University
47, Domneasca Street Galati 800008
ROMANIA

alexandru.epureanu@ugal.ro <http://www.tcm.ugal.ro/personal/Epureanu.html>

Abstract - During machining process, the cutting conditions must be permanent adjusted according to real allowance, surface shape, and machining system local characteristics, in order to obtain high efficiency in every moment of the process running. This problem can be address by high resolution process scheduling. When blank, tool and machining system characteristics accounts deviations comparing with the previous considered values, based on which scheduling was made, it is necessary the scheduling updating according to this deviations. This lead to idea of developing a machining process control system based on online reactive scheduling. In this paper it is presented a control method based on reactive scheduling as well as its application in the case of reconfigurable machine tools, numerically controlled. The main idea is that a parametric software model of the machining cycle is build. By process monitoring, the actual values of the model parameters are online evaluated. If these values differ from the previous ones, than a new scheduling is performed. The simulations in the case of turning processes showed that a significantly increasing of process performance can be obtained.

Key-Words - CNC programming, Reactive scheduling, Reconfigurable machine tool, Machining process optimization, Adaptive control, Software model.

1 Introduction

During machining process, the cutting conditions must be permanent adjusted according to real allowance, surface shape, and machining system local characteristics, in order to obtain high efficiency in every moment of the process running. This problem can be address by high resolution process scheduling. When blank, tool and machining system characteristics accounts deviations comparing with the previous considered values, based on which scheduling was made, it is necessary the scheduling updating according to this deviations. This lead to the idea to develop machining process control system based on online reactive scheduling.

At the moment, the feedrate scheduling algorithm have limitations in generating the optimized values of feedrate because they use the material removal rate or the cutting force model. Due to technical limitations, the parameters that could be controlled are also limited, for instance in the turning case - the feedrate and cutting speed.

The dynamics of the cutting process have been investigated extensively [10], although very often the role of the machine tool's structural dynamics evolution in determining the machining process is ignored.

The MRR method is based on the idea that the feedrate is increased as less material allowance is

noticed during the processing, to keep the MRR constant [1].

Another method for feedrate scheduling is based on force based model [2]. The present cutting force models have limitations in process control so far because the maximum allowed force is varying along tool path. In fact, the local characteristics and the force appeared between cutter and the part are the factors that influence the process. Nowadays, when both computing capability and sensor diversity are highly developed, it is possible to control the actual factors that are influencing the process [6].

Feedrate scheduling has been one of the major challenges in the CAM field [3][4][5]. The NC code generated by CAM software refers to long path and therefore on long paths the feedrate values are constant. Also, it is often difficult to select appropriate cutting conditions to achieve high productivity while maintaining part quality due to the complicated surface geometry.

Different authors are considering the improving of nowadays most common CNC programming language (G-code) to develop STEP-NC language [7]. Also some authors propose new controller architecture to implement STEP-NC [8]. Moreover, Nassehi [9] introduces the multi agent concept in programming, building a platform named MASCAPP.

In this paper it is presented a control method based on reactive scheduling as well as its application in the case of reconfigurable machine tools, numerically controlled. The rest of the paper is organized as following. Section two is presenting the control based on reactive scheduling, section three is presenting the method application in the case of reconfigurable machine tools, section four is depicting the simulation performed on this research and finally section five summarizes the main conclusion of the paper.

2 Method of control based on reactive scheduling

Nowadays, operation design to be executed is composed of three technical documents:

- a drawing representing tools position in tool holder;
- a drawing representing blank position relative to machine-tool reference system;
- a part-program, written most commonly in ISO G-code.

Part-program is interpreted by an interpreter which is specific to the machine tool, and the data obtained are sent to a control system. In case of reconfigurable manufacturing system such an approach will be unsuitable, because before of operation it is needed that the system to be configured out of hardware modules.

The research aim is to develop control techniques suitable for reconfigurable manufacturing systems in order to diminish programming effort, and also that the control to be optimal. The optimal control goal is to accomplish several restrictions as the productivity to be maximized.

Also the control needs to be adaptive, in order to consider the evolution in time and space of the system and blank characteristics.

At conceptual level, the reactive scheduling based control supposes to use a software product specific to the binome *manufacturing system - operation*. This software is build out of two parts. First, called in our approach *Software module for reactive scheduling of work cycle operation*, and the second is named *Software model for the assessment of the manufacturing system and operation characteristics*. The two modules outputs successive data set for each of the hardware module on the machine tool. Further, these values are reference value for the inner loop of control for each hardware module. In this manner the control of each hardware module is performed by simply online reference value modification according to the scheduling of the workcycle.

If the manufacturing system and blank characteristics would not vary during the entire batch processing, then the system successive states would remain unchanged.

In real cases, Therefore during the processing the manufacturing and blank characteristic are varying along tool path. This is the reason should be monitored using a set of appropriate sensors and the data thus obtained are used for evaluation of the manufacturing and blank characteristics.

This assessment is carried out by the second module of the software, specific for each manufacturing system and operation.

If updated values of the manufacturing and blank characteristics differ from the previous software module, then *Software module for reactive scheduling of work cycle operation* is run again, having as input the values of these characteristics. Will result a new schedule of successive states through which manufacturing system must pass through.

Further, the control unit will provide to hardware modules the new values of reference variables.

This change of the scheduling in response to part characteristics and manufacturing system state changing is the essence of the concept of control based on reactive scheduling.

We consider that the proposed control architecture is suitable for reconfigurable machine-tools, based on the following arguments:

- Control system unit itself are not altered in any way, for a new hardware architecture it is needed modules with different placement in the new machine;
- Modular architecture, which assumes the existence of a controller embedded in the construction of the hardware module allowing any configuration to be controlled;
- Control software module will allow the cinematic control of manufacturing system regardless of its hardware architecture.

3 Application of the method in the case of reconfigurable machine tools

As shown in Fig.1, the system is controlled through the binome time - value of control variables. At fixed computed moments of time, logic control unit is sending command to each hardware modules represented by the corresponding control variable value. The computing of the control variable values are computing by a industrial PC and not by a CNC controller, such as an PLC .

The column N_j is describing the index in the data , D_r is the column which specify the fixed calculated time, and the next four columns are representing the values for each hardware module. Each hardware module is controlled independently from one to another, in this manner.

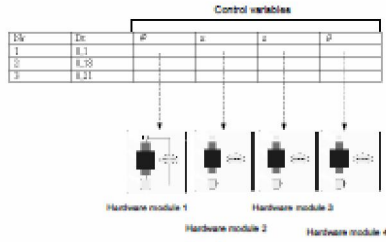


Fig. 1

The figure above is describing the situation at the 0.1 s time when the logic control unit command module hardware tool each module are receiving current position to be reached (new values of control variables).

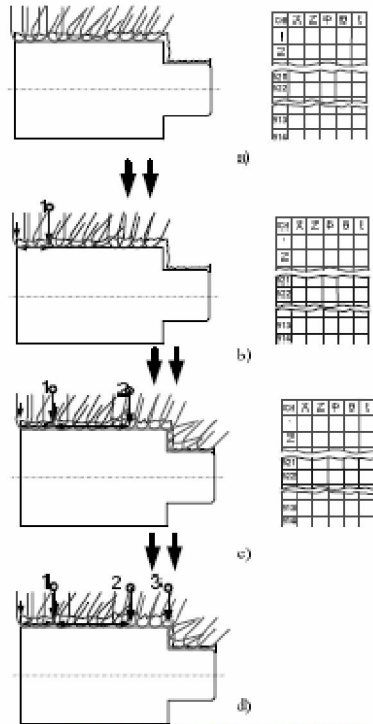


Fig. 2 Reactive scheduling control principle

Thereafter, command successively for each column corresponding to the 0.18 s, 0.21, etc. is executed. We note that it is not scheduled the actuator speed by direct specification of the programmer, but this result by changing the states that will determine the system.

In Fig.2 it is described the reactive scheduling based control sequence. The part to be processed is depicted and on the right is showed the way the control variables scheduling is computed. For instance in a) sequence, when the tool scheduling is calculating, the tool position in red are computed and the data in control variables are also in red. Further, at b) sequence, in 1 point certain event occurs, so the successive tool position scheduling is re-computed (the blue tools positions and the blue control variables fragment). Similarly, in point 2 on the tool path is occurring an event that will produce computing the scheduling. As inference, the tool path is not computed before the part is processed, and the changing in the scheduling is produced when an event occurs and produces a re-computing of the tool path.

Similarly, in the Fig.3, firstly is computed the control variables (depicted in red), and in point 1, because of an event occurred, the recalculation of all tool path is performed for next part of the path. However, again is happening a new rescheduling in point 2, because an event occurred. In this stage, the system has the control variables data for all tool paths. In point 3 again an event occurs and all the scheduling calculation is performed again. The same, in point 4, and point 5 the scheduling is modified.

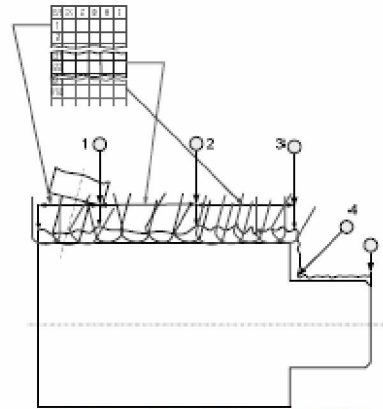


Fig. 3 The toolpath scheduling re-computing

4 Simulations

The holonic software developed use the distributed intelligence to solve the successive positions. The holonic version proves to be a suitable solution for fast processing.

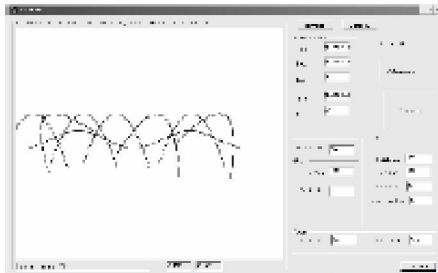


Fig.4 Program that performs cinematic holonic modeling

Hardware architecture has been developed from an existing front lathe in the laboratory, which provide part rotation, translation and longitudinal movement, adding a rotary supplementary degree of freedom. First tests on the lathe showed that the high resolution control can be implemented successfully.

5 Conclusions

- 1) Applying the concept of reactive scheduling based control allow reconfigurable machine tools fast reconfiguration, even the manufacture of small batch.
- 2) The reactive scheduling based control determines a significant increase in the productivity process.

This paper presented a new approach for implementing high resolution control. According to the authors, the distributed intelligence algorithms may be used as the solution of the issues arising in the development of the high resolution control.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007.

References:

- [1] Lam TS, Hsu KS (2007) The implementation of optimum MRR on digital PC-based lathe system. *Int J Adv Manufact Technol* 35(3-4), 248-254
- [2] Yazar Z, Koch KF, Altan T (1994) Feedrate optimization based on cutting force calculations in 3-axis milling of dies and molds with sculptured surfaces. *Int J Mach Tool Manufact* 34(3):365-377
- [3] Yuwen Sun & Zhenyuan Jia & Fei Ren & Dongming Guo (2006) Adaptive feedrate scheduling for NC machining along curvilinear paths with improved kinematic and geometric properties, *Int J Adv Manuf Technol* 36:60-68
- [4] Han Ul Lee & Dong-Woo Cho (2003), An intelligent feedrate scheduling based on virtual machining, *Int J Adv Manuf Technol* 36:60-68
- [5] Liqiang Zhang & Jingchun Feng & Yuhua Wang & Ming Chen (2008), Feedrate scheduling strategy for free-form surface machining through an integrated geometric and mechanistic model, *Int J Adv Manuf Technol* 40:1191-1201.
- [6] Yun-fei Zhou · Bin Li · Si-jie Yan (2005), Research on the method of precision evaluation and controlling for the cutter location path in five-axis machining, *Int J Adv Manuf Technol* 26: 342-350
- [7] Rameshbabu V., Shunmugam M.S., (2009) Hybrid feature recognition method for setup planning from STEP AP-203, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25393-408
- [8] Minhat , Vyatkin V. , Xua X., Wong S., Al-Bayaa Z.(2008). A novel open CNC architecture based on STEP-NC data model and IEC 61499 function blocks, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*
- [9] Nassehi , S.T. Newmanb, R.D. Allen, (2006) The application of multi-agent systems for STEP-NC computer aided process planning of prismatic components, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 559-574
- [10] Altintas Y (2000) Manufacturing automation: metal cutting mechanics machine tool vibrations, and CNC design. *Cambridge University Press*, New York

AI Technique for Online Non-Linear Feedrate Scheduling

FLORIN BOGDAN MARIN, MIHAELA BANU, VASILE MARINESCU,

ALEXANDRU EPUREANU, IONUT CONSTANTIN

Manufacturing Science and Engineering Department

Dunarea de Jos University

111, Domneasca Street Galati - 800201

ROMANIA

alexandru.epureanu@ugal.ro <http://www.tcm.ugal.ro/personal/Epureanu.html>

Abstract: - The optimal feedrate scheduling is an important issue so far that concern machine tool performance. Moreover, taking into account the unavoidable variation of detached material thickness the process performance can be increased through online high-resolution optimal feedrate scheduling. Such an approach implies the need for considerable software processing resources. In order to solve this problem, the holonic concept, which is part of distributed artificial intelligence field, is applied for feedrate scheduling. In this paper a specific holonic architecture and algorithm is proposed. The basic structural entity of the holonic architecture is the holon, which is an operating system process acting autonomous and cooperative. By intermediary of the holons actions, according to the holonic algorithm, suitable positioning of cutter edge is obtained. On the other hand, each holon represents an interpolated cutter location. The process sequence between two successive interpolated cutter locations is the resolution of non-linear optimization. The optimization criterion and restrictions are applied independently to each process sequence. By intermediary of simulation the proposed holonic feedrate scheduling algorithm is tested. The results obtained in the case of turning processes confirmed its feasibility and efficiency.

Key-Words: - Holonic algorithms, High-resolution optimization, Feedrate scheduling, Software model, Reconfigurable machine tool, Distributed artificial intelligence.

1 Introduction

The optimal feedrate scheduling is an important issue so far that concern machine tool performance.

Moreover, taking into account the unavoidable variation of detached material thickness the process performance can be increased through online high-resolution non-linear optimal feedrate scheduling. Such an approach implies the need for considerable software processing resources.

The literature underlines in the last years the importance of introducing the distributed intelligence in machine tool control [1]. A relative new concept, called holon, which is an extension of multi-agent concept, is used to deal with different problems.

The traditional concept of holon developed by Arthur Koestler [3] is based on the idea of recursive or self-similar structures in biological systems. Holons, if they are sub-holons, merge into a new holon.

The paradigm of holonic control of a factory have been proposed to address the challenge of developing control systems capable of handling certain types of disturbances at the factory level [4][5][6][7][8]]. One of these holonic architecture is ADACOR, which integrates a set of paradigms and technologies for distributed manufacturing systems, to achieve a flexible and adaptive control [2].

We need to develop the cognition-based holons, characterized by instinctual and social behavior associated with the capability of online creating knowledge, of reasoning and applying the results. Like multi-agent systems (MAS), the holonic systems are composed of self-reliant units that are capable of flexible behavior. More specifically, a holon can be thought of as a special type of agent that is characteristically autonomous, cooperative and recursive in the holarchy. This means that a holon can embodies other holons so there is a recursive structure, and this is the fundamental difference compared to an agent.

In order to solve the feedrate scheduling problem, based on the holonic concept, we propose a specific modeling method to be applied. In this paper a specific holonic architecture and algorithm are proposed. The basic structural entity of the holonic architecture is the holon, which is an operating system process acting autonomous and cooperative. By intermediary of the holons actions, according to the holonic algorithm, suitable positioning of cutter edge is obtained. On the other hand, each holon is representing an interpolated cutter location.

The process sequence between two successive interpolated cutter locations is the resolution of non-linear optimization. The optimization criterion and restrictions are applied independently to each process

sequence. By intermediary of simulation the proposed holonic feedrate scheduling algorithm is tested. The results obtained in the case of turning processes confirmed its feasibility and efficiency.

The rest of the paper is organized as it follows. In section two it is defined the high resolution optimization problem, in section three it is presented the proposed holonic algorithm. Section four show simulations performed with the software developed and finally in section five conclusions are drawn.

2 High-resolution optimization

Current cutter location is described by (i,j) pair, while i , is defining the current cutter location and j is current generation point belonging to cutter profile. Another variable in our optimization program is the variable k , which is the indexing variable for (i,j) pair.

As described below, the reconfigurable machine is configured as lathe with an additional degree of freedom represented by rotation of the tool assembly, with an ϕ angle, variable that determines j point belonging to cutter profile.

Our search algorithm is using as reference calculation the previous cutter location $(k-1)$, as in Fig.2, representing the last selected cutter location. Consequently, every k position is associated with the $\phi(k)$, $Z(k)$ and $X(k)$ variable values.

In the proposed search optimization algorithm we use current L variable value defining the length of active cutting edge.

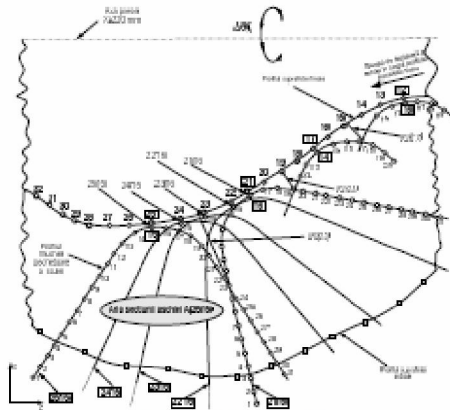


Fig. 1 Optimisation problem

Our objective is to determine (i,j) pair under the criteria of maximizing locally chip area.

While the search criteria in the MRR (Material Removal Rate) and force model are the MRR and the

force respectively, in our approach the search criterion is the locally maximized chip area.

In the above two approaches the variable for controlling the process is the feedrate, whereas we are using two distinct variables, cutter location CL (or feedrate) and cutter profile (CP). The cutter profile variable is the additional freedom degree determined by rotary tool assembly.

Concerning the restrictions, in the case of MRR model, is the chip area which is set to a minimum allowable $(A < A_a)$, and in the case of force model, the restriction is the force $(F < F_a)$. Our approach defines four restrictions: $(A_a > A(i,j))$, $(R_a > R(i,j))$, $(a_a > a(i,j))$, $(L_a > L(i,j))$, where R_a means roughness and a_a means chip thickness.

Online control such as used in force model, needs a monitoring hardware, the proposed optimizing method needs a measurement system, which is exploring every blank.

3 The proposed holonic algorithm

In our approach, holon thinking are defined on the basis of three different features: *operations*, *instinct-laws* and *knowledge*.

Operations are the fundamental actions that are universal, these always runs in the same way, regardless of the task to be performed.

Instinct-laws are the rules governing the holon and indicating the situation in which the various operations are executed.

Knowledge is summarized in several search functions, which is defined by the user and forwarded to holon through a specific language learning.

Primary holon is the first holon existing at the beginning of the search task, from which all holons of the holarchy will inherit all properties. This will create new holons to meet the task undertaken.

We must specify that the new holons created inherit all the knowledge and properties of the primary holon, which loses its identity as primary holon.

Firstly the human defines the search space as the space in which the holons are searching for a solution. For example, the search space can be an image, which is a 2D search space, or may be a search space of states defined by 5 variables.

Further we define the typology of the three constituent features of holon thinking.

Operations typology

1) *Operation of unification* is the action by which two or more holons are grouped in a holarchy, forming a new holon. It should be noted that the sense of holon is lost, as long as there is not at least another holon as a partner in solving the task.

2) *Operation of isolation* is the action whereby a holon comes from a holarchy to be partner with the holon of "former members" of holarchy.

3) *Operation of birth* is the action of one holon that creates new holon (the software process will create one or more other processes).

4) *Operation of destruction* is the destruction of its own. Software process is self-killed on its own initiative. This operation occurs when a holon notes that no longer can move in the search space, so reason of existence disappears.

5) *Change of holarchy* is the action of holon moving from a holarchy to another.

6) *Proposal* is a holon action of informing other holon as regard to a proposal.

7) *Accept* is an action of accepting a proposal.

8) *Coordination deployment* is the holon action to occupy a position in the search space, using the functions defined by the user through our proposed specific language.

Instinct laws typology

Instinct laws are those laws universally applied, regardless of the search function, which governs holarchy.

We define the following instinct laws:

- 1) Any open space must be filled.
- 2) If it is noticed inactivity of itself the holon will execute self-destruction, calling the destruction operation.
- 3) Where a holon notes that the search space is vacant, and while he can not occupy this space alone, it will born another holon, calling the birth operation.
- 4) Space occupied by other holon cannot be filled. In this case the need for more space is satisfied only through the unification operation.
- 5) Operations are running only between neighbors in the search space.

Further we define some of the learning functions, by which the human teaches the holon how to act for reach the solution.

Knowledge typology

Knowledge is represented by those functions that are provided by the user. These define the knowledge that informs the user on the task of finding the solution in the search space.

These functions are most of the time an ambiguous description of the reality. This information is passed through a language learning, based on a logic of heuristics. The following functions define some features of the learning language.

- 1) Function defining the search space.

Format: Space.indication of dimension of the space. Function to read space. where size indication field indicates the size and space to read function.

For example, Space.2d.GetImage - 2d space is defined which can be read with the read image, the space defined by an image.

- 2) Function of reading the current state position.

Format: ReadPoz (size 1, size 2 ... size n) where size 1, size 2 ... size n is the size indication of position in search space.

For example, ReadPoz (X, Y, Z, K, M) - read the current value of the 5D space.

- 3) Function defining the secondary functions of assessment - to define secondary functions that allow analyzing the current position.

Format: SecondaryFunction.1 = CalcSurface (P1, P2, .. Pn) - where P1, P2, .. Pn are points.

For example, calculating the area determined by the m1, m2, m3, m4, m5 or line length determined by the X2, X5.

SecondaryFunction.2 = CalcLenLine (X2, X5)

By intermediary of secondary functions it is defined primary function, which is defining the solutions in search space.

- 4)Function defining the primary function

Format:

PrimaryFunction=Search.SeconderyFunction.1,Search SecondaryFunction.2,... SearchFunction n)

For example the primary function is defined as that position for which function 2 result is bigger than the function 5, and also the result of function 1 (suppose that is calculating an area) is maximum. Search SecondaryFunction.2 > SecondaryFunction.5, SecondaryFunction.1 = MAX);

General algorithm of modeling

The holonic modeling algorithm is defined by the following main steps (Fig.2):

- Deployment is the random placement in the search space of holons and marking positions as part of the territory of themself.
- Further, each holon is calculating position search functions values;
- Calculate the current positions for the functions;

Operations in the holarchy are executed to occupy positions until all search space was divided between holons. It should be noted that this does not necessarily means that all positions in space were evaluated singular.

Comparison between proposed holonic modeling and genetic algorithm

We further formulate a brief comparison between genetic algorithm and holonic modeling. Though our development it is in early stage, we noted several similarities between the two algorithms.

In case of genetic algorithms, the problem is given as follow: the search space is a space with n dimensions, and we need to find the point of this space that satisfy a given condition. A solution of the problem is represented by any of the search space. The result is the set of values of the n coordinates of the point that every condition is best satisfied.

In the case of holonic modeling, we formulate the problem as: giving it a field of action it is required to structure the search space, so that the structural components is satisfying a set of given conditions. The problem is to structure that space, satisfied within the limits of certain conditions. Unlike genetic algorithms, problem solutions can be organized into a rating.

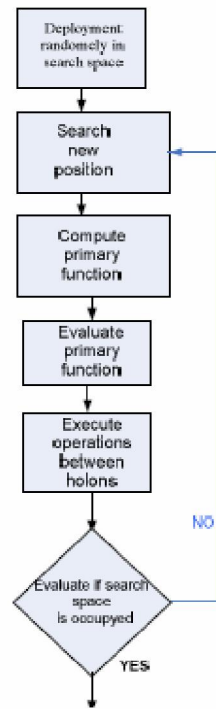


Fig.2 The algorithm of holon modeling

Engine of evolution

In case of genetic algorithms, the engine of evolution is the sequence of operations which constitute loop algorithm. Loop is either covered by a given number of times, after which the algorithm is stopped. The stopping is determined by the compliance of performance conditions. The execution of the loop always is the same, regardless of the state in which the evolutionary process lay. Evolution of the calculation to obtain the problem solution is based on the similarity between the population evolutions of a given species, with the changing environment on the one hand, and on the other hand, the artificial evolution of populations, based on a similar genetic algorithm.

- In the case of holonic modeling the engine of evolution is the instinct of the holon to meet its own best interest by exploring the neighborhood. Also to this is added the operations that ensure the expansion process in the field of action (search space).
- The reason for the evolution is always to find the solution (and not vice versa) is that each decision of the holon, in every moment of the development, is to meet best interests (not worse).

Complementarities of application fields of genetic algorithms and holonic modeling

The comparative analysis of the two techniques currently showed that the proposed holonic modeling proposed in this paper shows specific problems that is suited.

Genetic algorithms can be used for search problems where the search criterion is expressed by the value function and the target is a certain value of it. The most frequently encountered problems is to find the optimum, called optimization problems, where the search is used as objective function and constraints are used to delimit the search space.

Genetic algorithms cannot apply when search condition is expressed by several functions and the target is the compliance with conditions on the values of these functions. Also, genetic algorithms may not be used when the number of components of the solution is not previously known.

Finally, so far that concern the problems on which the search target is not unique (as is the target objective function, for genetic algorithms), but varies depending on the position of search space in which the assessment can not be solved with genetic algorithms. This is because the genetic algorithm use is not feasible because of the extremely large number of solutions that could form the total population.

Holon modeling can be considered as a technique to solve the problems of search, in which the solution is

unknown, the requirements are multiple search, and the search can be limited. Thus, the two techniques of evolutionary computation are complementary, allowing the extension of the range of problems that can be solved. At this time, we cannot make a comparative assessment, even provisional, of the performance of the two techniques.

We can appreciate that, in the modeling complex problems the holonic modeling is a better technique, and for simple problems, genetic algorithms could be superior.

