

Rezumatul tezei de doctorat:

**CERCETĂRI PRIVIND ANALIZA ȘI SINTEZA UNOR MECANISME DE LA MAȘINI
AGRICOLE**

Autor: **Ing. Ionuț Daniel GEONEA,**
Conducător științific: **Prof. Univ. Dr. Ing. Nicolae DUMITRU**

Domeniul mașinilor agricole a devenit unul dintre cele mai fascinante și mai vechi din istoria tehnicii având în vedere necesitatea imperioasă de a se asigura hrana unei populații în continuă creștere.

Un rol esențial în construcția mașinilor și echipamentelor agricole îl are structura mecanică a acestora, interfața om-mediu de lucru, performanțele acestora determinând în mare măsură parametrii de productivitate. Multitudinea și evoluția soluțiilor constructive se explică prin necesitatea de a satisface în detaliu tehnologia de bază a culturilor sau a diverselor operații agricole.

Mașinile agricole fac parte din categoria mașinilor de lucru, destinate a efectua o diversitate de lucrări, conform cu cerințele agrobiologice și tehnico-economice impuse fiecărei lucrări în parte. Materia primă de lucru o constituie plantele cultivate programat, dar și mediul de dezvoltare a acestora. Diversitatea organismelor vii și a mediilor în care au loc procesele biologice ale acestora a determinat realizarea de mașini agricole complexe, unele cu grad mai mare de universalitate, altele fiind specializate.

Clasificarea mașinilor și instalațiilor folosite în mecanizarea lucrărilor agricole se poate face după mai multe criterii:

După felul acționării:

- cu acționare manuală;
- cu acționare animală;
- cu acționare mecanică.

După modul în care execută procesul de lucru;

- mașini agricole mobile;
- mașini agricole și instalații agricole staționare.

După modul în care organele active execută procesul de lucru;

- mașini ale căror organe active execută procesul de lucru numai datorită imprimării mișcării de translație pe direcția de deplasare (pluguri, grape nivelatoare etc.);
- mașini la care organele active primesc mișcări suplimentare (rotație, translație) în timp cât mașina se deplasează (combine de recoltat cereale, freze agricole etc.);
- mașini la care o parte din organele active execută procesul de lucru datorită deplasării mașinii, iar o altă parte din organele de lucru primesc mișcări suplimentare (semănători, mașini de plantat etc.);
- mașini ale căror organe execută procesul de lucru, primind mișcări suplimentare, când mașina staționează (mașini de săpat gropi).

Cel mai frecvent criteriu de clasificare utilizat la noi și pe plan mondial (ISO), este *după felul lucrării pe care o execută mașina agricolă:*

- mașini pentru lucrările solului;
- mașini pentru semănat și plantat;
- mașini pentru administrat îngrășăminte;
- mașini pentru combaterea bolilor și dăunătorilor din culturile și produsele agricole;
- mașini pentru recoltat;
- mașini pentru condiționarea și prelucrarea primară a produselor agricole.

Prin teza de doctorat cu titlul "**Cercetări privind analiza și sinteza unor mecanisme de la mașinile agricole**" mi-am propus pentru studiu, analiză și îndeplinire, următoarele **obiective:**

- Efectuarea unui stadiu la zi în ceea ce privește tipurile de mecanisme utilizate în construcția diverselor mașini agricole, cum ar fi: mașini pentru lucrările solului, mașini de semănat, mașini de recoltat și cosit:
 - Elaborarea unor modele structurale pentru mecanismele reprezentative gamei de mașini studiate.
 - Organizarea unei baze de date selective cu privire la existența unor tipuri de mecanisme, care se folosesc în construcția mașinilor agricole.
 - Studiul funcțional al unor mecanisme de la mașinile agricole, existente pe plan mondial.
 - Caracteristici structural constructive ale unor mecanisme de la mașinile agricole.
- Sistematizarea soluțiilor constructive pentru un anumit tip de mașină din punct de vedere structural.