Implementation

Using our proposed holonic modeling algorithm we succeeded to solve the feedrate scheduling problem.

As show in Fig.3 the input for holonic modeling are the restrictions variable, as well as several conditions (C1,C2,C3,C4,C5,C6). For instance one condition is that the cutter must be tangent to part. The output is the (i, j) pair. The issue so far that concern the holonic modeling is the way of expressing conditions and this is done by our proposed ambiguous language.

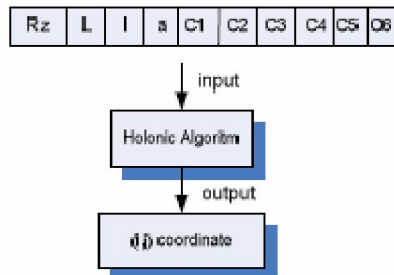


Fig. 3 The input and the output of the holonic modeling

4 Simulations and discussions

Software was developed in Visual C, to implement holonic modeling. Compared to exhaustive search the holonic modeling provides fast processing. However, the exhaustive search is more precise than the holonic modeling.

Due to the fact the computing of the algorithm must be performed online, the holonic modeling proposed in this paper is suitable so far concern processor resource requirements. Bellow is shown a fragment of the tool path cutter location obtained using holonic modeling.

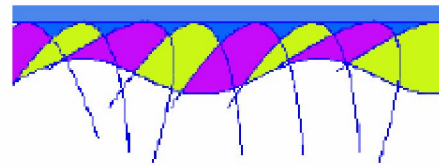


Fig. 4 Successive cutter location computed by holonic modeling

5 Conclusions

The proposed algorithm for holonic modeling has all the chances to be a solution for many complex multi-variable problems. We also conclude that the genetic algorithm and the proposed holonic modeling are complementary algorithms.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007.

References:

- [1] Nassehi , S.T. Newman, R.D. Allen, (2006) The application of multi-agent systems for STEP-NC computer aided process planning of prismatic components, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 559-574
- [2] Paulo Leitao and Francisco Restivo (2005), Experimental Validation of ADACOR Holonic Control System, *Springer Verlag Berlin Heidelberg*
- [3] Koestler, A.: *The Ghost in the Machine*. Hutchinson & Co, London (1967)
- [4] Mařík, V., Pěchouček, M., Štěpánková (2001), O.: Social Knowledge in Multi-Agent Systems. In *Multi-Agent Systems and Applications, LNAI 2086, Springer, Berlin (2001)*
- [5] Maturana F.P., Staron R., Hall K (2005): Methodologies and Tools for Agents in Distributed Control, *IEEE Intelligent Systems Magazine*
- [6] Leitão P. and Restivo F.(2002), A Holonic Control Approach for Distributed Manufacturing, *Knowledge and Technology Integration in Production and Services*
- [7] Shen W., Norrie D., and Barthès J.P.: *Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing*. Taylor & Francis, London
- [8] Vasko D., Maturana F., Bowles A., and Vandenberg (2000): *Autonomous Cooperative Systems Factory Control*.

[4] Constantin I.C., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Marin F.B., Fixturing errors control based on adaptive programming, Annals of the „Dunărea de Jos” University , Fascicle V, ISSN 1221-4566, 2009, (indexata BDI)

THE ANNALS OF "DUNĂREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALAȚI
FASCICLE V, TECHNOLOGIES IN MACHINE BUILDING,
ISSN 1221- 4566, 2009



FIXTURING ERRORS ASSESMENT FOR ADAPTIVE DIMENSIONAL CONTROL

Ionut Constantin, Alexandru Epureanu, Vasile Marinescu,
Mihaela Banu, Florin Bogdan Marin

Dunarea de Jos University of Galati,
email: iconst@ugal.ro

ABSTRACT

In machining, the workpiece fixturing is an essential task which often affects the quality of the final product. The actual approach of the fixturing error control is based on the correlation of the workpiece position with respect to the tool position and tool programmed trajectory. In this paper, a method for fixturing errors identification is proposed. This method is using input data which consist in the coordinates of points belonging to the reference surfaces. Using on-machine measuring system this input data is acquired and the position parameters of the references surfaces are determined. Data obtained from identification can be used for compensation of the fixturing errors. As a case study, a longitudinal turning process was considered. For the validation of the proposed method a numerical simulation program was conducted.

KEYWORDS: fixtures, machine tool, dimensional control, on machine measurement.

1. INTRODUCTION

Enhancing the precision of the mechanical parts obtained through cutting processes is often required in order to respect the tolerances imposed by the technical specifications.

A number of factors influence the accuracy of the final product. The precision of machined surfaces is affected by errors which can be classified in two categories as follows: process errors and system error.

In the case of machining operations, one of the most important sources of system errors is caused by the fixturing device inaccuracy. Typically, the fixturing error determines the modification of the workpiece reference system, which can be programmed on CNC systems using frames.

In literature, in order to limit the fixturing errors, many authors suggest using more precise fixturing devices [1], while others [3, 5] proposed methods for predicting the deviations caused by fixturing errors. Some authors used Computer Aided Fixture Design in order to select and to model the most appropriate fixturing design [4]. Salisbury et al observed [2] that the fixturing errors are also determined by the errors of the contact surfaces, so in the case of batch manufacturing the variability of fixturing errors is important even if the workpieces are almost similar.

In this paper we will analyze the case of fixturing errors that appears during the turning

operations. In this case using the transformation of the workpiece reference system is feasible not a solution.

2. PROBLEM FORMULATION

If the machined surface position is specified in relation to one or more reference surfaces, then the inaccuracy of fixturing device may induce deviations as regard machined surface dimensions, shape and position. In order to minimize these deviations the parameters that characterize the reference surfaces have to be determined. Using the reference surfaces parameters, the corrected parameters of the machined surface have to be determined in order to compensate the fixturing errors.

3. PROBLEM SOLUTION

3.1. Key ideas

The problem solution is based on the following key ideas:

1. Before the machining process, the machine will explore the reference surfaces using an on-machine measurement system. During the measurement stage, the tool will be replaced by a measurement device which will be used for measuring the distance between the tool support and the workpiece reference surfaces. This measurement

device can be a length gauge or better a non contact displacement laser sensor. These devices can achieve submicron resolution while measuring range can be grater than 50 mm. The measuring device will trace a path for reference surface exploration. The data obtained during the measurement stage will be recorded in a data set.

2. The equation of each reference surface should be determined. Each reference surface is characterized by their nominal position, shape and dimensions. Each real reference surface dimensions are different from their nominal values. Moreover, the position of each reference surface is different from the nominal position. So in order to determine the real position and the real dimensions of each reference surface, the equation describing each real surface in the condition in which the fixturing error appears must be known.

3. The data set obtained during the measurement stage, the equations describing the position and the dimension of the reference surfaces will be used by a regression algorithm that will determine the real values of the parameters of each reference surface.

4. The position of the surface, which will be obtained by machining, will be determined so the surface position error with respect to the reference surfaces to be minimum.

Let us consider the case of a longitudinal turning operation (Fig. 1). The position of machined surface is specified in relation with a reference surface, which in this case is a cylindrical surface. The reference surface was machined in different machining operation. The spindle axis and the axis of the reference surface are agonic lines. In this case the parameters of the reference surface are parameters which describe the position of the reference surface axis and the value of the surface diameter.

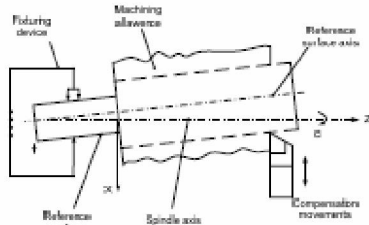


Fig. 1. The fixturing errors that appears in the case of turned parts

3.2. Identification of the surface parameters for a conical reference surface

Let us consider a line δ whose position in respect with a coordinate system (x,y,z) can be expressed using the following equations:

$$\begin{cases} x = x_0 + \lambda l \\ y = y_0 + \lambda m \\ z = \lambda n \end{cases} \quad (1)$$

$$r = r_0 + \lambda \pi, \text{ with } |\vec{u}| = 1 \Rightarrow \sqrt{l^2 + m^2 + n^2} = 1 \quad (2)$$

The cone surface parameters to be determined by the identification algorithm must describe the following:

- the opening angle of the cone;
- the position of the cone apex

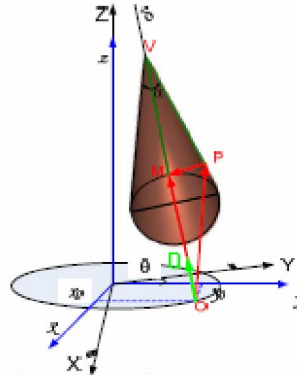


Fig. 2. The coordinates systems used for determination of equation of a conical reference surface

In Fig. 2 we considered a cone for which the line δ is the cone axis. The cone apex is the point V. The cone opening angle is α . The position of the cone apex is defined by a parameter k defined as follows:

$$\begin{cases} x_v = x_0 + kl \\ y_v = y_0 + km \\ z_v = kn \end{cases} \quad (3)$$

If we consider a point P defined by its coordinates (x,y,z) which belongs to the cone, then the distance between this point and the cone axis can be expressed as following:

$$r = D(P, \delta) = \frac{\| \vec{OM} \times \vec{OP} \|}{\| \vec{OM} \|} = \| \vec{u} \times \vec{OP} \| \quad (4)$$

Also, consider ΔVMP right triangle, the MVP angle is equal with $\alpha/2$.

$$r = \| \vec{VP} \| \cdot \sin(\frac{\alpha}{2}) \quad (5)$$

$$\| \vec{VP} \| = \sqrt{(x - x_0 - kl)^2 + (y - y_0 - km)^2 + (z - kn)^2} \quad (6)$$

By combining (4), (5) and (6) results:

$$\sqrt{(x-x_0-ki)^2+(y-y_0-km)^2+(z-k\sqrt{1-m^2-l^2})^2}\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)-\sqrt{\left[\sqrt{1-m^2-l^2}(y-y_0)-mz\right]^2+\left[iz-\sqrt{1-m^2-l^2}(x-x_0)\right]^2+\left[m(x-x_0)-l(y-y_0)\right]^2} \quad (7)$$

The coordinate system xyz is rotated with an angle θ relative to a fixed coordinate system (X,Y,Z) :

$$\begin{cases} x = X \cdot \cos(\theta) - Y \cdot \sin(\theta) \\ y = X \cdot \sin(\theta) + Y \cdot \cos(\theta) \\ z = Z \end{cases} \quad (8)$$

The measurement is performed in the machine coordinates, and the measuring device is positioned parallel to the direction of X axis.

The coordinates of the points explored by the measurement system are characterized by $Y=0$. So we can write:

$$\begin{cases} x = X \cdot \cos(\theta) \\ y = X \cdot \sin(\theta) \\ z = Z \end{cases} \quad (9)$$

By replacing (9) in equation (7) we will obtain the equation (10) where X is the unknown and l, m, x_0, y_0, k and α are parameters of the reference surface. Also in this equation Z and θ are the coordinates which describes the position of point measured by the measuring system:

$$aX^2 + bX + c = 0 \quad (10)$$

By resolving this equation we usually obtain two solutions. These solutions represent the points of intersection between the conical surface and the line which describes the position of the measuring device. So, we must retain only one of these solutions depending on the position of the measuring device. If the measuring device is positioned like a cutting tool then the biggest of these solutions must be selected.

$$X_c(l, m, x_0, y_0, k, \alpha, \theta, Z) = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (11)$$

In order to determine the parameters values l, m, x_0, y_0, k and α , we propose the following method:

1. The measurement device will be positioned parallel to X axis;
2. A measurement cycle will be performed during which the workpiece will be rotated and measurement device will be moved in Z axis direction to complete the reference surface exploration;
3. The values measured using the measurement device will be recorded in a data set, which will contain, for each record, the value measured by the measurement device $X_c(i)$, the corresponding value of Z axis and the C angle of rotation of the spindle.
4. The following optimization problem is solved: Giving the list of values $X_c(i), C(i), Z(i)$ with i from 1 to n , where n is the number of measurements to determine $l, m, x_0, y_0, k, \alpha$ such that the sum (12) to be minimized.

$$S = \sum_{i=1}^n (X_c(i) - X_c(l, m, x_0, y_0, k, \alpha, C(i), Z(i)))^2 \quad (12)$$

This optimization problem is a non-linear regression problem which can be solved using classical optimization algorithms such as Gauss-Newton algorithm and Levenberg-Marquardt algorithm.

3.3. Compensation of the fixturing errors

After identifying the position parameters corresponding reference surfaces it is necessary to determine the position of points of the machined surface so the machined errors to be minimum. For example, if there is only one reference surface then the axis of the surface to be machined must be identical with the axis of the reference surface.

To machine the surface such that the position errors with respect to the reference surface to be minimized, it is necessary to apply compensation movements to the cutting tool. These corrective movements must be made along the X axis and must be correlated with the rotation of the spindle. Obviously, the magnitude of these movements is reduced, but their frequency is high.

These compensation movements cannot be accomplished by the transversal saddle of a lathe because its high inertia.

But a piezoelectric actuator, which can operate at high frequencies up to 600Hz and travel up to 600 microns can be used for actuation of a fast tool servo.

4. NUMERICAL EXPERIMENTS

In order to test the proposed method for adaptive control of system errors we have used synthetic data generated using known values the position parameters corresponding reference surfaces.

These synthetic data are composed of successive values that would have C and Z axes of the machine during the measuring cycle, completed with values obtained by simulation of the values that would be obtained from the measuring device which explores the workpiece.

We preferred to use data obtained from numerical simulations so that we can validate the algorithm for identification of the reference surface parameters by comparing the real values of the parameters with the value determined by the identification algorithm.

To validate the proposed identification algorithm, in this paper we used simulation data in order to identify the parameters of a conical reference surface. The nominal parameters which describe the parameters of the conical reference surface are:

- the direction cosines for x and y axes are zero- $l=0$, $m=0$;
- the parameters which describes the eccentricity in the xy plane x_0 and y_0 are also zero;
- the parameter which describes the position of the cone apex is $k=400$ [mm],
- the nominal cone opening is $\alpha=30^\circ$.

The virtual process of measuring the reference surface was similar to the actual situation, we considered that the workpiece fixed in the fixturing device and is rotated by the machine spindle. We

considered that for each rotation of the workpiece, only ten measurements are made. Also, concomitant with the workpiece rotation, the Z axis is moved with a feed equal to 0.2 mm/rev.

In table 1 we examined the influence of the measurement length on the accuracy of the identification method. We considered that the uncertainty of the measurement device was 10 μ m. The results were good even for small measuring lengths.

In table 2 we examined the influence of the precision of the measurement device on the accuracy of the identification method. The measurement length was set to 30 mm.

Table 1. The influence of the measurement length on the accuracy of the identification method

Parameters Values		Model parameters	Measurement length [mm]				
Nominal	Real		10	20	30	40	50
0	0.05	x_0 [mm]	0.0507	0.0518	0.0501	0.0501	0.0501
0	0.1	y_0 [mm]	0.099	0.1015	0.1001	0.0998	0.0998
0	0.0002	l^*	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
0	0.0009	m^*	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
400	402	k^* [mm]	402.036	401.991	401.994	401.998	401.998
15	15.5	α^* [grade]	15.498	15.5006	15.5004	15.5001	15.5001

Table 2. The influence of the measurement device errors on the accuracy of the identification method

Parameters Values		Model parameters	Measurement device precision [μ m]			
Nominal	Real		2	10	2	50
0	0.01	x_0 [mm]	0.0101	0.0095	0.0099	0.0107
0	0.01	y_0 [mm]	0.0101	0.0094	0.0102	0.0123
0	0.0026	l^*	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026
0	0.0026	m^*	0.0026	0.0026	0.0026	0.0027
400	402	k^* [mm]	401.9953	401.994	402.0039	402.0326
15	15.5	α^* [grade]	15.5003	15.5004	15.4997	15.4977

6. CONCLUSIONS

In this paper we described a method for correction and identification of fixturing errors which is mainly based on regression techniques.

We analyzed in detail the case of fixturing errors which appears in the case of the turning operations for conical reference surfaces. Similarly, the case of other reference surfaces can be analyzed.

To validate the proposed method, numerical simulations were performed. These simulations revealed that the proposed method can be used even for small measuring lengths. Also the proposed method is robust so it can determine the correct values for the reference surface parameters.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007.

REFERENCES

1. Cai, W., Hu, S.J., Yuan, J.X. *A variational method of robust fixture configuration design for 3-d workpieces.*, J. Manuf. Sci. E.T ASME, 119: 593-602.
2. Chaiprapat, S., Rujikietgumjorn, S., *Resultant geometric variation of a fixtured workpiece*, Songklanakarin J. Sci. Technol, Vol.28 No.1 Jan.-Feb. 2006
3. Estrems M., Sanchez H. T., Faura F. *Influence of Fixtures on Dimensional Accuracy in Machining Processes*, Int J Adv Manuf Technol (2003) 21:384-390
4. Kang Y., Rongl Y., Yang J. C. *Computer-Aided Fixture Design Verification*. Int J Adv Manuf Technol (2003) 21:827-835
5. Salisbury, E.J., Peters, F.E. *The impact of surface errors on fixtured workpiece location and orientation*. NAMRC Trans., 26: 323-328.

[5] Marin F.B., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Constantin I.C., Holarhic-attributive modeling of the machining systems - a new approach, Annals of the „Dunărea de Jos” University, Fascicle V, ISSN 1221-4566, 2009, (indexata BDI)

THE ANNALS OF “DUNĂREA DE JOS” UNIVERSITY OF GALAȚI
FASCICLE V, TECHNOLOGIES IN MACHINE BUILDING,
ISSN 1221- 4566, 2009



HOLARCHIC-ATTRIBUTIVE MODELING OF THE MACHINING SYSTEMS – A NEW APPROACH

Florin Bogdan Marin, Alexandru Epureanu, Vasile Marinescu,
Mihaela Banu, Ionut Clementin Constantin

“Dunarea de Jos” University of Galati,
email: florin.marin@ugal.ro

ABSTRACT

Manufacturing machine control implies the following aspects: geometry control, dimensional control, stability control, cost control, adaptability and predictability assurance, optimal, adaptive and predictive features of the control system, as well as models structuring and building. The paper subject is the manufacturing machines dedicated to workpiece processing. The research goal is the increasing of manufacturing machine competitiveness through: i) lead time reducing; ii) fast programming; iii) deviation minimizing iv) productivity increasing; v) cost minimization and, finally, vi) stability control. This research is based on the following four key ideas: a) attributive modeling instead of phenomenon approach aiming the integrated control of the physical, economic, commercial, trading and organizational aspects of the manufacturing machine operation; b) holarhic control system with an open architecture instead of hierarchical control with closed architecture c) knowledge acquisition from current operation and its immediate using for manufacturing machine control; d) control based on simple localized models, built with recent data instead of complex and general model built with historical data. The research is aiming the development of a new concept for manufacturing machine control based on holarhic attributive modeling and online supervised learning.

KEYWORDS: cutting process, machining system modeling, dimensional control, stability control, econometric control, holarchy.

1. INTRODUCTION

Machine tool control involves the following aspects: 1) control of geometry, 2) dimensional control, 3) stability control, 4) econometric control 5) to ensure adaptability and predictability, 6) to ensure adaptive optimal predictive control, and 7) types of models and their construction. Nowadays these issues are implemented by numerical control and are addressed as follows:

1. *Geometry control.* The current machine tool control systems fully covers only the nominal geometry of the manufactured part, which are used as input for CAD / CAM / CIM systems and numerical control.

2. *Dimensional control.* Regarding deviations from the nominal geometry, the machine tool are controlled just by the feedback loops of the online or offline machine control systems, which modifies, as appropriate, various control variables such as intensity process [1][5] or trajectory tool (called correction tool) [2]. On the other hand, deviations are measured

and controlled only for the simple geometric elements (plane, cylinder, etc.) [3] and not as a group of surfaces, through which two components of the manufactured mechanical system are coupled.

As a result, the fits are simple pairs of simple surfaces, and not two pairs of topological structures, as in the practical case. A control system to cover dimensional deviations should consider the entire group of surfaces and not each surface separately, and should be based on adaptive-predictive control of tool corrections, in order to maintain the process intensity at the most economical level.

3) *Stability control.* In machine-tool control, stability (defined as regeneration of the inherent perturbations) varies in very broad limits with work conditions and it changes along the trajectory of the tool [4], and also with cutting edge geometry and position [6][7]. For a machine-tool-device-workpiece system, the stability control it is ensured offline by reducing the process intensity (and therefore productivity), to avoid instability during processing. As a result, there is

always unused reserve of stability, which means that, in terms of stability, the machine tools never use its full capacity. Therefore, a system of stability control system, using the machine tool full capacity, could bring an important addition to performance.

4. *Econometric control.* In the case of classic machine tool it is adjusted the offline workcycle parameters, in agreement with the tool characteristics and part requirements, and so that cost and productivity have appropriate values [6]. Uncertainties that arise here are that the productivity and cost can not be simultaneously extremized. A question is raise: how should we produce? More expensive and faster, or cheaper and slowly? The answer is depending on a commercial aspect, namely market success of the product.

If the machine tool control would consider these issues then we could obtain a balance between the technical, economic and commercial components.

5. *The machine adaptability* to the market and operator demands. This is only conceptual adjusted by the computer numerical control and by flexible reconfigurable hardware architectures. In this manner there are two critical aspects: a) the fact that the machine is controlled by the operator using a part program in which the machining task is described in detail, leading to important time consumption; b) the fact that the reconfigurable machine tools consumes time for the control system modification.

2. HOLARCHIC-ATTRIBUTIVE MODELLING OF THE MACHINING SYSTEMS

The research aims for the development of a new concept regarding the control of machines, which is based on a holarhic attributive model, associated with unsupervised online learning and the conceiving of a predictive, adaptive-optimal control system for reconfigurable machines.

In our research, we are taking into account the following issues:

The machine predictability. In the commercial activity of bidding-negotiation-contracting, the necessity of the pre-evaluation of the relation between the product and the machine always emerges. This aspect is not taken into consideration in the actual control systems for the machine tools. The commercial control of the machines implies the modeling of the relations between the machining task and the min-max level of the consumption of any kind (materials, energy, tools, time) generated for the machining task accomplished.

The adaptive, optimal or predictive character of the machine control. At the present moment, this aspect implies two conceptual models: a) the adaptive control with restrictions; b) the adaptive-optimal control. Until now only few papers propose the control systems based on predictive control.

The typology of models and their construction methodology. Up to the present, the models used for the command of machines are analytical, numerical and neuronal. The model construction is based on offline investigation of a prototype, building an experimental database and using this database to select from a model family the most suitable model. In the artificial intelligence domain exists some techniques which permit the online extraction of knowledge. A control system for a machine should build online models necessary for control using a cognitive system.

Based on these issues we propose a new control for machining systems.

Six of the attributes that characterize the machine-tool can be retained to describe adequately enough the behavior of the machines in relation with the technical, commercial and economical aspects. These attributes are: accuracy, stability, productivity, economicity, predictability and the adaptability. The level of these six attributes characterizes not only the behavior but also measure in what the machines satisfy the market demands. These attributes will also be used for the control of machines and will be called "command attributes". These attributes are modifying their levels in function of the state parameters values such as cutting speed, feed rate, cutting force, temperature. A part of these parameters can be modified and they can be used as control variable. For these motives the levels of the command attributes can be *evaluated by monitoring the state parameters and controlled by the correction of the control variables.*

By holarhic control we mean the control system in which the elements are structured in a holarhic way and interact between each other for reaching their objectives, but respecting a set of regulations imposed by the control. Keeping the proportions, an example of this concept is the Ministry of Economy and Finance, an institution that in holarhic manner controls the economical agents which compose the national economy. Although the agents are acting freely on the market, they must respect the rules impose by the ministry, and that set of rules determines a certain evolution of the economy.

In Fig. 1 we present the scheme of a new concept proposed in this paper, namely the control using holarhic attributive modeling and unsupervised online learning. The concept will be developed and tested using the pilot implementation for the control of a machine tool (a lathe). During the transformation of the material into the finite piece (according to the part program) the monitoring system will measure the state variables of the machine and, using the models E1, E2, E3, E4 will obtain at the output the levels of the command attributes. The holarchy analyses the level of these attributes and, using its regulations, will supply the decision tree (Fig. 2). The holarchy regulations reflect the administration policy regarding the market (for example the market success of the

products). The decision tree is transmitted to the control system which generates the correction for each command attribute providing the optimal behavior of the control system. Using C1,C2,C3,C4 models these corrections are transformed in corrections of the control variables which are transmitted to the interpreter, to be added to the reference values of these variables (values resulting

from part program interpreting). The database resulting from long term monitoring of the machine is used for the unsupervised online learning to update the E1...E4 and C1...C4 models according to the evolution in time and space of the machine behavior, assuring in this way the control system's adaptive character.