- Optimizarea soluției structurale alese, pentru studiul cinematic, dinamic și experimental, din punct de vedere cinematic și dinamic.
- Cercetări asupra răspunsului dinamic pe modele de mecanisme noi, optimale.
- Cercetări experimentale pe modele de mecanisme existente și pe modele de mecanisme noi, optimale.
- Studiul modelului computațional al ansamblului mecanic.
 - Modelarea matematică asistată de calculator (cu soft-uri de specialitate: SolidWorks, MSC.visual.Nastran, MSC.Adams) a ansamblului sistemelor mecanice studiate.
 - Analiza cu ajutorul metodei elementelor finite a sistemului mecanic considerat, cu considerarea frecării din cuplele cinematice, a flexibilității elementelor.

Lucrarea este structurată în IX capitole, în fiecare dintre acestea evidențiindu-se expunerea unor soluții constructive existente, cât și contribuții proprii în analiza, sinteza optimală a mecanismelor din componența gamei de mașini studiate.

Este abordată problematica mecanismelor caracteristice mașinilor agricole, elaborând pentru unele din acestea studii cinematice și dinamice.

Teza de doctorat are o documentare bibliografică bogată (249 titluri) și actuală.

Principalele contribuții de ordin teoretic și aplicativ sunt sintetizate în cele ce urmează.

În capitolul I este prezentat un stadiu la zi în ceea ce privește tipurile de mecanisme din structura mașinilor agricole. Sunt prezentate mecanisme de la mașini de recoltat și cosit (fig.1), mecanisme din componența mașinilor pentru lucrările solului, semănat.

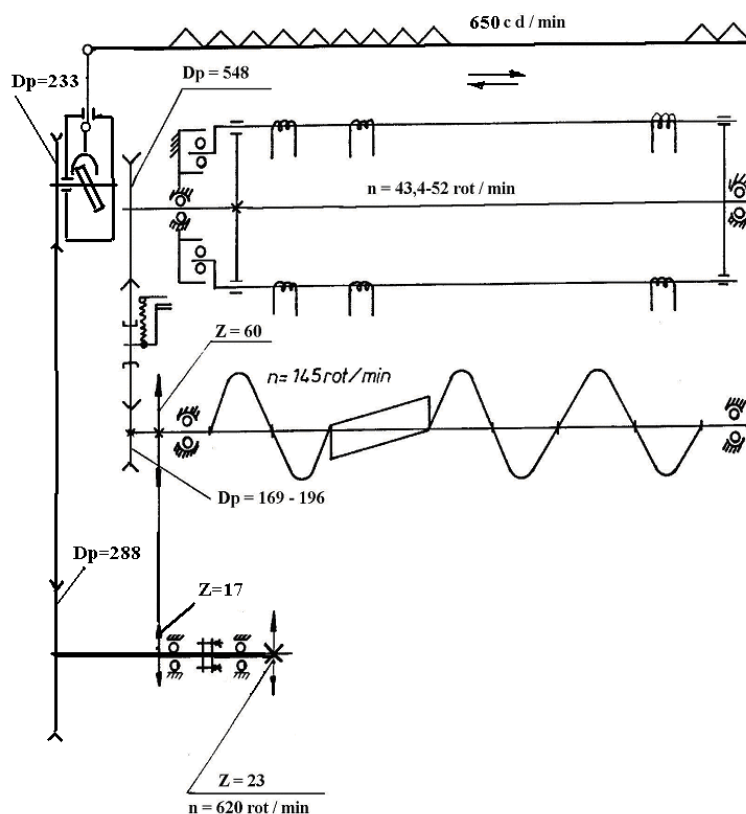


Fig.1. Schema cinematică. Echipament pentru recoltat ierboase

În capitolul II sunt sistematizate din punct de vedere structural mecanismele existente la mașinile agricole în general și în particular a celor de la mașinile de recoltat și cosit, motocositori, fiecare clasă fiind ilustrată prin exemple și prin particularitățile sale structurale, constructiv-funcționale.

Marea majoritate a mecanismelor au rolul funcțional de reglare și poziționare, dar sunt și mecanisme care lucrează în regim dinamic: mecanismul sistemului de tăiere, mecanismul sistemului de curățire, etc. De astfel și mecanismele de reglare și poziționare pot fi considerate că lucrează în regim dinamic, asupra lor acționând forțe variabile în timp (mecanismul de reglare a adâncimii de lucru la pluguri).

Sistemele de poziționare și control sunt mecanisme cu grad de mobilitate superior, impus de numărul parametrilor ce definesc pozițional-cinematic elementele de execuție ale acestora. Gradele de mobilitate ale mecanismelor multimobile, de reglare, poziționare sau manipulare sunt asigurate în majoritatea cazurilor de un număr egal de cuple cinematice active. La mecanismele plane complexe, parametrii geometrici și cinematici ai

elementului de execuție depind de mișcările simple independente (absolute sau relative) și de configurația geometrică a elementelor și cupelilor cinematice ce se pot constitui în grupe modulare.

Masa de tăiere de la combinele de recoltat este constituită dintr-un ansamblu de mecanisme, sistemul de tăiere constituind unul din mecanismele de bază ale acesteia.

Este prezentată analiza structurală și funcțională a mecanismelor din componența sistemelor de tăiere de la mașinile de recoltat și cosit (fig.2). Sunt analizate mecanismele de acționare a cuțitelor pentru variantele de sisteme de tăiere cu degete și plăci contratăietoare, precum și cele cu două cuțite.