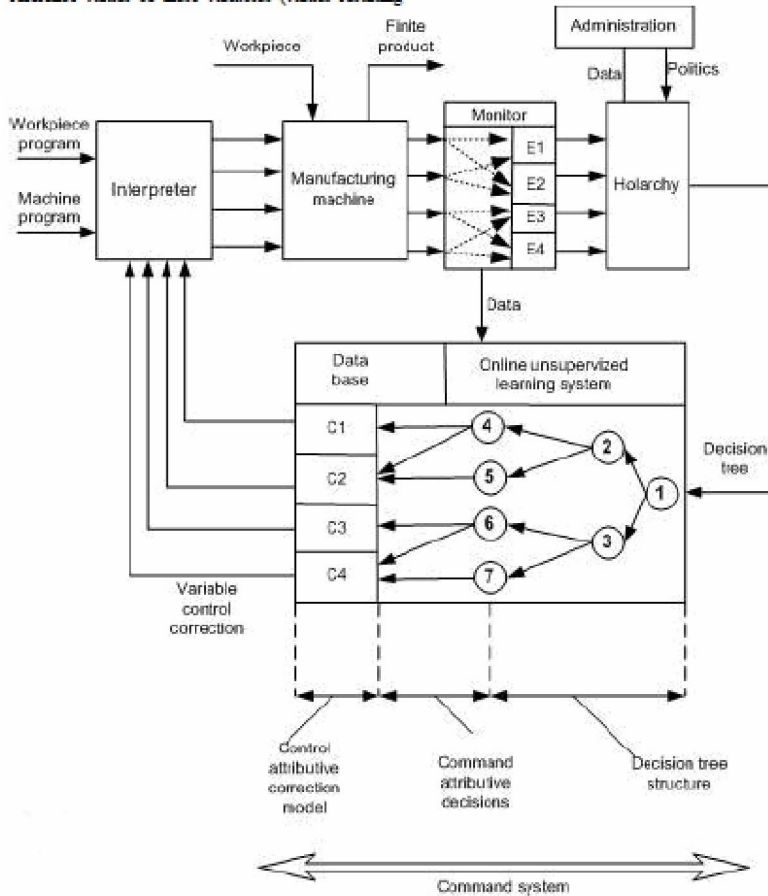


Fig.1 Conceptual scheme of the holarchic attributive control system

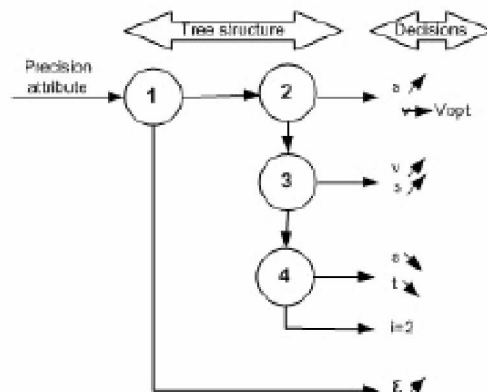


Fig.2 Control decision tree

3. CONCLUSIONS

The importance of the proposed architecture for the machine-tools domain is pointed out by the fact that some of the performance indicators of these machines can vary in wide limits, without being controlled, which leads to the idea that there is important unused reserves for these indicators improving. The following data is evident a) the dimensional deviation can vary up to 10 times during a single surface machining; b) the stability limit can vary up to 5..8 times during the same machining; c) the energy consume can vary up to 8 times during the same machining; d) the machine's adaptability to the operator needs and to the market demands leads the production in small batches to be very expensive comparing to the large production batches; e) the predictability of the machines resumes to a rough costs approximation (for example Euro/Kg of mechanic construction). The new concept of machine control can lead to a better utilization of the capabilities of the machines as well as a better response to the market and operator demands.

At a scientific level, the impact of the research is materializing in development and generalize at conceptual level of a new idea of control, according to which the place of control variables is taken by the command attributes, the place of the control model is taken by the control system holarchy and the corrections are substituted by the decisional tree which result from the holarchy output. This approach opens new horizons in development of more advanced control systems which will be able to operate holistic with more diverse, technical, operational economical, commercial aspects.

At the industrial level, the impact of the research is materializing in creating of a new generation of machines which would correspond better to the market exigency and would put good use

to the progress from other domains such as artificial intelligence, sensor technology, information and communication technology. This new generation of machine will have the capability to realize customized products in good economic conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007.

REFERENCES

- [1] Cho, M.-W, Kim, G.-H, Seo, T.-I, Hong, Y.-C., Cheng, H.-H., *Integrated machining error compensation method using GMM data and modified PNN Algorithm*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,43, pag. 1417-1427, 2006.
- [2] Cucu, M., *Contribuții privind algoritmișarea profilării concepte a sculelor în scopul diminuirii erorilor de generare*, *Tent de doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați*, 2007.
- [3] Jian, L., Hongqing, L., *Modeling system error in batch machining based on genetic algorithms*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,43, pag. 599-604, 2003.
- [4] Lee, J. H., Liu, Y., Yang, S. H., *Accuracy improvement of miniaturizing machine tool geometric error modeling and compensation*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,46, pag.1508-1516, 2006.
- [5] A. Lamikiz & L. N. López de Lacalle & O. Ocerin & D. Dier & E. Maidagan, *The Denavit and Hartenberg approach applied to evaluate the consequences in the tool tip position of geometrical errors in five-axis milling centres*, *Int J Adv Manuf Technol* 37:122-139, 2008.
- [6] E. G. Kudoyarov, S. I. Fetak, and Yu. V. Perevertilo, *Determining parametric faults of machine tools*, *ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research*, 2008, Vol. 28, No. 2, pp. 173-176. © Allerton Press, Inc., 2006.
- [7] H.T. Sanchez, M. Estrems, F. Faura, *Analysis and compensation of positional and deformation errors using integrated fixturing analysis in flexible machining parts*, *Int J Adv Manuf Technol*, 2006.

IDENTIFICATION OF THE SURFACE ROUGHNESS-STATE VARIABLES RELATION AND ITS APPLICATION TO THE HIGH- SPEED MACHINING CONTROL

VACARUS Viorel, EPUREANU Aleandru, MAIER Catalina,
PAUNOIU Viorel

Dunarea de Jos of Galati University, Romania
email: viorel.vacarus@ugal.ro

ABSTRACT

In this paper surface roughness, obtained by machining with different cutting speeds, is analyzed. A special experimental device was developed for this. Surface roughness was investigated using digital device Surtronic 3+ and was analyzed with specific software Talysurf. Materials used for this study of roughness at high speed machining conditions were six brands of high and medium alloyed steels, machined with two different cutting feeds and six different cutting speeds. Transversal profile of the asperity was investigated, and was established the minimum chip thickness. Longitudinal profile of the asperity was, also, established. At the end we proposed a modified cutting tool and modified cutting model in order to obtain the minimum of the surface roughness, applicable to the high speed turning finishing of machined surfaces.

KEYWORDS: high speed machining control, surface roughness, state variables, identification

1. INTRODUCTION

High speed machining, is one of the modern technologies which, in comparison to conventional speed machining, allow high metal removal rate, considerably increase in productivity, increased surface finishing and eliminate cooling. It leads to shortening the manufacturing time, some processing step elimination (manual manufacturing) and has no influence on dimensional precision and surface quality. These advantages are decisive for using high speed machining in different industrial fields under special conditions.

High-speed machining processes has been known for relatively long time, but there is still needed further research in order to further improve parts' quality and to reduce machining costs.

The machining features, which are hallmark of super alloys, are: involvement of multiple wear mechanisms in cutting tool failure, considerable damage to machined surfaces, which extends to the sub-surface levels in some cases, and involvement of intense shear in the chip formation [1, 2].

The machined surface characteristics such as surface roughness and surface damage have

significant influence on the surface sensitive properties such as fatigue, stress, corrosion resistance and creep strength, which in turn affect the service-life of components [3]. Therefore, high degree of surface integrity is an essential requirement for better performance, reliability and longevity of the machined parts during service. The cutting forces have an important contribution to the generation of stress and temperature in the machined surfaces. They further influence the stress and temperature along tool-chip and tool-work interfaces. All these effects finally lead to poor surface integrity unless the working conditions are properly selected. Therefore, it is important to know the machining parameters, which reduce cutting forces and generate favourable surface characteristics.

The surface generated during machining has been a subject of research of a number of investigations. These include analysis and/or evaluation of surface finish, surface alterations [5, 8, 10, 13-17].

Besides, it is demonstrated that the cutting tool edge geometry significantly influences many fundamental machinability factors such as cutting forces, chip generation, cutting temperature, tool

wear, tool-life and characteristics like surface roughness and surface damage [10, 11, 16, and 17].

It appears that most of the work has been done at reasonably lower cutting speeds, whereas the increasing use of materials in different conditions and industries necessitates the knowledge of their machinability properties at higher cutting speeds, which is not adequate at the present. Further, less attention has been paid to optimize the process parameters to improve machinability in terms of cutting forces and surface integrity of machined materials. Also, most of these studies include random experiments.

Thus, in this experimental work, turning process is selected to assess the effect of edge geometry and machining parameters on the surface integrity. The surface quality in terms of surface roughness and surface damage has also been investigated.

The following sections of this paper describe the plan of the experiments and their execution followed by the analysis of the results.

2. EXPERIMENTAL DEVICE

In order to realise the experimental study of the surface roughness generated by high speed machining, it was designed and built the following experimental device presented in Fig. 1:

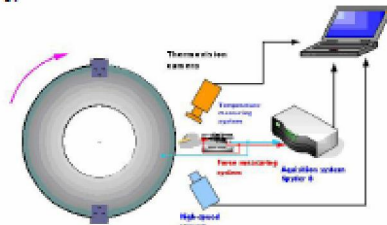


Fig. 1. Experimental device for the study of high speed machining

The disc of the device is made of a steel base with a 500 mm diameter, placed on the chuck of the numerical controlled frontal lathe.

On this disc two opposite channels were machined, with the dimensions of 60x40x3mm, in which the analyzed samples were located. These samples were attached with three M10 screws. The whole device is protected against accidental detachment from the lathe axis.

The cutting speed obtained, while the main axis of the lathe revolves at a speed of 1400 rot/min, is 36,6 m/s.

The tool used was a lathe tool offered by the Sandvik company, model ISO DVJNL 2020K16 fitted with Garant brand insertions made of metallic carbide (HB712) and with cubic boron nitride (CBN 725) respectively.

Materials used for the study of roughness when processed at high speed are six brands of high and medium alloyed steels: 42CrMo4, OLC45, 20TiMnCr12, 34MoCrNi16, 18MnCr11, 41Cr4.

From these materials, samples are made having the dimensions of 60x60x25 mm, which are further machined using two types of cutting inserts; an insert of metallic carbide Garant brand with grade HB712, and another insert having the edge made of cubic boron nitride (CBN), still Garant brand, grade CBN725. Each of the selected work materials were machined with both cutting tools, employing two feeds and, respectively, six cutting speeds.

The cutting speed was chosen adequately in order to comparatively study both the field of conventional cutting and also the field of high speed cutting. The maximum speed employed is conditioned by the maximum revolution that the lathe can generate.

The roughness was measured using the digital device Surtronic 3+ and the profilegrams were obtained by using the Talyprofile software, thus enabling the computing of the various profile parameters.

Several parameters of the cutting process were investigated such as, cutting force, temperature, etc. in order to establish a strong relation between surface roughness and state variables.

3. RESULTS ANALYSIS

One important aspect of roughness is the generation of roughness, occurring mainly due to two important conditions:

- Generating profile of the tool,
- Micro profile of the cutting edge.

We shall further present the experimental study of generated roughness occurring due to the cutting tool profile which, while turning, results in the occurrence of some tracks on the processed surface. These tracks had a transversal profile, specific for the cutting edge and located at a distance that was equal to the feed (fig. 2).

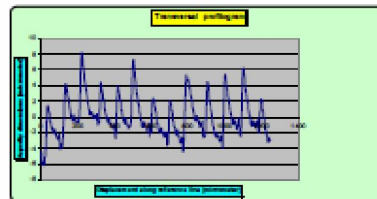


Fig.2. Typical aspect of a transversal profile obtained during experiments

The transversal profile was investigated for the surface obtained using various cutting speeds and for various tool and work materials.

In order to study the generated roughness of the cut surface, the profile of roughness along the movement direction of the cutting tools was analyzed (Fig.3.).

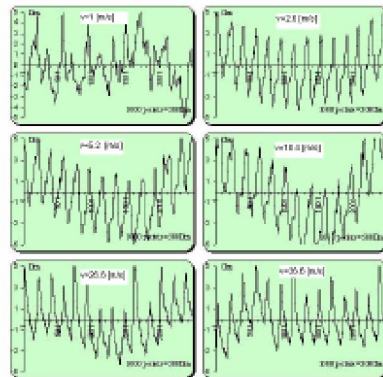


Fig.3. Variation of the transversal profile in accordance with the cutting speed

It can be seen that the variation level of the profile rises towards the direction where the tool movement decreases with the cutting speed. This is due to the fact that the random phenomena generated at lower cutting speed are subsequently replaced with plastic deformation phenomena, the chip being ultimately the results of a pure plastic deformation.

The following observations can be advanced.

It is remarkable the exact pattern in which the transversal profile is generated along the tool feed movement direction, which shows that there are only few random aspects that may interfere when generating this profile.

Also, it can be seen that there is a difference of the relative position between two successive profiles, which is explained by different shock behaviour of the experimental system.

Large scale evolution of the transversal profile position may be due to the measurement system, as the measurement reference moves along the touched surface.

The height of profile edges are significantly altered along the surface exploration movement, and are not rigorously correlated with height alterations for each profile base. This suggests the fact that there are random phenomena while forming this area of the transversal profile.

In order to develop a detailed study of the transversal profile, this profile was examined in various areas of the surface and compared with the theoretical profile of the generating edge of



Fig.4. Transversal profile of roughness in various surface areas

the tool, as it can be seen in Fig.4

It can be seen that an area of the profile looks very close to the shape of the theoretical profile, which shows that within the respective area do not occur phenomena leading to the profile copy disturbance, and even of the cutting edge micro profile disturbance, on the cut surface.

In exchange, the other area of the profile drastically differs from the theoretical profile and, moreover, is significantly differs from one area to another. This supports the idea that the respective area of the profile is not generated by the geometry and by the micro geometry of the cutting edge, but is the result of a plastic deformation process, influenced by random phenomena. This also explains the significant variation of the profile height in various areas, which was noticed in Fig.2 as well.

3.2 Minimal chip thickness

With a view of explaining the differences between the real and the theoretical transversal profiles, the connection between these differences, the variation of the thickness of the detached chip was analyzed. In Fig. 5 it can be seen that the differences always occur in the CB area of the theoretical profile and corresponds to the area in which the chip thickness takes very small values tending to zero. Indeed, as it results from Fig. 5, the shape and the dimensions of the theoretical chip greatly varies, and this happens predominantly in the area in which the tool profile generates the transversal profile of surface roughness. Taking into account that the tool edge is not perfectly sharp, as it is the result of the joining of the evolving side towards the facing side with a

radius of 5 μm , then it results on the occurrence of a situation in which the thickness of the theoretical chip is smaller than the joining radius of the cutting edge. It is apparent that in this situation the material will not advance towards the chip, but it will be crushed and forced to advance below the cutting edge. By examining the real case of laboratory experiments, it can be seen that it is a good correspondence between the C point located on

the theoretical profile, where the theoretical thickness of the chip can be compared to the cutting radius of the cutting edge, and the point in which the dimension of the transversal profile begins. It can be concluded that there is an area CB of q width, where the cutting is replaced by ramming.

The thickness of the theoretical chip corresponding to the C point will be referred to as minimal chip thickness.

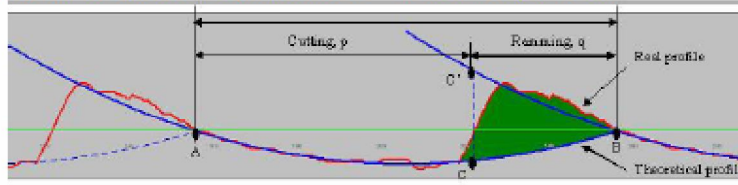


Fig.5. Correspondence between the real and the theoretical profile represented by the values close to vertical and horizontal scaling

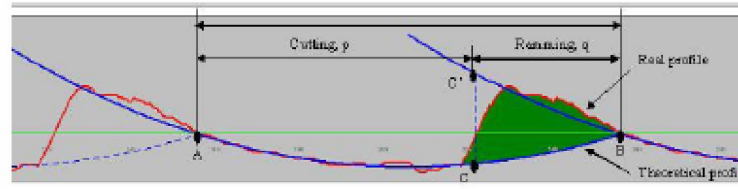


Fig.5. Correspondence between the real and the theoretical profile represented by the values close to vertical and horizontal scaling

It was experimentally studied the variation of the minimal thickness of the chip with the cutting speed (fig. 6.).

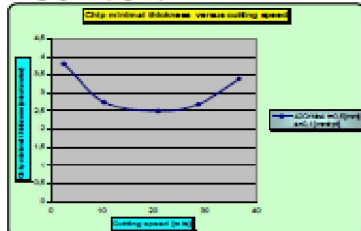


Fig.6. Variation of the minimal thickness of the chip, compared to the cutting speed

It can be noticed that there is an optimal value of the cutting speed in which the cutting edge has the capability to cut thin layers of material, the smallest value of the minimal thickness reaching the value of 2,5 μm .

3.3 Longitudinal profile of the asperity

In order to study cutting roughness, the profile of the asperities in the speed direction of the work piece was analyzed.

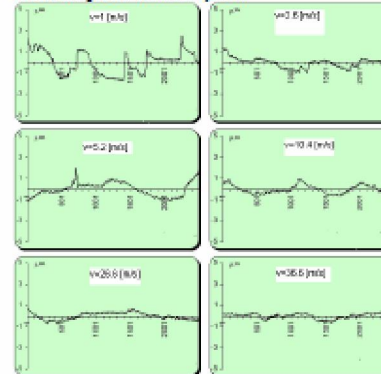


Fig.7. Variation of the longitudinal profile in accordance with the cutting speed

It is observed that with increasing of cutting speed the roughness profile variation level in direction of tool movement is decreasing. That is happening because of random aspects of chip formation which characterise machining at low speed are been replaced by plastic deformation phenomena, the chip being made only by pure plastic deformation.

As we have shown above, the total surface roughness is given mostly by transversal roughness while the longitudinal roughness given by cutting process has a relatively small influence.

Thus, to control surface roughness one must increase the cutting speed and to operate with a cutting tool having a special geometry.

To test the finishing possibility of the high speed cutting, on the basis of the results obtained within our research, it was proposed a finishing process by turning, in accordance with the cutting diagram presented in Fig. 8

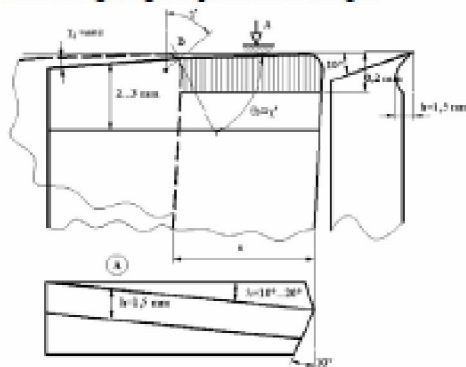


Fig. 8. Cutting diagram for surface finishing by high speed cutting

In Fig. 8 are presented two successive positions of a lathe tool with modified geometry. To obtain finishing by high speed cutting, the tool positions has been successively positioned at a distance equal to the feed, s . The

λ_1 angle takes very small values. In this case the chip thickness has the value of 0.2 mm, and the width is equal to the feed rate value, which in the case under focus is of 0.3 - 0.5 mm/rev.

In Fig.9 is presented the transversal profile of roughness obtained by machining with modified cutting tool. It is observed that by variation of λ_1 angle transversal profile of the roughness is influenced only by microprofile of cutting edge and not by geometrical profile of him. The results are $R_a=0.199 \mu\text{m}$ and $R_z=1.42 \mu\text{m}$. Thus, for the next decreasing of surface

roughness it must to carefully finishing the cutting edge

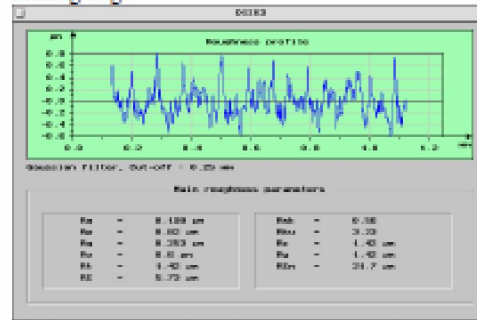


Fig.9. Transversal profile roughness obtained by machining with modified cutting tool

4. CONCLUSIONS

The conclusions drawn for surface finishing by high speed turning are the following:

1. Surface finishing by high speed cutting is possible up to $R_a=0.2 \mu\text{m}$.
3. The cutting speed can be increased, thus highlighting the adiabatic character of cutting.
4. By high speed cutting and careful finishing of the tool cutting edge, it can be obtained a machined surface with significantly decreased roughness similar with those obtained by grinding.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper was developed under the research grant PN-II-ID_653/2007, funded by the Romanian Ministry of Education and Research.

REFERENCES

- [1] Bonney J., Eragwu E.O, Yamane Y., *An overview of the machinability of astro-engine alloy*, J. Mater. Process. Technol. 135 (2003) 233-233.
- [2] Pawade R.S., Josh S.S i., Rahman M, *High speed machining of 'difficult-to-machine' materials: superalloys - Inconel 718*, in: *Proceedings of Dyojo on High Speed Machining of ard/Superhard Materials*, NUS Singapore, 7-11 November 2003, pp. 14-28.
- [3] Field M., Kahler J.F., Koster W.P, *Surface Finish and Surface Integrity*, ASM Handbook, vol. 16, Machining, 9th ed., ASM Publication, ASM, Metal Park, Ohio, 1989.
- [4] Sadat A.B, *Surface region damage of machined Inconel 718 nickel-base superalloy using natural and controlled contact length tools*, Wear 119 (1987) 225-235.
- [5] Redd M.Y.y, Sadat A.B., Wang B.P., *Plastic deformation analysis in machining of Inconel 718 nickel base superalloy using both experimental and numerical methods*, Int. J. Mech. Sci. 33 (10) (1991) 829-842.
- [6] Hayashi K., Kitagawa T., Narutaki N., Yamane Y., *High speed machining of Inconel 718 with ceramic tools*, Ann. CIRP 42 (1) (1993) 103-106.
- [7] Rahman M., Seah W.K.H., Teo T.T., *The machinability of Inconel 718*, J. Mater. Process. Technol. 63 (1-3) (1997) 199-204.

HOLONIC FEEDRATE SCHEDULING

Florin Bogdan Marin, Alexandru Epureanu, Mihaela Banu,
Vasile Marinescu & Ionut Clementin Constantin

"Dunarea de Jos" University of Galati, Department of Manufacturing Science and Engineering

Corresponding author: Florin Bogdan Marin, florin.marin@ugal.ro

Abstract: The key idea of this paper is to replace the offline ISO G-code part programming with online parametric optimal work cycles scheduling software, aiming maximum simplifying the numerical control system architecture and online high-resolution optimizing the machining process. Nowadays, the CAM products work with ISO G-code program-lines, specific for each machining operation. In our holonic approach the program-lines are replaced by parametric optimal scheduling software, also specific for each machining operation. The input data are the task description (for instance machined surface shape, tolerance and roughness), on one hand, and the control variables of the reactive scheduling control system (for instance maximum chip width), on the other hand, while the output data are the values of the hardware modules control variables, specific for each quantum of the process. This paper presents the development of a holonic modeling technique and its application to optimal feedrate scheduling.

Key words: holon, holarchy, feedrate scheduling, machining process optimization.

1. INTRODUCTION

In the cutting process higher productivity and shorter development period of a new product are the main targets.

To achieve this, CAD/CAM systems were introduced to generate code for CNC machine-tool programming. One of the major research issues concerning machine programming is directly related to reducing the machining time by optimal feedrate scheduling.

Currently, there are three CNC programming standards: RS274D (USA), ISO6983 (ISO) and DIN66025 (Europe). However, the most common machine-tool programming language is G-code (ISO 6983).

On the other hand, in the part-program the functions controlling the movement along a path are described successively. This is why, in a largely sense, we can state that the part program is actually describing the machine-tool work cycle scheduling. Indeed, in the turning process for instance, besides X, Z, coordinates, there are programmed several system

state variables, such as spindle speed, tool correction etc. We notice that in fact G code basically refers to the scheduling of the system state variables.

G-code programming language is inappropriate for high resolution control as it refers to considerable long paths schedule along which cutting conditions remain unchanged though "the scenario" is continuously modified. Further, when a programmer generates NC code using CAM software, it has to be completed accordingly because most existing CAM software generates the tool path only and doesn't provide information concerning machining parameters.

Feedrate optimization problem is subject to several possible objective functions, building the framework for control model. Firstly, the common objective function used in feedrate scheduling is material removal rate (MRR), [3]. In the MRR based approach, feedrate is dependent to either average or instantaneous volumetric removal rate. Secondly, the objective function is based on the process mechanics. In this case, using the force model, the feedrate is setted to a value which keeps either average or instantaneous machining forces to prescribed values. Using these objective functions either MRR or force value are computed and maintained at allowable level during part processing.

The disadvantages of keeping either MRR or force value at allowable level are, in the first place, the efficiency is lowered and secondly, the optimization is incomplete performed, as it does not take into account several variables in the process such as chip width (determining risk of chatter), roughness or chip thickness (determining risk of edge damage). Moreover, commonly used CAM programs and NC code generators are based on geometric and volumetric analysis, but they do not concern the current blank surface shape to be processed. CAM software considers only the nominal dimensions inputted from CAD model [4] [5] [6]. The artificial intelligence concepts tend to be used in different fields. The Multi-Agent System (MAS) field is concerning modeling and building complex

distributed applications. The term holon was originally introduced in 1967 by the Hungarian Philosopher Arthur Koestler [7] and refers to natural or artificial structures that are neither wholes nor parts in an absolute sense.

Holonic organizations have proven to be an effective solution by providing high responsiveness to environment change and high stability to perturbation. In many holonic applications, a holon is autonomous entity to the outside world, and may be composed of other several holons. Frameworks have been proposed to model specific problem, such as Holonic Manufacturing Systems [8].

In this paper, we extend the above mentioned idea, which refers to high resolution control, aiming the process high resolution control through high resolution scheduling of the machine tool work cycle. The new idea is that the output of the proposed CAM is a parametric software that is controlling the machine during the part processing, by adapting the cutting conditions to each blank sample peculiarity and to the current machine-tool state. Thereby by computing every cutter location according to the imposed restrictions and the current blank profile the feedrate scheduling is performed. The input data are the task description (for instance machined surface shape, tolerance and roughness), on one hand, and the control variables of the reactive control system (for instance maximum chip width); on the other hand, while the output data are the values of the hardware modules control variables. This paper presents the development of a holonic modeling technique and its application to optimal feedrate scheduling.

The organization of the rest of the paper is as follows. Section two presents the problem formulation, section three is dedicated to develop a exhaustive search base approach as reference for holonic approach, section four presents at conceptual level the proposed holonic modeling based technique for optimal feedrate scheduling and in section five are show numerical result obtained with the software developed in the frame of this research. Finally section six summarize main conclusion of the research.