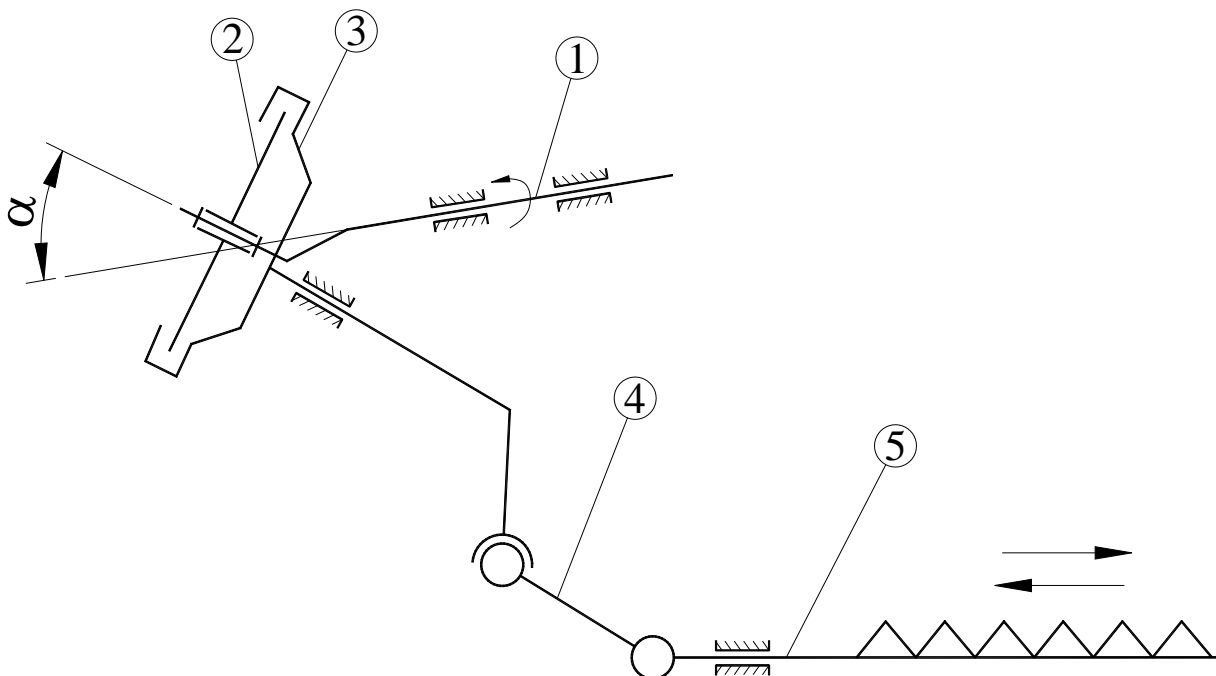


Fig.2. Mecanism cu șaibă oscilantă

În capitolul III s-a prezentat un model de optimizare cinematică și dinamică bazat pe algoritmul inclus în softul Adams, care oferă posibilitatea efectuării, prin parametrizarea modelului virtual, a unor serii de studii având ca obiectiv identificarea parametrilor de proiectare care influențează decisiv comportamentul cinematic și dinamic al mecanismelor studiate de la mașinile agricole.

În Adams, optimizarea unui sistem mecanic constă din parcurgerea următoarelor etape:

- parametrizarea modelului;
- definirea variabilelor de proiectare;
- definirea funcțiilor obiectiv de optimizat;
- efectuarea studiilor de proiectare pentru identificarea variabilelor de proiectare principale, cu influență semnificativă asupra funcțiilor obiectiv;
- optimizarea propriu-zisă a sistemului mecanic pe baza variabilelor principale.

Capitolul IV este orientat către analiza cinematică a sistemelor mecanice mobile din structura mașinilor agricole. Capitolul conține modele de analiză cinematică, cu aplicații complet computerizate, finalizate prin rezultate numerice, diagrame și simularea funcționării sistemelor mecanice în spațiul bidimensional și tridimensional.

Sunt realizate modelări cinematice ale diverselor sisteme de tăiere, bazate pe mecanismul balansier, bielă manivelă dezaxat, pe mecanismul cu șaibă oscilantă, mecanismul cu furcă oscilantă, precum și modelarea cinematică a unui mecanism de lucru pentru deservirea tractoarelor agricole.

Sistemul de tăiere al mașinilor de recoltat sau cosit, în diverse variante constructive, este constituit din două contururi independente, unul spațial și celălalt plan, legate în serie. Din studiul diverselor sisteme de tăiere a rezultat că pentru conturul spațial sunt adoptate două variante structurale, și anume: mecanismul sferic 4R și mecanismul spațial 3RSR, iar pentru conturul plan este preferată soluția structurală RTRT. Se abordează prin prisma teoriei mecanismelor spațiale, analiza cinematică, stabilindu-se caracteristicile cinematice ale sistemelor studiate.

Astfel, pentru mecanismul balansier de acționare a cuțitului sistemului de tăiere al combinei C12, a fost realizată modelarea cinematică cu ajutorul programului MSC.visualNastran. Mecanismul balansier este un mecanism spațial, este format din două contururi, ambele fiind spațiale: primul contur are structura RRSR, iar cel de-al doilea contur are structura RSRT. Forma diagramelor de variație ale parametrilor cinematici este influențată de pas, metoda de integrare adoptată și coeficientul de amortizare folosit în construirea modelului

dinamic al cuplei. Cursa teoretică realizată de cuțit este de 75.2 mm. În practică, din cauza jocurilor din articulații provocate de uzura elementelor, este necesară o cursă mai mare cu 3-4 mm, pentru compensarea jocurilor, și pentru ca marginile lamelelor tăietoare să depășească muchiile degetelor contratăietoare.

Un alt mecanism studiat este mecanismul cu șaibă oscilantă. Mecanismul a fost proiectat ca să asigure cursa cuțitului de 52 mm (unghiul de înclinare al șaibei este de 10 grade). Modelul cinematic al mecanismului cu șaibă oscilantă a fost procesat pe calculator, cu ajutorul unui program de calcul în Maple, prezentat în **Anexa I**. Am prezentat legile de variație ale cursei, vitezei și accelerației cuțitului sub forma unor grafice tridimensionale, în funcție de timp și de unghiul de înclinare al axului pe care este montată șaiba oscilantă (fig.3).