2. PROBLEM FORMULATION

We aim to solve the problem of optimizing the values of cutting conditions for improving the process efficiency. Firstly we need to solve the optimal feedrate scheduling problem and secondly to determine the suitable optimal speed scheduling each time taking into account specific objective function and restrictions.

This paper is dedicated for the first problem only. Considering the blank profile, the surface to be machined profile, the restrictions as regard chip area, cutter active length, roughness and chip width, we need to determine successive cutter locations corresponding to the maximum value of the chip area

in order to maximize the process productivity. The input data are the tool and workpiece CAD model, the actual blank profile and the four restrictions.

Computing successive positions of the cutter profile considering the restrictions described above is a combinatorial problem which can be solved by exhaustive search technique. Practical implementation of the algorithm in online control requires a considerable computing time. This is the reason to develop another technique to provide reasonable computing time. The software able to compute successive cutter position, according to our approach, is replacing nowadays G-code programming language.

3. EXHAUSTIVE SEARCH BASED APPROACH

As shown in Fig.1.a, so far that concern the turning process, the insert cutting edge profile is divided defining remarkable (m) points; we addressing to a current remarkable point on the cutting edge as j point. Similarly as depicted in Fig.1.b, the workpiece profile is divided in remarkable (n) points and we referring to a current remarkable point on the workpiece profile as i point.

Current cutter location is described by (i, j) pair; while i , is defining the current cutter location, j is defining current cutter profile remarkable point. Another variable in our optimization program is the variable k , which is the indexing variable for (i, j) pair.

Let us consider a lathe with an additional degree of freedom represented by rotation of the tool assembly, with an φ angle.

Our search algorithm is using as reference calculation the previous cutter location $(k-1)$, as in Fig.1.b, representing the last selected cutter location. Consequently, every k position is associated with the $\varphi(k)$, $Z(k)$ and $X(k)$ variable values.

In the proposed search optimization algorithm we use current Z variable value defining the length $\{P, Q\}$ which is the length of active cutting edge, as seen in Fig.1.b.

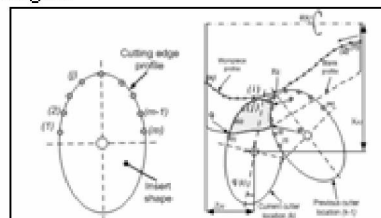


Fig.1 Feedrate scheduling problem
a) cutting edge profile and its remarkable point
b) successive cutter locations

Our objective is to determine (i, j) pair under the specific search criterion of maximizing locally chip area.

While the search criteria in the MRR and force model are the MRR and the force respectively, in our approach the search criterion is the locally maximized chip area.

In the above two approaches the variable for controlling the process is the feedrate, whereas we are using two distinct variables, cutter location (or F_{edrate}) and cutter profile. The cutter profile variable is the additional freedom degree determined by rotary tool assembly.

Concerning the restrictions, in the case of MRR model, the chip area is set to a maximum allowable ($A < A_a$), and in the case of force model, the restriction is the force ($F < F_a$). Our approach defines four restrictions: $(A_a > A(i, j), R_a > R(i, j), a_a > a(i, j), L_a > L(i, j))$, where A_a is allowable chip area, R_a is allowable roughness, a_a is allowable chip width, L_a is allowable cutter edge length and $A(i, j), R(i, j), a(i, j), L(i, j)$ are the restrictions computed in each (i, j) cutter location.

The search technique used in our approach is exhaustive search by virtual machining. The main idea of the optimization algorithm is that, starting with the current i point on the part profile generated by j point on the tool, it is searched the next i cutter location and the next cutter profile j coordinate point, taking into account the restrictions defined by restricted variables ($A_{ij} < A_a, L_{ij} < L_a, a_{ij} < a_a, R_{ij} < R$), with the maximum chip area, in order to maximize productivity. For generation of certain i point on the workpiece profile, the tool must be positioned tangent to this profile in a j point. For this current cutter position, it is computed the values of controlled variables $A_{ij}, L_{ij}, a_{ij}, R_{ij}$.

Afterwards it is tested restrictions conditions $A_{ij} < A_a, L_{ij} < L_a, a_{ij} < a_a, R_{ij} < R$ and also if it is satisfied restriction that j point is on the active cutting edge. The results of the testing are consequently stored.

4. HOLONIC MODELING BASED TECHNIQUE

According to our holonic approach, the successive positions of the tool are represented by holons and the relation between two neighbors holons (two successive positions) are characteristics of the feedrate scheduling. A holon, so far that concern software implementation, is a process of the operating system, process that is able to cooperate and action in order to solve the task. Consequently every holon embodies one cutter position and cooperate with the neighbors holons to find best position of itself.

Bellow, we define the way holarchy operates and describe its architecture.

Holon actions are defined based on three notions: a) operations, b) instinct-laws and c) learned knowledge. The operations are the basic actions that are universal used and always are executed in the some manner regardless the task to be completed. Instinct-laws are the rules that are governing the relation between holons and point the situation when different operations are applied. The knowledge acquired is the search function as defined by user and is passed to the first holon using a specific language.

The first holon is the primordial holon which further is able to born new holons needed to perform the task. It is noted that the new born holons are inheriting all the knowledge and properties of the primordial holon, holon which consequently is losing its primordial identity after new holons have been born.

The search space is defined as the space where holons act to find a solution.

Holonic algorithm modeling implies the following steps:

- 1) Random occupation – holons represented by the insert profile are placed tangent to final part profile;
- 2) Initial elimination – In the holarchy is necessary to be performed elimination of certain holons because there are too many in the search space. At the programming level, the operating system process is self-destroyed.
- 3) Initial occupation – the holons try to occupy intermediary position in the search space.
- 4) Elimination – in this phase some holons are self destroyed as their existence is not justified.
- 5) Holon born – due to the fact that some of the search space is not occupied, it is needed that some holons to occupy this space. Due to this fact the local holarchies evaluate the space between them and decide a random number of holons to be born.
- 6) Distribution – After all local holarchies are complete it is search holons positions in the search space.

Further, we define the components of the three notions describing the holon actions.

a) Operations.

There are the following kinds of operation:

- Unification – is the action of several holons of grouping in a local holarchy, building a new holon.
- Isolation – is the action of a holon to separate from a holarchy
- Boming – is the action of a holon to born new holons.
- Destruction – is the action of self-destruction of a holon. This operation occurs when one holon notice that is not able to move in the search space because of different conditions. Therefore the holon decides by himself that its existence is not necessary.
- Holarchy changing - is the action of one holon to move to another holarchy.

- Proposal - is the action of one holon to propose an action to neighbor holons.
- Acceptance - is the action of agree of an action propose previously.
- Movement - is the action of a holon to move to another coordinate in the search space.

b) Instinct - laws

Instinct-laws are those universal applied laws, regardless the search function governing the holarchy. It is defined several instinct-laws:

- All space unoccupied must belong to a holon.
- If it is noticed inactivity of a holon, before the final solution is found, a holon operate self-destruction.
- If a holon notice that there is neighbor space not belonging to any holon and he is not able to occupy because of certain restrictions, the holon will born another holon to occupy it.
- The space occupied by other holons cannot be occupied.
- Operations are executed only between neighbor holons.

c) Acquired knowledge

The acquired knowledge is those functions that are provided by the human user. This knowledge defines the function of searching in the search space. In the case of holonic feedrate scheduling problem, the acquired knowledge is represented by the functions computing parameters value at each cutter location.

5. APPLICATION OF THE HOLONIC MODELING TECHNIQUE TO OPTIMAL FEEDRATE SCHEDULING

In this research two software were developed, one using the exhaustive search algorithm and another using holonic modeling.

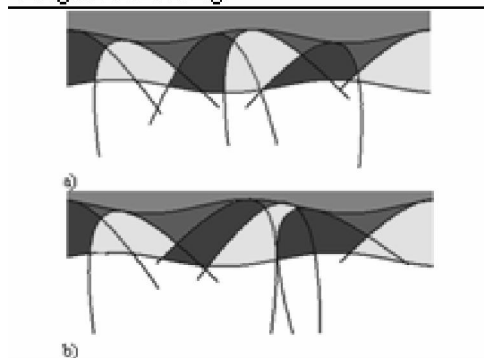


Fig.2. Comparison between results obtained using a) exhaustive search algorithm and b) holonic feedrate scheduling.

Using the some parameters and the some profiles for exhaustive and holonic modeling we noted that there are minor differences in the solution provided (see Fig.2). While the Compared with exhaustive search

technique the holonic modeling based technique is providing a solution with an average 10% less accuracy. However, the holonic modeling technique has the advantage of up to 10 times faster than the exhaustive search. The fact that the algorithm providing successive positions of cutter profile is needed to be run with high frequency a fast algorithm is a must have. Therefore the exhaustive search is not suitable for the online control and consequently, the holonic modeling is providing a suitable solution for the problem.

6. CONCLUSIONS

The on-line exhaustive search based feedrate scheduling by computing every cutter positions implies considerable processing resources. The exhaustive search cannot be used for online control and the proposed holonic modeling technique proves to be reliable.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007.

7. REFERENCE

1. Xi. Hwan Pyo Moon (2007), Equidimensional offsets for 2D machining with constant material removal rate, *Computer Aided Geometric Design International 2007 Elsevier B.V. Vol.X, No.V.*
2. Jeong Hoon Ko (2003), Off-line feed rate scheduling using virtual CNC based on an evaluation of cutting performance, *Computer-Aided Design* 33.
3. Li ZZ, Zhang ZH, Zheng L (2004) Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction. *Int J Adv Manuf Technol* 24(7-8):541-552
4. Stanislav Makhancov (2007), Optimization and correction of the tool path of the five-axis milling machine Part 1. *Spatial optimization, Mathematics and Computers in Simulation* 75, 210-230
5. Stanislav Makhancov (2007), Optimization and correction of the tool path of the five-axis milling machine Part 2. *Mathematics and Computers in Simulation* 75, 231-250
6. B.S. Soa, Y.H. Jung b., T.R. Kurfess c (2007), 5-Axis machining speed enhancement, *Journal of Materials Processing Technology* 187-188 75.
8. Arthur Koestler (1967). *The Ghost in the Machine*. Hutchinson.
7. Sebastian Rodriguez, Vincent Hilaire (2003) Towards a methodological framework for holonic multi-agent systems. *Fourth International Workshop of Engineering Societies in the Agents World*.
8. Paulo Leitão and Francisco Restivo (2006), ADACOR: A Holonic Architecture for Agile and Adaptive Manufacturing Control, *Computers in Industry*, Vol.57, pp.121-130.

INTEGRATED APPROACH OF THE DIMENSIONAL CONTROL IN TURNING PROCESSES

Ionut Clementin Constantin, Alexandru Epureanu, Mihaela Banu,
Vasile Marinescu & Florin Bogdan Marin

"Dumarea de Jos" University of Galati, Department of Manufacturing Science and Engineering

Corresponding author Ionut Clementin Constantin, ionut.constantin@ugal.ro

Abstract: Reducing the machining errors is necessary in the actual global context that requires the production of more precise mechanical products while maintaining low cost. The classical approach consists in using more precise tools and machines and dividing the allowance in order to perform roughing and finishing operations. This approach brings the price to a higher level, thus affecting the competitiveness.

In this paper an integrated dimensional control method is proposed. This method is based on integrated measuring equipment for on-machine inspection of manufactured part and a sensor fusion system. The measuring equipment is used for inspecting the initial surface (in order to assess the machining allowance), the final surface (in order to assess machining errors) and the reference surface (in order to assess fixturing errors). Using the obtained data, a mathematical model is built. Further, the model is used for prediction and compensation of the manufacturing and fixturing errors.

Key words: small batch manufacturing, process error, error compensation, predictive control, dimensional control

1. INTRODUCTION

In order to achieve reducing machining errors, one can modify the machining cycle parameters in order to reduce the process intensity or make use of high precision machines or high precision tools. These passive approaches in order to increase precision have a negative economic impact causing the increase of cost or/and low productivity.

Another solution may be to use common machining cycle parameters, machine tools and tools, and to act in the direction of correction the machining errors before its appearance.

This solution is more economic efficient to implement it because allows to obtain precise workpiece without using high precision machines or dedicated tools and using high productivity cutting parameters. The problem of error compensation and not reducing the error implies for the workpiece surface to be as close as possible to the designed target surface. Generally, the designed target surface is characterized by parameters set such as nominal

dimensions, tolerance, surface roughness, or relative positioning of the machined surface with respect to one or several reference surfaces. In many cases the reference surfaces are already machined and their position is different their nominal position. In order to obtain a low positioning error of the machined surfaces, the actual position of the reference surfaces must be known.

In order to correct the machining error and the positioning (fixturing) error a measuring system must be used in order to determine the error values and reference surface parameters.

In order to evaluate remanent or fixturing error some authors used coordinate measuring machines (Lo & Hsiao, 1998), (Wang et al., 2005), and offline machining error compensation without providing integrated solution of the problem.

Another approach implies using on-machine measuring system. Cho et al. used in the research OMM system to evaluate machining error on a milling machine (Woo et al., 2006). Similarly, the researches at National Institute of Standard and Technology U.S.A (Bandy et al., 2001), (Gilsinn et al., 2002) developed a control system for a lathe using data obtained from a length gage. They used the length gage in order to measure the workpiece after the roughing operation. Using the error patterns acquired after roughing operation they determined the machining error model, which they used for compensation in finishing process. We conclude that the system error haven't been corrected.

In this paper, an integrated dimensional control method is proposed. This method is based on integrated measuring equipment for on-machine inspection of manufactured part and a sensor fusion system. The measuring equipment is used for inspecting the initial surface (in order to assess the machining allowance), the final surface (in order to assess machining errors) and the reference surface (in order to assess fixturing errors). Using the obtained data, a mathematical model is built. Further, the

model is used for prediction and compensation of the manufacturing and fixturing errors.

The remainder of this paper is organized as follows: in section 2 the problem is formulated, in section three the key ideas are presented. The integrated approach of the dimensional control problem is presented in section 4, while in section 5 the experimental data obtained during the physical testing were presented and analysed. Sections 6 summarize the main conclusions of the research.

2. PROBLEM FORMULATION

The problem we aim to solve can be summarize as it follows: we want to build a control system to assure dimensional control in order to compensate the errors produced by the machining process, as well as the errors generated by machine imperfections. We don't want that the springback errors to be compensate "post-operation" as this are generated by redistribution of inner tensions in the workpiece material.

3. KEY IDEAS

1. The dimensional control will compensate the error point by point. The dimensional control will be able to model the error for a considerable amount of point on the machined surface. By dimensional deviation compensation, the compensation of:

- nominal dimension deviation
- shape deviation ,
- positioning deviation compared with reference surface such as the parallelism of the surface, perpendicular deviation will be made.

Using an integrated correction system for the entire surface cannot be compensated the shape deviation as well as relative surface positioning deviation.

2. The dimensional control system will model, predict and compensate the process errors as well system errors (including fixturing errors). In this sense two separate loop control will evaluate the necessary correction for punctual compensation of process and system errors, while the action of compensation will be singular and represented by simultaneous compensation of the sum of the above-mentioned errors.

3. In order to monitor the machining system during the process it is necessary to measure those factors susceptible to influence machining precision. The data provided by the sensors will be further used as parameters of the mathematical model for errors prediction.

The parameters, which influence dimensional precision, can be modified during the machining. The most important modification of causal relation between dimensional deviation and different

variables emerge in the case of reconfigurable machine tools, machines able to change structure to process another part family. Therefore, depending on the system configuration of the reconfigurable machine tool the dependency of the parameters to be used for prediction and compensation of dimensional deviation must be analyzed.

4. Determination of the data used to build mathematical model

Mathematical model can be build based on the information acquired as:

- corresponding to every workpiece process before the last workpiece
- corresponding to the last workpiece processed,
- corresponding to the last workpieces.

The using of the data for all part batch provide advantages concerning the amount of the data available and also has the disadvantage that some of the data may be inaccurate for the actual machining state.

On the other hand the data corresponding to the last workpiece processed presents several advantages concerning the actuality of the data, and the disadvantage that the data may not embody the evolution tendency of the machining system.

5. The dimensional control method is based on the strategy that can be summarised as it follows:

- the machine tool is monitored during the cutting process,
- the data acquired from monitoring are stored in a database. The database will contain information concerning the current workpiece and also the workpiece previously machined.
- using the database data a mathematical model is built. The model is used for prediction of dimensional deviation.
- using the data obtained by the model use, the actuators of the machine-tool are controlled by adding correction to reduce dimensional deviation.

In the case of large batch manufacturing, the problem of building the model is simplified because the database contains enough data. In the case of small batch manufacturing, the data, which can be used for model construction, is reduced and may consist in data obtained from several workpieces.

4. INTEGRATED APPROACH OF THE DIMENSIONAL CONTROL

Integrated approach to dimensional control problem consists in compensating the process errors and the system errors in a uniform manner.

In the case of small batch manufacturing the problem of dimensional control can be solved by using the following approach:

- first the identification of the parameters values that characterize the position of the reference surfaces must be done;
- these parameters are then used to obtain the position of the target surface (the surface which must be machined). In this manner, a component of the system error is determined. In this paper only the system errors caused by fixturing are compensated.
- the causal relation between the process error value and the variables obtained by monitoring the machining is identified. This causal relation must be modelled in order to determine the component of dimensional error caused by the cutting process. The model structure will contain the variables which are in causal relation with the process values
- during the machining two corrections are applied in order to correct the system and the process component of the dimensional error. The correction value for the system error can be determined offline after the identification of the reference surface parameters. The correction values for the process errors can be determined offline if all the model parameters can be measured before the machining stage. In this case the control will be predictive. If one of the variables which compose the model must be measured during the machining process the control will be online.

In order to determine the reference surface parameters, an on-machine measurement system is used. The measurement system explores the reference surface in a large number of points. The model for the ideal surface is fitted over these points. An optimization algorithm is used in order to minimize the squared sum of the residuals between the measured values and the values obtained from the parametric model.

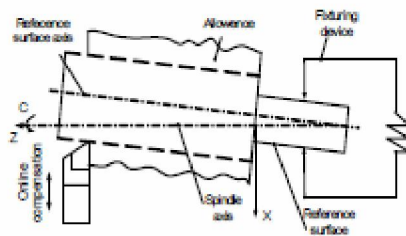


Fig. 1. Fixturing error for a turning process

5. EXPERIMENTAL TESTING

In order to experimentally test the proposed approach of the integrated dimensional control system an

experimental stand which consisted in a numerical controlled lathe was used.

A small batch of forty workpieces was machined. The machining process consisted in a longitudinal turning operation. The machining allowance varied from one workpiece to other and also for each workpiece the machining allowance varied along the length of the workpiece because previously conical surfaces were machined. The system identified the fixturing error for each workpiece, by determining the parameters of the reference axis.

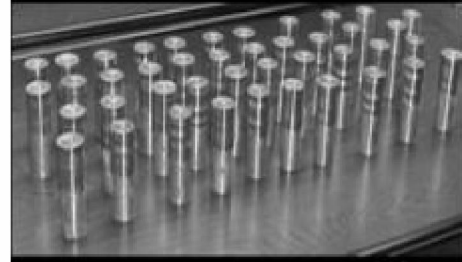


Fig. 2. The small batch workpieces

The control lathe was monitored using a data acquisition system. Using this acquisition system several variables were monitored:

- the machining allowance was measured using a length gage produced by Heidenhain GmbH. During the allowance measurement the axis of the machine tool moved in a similar manner as during the machining stage.
- the remaining error was measured in the same way as the machining allowance.
- the cutting force was measured using two sets of strain gauges. Using the strain gauges two components of the cutting force were measured: the main component and the component corresponding to the feed movement.
- the value of the absorbed current for each motor which drives the machine axis and the current drawn from the motor driving the main spindle. Also the torque and the power delivered by these motors also was recorded. This data was obtained from the speed drives which control the motors, using a CANopen bus.

Each of these variables was recorded for each workpiece in a data base.

In order to determine the causal relations between the variables and the machining error, the Relief algorithm developed by Kononenko was used. The data used by the algorithm was: the data obtained from the last piece; the data obtained from the last two pieces and also for the last three pieces.

Irrespective of the number of workpieces used by the feature selection algorithm, the results were approximately similar. The algorithm indicated that the machining error is dependent with the machining

allowance, with the cutting force components, and also with the coordinates (Z longitudinal and C rotation) of the point in which the cutting process takes place. In order to keep the problem simple at computational level, in order to determine the causal relations the data obtained from the last workpiece machined was used. The average value of the merit calculated for each variable using Relief algorithm is presented in table 1.

Table 1. Average merit obtained by using Relief

Variabila	Merit
The main component of the cutting speed	0.011588
Machining allowance	0.011027
The component corresponding to the feed movement.	0.010861
Z coordinate	0.007227
C coordinate	0.005482

Also the machining allowance and the force components have a correlation value close to 1. These variables are highly correlated. Each of these variables can be used for modelling the machining errors.

The dimensional control can be done using the machining allowance. The machining allowance can be measured before machining.

In this case a predictive control scheme will be used. Using the cutting force as an model variable determines the use of an online control system.

The model for error prognosis was first a linear regression model. The remaining machining error was compared with the machining error obtained when no compensation was used.

The model was obtained by using the data obtained only from the last workpiece. The error reduction rates are presented in table 2.

Table 2. Error reduction rates for different linear model structures

Model structure	$\varepsilon = f(A)$	$f(F_1)$	$f(z,c,A)$
Error reduction	3,51 times	3,09 times	3,31 times
Model structure	$\varepsilon = f(z, c, F_1)$	$\varepsilon = f(z, c, F_1, A)$	
Error reduction	2,78 times	3,26 times	

The machining error was also modelled with an artificial neural network with three layers: one input layer, one hidden layer with five neurons and also one output layer. The transfer function for the hidden layer was sigmoid. The transfer function for output layer was linear. The network was trained using the backpropagation algorithm with the data obtained from the last piece.

Table 3. Error reduction rates for different ANN model structures

Model structure	$\varepsilon = f(A)$	$f(F_1)$	$f(z,c,A)$
Error reduction	3,51 times	3,09 times	3,31 times
Model structure	$\varepsilon = f(z, c, F_1)$		$\varepsilon = f(z, c, F_1, A)$
Error reduction	2,78 times		3,26 times

6. CONCLUSIONS

The main conclusions of the research are the following:

1. the process error can be modelled well while taking in account the machining allowance or the cutting force, and the coordinates of the point where the machining process takes place
2. Using a linear model can reduce the dimensional error three to four times. Neuronal models results were lower because the rapid system evolution.
3. In order to construct a model data obtained from one workpiece can be used, thus this approach can be used for small batch manufacturing.
4. A solution was determine in order to compensate the fixturing errors.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID_653/2007

7. REFERENCES

1. H. T. Bandy M. A. Donmez D. E. Gilsinn *A Methodology for Compensating Errors Detected by Process-Intermittent Inspection*-National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899. NISTIR 6811 2001.
2. David E. Gilsinn, Herbert T. Bandy and Alice V. Ling. *A spline algorithm for modeling cutting errors on turning centers.* Journal of Intelligent Manufacturing. Vol 13, No. 5. 2002. pp. 23-26, ISSN 0956-5515.
3. C.C. Lo, C.Y. Hsiao. CNC machine tool interpolator with path compensation for repeated contour machining, *Computer-Aided Design* 30 (1) (1998) pp. 55-62, ISSN 0010-4485.
4. Y Wang, X Chen and N Gindy *Fixturing error measurement and analysis using CMMs.* Journal of Physics: Conference Series 13 (2005) pp. 163-166 ISSN 1742-6596.
5. Cho Myeong-Woo; Kim Gun-Hee; Seo Tae-II; Hong Yeon-Chan; Cheng H.Harry. *Integrated machining error compensation method using OMM data and modified PNN algorithm.* International Journal of Machine Tools & Manufacture. No. 46 (2006) pp. 1417-1427, ISSN 0890-6955, ELSEVIER.

C. Inventii create si inregistrate

1) . Metoda si echipament pentru controlul online al stabilitatii aschierii,

- Rezumat –

Inventia se refera la o metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, stabilitate caracterizata prin absenta vibratiei relative autoexcitate intre scula si piesa, si la echipamentul necesar pentru implementarea acestei metode, pe masini-unelte destinate fabricatiei in serie a unor loturi de produse variate.

Metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii consta in monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, semnale care sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate conform unui algoritm. Rezultatul obtinut in urma procesarii celor doua semnale este utilizat pentru a stabili pozitia punctului curent de functionare fata de limita de stabilitate, precum si corectiile ce trebuie aplicate pentru a modifica pozitia acestui punct, astfel incat sa fie atins un deziderat sintetic, in prealabil stabilit, cum ar fi de exemplu maximizarea productivitatii procesului.

Echipamentul necesar pentru implementarea metodei poate fi proiectat ca unitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care constructia acestuia trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca unitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje: *i)*-asigura in permanenta folosirea, optima sub aspectul stabilitatii dinamice, a capacitatii de prelucrare a sistemului tehnologic; *ii)*-se poate aplica la toate sistemele tehnologice la care prelucrarea se

bazeaza pe aschiere iar instabilitatea dinamica se manifesta prin vibratii autoexcitate intre scula si piesa; *iii*)-permite, la proiectare, satisfacerea in suficienta masura, atat a exigentelor specifice sistemelor tehnologice dedicate, cat si a celor specifice sistemelor tehnologice universale, flexibile sau dedicate; *iv*)-in exploatare, necesita un numar redus de setari, pentru a se acorda la schimbari in ceea ce priveste structura sistemului tehnologic sau operatia pe care acesta o executa.

- Descrierea inventiei -

Inventia se refera la o metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, stabilitate caracterizata prin absenta vibratiei relative autoexcitate intre scula si piesa, si la echipamentul necesar pentru implementarea acestei metode, pe masini-unelte destinate fabricatiei in serie a unor loturi de produse variate.

Folosind echipamentul de control online al stabilitatii aschierii, metoda poate fi aplicata atat in cazul masinilor unelte conventionale, cat si a celor reconfigurabile alcatuite din module independente ce se asambleaza in acord cu operatia pe care masina unealta trebuie sa o execute, ori a celor flexibile.

In mod obisnuit, pentru controlul stabilitatii dinamice a aschierii sunt aplicate metode de control offline, bazate pe sesizarea de catre operator a aparitiei vibratiei autoexcitate, urmata de oprirea procesului si modificarea in sens adecvat a regimului de aschiere sau a caracteristicilor sistemului tehnologic, astfel incat, la reluarea procesului, vibratia autoexcitata sa nu mai apara.

Privind controlul online al stabilitatii dinamice a aschierii, o metoda recent aparuta este aceea bazata pe folosirea unui sensor, care sa evidentieze aparitia vibratiei autoexcitate relative intre scula si piesa, urmata de modificarea ciclica a vitezei de aschiere, cu frecventa adecvata si amplitudine din ce in ce mai mare, pana la disparitia respectivei vibratii autoexcitate.

Unul dintre dezavantajele acestor metode este acela ca sistemul de control al stabilitatii dinamice reactioneaza numai atunci dupa ce a fost depasita limita de stabilitate si, in consecinta, dupa ce a aparut deja vibratia autoexcitata, neoferind nicio reactie preventiva, care sa determine evitarea online a aparitiei instabilitatii.

Un alt dezavantaj este acela ca, atunci cand punctul in care se afla procesul de aschiere apartine domeniului de stabilitate, sistemul de control al stabilitatii dinamice lasa procesul de aschiere sa se desfasoare in continuare, desi, prin apropierea acestui punct de limita de stabilitate, productivitatea ar putea fi majorata, uneori semnificativ. Cum, in lungul traiectoriei sculei aschietoare, atat limita de stabilitate dinamica, cat si pozitia punctului de functionare in interiorul domeniului de stabilitate dinamica, variaza in limite largi, exista, aproape in permanenta, o rezerva nefolosita de crestere a productivitatii.

In fine, daca stabilitatea dinamica este controlata prin recent aparuta metoda online, atunci singura reactie a sistemului de control este variatia periodica a vitezei de aschiere, desi pot exista si alte reactii, mai eficace din punct de vedere tehnic si mai eficiente din punct de vedere economic.

Pe de alta parte, daca stabilitatea dinamica este controlata offline, atunci, urmare a faptului ca semifabricatele folosite pentru executarea unui lot de piese au caracteristici dimensionale si de material variabile in timp si spatiu, acordarea de catre operator a parametrilor procesului la valorile reale ale caracteristicilor

semifabricatului, astfel incat procesul de aschiere sa devina stabil, se face cu intarziere, ceea ce afecteaza nivelul calitativ al produsului rezultat.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in furnizarea unei metode de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, metoda prin care, in cursul prelucrarii unei suprafete a piesei, se poate asigura utilizarea mai completa a capacitatii sistemului tehnologic de a prelucra stabil prin aschiere, chiar atunci cand caracteristicile dimensionale si de material ale semifabricatelor si/sau caracteristicile sistemului tehnologic variaza in timp si spatiu.

Metoda si echipamentul de control online al stabilitatii dinamice a aschierii, potrivit inventiei, inlatura dezavantajele de mai sus, prin aceea ca, **a)** in scopul de a controla pozitia punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita domeniului de stabilitate dinamica, metoda de control online al stabilitatii dinamice a aschierii consta in monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale - si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie* - semnale care sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si sunt transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate conform unui algoritm ce include cinci pasi, si anume *pasul i)*-eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale, *pasul ii)*-scalarea celor doua semnale astfel filtrate, *pasul iii)*-transformarea Fourier a celor doua semnale, *pasul iv)*-stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, *a n a l i z a n d* transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza faptului ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, frecventele proprii importante ale sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie, in timp ce in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceste

frecvente proprii ale sistemului tehnologic și anume, semnalul forta nu le evidențiază deloc, pe întreg domeniul de stabilitate, în timp ce semnalul accelerație împarte domeniul de stabilitate în două zone, o primă zonă, care va fi numită *zona de stabilitate sensibilă*, și care se află în vecinătatea limitei de stabilitate și se caracterizează prin aceea că frecvența proprie a sistemului tehnologic este evidențiată cu atât mai bine cu cât procesul se află mai aproape de această limită, iar o a doua zonă este formată de restul domeniului de stabilitate și va fi numită *zona de stabilitate insensibilă*, întrucât se caracterizează prin aceea că, la ambele semnale, frecvența proprie a sistemului tehnologic nu se evidențiază, și *concluzionând* în urma analizei transformatei Fourier ale celor două semnale, cu privire la domeniul și zona în care se află procesul de aschiere în momentul curent, ținând cont că, *j*)-daca ambele semnale evidențiază o frecvență proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se află în domeniul de instabilitate; *jj*)-daca semnalul forta nu evidențiază vreă frecvență proprie, în timp ce semnalul accelerație o evidențiază, atunci procesul se află în zona de stabilitate sensibilă, cu atât mai aproape de limita de stabilitate cu cât amplitudinea semnalului accelerație, la respectiva frecvență proprie a sistemului, este mai mare; *jjj*)-daca niciunul dintre semnale nu evidențiază frecvență proprie, atunci procesul se află în zona de stabilitate insensibilă, după care se continuă cu *pasul v*)-stabilirea acelor mărimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, și modificarea valorilor acestora, față de valorile programate prin programul piesa, în scopul atingerii unui deziderat în prealabil stabilit, ținând cont că, în multe cazuri practice, lățimea aschiei și viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai potriviți candidați pentru rolul de variabile de control al stabilității dinamice a aschierii iar productivitatea procesului este frecvent desemnată drept criteriu de evaluare a performanței economice a procesului, și prin aceea că, **b**) în scopul aplicării metodei de control online al stabilității aschierii se folosește un echipament care, potrivit invenției, materializează bucla de reacție ce pleacă de la sistemul tehnologic închizându-se la unitatea prin care acesta este controlat numeric și include în structură să trei componente, conectate în serie și anume *l*) senzorii care generează semnalul forta și semnalul accelerație, conform metodei, *ll*) elementele

necesare pentru achizitia celor doua semnale, toate fiind integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei, determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii, precum si *III) doua interfate de comunicare*, una de comunicare cu sistemul de control numeric al sistemului tehnologic, care sa asigure modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat dezideratul urmarit sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care, pe de o parte, sa asigure afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si, pe de alta parte, posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniilor de variatie ale frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si ale valorilor limita ale amplitudinilor **A_f** si **A_a** ale semnalului forta, respectiv semnalului acceleratie, astfel incat sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare intre cele trei pozitii posibile si anume pozitia in zona de stabilitate sensibila, pozitia in zona de stabilitate insensibila, sau pozitia in domeniul de instabilitate, toate aceste parti ale echipamentului fiind asamblate fie ca entitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care proiectarea echipamentului trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, fie ca entitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje:

- asigura in permanenta folosirea, optimala sub aspectul stabilitatii dinamice, a capacitatii de prelucrare a sistemului tehnologic;
- se poate aplica la toate sistemele tehnologice la care prelucrarea se bazeaza pe aschiere iar instabilitatea dinamica se manifesta prin vibratii autoexcitate intre scula si piesa;
- la proiectare, permite satisfacerea in suficienta masura, atat a exigentelor specifice sistemelor tehnologice dedicate, cat si a celor specifice sistemelor tehnologice universale, flexibile sau reconfigurabile;
- in exploatare, necesita un numar redus de setari, pentru a se acorda la schimbari in ceea ce priveste structura sistemului tehnologic sau operatia pe care acesta o executa.

Un exemplu de aplicare a inventiei se prezinta in continuare, in legatura cu fig. 1...7, unde:

- fig. 1 prezinta un exemplu de semnal forta, primit de sistemul incorporat de control al stabilitatii, de la traductorul de forta, sub forma unei serii de timp;

- fig. 2 prezinta un exemplu de semnal acceleratie, primit de sistemul incorporat de control al stabilitatii, de la traductorul de acceleratie, sub forma unei serii de timp;

- fig. 3, a, b, c, d, e, f, g, h prezinta rezultatele obtinute in urma procesarii prin transformare Fourier a semnalelor forta, corespunzatoare strunjirii, respectiv cu turatia de 300, 350, 400, 450, 500, 550, 700 si 800 rot/min, a unei piese cu diametrul de 45 mm;

- fig. 4, a, b, c, d, e, f, g, h, i prezinta rezultatele obtinute in urma procesarii prin transformare Fourier a semnalelor acceleratie, corespunzatoare strunjirii, respectiv cu turatia de 100, 200, 350, 450, 500, 550, 600, 750 si 800 rot/min, a unei piese cu diametrul de 45 mm;

- fig. 5 prezinta modul in care spatiul valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**, se divide in doua domenii, si anume domeniul de instabilitate si domeniul de stabilitate, iar acesta din urma se imparte in doua zone, si anume zona de stabilitate sensibila si zona de stabilitate insensibila;

- fig. 6 reprezinta o sectiune, cu planele **P** si **Q**, a spatiului valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**;

- fig. 7 reprezinta schema echipamentului pentru controlul online al stabilitatii aschierii.

Potrivit inventiei, punctul de plecare in aplicarea metodei de control online al stabilitatii dinamice este monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie*.

In prezentul exemplu, metoda de control online al stabilitatii dinamice se aplica la strunjire. In acest caz, asa cum se arata in figura 7, drept semnal a carui variatie in timp este considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care, de aceea, este monitorizat ca semnal forta, se adopta variatia fortei de strangere in portcutit a sculei, iar drept semnal ce poate fi considerat ca fiind proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si de aceea este monitorizat ca semnal acceleratie, se adopta acceleratia vibratiei in directie verticala a unui punct de pe cutit.

Atat primul semnal, furnizat de un traductor de forta montat in portcutit, cat si al doilea semnal, furnizat de un traductor de acceleratie fixat pe cutit, sunt achizitionate numeric, cu o frecventa suficient de mare, pentru a putea surprinde variatii in timp cu frecvente apropiate de frecventele proprii importante ale sistemului tehnologic. De exemplu, strungurile universale obisnuite au doua frecvente proprii importante, prima fiind de circa 150 Hz, iar cea de a doua variind intre 1000 si 2500 Hz. Ca urmare, o frecventa de achizitie de minimum 20 kHz este necesara.

Aceste semnale sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si apoi transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate. In figurile 1 si 2 se redau doua semnale achizitionate simultan, deci semnale pereche, rezultate din aplicarea experimentală in laborator a metodei.

Procesarea fiecărei perechi de semnale de către sistemul incorporat de control al stabilitatii se face conform urmatorului algoritm:

Pasul 1 – Eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale.

Pasul 2 – Scalarea celor doua semnale astfel filtrate.

Pasul 3 – Transformarea Fourier a celor doua semnale.

Dupa transformarea Fourier se obtin rezultate a caror aliura este similara cu cea a rezultatelor experimentale prezentate in figurile 3 si 4.

Pasul 4 – Stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, analizand transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza observatiilor de mai jos.

O prima observatie este aceea ca, in exemplul considerat, sistemul tehnologic are o singura frecventa proprie importanta. Apoi ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, adica la turatii de 500 rot/min sau mai mari, frecventa proprie importanta a sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie.

Pe de alta parte, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, adica la turatii mai mici de 500 rot/min, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceasta frecventa proprie a sistemului tehnologic. Astfel, semnalul forta nu o evidentiaza deloc, pe intreg domeniul de stabilitate, in timp ce semnalul acceleratie imparte domeniul de stabilitate in doua zone. O prima zona, care va fi in continuare numita *zona de stabilitate sensibila*, se afla in vecinatatea limitei de stabilitate si se caracterizeaza prin aceea ca frecventa proprie a sistemului tehnologic este evidentziata, cu atat mai bine cu cat procesul se afla mai aproape de aceasta limita. Restul domeniului de stabilitate formeaza cea de a doua zona, care va fi in continuare numita *zona de stabilitate insensibila*, si care se caracterizeaza prin aceea ca, la ambele semnale, frecventa proprie a sistemului tehnologic nu se evidentiaza.

In figura 5 se prezinta pozitia limitei de stabilitate, reprezentata de suprafata 1-2-3-4-5, in spatiul valorilor posibile ale parametrilor procesului de aschiere si anume: viteza de aschiere, intre valoarea minima **vm** si valoarea maxima **vM**; grosimea aschiei, intre zero si valoarea maxima **aM**; latimea aschiei, intre zero si valoarea maxima **bM**. Deasupra limitei de stabilitate se afla domeniul de instabilitate. Sub aceasta limita se afla domeniul de stabilitate, care se compune din zona de stabilitate sensibila, aflata in vecinatatea suprafatei 1-2-3-4-5, si a carei grosime este marcata in figura, si zona de stabilitate insensibila, care este constituita de restul domeniului de stabilitate.

Analizand, pe baza observatiilor de mai sus, transformatele Fourier ale celor doua semnale, se poate stabili in care domeniu si zona se afla procesul de aschiere in momentul curent, si anume: *i*)-daca ambele semnale evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se afla in domeniul de instabilitate; *ii*)-daca semnalul forta nu evidentiaza aceasta frecventa, in timp ce semnalul acceleratie o evidentiaza, atunci procesul se afla in zona de stabilitate sensibila, cu atat mai

aproape de limita de stabilitate cu cat amplitudinea semnalului acceleratie, la frecventa proprie a sistemului, este mai mare; *iii*)-daca niciunul dintre semnale nu evidentiaza frecventa proprie, atunci procesul se afla in zona de stabilitate insensibila.

Pasul 5 – Stabilirea acelor marimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, si modificarea valorilor acestora, fata de valorile programate prin programul piesa, in scopul atingerii unui deziderat in prealabil stabilit.

In aplicarea metodei de control online al stabilitatii dinamice, parcurgerea acestui pas depinde de posibilitatile de control de care dispune respectivul sistem tehnologic, sau care pot fi create in mod special pentru a controla stabilitatea. In multe cazuri practice, latimea aschiei si viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai frecventi candidati pentru rolul de variabile de control al stabilitatii dinamice.

Pentru exemplificare, in figura 6 se prezinta intersectia spatiului valorilor posibile ale grosimii aschiei, **a**, latimii aschiei, **b**, si vitezei de aschiere, **v**, cu doua plane **P** si **Q**. Planul **P** este perpendicular pe axa grosimii aschiei, **a**, si corespunde cazului in care valoarea reglata a grosimii aschiei este **a0**. Acest plan intersecteaza suprafata **1-2-3-4-5** (vezi si figura 5), dupa linia **7-C-8-T-9**. Planul **Q** este perpendicular pe axa vitezei de aschiere, **v**, si corespunde cazului in care valoarea reglata a vitezei de aschiere este **v0**. Acest plan intersecteaza suprafata **1-2-3-4-5** (vezi si figura 5), dupa linia **10-C-11**.

In scopul de a prezenta un exemplu de parcurgere a acestui pas, sa consideram sectiunea cu planul **P** si un proces de aschiere la care grosimea aschiei si latimea aschiei raman constante, la valorile lor programate, si anume **a0** respectiv **b0**, in timp ce viteza de aschiere este desemnata drept variabila de control al stabilitatii. In timpul controlului online al stabilitatii, punctul curent de functionare a sistemului tehnologic parcurge linia **R-S-T-U**, aflata in acest plan. Daca dezideratul urmarit este acela de a maximiza productivitatea procesului, atunci punctul de functionare trebuie sa se afle pe segmentul **ST**, cat mai aproape de punctul **T**.

Potrivit inventiei, acest deziderat se atinge astfel.

Daca, atat semnalul forta, cat si semnalul acceleratie, evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci punctul curent se afla pe segmentul **TU**, aflat in domeniul de instabilitate, iar viteza de aschiere trebuie diminuada pana la aducerea punctului de functionare pe segmentul **TS**, unde semnalul forta nu mai evidentiaza frecventa proprie a sistemului tehnologic, iar semnalul acceleratie evidentiaza cu claritate maxima aceasta frecventa.

Daca, niciunul dintre cele doua semnale nu evidentiaza frecventa proprie, atunci punctul curent de functionare se afla pe segmentul **RS**, iar viteza de aschiere trebuie majorata pana cand semnalul acceleratie evidentiaza cu claritate maxima frecventa proprie, in timp ce semnalul forta nu o evidentiaza. Astfel, punctul de functionare ajunge pe segmentul **ST**, in vecinatatea punctului **T**.

In partea de jos a planului **P** se prezinta diagramele pe care, in timpul controlului stabilitatii dinamice, le parcurg amplitudinea **Aa** a semnalului acceleratie si respectiv amplitudinea **Af** a semnalului forta, corespunzatoare frecventei proprii a sistemului tehnologic (pentru valorile numerice din figura, vezi si figurile 3 si 4).

Un exemplu similar de parcurgere a acestui pas al algoritmului de implementare a metodei poate fi prezentat daca, drept traseu pe care punctul de functionare il parcurge pe timpul controlului stabilitatii se considera linia **A-B-C-D**, continuta in planul **Q**. In acest exemplu, variabila de control este latimea aschiei, **b**, in timp ce grosimea aschiei si viteza de aschiere raman constante, la valorile lor programate **a0**, respectiv **v0**. Prin modificarea acestei variabile de control, pozitia punctului de functionare este adusa pe segmentul **BC**, cat mai aproape de punctul **C**, in acest fel atingandu-se dezideratul de a obtine un nivel de productivitate maxim.

Echipamentul pentru controlul online al stabilitatii aschierii, potrivit inventiei, serveste la aplicarea metodei prezentate mai sus si se compune (vezi figura 7) din:

a) *senzorii* care genereaza semnalul forta si semnalul acceleratie, conform metodei;

b) *elementele electronice necesare pentru achizitia celor doua semnale*, ce sunt integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei,

determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii;

c) *doua interfate de comunicare*, una de comunicare cu unitatea de control numeric al sistemului tehnologic, care asigura modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat acest deziderat sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care asigura afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniului de variatie a frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si a valorilor limita ale amplitudinilor **A_f** si **A_a** ale semnalului forta, respectiv acceleratie, care sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare in zona de stabilitate sensibila sau insensibila, ori in domeniul de instabilitate.

Scopul facilitatii de comunicare cu operatorul este de a obtine robustețe si capacitate de adaptare la diferite tipuri de procese si masini unelte. Astfel, in cazul unui proces de frezare, discriminarea intre frecventa trecerii muchiilor frezei prin zona de aschiere si frecventa proprie a sistemului tehnologic poate fi asigurata de operator, in locul unui sistem automat, complicat si, posibil, mai putin robust, ca sa dam doar un exemplu.

In proiectare, caracteristicile componentelor ce formeaza echipamentul pentru controlul online al stabilitatii aschierii se stabilesc astfel incat sa fie adecvate sistemului tehnologic pe care echipamentul va fi montat, pe de o parte, si, pe de alta parte, adecvate obiectivelor economice ale procesului de fabricatie realizat cu respectivul sistem tehnologic.

Echipamentul poate fi proiectat ca unitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care constructia acestuia trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca unitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