Unghiul de înclinare al șaibei este o caracteristică geometrică foarte importantă a acestui mecanism. Din figura 3, observăm că unghiul de înclinare al șaibei variază între 10 și 30 de grade, în conformitate cu tipurile de mecanisme cu șaibă oscilantă existente constructiv. Conform figurii 3, se observă că pe măsură ce unghiul de înclinare al axului pe care este montată șaiba crește, crește și cursa cuțitului. Se observă că mecanismul poate avea curse ale cuțitului de la 50 mm la 160 mm, curse care sunt uzitate la tipurile constructive existente de mașini de recoltat cu astfel de sisteme de tăiere.

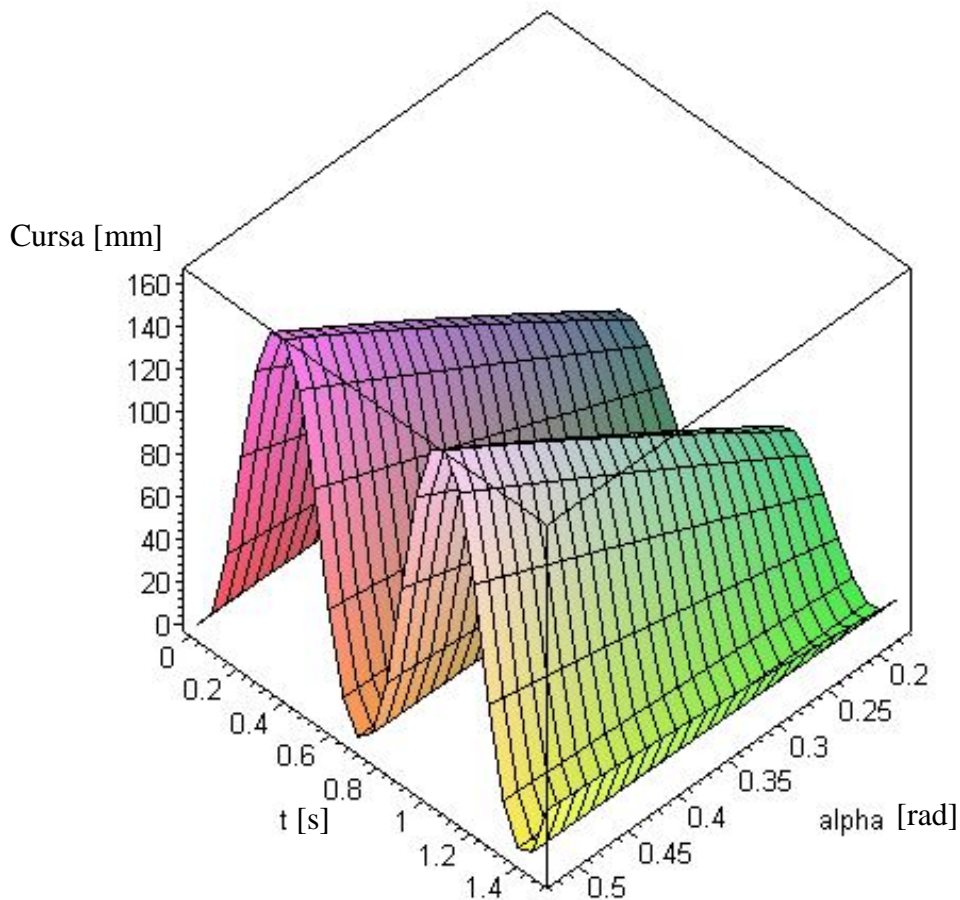


Fig.3. Graficul de variație al cursei cuțitului în funcție de timp și de unghiul de înclinare al axului șaibei

În acest capitol am studiat de asemenea un mecanism de lucru pentru deservirea tractoarelor agricole (fig.4). Ne-am propus să facem analiza cinematică a mecanismului de lucru, descris în cap. IV din punct de vedere constructiv și structural. Această analiză o vom realiza când mecanismul este în lucru, și funcționează în regim de reglaj automat, deci sarcinile care acționează asupra mașinii de lucru se transferă integral pe tractor, prin mecanismul de lucru. În urma încercărilor experimentale efectuate, prezentate în cap. VII, cunoaștem cursa pistonului cilindrului hidraulic.