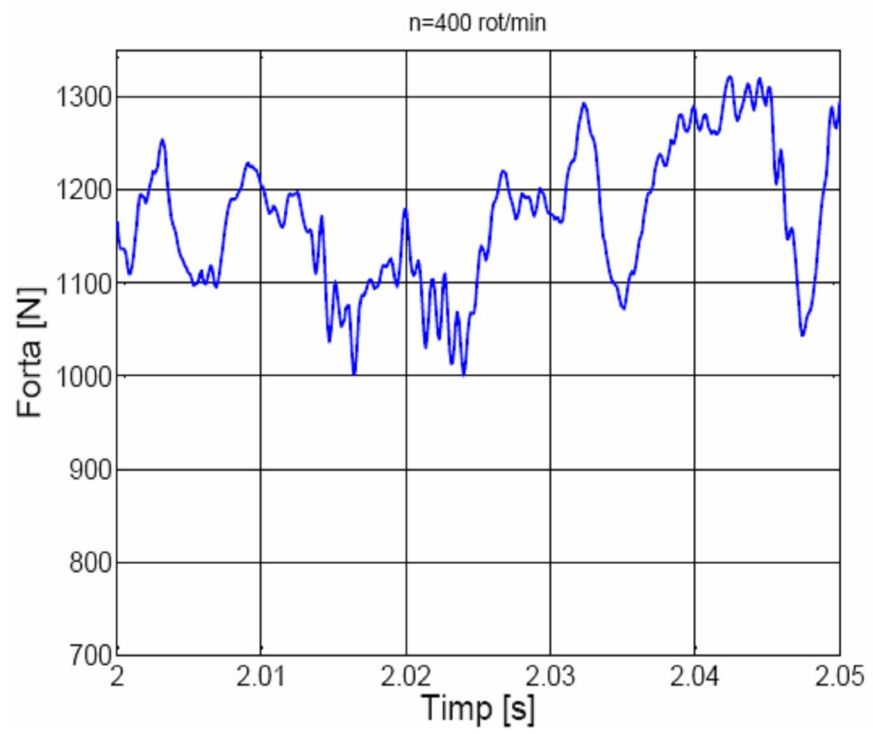


Figura 1

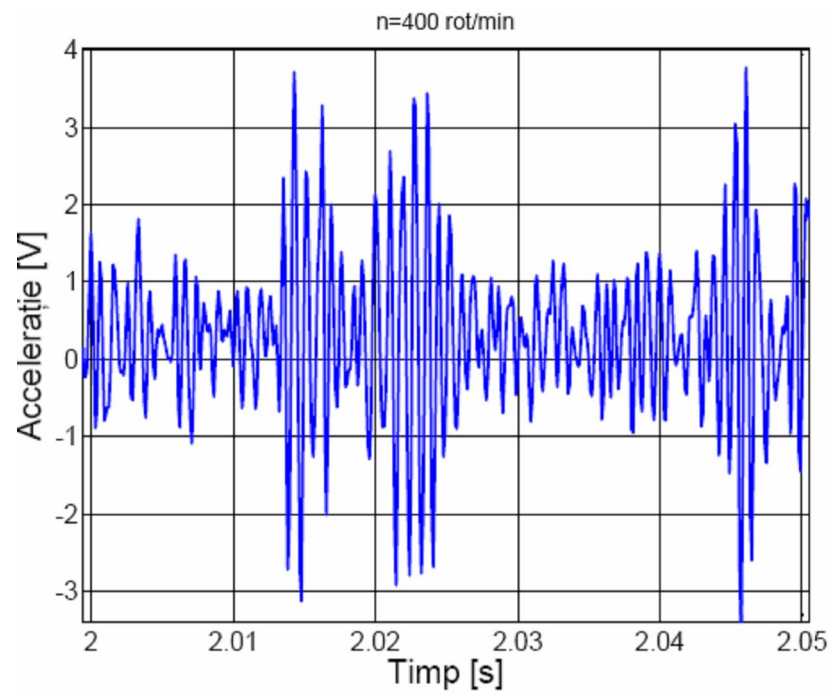


Figura 2

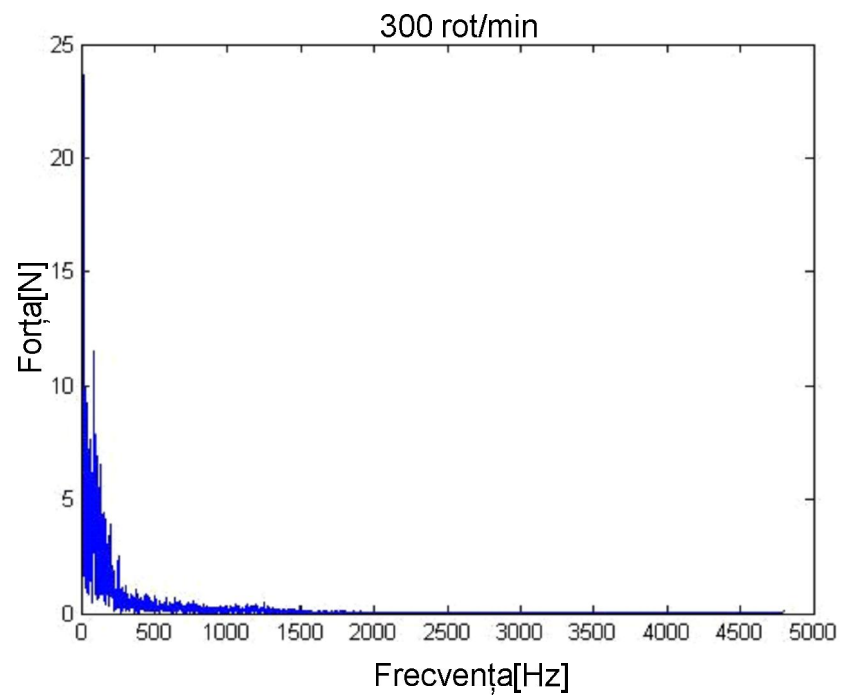


Figura 3, a

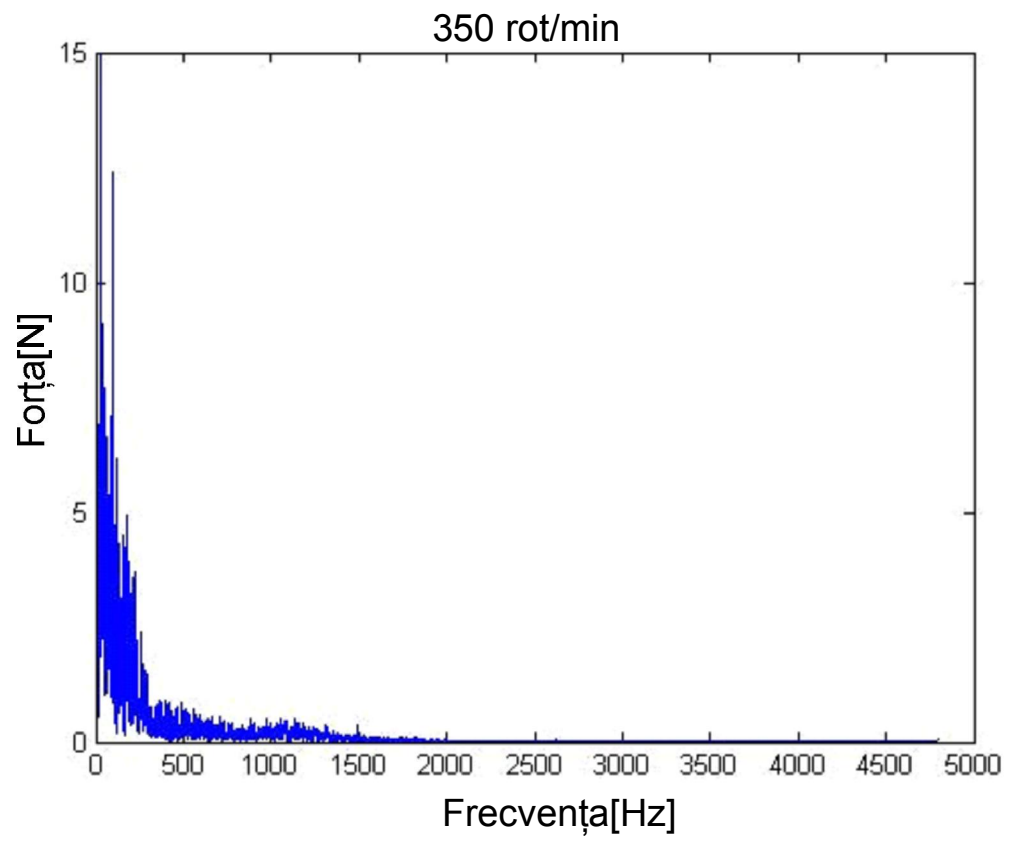


Figura 3, b

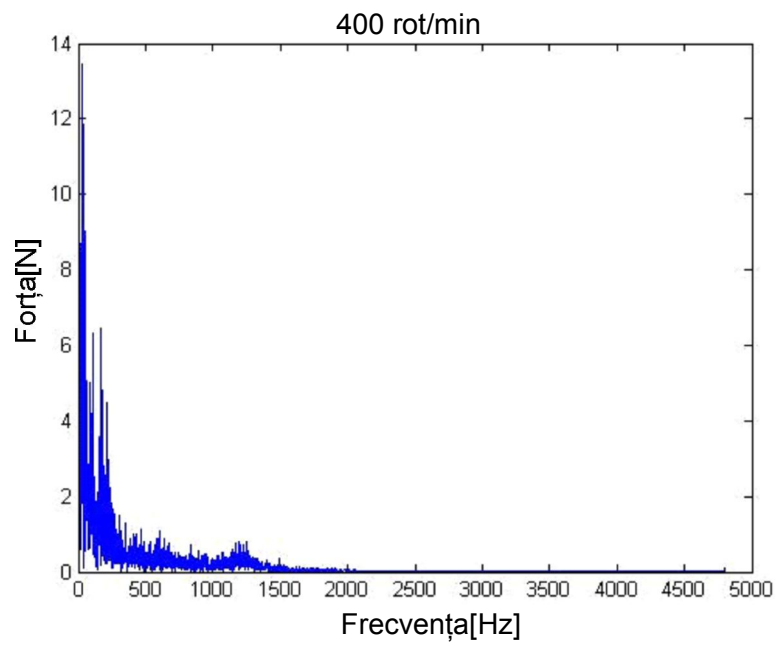


Figura 3, c

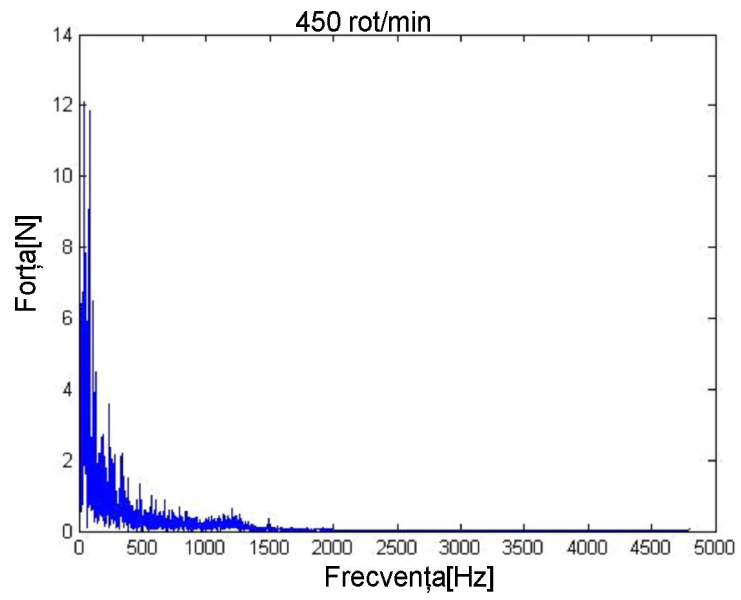


Figura 3, d

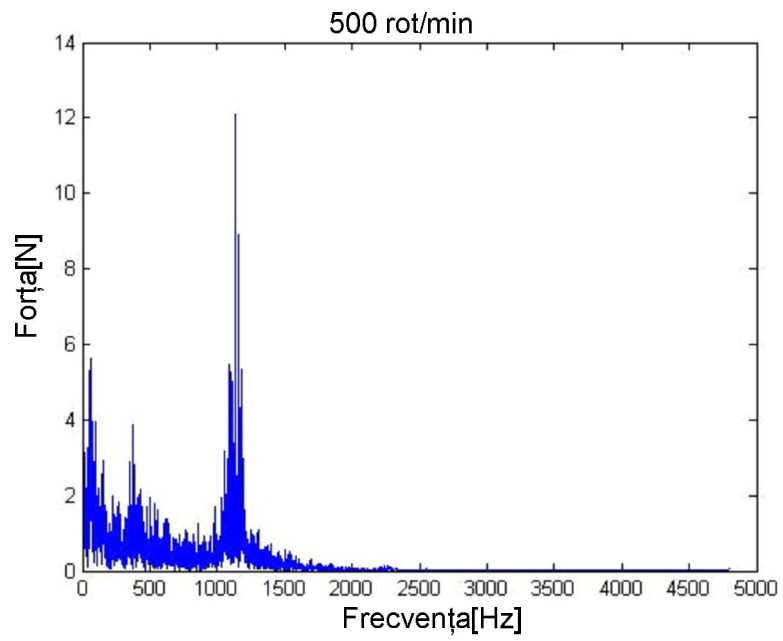


Figura 3, e

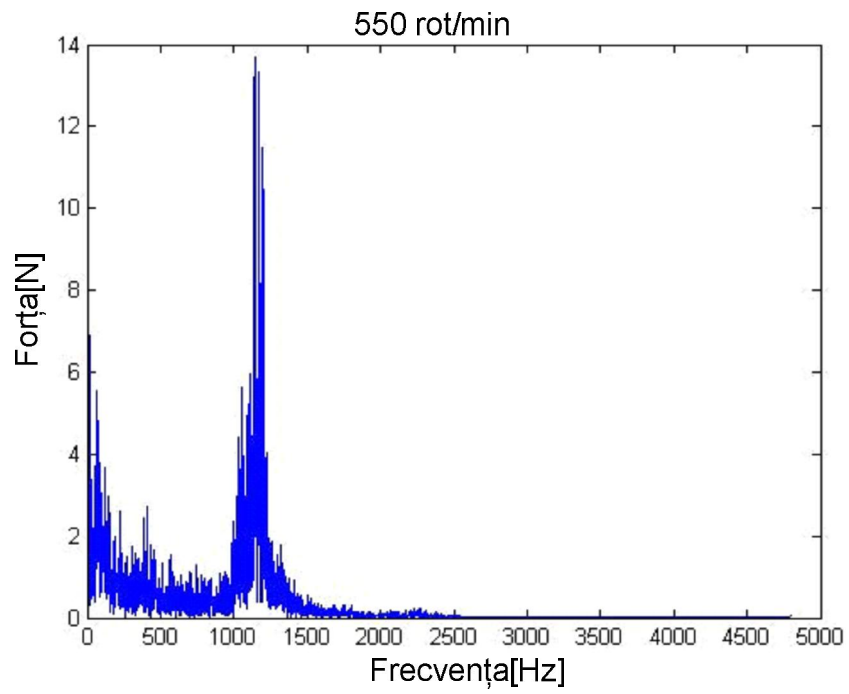


Figura 3, f

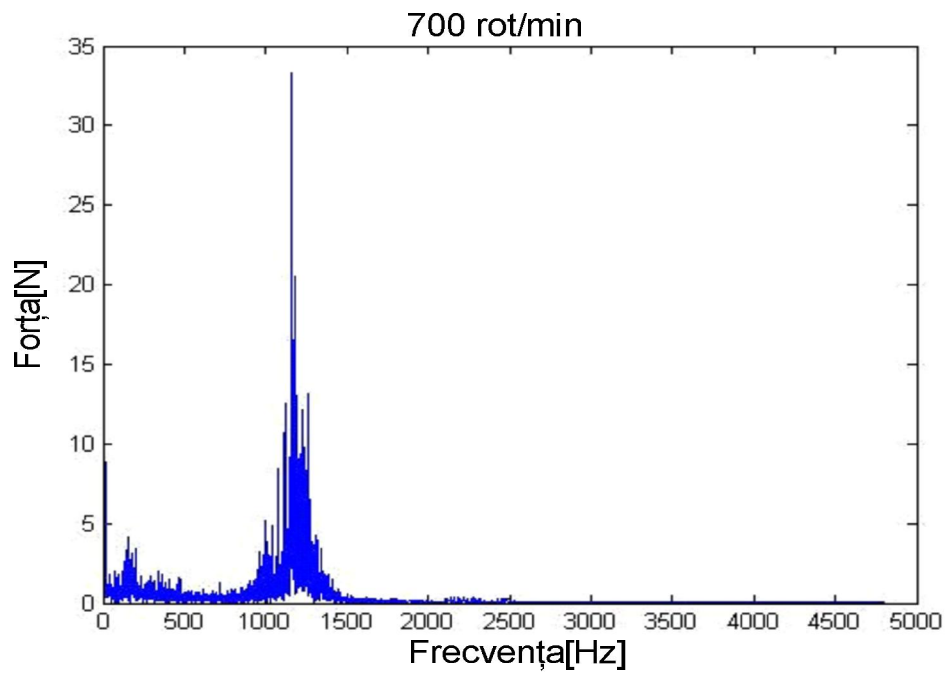


Figura 3, g

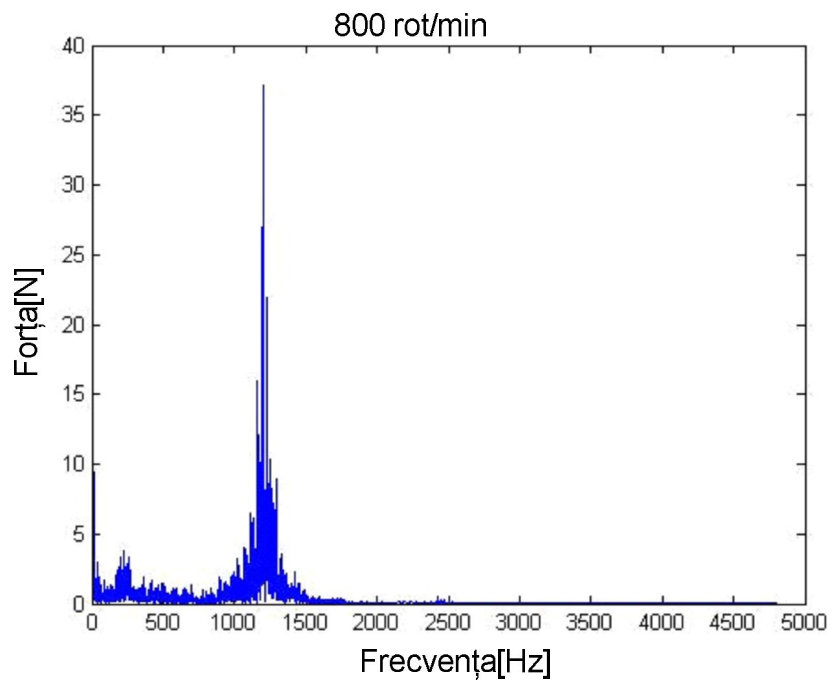


Figura 3, h

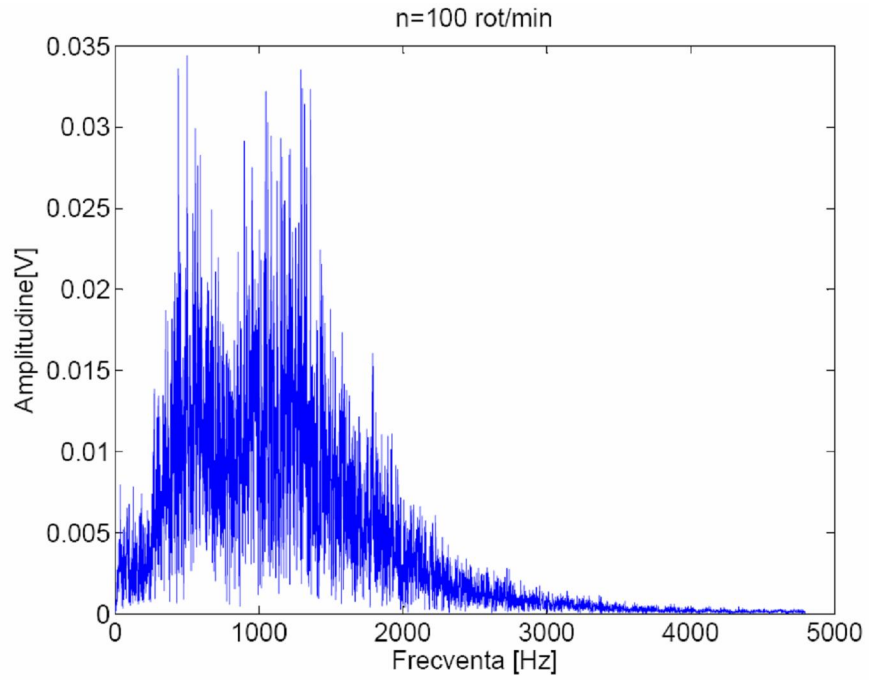


Figura 4, a

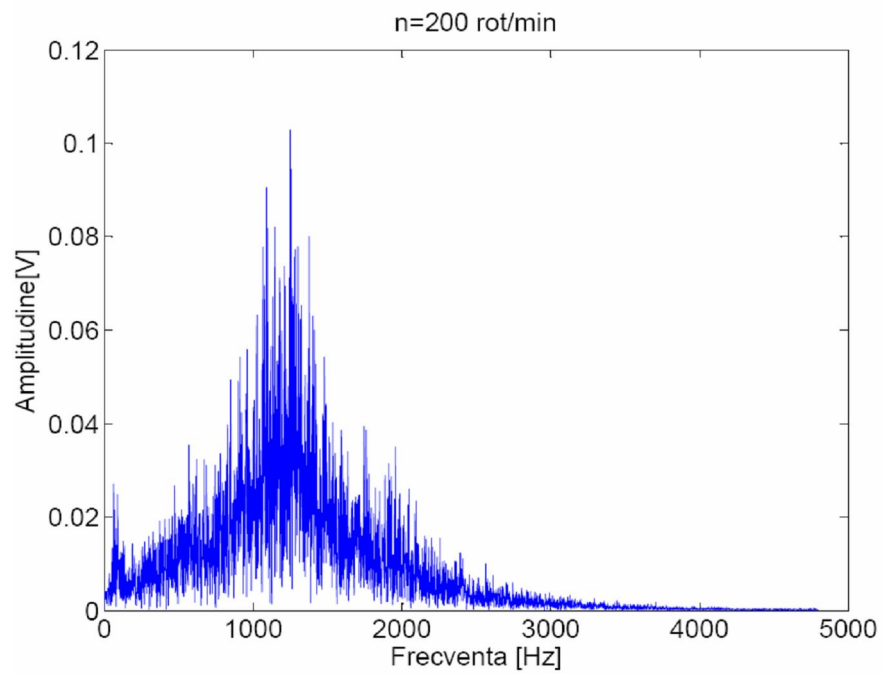


Figura 4, b

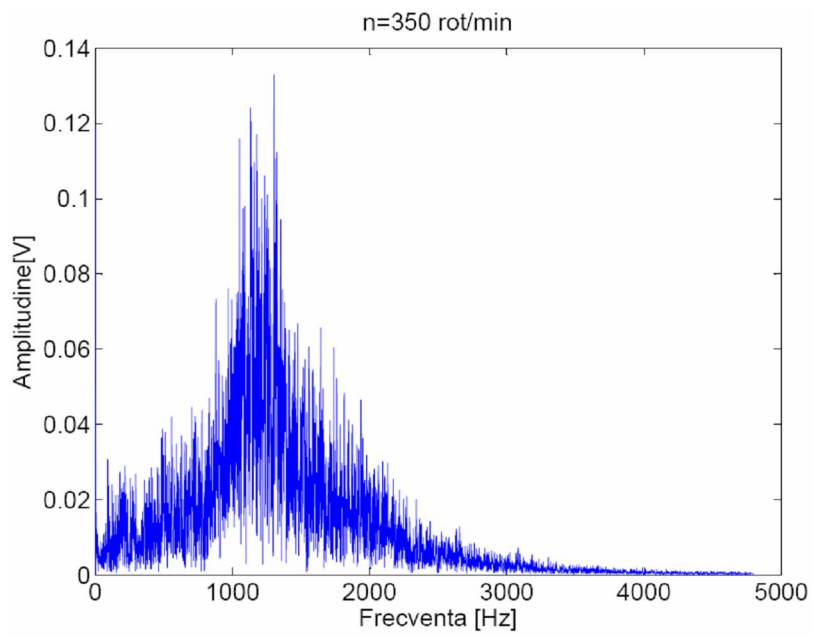


Figura 4, c

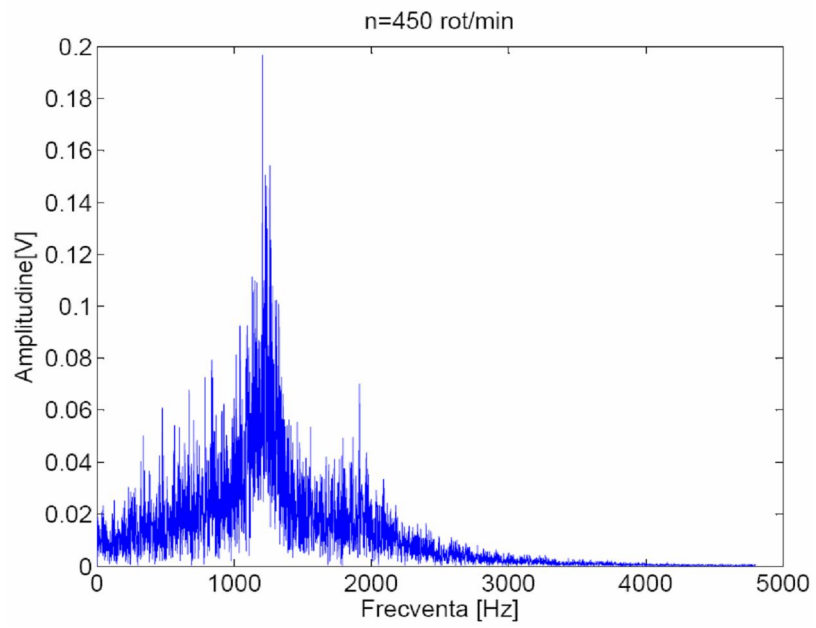


Figura 4, d

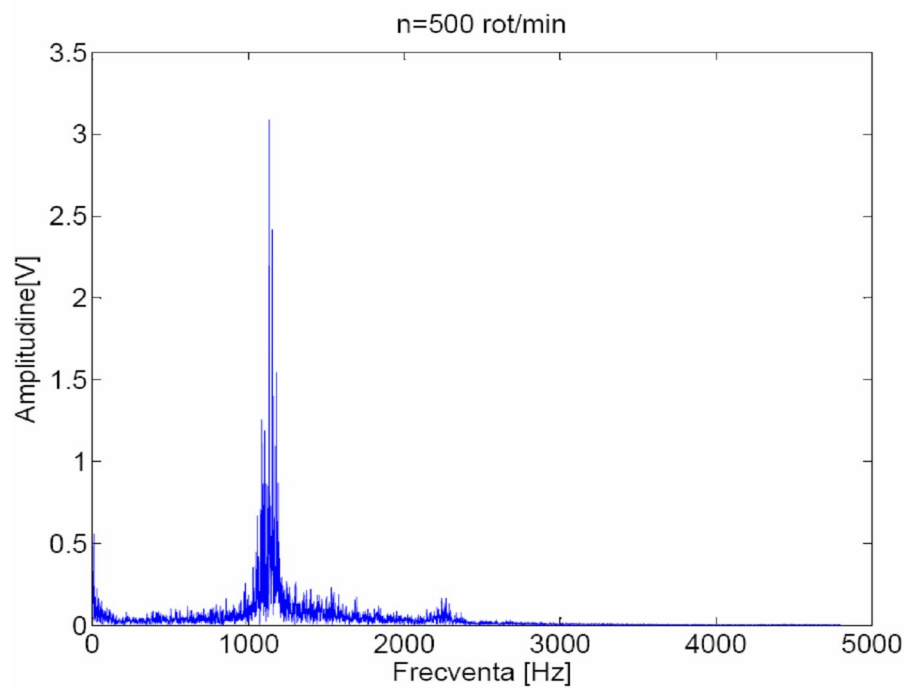


Figura 4, e

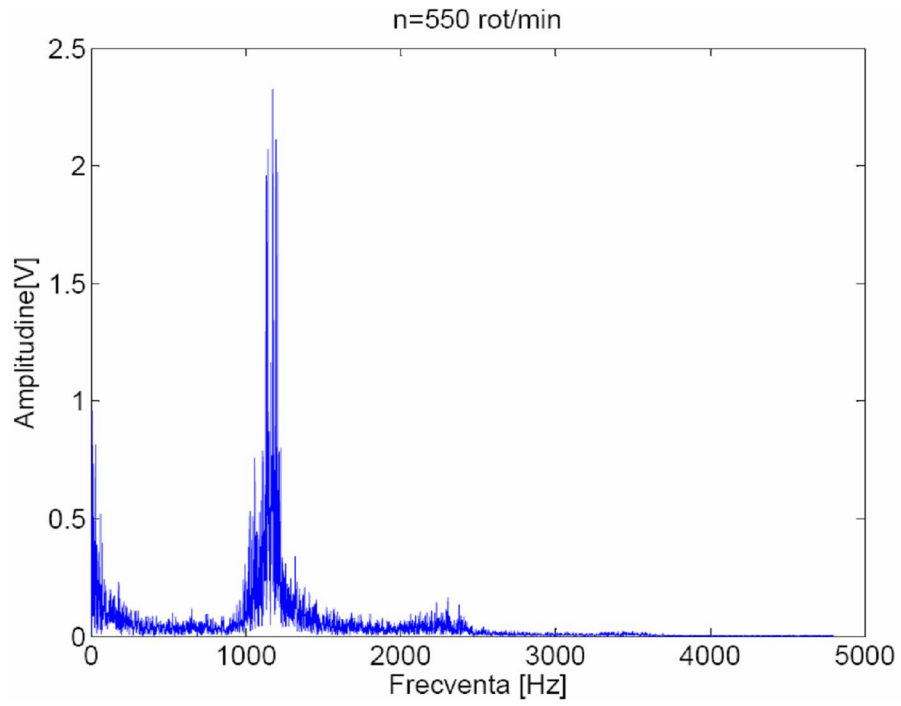


Figura 4, f

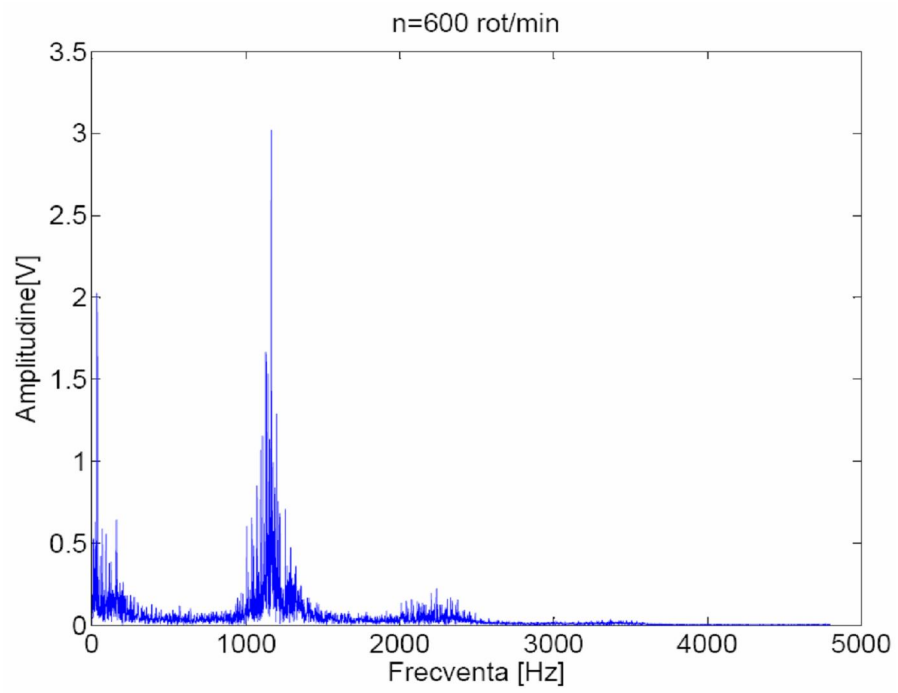


Figura 4, g

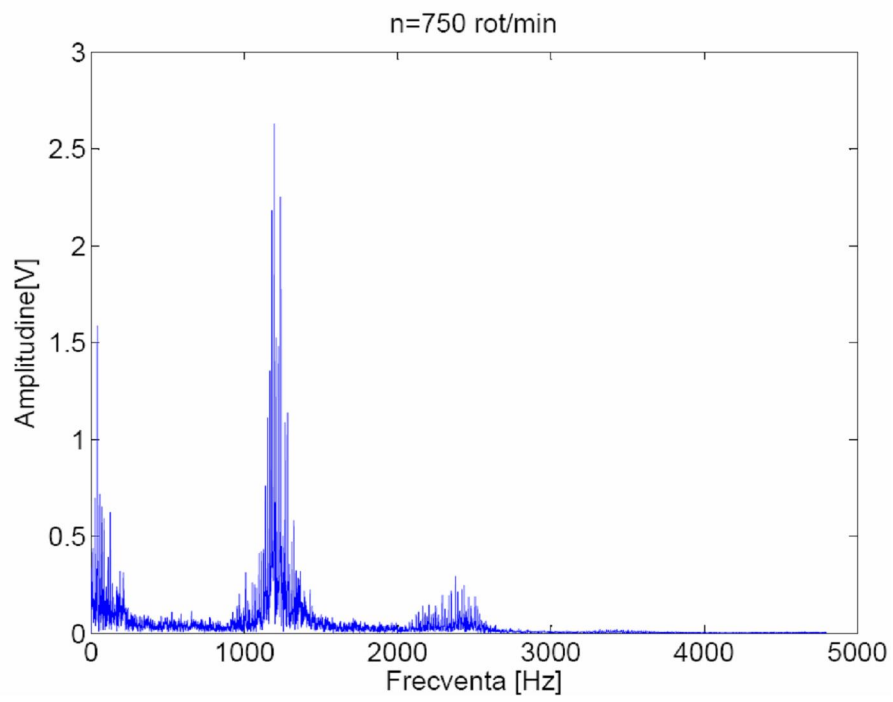


Figura 4, h

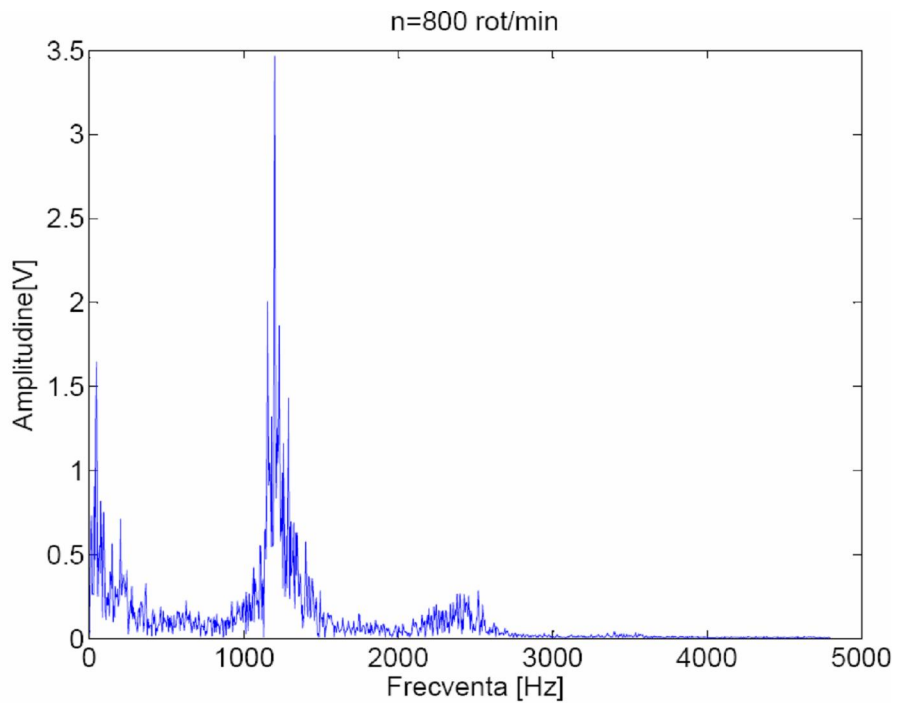


Figura 4, i

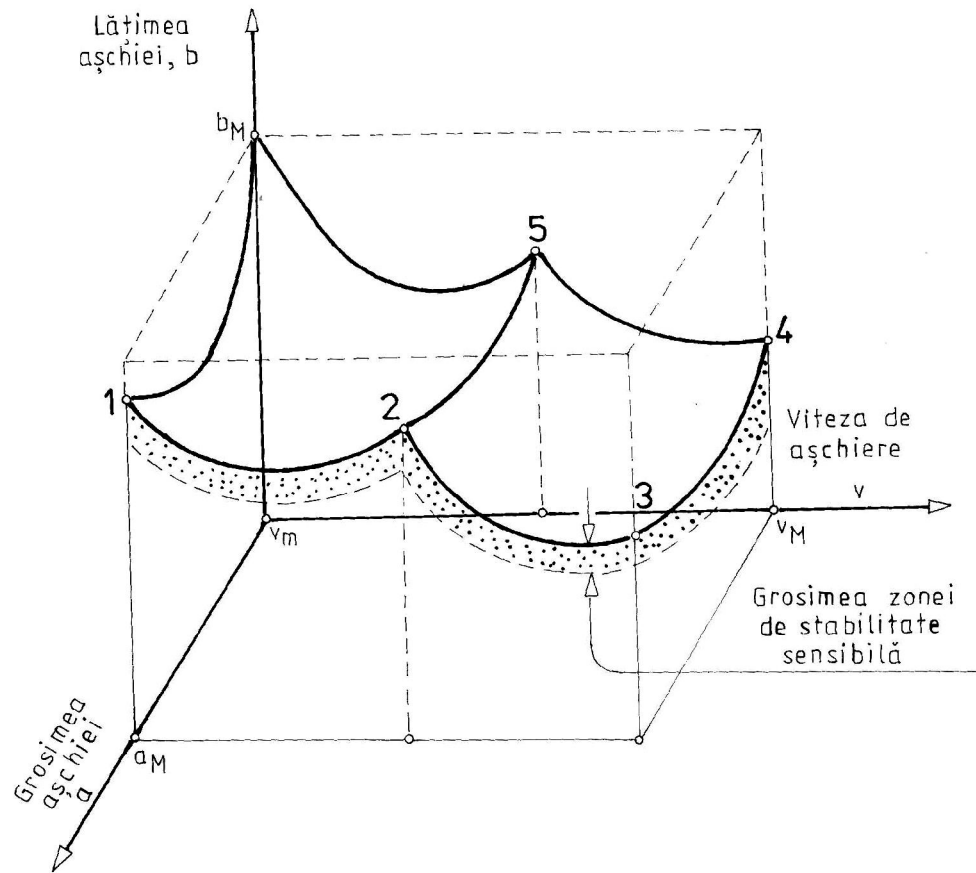


Figura 5

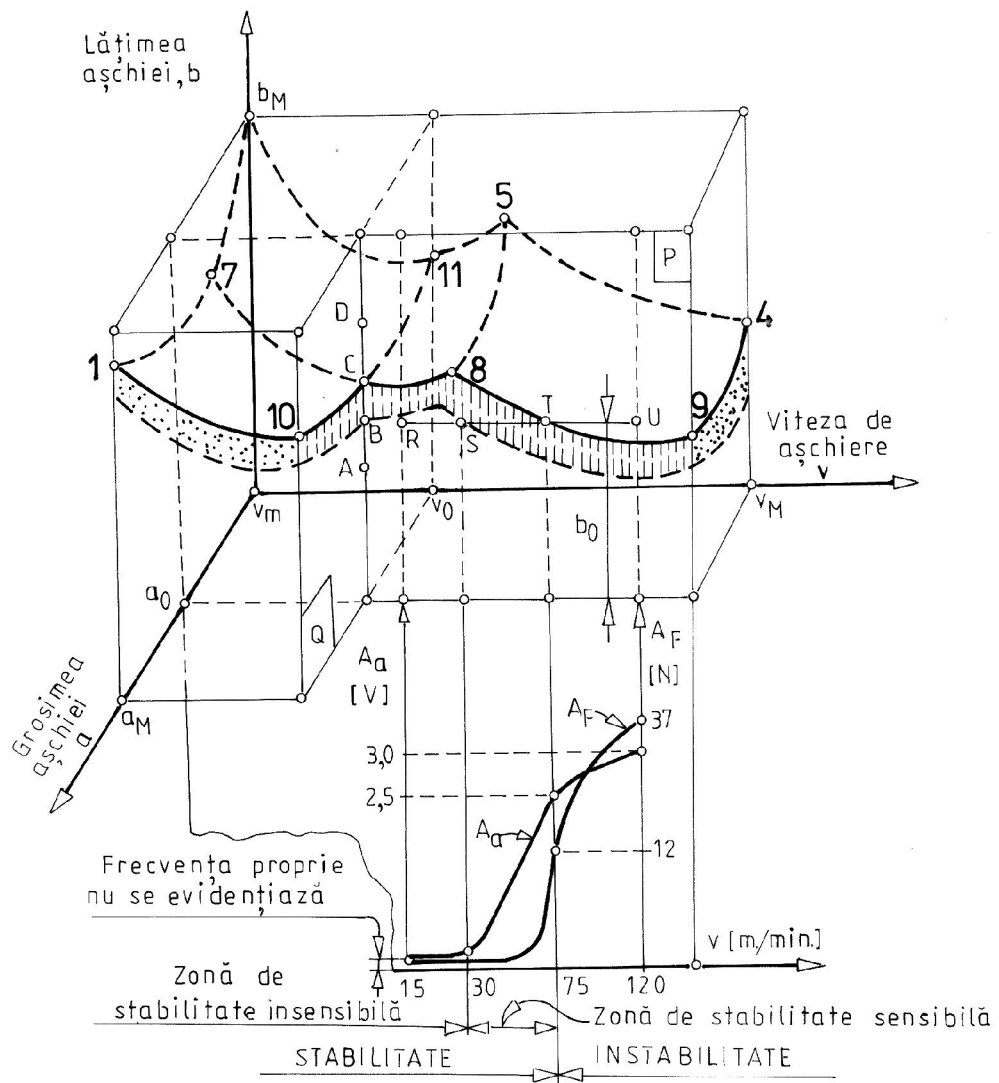


Figura 6

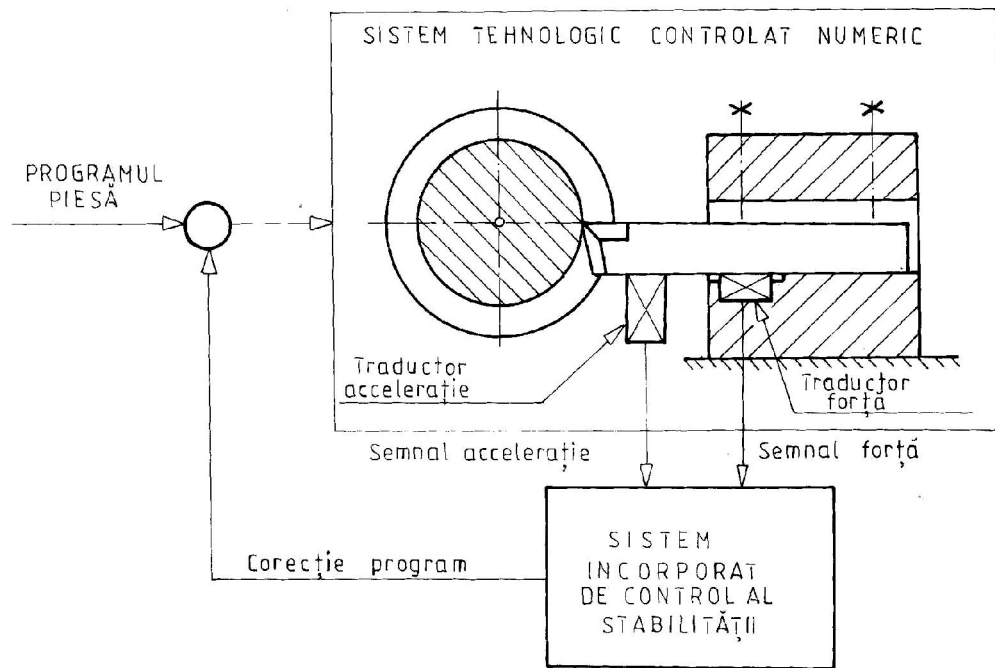


Figura 7

- Revendicari -

1. Metoda pentru controlul online al stabilitatii dinamice a aschierii, caracterizata prin aceea ca necesita monitorizarea, simultana, pe tot parcursul procesului de aschiere, a unei perechi de semnale, si anume un semnal a carui variatie in timp poate fi considerata ca fiind proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, si care va fi numit in continuare *semnal forta*, si un alt semnal, care poate fi considerat proportional cu acceleratia miscarii relative dintre scula si piesa, si care va fi numit in continuare *semnal acceleratie*, semnale care sunt inregistrate sub forma unor perechi de serii de timp si transmise sistemului incorporat de control al stabilitatii, unde sunt procesate conform unui algoritm ce include cinci pasi, si anume pasul *i*)-eliminarea componentei lent variabile in timp, separat pentru fiecare dintre cele doua semnale, pasul *ii*)-scalarea celor doua semnale astfel filtrate, pasul *iii*)-transformarea Fourier a celor doua semnale, pasul *iv*)-stabilirea pozitiei procesului de aschiere fata de limita de stabilitate dinamica, a n a l i z a n d transformatele Fourier ale celor doua semnale, pe baza faptului ca, in cazurile in care procesul de aschiere se afla in zona de instabilitate, frecventele proprii importante

ale sistemului tehnologic se evidentiaza cu mare claritate, atat la semnalul forta cat si la semnalul acceleratie, in timp ce in cazurile in care procesul de aschiere se afla in domeniul de stabilitate, cele doua semnale evidentiaza in mod diferit aceste frecvente proprii ale sistemului tehnologic si anume, semnalul forta nu le evidentiaza deloc, pe intreg domeniul de stabilitate, in timp ce semnalul acceleratie imparte domeniul de stabilitate in doua zone, o prima zona, care va fi numita *zona de stabilitate sensibila*, se afla in vecinatatea limitei de stabilitate si se caracterizeaza prin aceea ca frecventa proprie a sistemului tehnologic este evidentziata cu atat mai bine cu cat procesul se afla mai aproape de aceasta limita, iar o a doua zona este formata de restul domeniului de stabilitate si va fi numita *zona de stabilitate insensibila*, intrucat se caracterizeaza prin aceea ca, la ambele semnale, frecventele proprii ale sistemului tehnologic nu se evidentiaza, si c o n c l u z i o n a n d in urma analizei transformatorilor Fourier ale celor doua semnale, cu privire la domeniul si zona se afla procesul de aschiere in momentul curent, ca, *j*)-daca ambele semnale evidentiaza o frecventa proprie a sistemului tehnologic, atunci procesul se afla in domeniul de instabilitate; *jj*)-daca semnalul forta nu evidentiaza vreo frecventa proprie, in timp ce semnalul acceleratie o evidentiaza, atunci procesul se afla in zona de stabilitate sensibila, cu atat mai aproape de limita de stabilitate cu cat amplitudinea semnalului acceleratie, la respectiva frecventa proprie a sistemului, este mai mare; *jjj*)-daca niciunul dintre semnale nu evidentiaza vreo frecventa proprie, atunci procesul se afla in zona de stabilitate insensibila, dupa care se continua cu pasul *v*)-stabilirea acelor marimi de stare, fie acestea caracteristice procesului de aschiere ori caracteristice sistemului tehnologic, care vor juca rolul de variabile de control, si modificarea valorilor acestora, fata de valorile programate prin programul piesa, in scopul atingerii unui deziderat in prealabil stabilit, tinand cont ca, in multe cazuri practice, latimea aschiei si viteza de aschiere, iar uneori grosimea aschiei, sunt cei mai potriviti candidati pentru rolul de variabile de control al stabilitatii dinamice iar productivitatea procesului este frecvent desemnata drept criteriu de evaluare a performantei economice a procesului.

2. Echipament de control online al stabilitatii dinamice a aschierii conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, in scopul aplicarii metodei de control

online al stabilitatii aschierii, acesta include in structura sa trei componente si anume

- l) senzorii* care genereaza semnalul forta si semnalul acceleratie, conform metodei,
- ll) elementele necesare pentru achizitia celor doua semnale*, toate fiind integrate intr-un sistem incorporat de calcul si control, care, la randul lui, procesand respectivele semnale in acord cu algoritmul de implementare a metodei, determina modificarea necesara a pozitiei punctului curent de functionare a sistemului tehnologic in raport cu limita de stabilitate, pentru a atinge dezideratul urmarit prin controlul stabilitatii, precum si
- lll) doua interfate de comunicare*, una cu sistemul de control numeric al sistemului tehologic, care sa asigure modificarea valorilor variabilelor de control, astfel incat acest deziderat sa fie atins, si o alta, de comunicare cu operatorul, care, pe de o parte, sa asigure afisarea permanenta a caracteristicilor punctului curent de functionare, dar si, pe de alta parte, posibilitatea ca operatorul sa intervina in setarea domeniilor de variatie ale frecventelor proprii ale sistemului tehnologic si ale valorilor limita ale amplitudinilor A_f si A_a ale semnalului forta, respectiv acceleratie, care sa duca la discriminarea pozitiei punctului curent de functionare in zona de stabilitate sensibila sau insensibila, ori in domeniul de instabilitate, toate aceste parti ale echipamentului fiind asamblate ca entitate de sine statatoare, atasabila sistemului tehnologic, caz in care proiectarea echipamentului trebuie sa asigure un anumit nivel de universabilitate, dar si ca entitate dedicata, integrata in unitatea de comanda numerica a sistemului tehnologic.

CERERE DE BREVET DE INVENTIE



Nr. referinta solicitant/mandatar	Registratura OSIM (numarul si data primirii):
--------------------------------------	---

Completarea formei OSIM	
<u>Numarul cererii de brevet de inventie</u>	
<u>Data primirii la Registratura Generala a OSIM - R.4(5)</u>	
<u>Data de depozit - R.8(1)</u>	
<u>Data primirii partii lipsa la Registratura Generala a OSIM</u>	
<u>Data de depozit noua - R.8(1)</u>	
<u>Data primirii cererii de retragere a partii lipsa la</u>	
<u>Data de depozit atribuita cererii de brevet - R.8(14)</u>	

1.	Solicitanti	(nume/denumire)
	Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati, str. Domneasca, nr.111, cod 800201,	

--

2. Solicitam în baza art Legii nr. 64/1991, republicata în temeiul Legii nr. 203/2002, un brevet pentru inventia cu titlul: METODA SI 2.1. Referinta la o cerere anterioara (numar, data de depozit, tara/oficiul):
--

3. Declaram ca inventatorii sunt:
3.1 aceiasi cu solicitantii (nume, prenume si loc de munca la data creării)
3.2 Persoanele din “Declaratia privind desemnarea inventatorilor”

4. Declaram ca inventia contine informatii care au fost clasificate de catre (denumirea, data si nivelul
--

5. Rezumatul se publica împreuna cu figura

6. Prioritati revendicate (stat, data depozit,

7. Prioritati interne revendicate (numar cerere, data
--

8. Cererea de brevet este divizionara din cererea (numar, data

9.	Proceduri solicitate la data depunerii	
9.1.	Publicarea de urgenta a cererii, conform art. 23, alin. 3	
9.2.	Întocmirea unui raport de documentare, conform art. 24	
9.3.	Examinarea cererii cu luarea hotarării în termen de 18 luni de la data	
9.4.	Mentinerea informatiilor la nivelul de clasificare atribuit, conform	

10. Solicitantul desemnat pentru corespondenta cu OSIM: prof. dr. ing. Epureanu Alexandru

11. Adresa solicitantului/mandatarului pentru corespondenta cu OSIM:
 Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
 Str. Domnească 111, 800201, Galați
 Tel: 0722362606 Fax: 0236461353 E-mail:alexandru.epureanu@ugal.ro

12. Reprezentare prin _____ p _____ procura generala nr./data: _____

13. _____ Semnatura
 solicitanți/mandatar: _____ Rector
 Prof. _____ dr. _____ ing. _____ Viorel _____

14.16. Copie/traducere depunerii anterioare OSIM de la de	15. Documente
14.17. Formular de cerere în 3 exemplare	a file
14.2. Descriere în 3 exemplare. a 7	în
14.3. Revendicari în 3 exemplare. a 2	în
14.4. Desene în 3 exemplare. a 11	în
14.5. Rezumat în 3 exemplare. a 1	în
14.6. Lista de secvențe de nucleotide și/sau	
14.6.1. prezentata pe suport hârtie	în
14.6.2. prezentata pe suport electronic tip	tip în
14.7. Document privind dreptul la acordarea	
14.8. Document privind desemnarea inventatorilor	a file
14.9. Procura/copie procura generala	a file
14.10. Document referitor la plata taxelor	a file
14.11. Act privind acordarea reducerii taxelor	a file
14.12. Autorizatia privind transmiterea dreptului	a file
14.13. Act de prioritate	a file
14.14. Act referitor la depozitul	a file
14.15. Document privind o divulgare a inventiei.	a file

OSIM (semnatura, LS)

Declaratie
continand desemnarea inventatorilor inventiei cu titlul:
METODA SI ECHIPAMENT PENTRU CONTROLUL ONLINE AL
STABILITATII ASCHIERII

Aceasta declaratie este facuta în conformitate cu prevederile art. 14 alin. 2 si Regulii 20E si trebuie depusa în termen de 18 luni de la data solicitarii examinarii în fond a cererii de brevet de inventie, conform Regulii 20E alin. (11).

Nume si prenume: Marinescu Vasilică

Adresa: str. George Coşbuc, nr. 37, bloc C20, ap. 35, cod800350

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Constantin Ionut

Adresa: str. Domneasca, nr. 71, bl. B, ap. 33, Galati, cod 800215

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Banu Mihaela

Adresa: str. Saturn, nr. 10, bl. B 2, ap. 28, Galati, cod 800344

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Epureanu Alexandru

Adresa: str. Lapusneanu, nr. 16, bl. B 6, ap. 16, Galati, cod 800072

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Marin Florin Bogdan

Adresa: str.Tecuciul Nou nr.15, Tecuci, 805300, România

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Alti inventatori sunt înscrisi în pagina urmatoare

Semnatura solicitantului sau a mandatarului autorizat (numele si prenumele precum si calitatea persoanei cu capacitate de reprezentare a solicitantului sau a mandatarului autorizat):

Prof. Dr. Ing. Mînză Viorel, Rector

Semnatura: _____

Data: _____

L.S. _____

pagina 1/1

2)

Rezumat

Inventia se refera la o metoda de conducere dimensionala al proceselor de obtinere a pieselor din tabla subtire prin deformare plastica la care principala sursa de erori dimensionale este variatia revenirii elastice, ca urmare a faptului ca semifabricatele au variatii dimensionale, precum si variatii ale caracteristicilor materialului si ale conditiilor de frecare.

Metoda de conducere dimnesionala, conform inventiei, consta in impartirea cursei poansonului in doua zone, masurarea fortei de deformare intr-un numar de puncte considerate de referinta si aflate in prima zona a cursei, zona in care forta de retinere

evolueaza dupa o lege considerata de referinta, compararea valorilor masurate cu valorile nominale si, pe baza diferentei constatate, calculul si comanda modificarii necesare a fortei de retinere, intr-un numar de puncte considerate de referinta si aflate in cea de-a doua zona a cursei poansonului, astfel incat nivelul revenirii elastice reale la semifabricatul curent sa corespunda cu nivelul la care aceasta a fost compensata. In scopul calculului modificarii necesare a fortei de retinere, se construiește o baza de date, care sa cuprinda valorile in punctele de referinta ale fortei de deformare si ale fortei de retinere a semifabricatului, precum si valorile parametrilor dimensionali ai revenirii elastice, toate corespunzand cazurilor simulate in cadrul programului de simulare, la care se adauga cele corespunzatoare exemplarelor din lot, obtinute pana in momentul curent, apoi, prin procesarea datelor continute in baza de date se construiește modelul matematic care, pentru cazurile curente, poate fi liniar.

Metoda de conducere numerica a masinilor unelte reconfigurabile

Inventia se refera la o metoda de conducere numerica a acelor masini unelte reconfigurabile care sunt destinate fabricatiei in serie mica a unor loturi de produse variate ca structura si sunt alcatuite din module independente ce se asambleaza in acord cu operatia pe care masina unealta trebuie sa o execute. Metoda poate fi aplicata si la masinile unelte conventionale destinate fabricatiei in serii mai mari.

O metoda cunoscuta de conducere numerica a masinilor unelte reconfigurabile, este aceea bazata pe folosirea unui interpretor reconfigurabil care este setat in acord cu structura hardware reconfigurata a masinii unelte, limbajul programului piesa fiind cel conventional (ISO-G code). Prin informatia continuta in programul piesa se descriu succesiv toate fazele ce compun ciclul de lucru al masinii si se stabilesc valorile tuturor parametrilor controlabilii procesului de prelucrare. In esenta, informatia precizeaza ce trebuie sa execute masina unealta pentru ca produsul rezultat sa corespunda tolerantelor impuse. Aceasta informatie corespunde cazului in care toate semifabricatele folosite pentru fabricatia unui lot de piese sunt identice iar relatia dintre caracteristicile semifabricatului si caracteristicile produsului finit este perfect cunoscuta, in caz contrar variatiile caracteristicilor semifabricatelor folosite determina variatii corespunzatoare ale caracteristicilor produsului finit.

Aceasta metoda are urmatoarele dezavantaje:

- reconfigurarea sistemului de comanda numerica a masinii dureaza mult timp si de aceea utilizarea masinii in cazul unei fabricatii care se modifica frecvent este economic nerationala;
- programatorul trebuie sa cunoasca bine comportarea masinii unelte pentru a putea sa inscrie in program valorile optime ale parametrilor procesului;
- daca la semifabricatele folosite pentru executarea pieselor valorile caracteristicilor dimensionale si de material sunt diferite fata de valorile lor nominale si sunt variabile in timp si spatiu, atunci acordarea parametrilor procesului la valorile reale ale caracteristicilor semifabricatului se face de catre operator si cu intarziere, ceea ce afecteaza nivelul calitativ al produsului rezultat;
- pe parcursul executarii unei fraze de comanda nu se poate programa variatia parametrilor procesului in acord cu caracteristicile dimensionale si de material ale semifabricatului curent, ceea ce face ca regimul de lucru sa fie constant si sa se afle la un nivel suficient de scazut incat sa fie satisfacute toate exigentele impuse de capabilitatile masinii, exigente care variaza in cursul executarii respectivei fraze de comanda.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in furnizarea unei metode de conducere numerica a masinilor unelte reconfigurabile, metoda care, in cadrul unui lot de piese, asigura un nivel ridicat al preciziei dimensionale, chiar atunci cand caracteristicile dimensionale si de material ale semifabricatelor sunt diferite de la un semifabricat la altul.

Metoda de conducere dimensionala a proceselor de obtinere a pieselor din tabla subtire prin deformare plastica, potrivit inventiei, inlatura dezavantajele de mai sus prin aceea ca, in scopul obtinerii la fiecare semifabricat din lotul de piese a unei reveniri elastice egala cu valoarea compensata, chiar atunci cand caracteristicile dimensionale si de material, precum si fenomenele de frecare ce apar in cursul procesului de deformare, difera de la un semifabricat la altul, se imparte cursa poansonului in doua zone, apoi, in prima zona a cursei poansonului, numita zona de identificare, zona in care forta de retinere evolueaza dupa o lege considerata de referinta si folosita in etapa de simulare a procesului de deformare si de compensare a revenirii elastice prin modificarea formei si dimensiunilor matritei si poansonului, se masoara forta de deformare intr-un numar de puncte considerate de referinta si se compara valorile masurate ale fortei de deformare cu valorile de referinta, adica cele corespunzatoare cazului de referinta, pentru care a fost compensata revenirea elastica, si, pe baza diferentei constatate, se calculeaza modificarea necesara a fortei de retinere, intr-un numar de puncte considerate de referinta si aflate in cea de-a doua zona a cursei poansonului, numita zona de control, astfel incat nivelul revenirii elastice reale, la semifabricatul curent, sa corespunda cu nivelul la care aceasta a fost compensata, dupa care

se comanda sistemului de retinere a semifabricatului, in cea de-a doua zona a cursei poansonului, adica zona de control, o forta de retinere, ce este modificata corespunzator cu rezultatul calculului si prin aceea ca, in scopul calculului modificarii necesare a fortei de retinere, in cea de-a doua zona a cursei poansonului, adica zona de control, astfel incat nivelul revenirii elastice reale la respectivul semifabricat sa corespunda cu nivelul la care aceasta a fost compensata, se construiesc o baza de date, care sa cuprinda valorile in punctele de referinta ale fortei de deformare si ale fortei de retinere a semifabricatului, precum si valorile parametrilor dimensionali ai revenirii elastice, atat cele corespunzatoare cazurilor simulate in cadrul programului de simulare, cat si cele corespunzatoare exemplarelor din lot, obtinute pana in momentul curent, apoi, prin procesarea datelor continute in baza de date, se construiesc modelul matematic, care, pentru cazurile curente, unde forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafata si de material ale semifabricatului variaza in limite restranse, poate fi liniar si care descrie legatura dintre valorile fortei de deformare in punctele de referinta din zona de identificare a cursei poansonului si valorile fortei de retinere a semifabricatului corespunzatoare punctelor de referinta din zona de control a cursei poansonului, pe de o parte, si, pe de alta parte, valorile revenirii elastice in punctele caracteristice ale semifabricatului.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje:

- reducerea erorilor dimensionale ale pieselor obtinute din table subtiri prin deformare plastica la rece;
- posibilitatea de a folosi semifabricate la care caracteristicile dimensionale de suprafata si de material pot fluctua in limite largi.

Inventia este in continuare exemplificata in legatura cu fig. 1...4, unde:

- fig. 1 reprezinta relatia dintre forta de retinere si deplasarea poansonului corespunzatoare cazului in care apare ruperea materialului, zona a, cazului in care apare cutarea materialului, zona b, si cazului in care cele doua fenomene nu apar, zona c.

-fig. 2 reprezinta variatia fortei de deformare P_0 si a fortei de retinere a semifabricatului F_0 , in lungul cursei L a poansonului, pentru semifabricatul de referinta, a carei revenire elastica a fost compensata prin modificarea geometriei poansonului si matritei, si pentru unul dintre semifabricatele destinate prelucrarii unui lot de piese, la care

variatia fortei de deformare P si a fortei de retinere a semifabricatului F in lungul cursei L a poansonului difera de valorile corespunzatoare semifabricatului de referinta.

-fig.3 reprezinta schema de evaluare a revenirii elastice corespunzatoare unui exemplar din lotul de piese, unde a este forma nominala a piesei finite, b este forma reala a piesei finite, (1), (2), (3) si (4) reprezinta punctele caracteristice si senzorii folositi pentru evaluarea revenirii elastice in aceste puncte iar d_3 este valoarea revenirii elastice corespunzatoare punctului caracteristic (3).

-fig. 4 reprezinta structura datelor rezultate din monitorizarea on-line a procesului de obtinere a pieselor din table subtiri prin deformare plastica, date ce sunt folosite pentru constructia modelului matematic, care descrie legatura dintre valorile fortei de deformare in punctele de referinta din zona de identificare a cursei poansonului si valorile fortei de retinere a semifabricatului corespunzatoare punctelor de referinta din zona de control al cursei poansonului, pe de o parte, si, pe de alta parte, valorile revenirii elastice in punctele caracteristice ale semifabricatului.

Metoda de conducere dimensionala a proceselor de obtinere a pieselor din tabla subtire prin deformare plastica presupune parcurgerea urmatoarelor pasi:

Pasul 1

Dandu-se valorile nominale ale dimensiunilor si caracteristicilor de material ale semifabricatului, precum si forma, dimensiunile si tolerantele piesei finite, se deruleaza un program de simulari numerice ale procesului de obtinere a piesei prin deformare plastica, cu diferite legi de variatie a fortei de retinere a materialului in lungul cursei poansonului, folosind in acest scop un produs software de simulare, de exemplu bazat pe metoda elementelor finite.

Pasul 2

Dintre cazurile simulate, se adopta unul considerat de referinta. Pentru exemplificare, in fig.2 cazul de referinta este acela in care forma, dimensiunile si caracteristicile de suprafata si de material ale semifabricatului au valorile corespunzatoare mijlocului campurilor lor de toleranta, forta de retinere a semifabricatului evolueaza dupa diagrama F_0 iar forta de deformare evolueaza dupa diagrama P_0 , in lungul cursei L a poansonului. Revenirea elastica ce apare la simularea cazului considerat ca referinta este cunoscuta, in urma simularii, si compensata, prin modificarea corespunzatoare a formei si dimensiunilor

matritei si poansonului. Daca procesul de obtinere a pieselor din tabla subtire, prin deformare plastica, ar decurge in perfecta conformitate cu cazul considerat ca referinta, adica daca forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafata si de material ale semifabricatului ar avea valorile considerate la simularea cazului de referinta, si daca forta de retinere ar fi setata sa evolueze dupa diagrama F0, si in fine, daca erorile de simulare, precum si deviatiile dimensionale ale poansonului si matritei, datorate executiei acestora sau uzurii din exploatare, ar fi nule, atunci forta de deformare ar evolua dupa diagrama P0, revenirea elastica ar fi la nivelul rezultatelor obtinute din simularea cazului de referinta iar dimensiunile piesei obtinute nu ar fi afectate de revenirea elastica aparuta in urma procesului de deformare plastica. Pentru exemplificare in fig. 4, cazul de referinta este cazul 5.

Pasul 3

Se imparte cursa poansonului in doua zone, iar in fiecare zona se stabilesc puncte de referinta, asa cum se arata in fig.2, unde cele doua zone sunt urmatoarele:

- zona a, in care forta de retinere a semifabricatului este setata sa evolueze in conformitate cu diagrama F0, iar forta de deformare, care evolueaza dupa diagrama P de-a lungul cursei poansonului, este masurata intr-un numar de puncte de referinta. In fig. 2 se prezinta cazul procesului de deformare a semifabricatului curent, la care forta de retinere in punctele de referinta 1 si 2 este setata la nivelul valorilor de referinta F01 si F02 iar forta de deformare este masurata in aceleasi puncte de referinta 1 si 2 si are valorile P1 si P2, care sunt diferite de valorile P01 si P02 corespunzatoare cazului de referinta, ca urmare a faptului ca, la semifabricatul curent, forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafata si de material difera de valorile lor corespunzatoare cazului de referinta.
- zona b, in care forta de retinere este programata sa evolueze cu deplasarea poansonului, dupa o alta lege decat cea corespunzatoare cazului de referinta, lege astfel aleasa incat revenirea elastica sa ramana la nivelul cazului de referinta, desi forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafata si de material ale semifabricatului curent difera de valorile lor nominale. In fig.2 se prezinta cazul in care, in punctele de referinta 3, 4 si 5, forta de retinere corespunzatoare cazului de referinta variaza liniar, trecand prin valorile F03, F04, F05, iar forta de retinere corespunzatoare semifabricatului curent variaza liniar, trecand prin valorile F3, F4 si F5, astfel setate incat revenirea elastica corespunzatoare semifabricatului curent sa aiba valorile corespunzatoare cazului de referinta.

Pasul 4

Se stabilesc parametrii dimensionali ai revenirii elastice, tinand cont de cotele si tolerantele piesei finite. In fig.3 se prezinta cazul in care parametrii dimensionali ai revenirii elastice sunt deviatiile formei piesei reale in raport cu forma nominala a acesteia, masurate in punctele caracteristice 1, 2, 3 si 4.

Pasul 5

Se construiește o bază de date, care să cuprindă valorile în punctele de referință ale forței de deformare și ale forței de reținere a semifabricatului, precum și valorile parametrilor dimensionali ai revenirii elastice, atât cele corespunzătoare cazurilor simulate în cadrul programului de simulare cât și cele corespunzătoare exemplarelor din lot, obținute până în momentul curent. Prin procesarea datelor conținute în baza de date se construiește modelul matematic, care descrie legătura dintre valorile forței de deformare în punctele de referință din zona de identificare a cursei poansonului și valorile forței de reținere a semifabricatului corespunzătoare punctelor de referință din zona de control a cursei poansonului, pe de o parte, și, pe de altă parte, valorile revenirii elastice în punctele caracteristice ale semifabricatului.

În cazul prezentat în fig.2, modelul matematic este folosit pentru a stabili legătura dintre valorile F_3 , F_4 și F_5 ale forței de reținere a semifabricatului și valorile P_1 și P_2 ale forței de deformare, pentru care revenirea elastică în cele 4 puncte caracteristice se află la nivelul cazului de referință. Tipul modelului matematic folosit nu este impus, dar pentru cazurile curente, unde forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafață și material ale semifabricatului variază în limite restrânse, se recomandă folosirea unui model liniar de ordinul 1. Pentru alte cazuri, ordinul poate fi majorat.

Pasul 6

Modelul matematic construit este folosit pentru controlul procesului de prelucrare a exemplarului curent.

Pasul 7

După ce au fost prelucrate primele 10-15 exemplare din lot și s-au acumulat suficient de multe date în baza de date, se elimină datele corespunzătoare cazurilor simulate, urmând ca procesul să fie condus pe baza datelor obținute din monitorizarea procesului în cursul prelucrării exemplarelor ce alcatuiesc lotul.

Revendicari

1. Metoda de conducere dimensională a proceselor de obținere a pieselor din tablă subțire prin deformare plastică la care principala sursă de erori dimensionale este variația revenirii elastice, caracterizată prin aceea că, în scopul obținerii la fiecare semifabricat din lotul de piese a unei reveniri elastice egală cu valoarea compensată, chiar atunci când caracteristicile dimensionale și de material, precum și fenomenele de frecare ce apar în cursul procesului de deformare, diferă de la un semifabricat la

altul, se imparte cursa poansonului in doua zone, apoi in prima zona a cursei poansonului, numita zona de identificare, zona in care forta de retinere evolueaza dupa o lege considerata de referinta si folosita in etapa de simulare a procesului de deformare si de compensare a revenirii elastice prin modificarea formei si dimensiunilor matritei si poansonului, se masoara forta de deformare intr-un numar de puncte considerate de referinta si se compara valorile masurate ale fortei de deformare cu valorile de referinta, adica cele corespunzatoare cazului de referinta, pentru care a fost compensata revenirea elastica, si, pe baza diferentei constatate, se calculeaza modificarea necesara a fortei de retinere, intr-un numar de puncte, considerate de referinta si aflate in cea de-a doua zona a cursei poansonului, numita zona de control, astfel incat nivelul revenirii elastice reale la semifabricatul curent sa corespunda cu nivelul la care aceasta a fost compensata, dupa care se comanda sistemului de retinere a semifabricatului, in cea de-a doua zona a cursei poansonului, adica zona de control, o forta de retinere, ce este modificata corespunzator cu rezultatul calculului.

2. Metoda de conducere dimensionala a proceselor de obtinere a pieselor din tabla subtire prin deformare plastica la care principala sursa de erori dimensionale este variatia revenirii elastice conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca, in scopul calculului modificarii necesare a fortei de retinere, in cea de-a doua zona a cursei poansonului, adica zona de control, astfel incat nivelul revenirii elastice reale la respectivul semifabricat sa corespunda cu nivelul la care aceasta a fost compensata, se construiesc o baza de date care sa cuprinda valorile in punctele de referinta ale fortei de deformare si ale fortei de retinere a semifabricatului, precum si valorile parametrilor dimensionali ai revenirii elastice, atat cele corespunzatoare cazurilor simulate in cadrul programului de simulare, cat si cele corespunzatoare exemplarelor din lot, obtinute pana in momentul curent, apoi, prin procesarea datelor continute in baza de date, se construiesc modelul matematic care, pentru cazurile curente, unde forma, dimensiunile, caracteristicile de suprafata si de material ale semifabricatului variaza in limite restranse, poate fi liniar si care descrie legatura dintre valorile fortei de deformare in punctele de referinta din zona de identificare a cursei poansonului si valorile fortei de retinere a semifabricatului corespunzatoare punctelor de referinta din zona de control a cursei poansonului, pe de o parte, si, pe de alta parte, valorile revenirii elastice in punctele caracteristice ale semifabricatului.

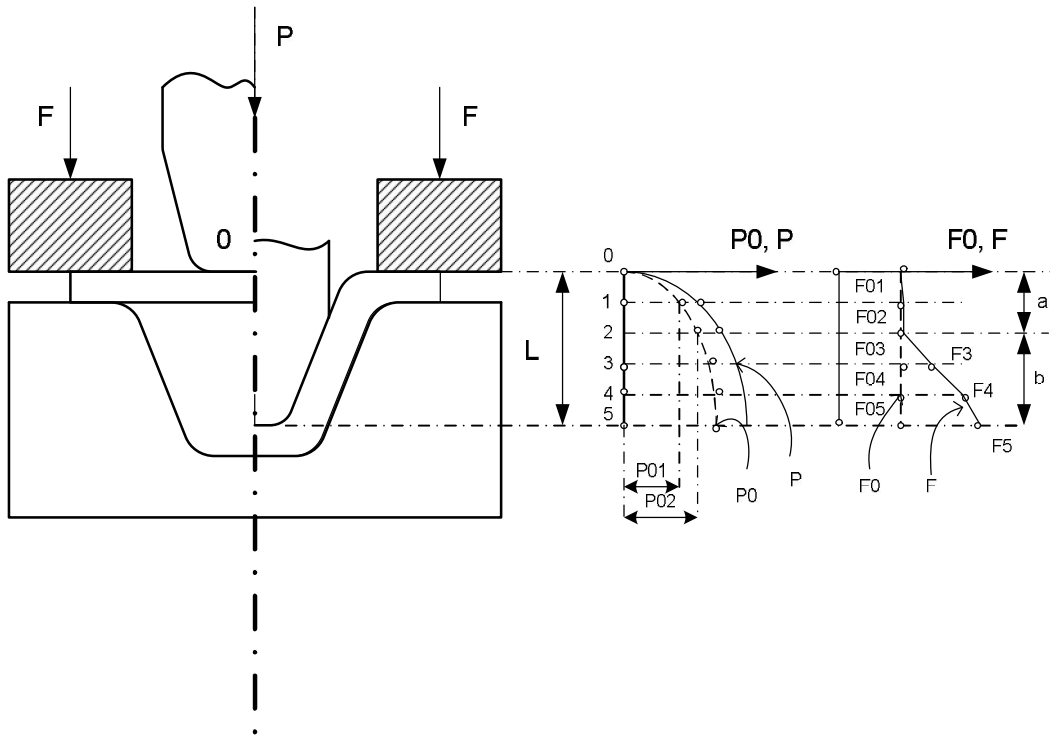


Figura 2

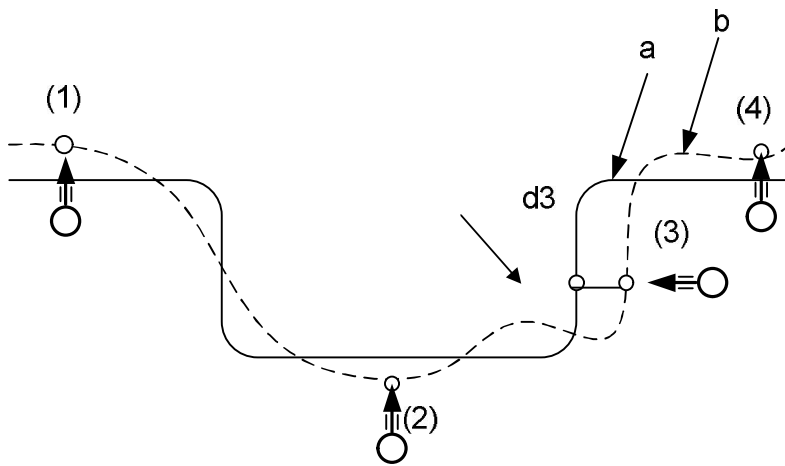


Figura 3

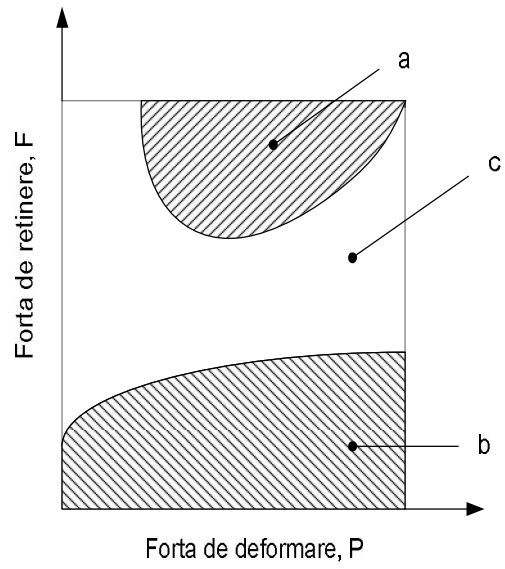


Figura 1

r. curent al semifabricatului	Procesele de deformare corespunzatoare semifabricatelor simulate							Procese de deformare corespunzatoare semifabricatelor reale ce compun lotul							
								0	1	2	3	4	5	6	
orta de deformare in punctele de referi															

nta															
orta de retine re in punct ele de referi nta	I														
evenir ea elastic a in punct ele caract eristic e	I														

Figura 4

[1] Lin Zhong-qin, Wang Wu-rong, Chen Guan-long, A new strategy to optimize variable blank holder force towards improving the forming limits of aluminum sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology* 183 (2007) 339–346.

[2] Hiroshi Koyama, Robert H. Wagoner, Ken-ichi Manabe, Blank holding force control in panel stamping process using a database and FEM-assisted intelligent press control system, *Journal of Materials Processing Technology* 152 (2004) 190–196.

[3] W. R. Wang , G. L. Chen , Z. Q. Lin , S. H. Li, Determination of optimal blank holder force trajectories for segmented binders of step rectangle box using PID closed-loop FEM simulation, *Int J Adv Manuf Technology* (2007) 32: 1074–1082.

[4] Yongjun Shi, Yancong Liu, Zhenqiang Yao, and Hong Shen, A study on bending direction of sheet metal in laser forming, *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS* 103, 053101_2008.

[5] Kiyoung Yi, K. K. Choi , Nam H. Kim and Mark E. Botkin, Design sensitivity analysis and optimization for minimizing springback of sheet-formed part, *Int. J. Numer. Meth. Engng* 2007; 71:1483–1511.

[6] Wenjuan Liu , Qiang Liu , Feng Ruana, Zhiyong Liang , Hongyang Qiu , Springback prediction for sheet metal forming based on GA-ANN technology, *Journal of Materials Processing Technology* 187–188 (2007) 227–231.

CERERE DE BREVET DE INVENTIE



Nr. solicitant/mandatar	referinta	Registratura OSIM (numarul si data primirii):
----------------------------	-----------	---

Numarul cererii de brevet de inventie	
Data primirii la Registratura Generala a OSIM - R.4(5)	

Data de depozit - R.8(1)	
Data primirii partii lipsa la Registratura Generala a OSIM - R.4(7),(8)	
Data de depozit noua - R.8(1)	
Data primirii cererii de retragere a partii lipsa la Registratura Generala a OSIM -	
Data de depozit atribuita cererii de brevet - R.8(14)	

1.	Solicitanți	(nume/denumire,
Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati, str. Domneasca, nr.111, cod 800201,		

2.	Solicitam în baza art	Legii nr. 64/1991, republicata în temeiul Legii nr.
203/2002, un brevet pentru inventia cu titlul: METODA DE CONDUCERE DIMENSIONALA		
2.1.	Referinta la o cerere anterioara	(numar, data de depozit, tara/oficiul):

3. Declaram ca inventatorii sunt:
3.1 aceiași cu solicitanții (nume, prenume si loc de munca la data creării invenției)

3.2 Persoanele din "Declarația privind desemnarea inventatorilor" care se anexează

4.	Declaram ca inventia contine informatii care au fost clasificate de catre	(denumirea, data si nivelul
-----------	---	-----------------------------

5.	Rezumatul se publica împreuna cu figura numarul:
-----------	--

6.	Prioritati revendicate	(stat, data depozit,
-----------	------------------------	----------------------

7.	Prioritati interne revendicate	(numar cerere, data
-----------	--------------------------------	---------------------

8. Cererea de brevet este divizionara din cererea (numar, data
--

9. Proceduri solicitate la data depunerii	
9.1. Publicarea de urgenta a cererii, conform art. 23, alin. 3	<input type="checkbox"/>
9.2. Întocmirea unui raport de documentare, conform art. 24	<input type="checkbox"/>
9.3. Examinarea cererii cu luarea hotarârii în termen de 18 luni de la data de depozit, conform art. 25	<input type="checkbox"/>
9.4. Mentinerea informatiilor la nivelul de clasificare atribuit, conform regulii 7	<input type="checkbox"/>

10. Solicitantul desemnat pentru corespondenta cu OSIM: prof. dr. ing. Epureanu Alexandru

11. Adresa solicitantului/mandatarului pentru corespondenta cu OSIM: Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați Str. Domnească 111, 800201, Galați Tel: 0722362606 Fax: 0236461353 E-mail:alexandru.epureanu@ugal.ro
--

12. Reprezentare prin mandatar <input type="checkbox"/> pr <input type="checkbox"/> procura generala nr./data: <input type="checkbox"/>

13. solicitanți/mandatar:

14. Documente depuse la OSIM de	15. Documente
14.1. Formular de cerere în 3 exemplare, a	în
14.2. Descriere în 3 exemplare, a	în
14.3. Revendicari în 3 exemplare, a	în
14.4. Desene în 3 exemplare, a	în
14.5. Rezumat în 3 exemplare, a	în
14.6. Lista de secvențe de nucleotide și/sau	
14.6.1. prezentată pe suport hârtie	în
14.6.2. prezentată pe suport electronic tip	tip
14.7. Document privind dreptul la acordarea	
14.8. Document privind desemnarea inventatorilor	a file
14.9. Procura/copie procura generală	a file
14.10. Document referitor la plata taxelor	a file
14.11. Act privind acordarea reducerii taxelor	a file
14.12. Autorizația privind transmiterea dreptului	a file
14.13. Act de prioritate	a file
14.14. Act referitor la depozitul microorganismului/materialului biologic	a file
14.15. Document privind o divulgare a invenției conform art.9 din lege	a file
14.16. Copie/traducere a cererii anterioare de la	a file
14.17. Alte documente	a file

OSIM (semnatura, LS)

Declaratie
continand desemnarea inventatorilor inventiei cu titlul:
METODA DE CONDUCERE DIMENSIONALA LA
FABRICAREA PIESELOR DIN TABLA SUBTIRE PRIN
DEFORMARE PLASTICA

Aceasta declaratie este facuta în conformitate cu prevederile art. 14 alin. 2 si Regulii 20E si trebuie depusa în termen de 18 luni de la data solicitarii examinarii în fond a cererii de brevet de inventie, conform Regulii 20E alin. (11).

Nume si prenume: Marinescu Vasilică

Adresa: str. George Coşbuc, nr. 37, bloc C20, ap. 35, cod800350

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Epureanu Alexandru

Adresa: str. Lapusneanu, nr. 16, bl. B 6, ap. 16, Galati, cod 800072

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Banu Mihaela

Adresa: str. Saturn, nr. 10, bl. B 2, ap. 28, Galati, cod 800344

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Constantin Ionut

Adresa: str. Domneasca, nr. 71, bl. B, ap. 33, Galati, cod 800215

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Nume si prenume: Marin Florin Bogdan

Adresa: str. Tecuciul Nou nr.15, Tecuci, 805300, România

Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos Galati

Alti inventatori sunt înscrise în pagina următoare

Semnatura solicitantului sau a mandatarului autorizat (*numele si prenumele precum si calitatea persoanei cu capacitate de reprezentare a solicitantului sau a mandatarului autorizat*):

Prof. Dr. Ing. Mînză Viorel, Rector

Semnatura: _____

Data: _____

L.S. _____

pagina 1/1