Pentru procesarea modelului cinematic al mecanismului am elaborat un program de calcul în soft-ul Maple, pentru rezolvarea ecuațiilor care descriu variația parametrilor cinematici. Programul de calcul elaborat este prezentat în **ANEXA II**.

În urma procesării modelului cinematic pe calculator am obținut legile de variație în timp ale pozițiilor, vitezelor și accelerațiilor cuplelor cinematice și legile de variație în timp ale pozițiilor, vitezelor și accelerațiilor unghiulare ale elementelor sub forma unor grafice de variație în timp.

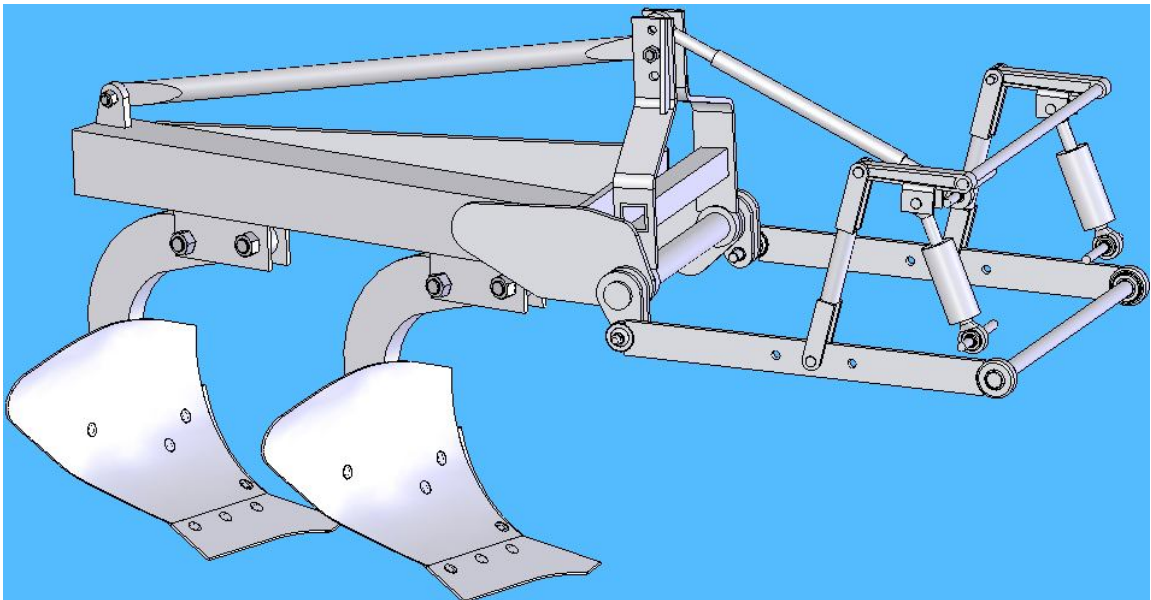


Fig. 4. Reprezentarea tridimensională a mecanismului de lucru cuplat cu o mașină pentru lucrările solului (vedere de ansamblu)

Capitolul V, intitulat „Cercetări asupra răspunsului dinamic al unor mecanisme de la mașini agricole” este structurat în două părți: analiza răspunsului dinamic al unui mecanism experimental destinat mașinilor de cosit și modelarea cinetostatică a unui mecanism de lucru pentru deservirea tractoarelor agricole.

În cadrul acestui capitol este expusă modalitatea de analiză a răspunsului dinamic al unui mecanism pentru acționarea sistemului de tăiere al unei cositori, și procesarea acestui model cu ajutorul unui program de calcul realizat cu ajutorul soft-ului Maple. Programul de calcul utilizat la rezolvarea modelului dinamic este prezentat în **ANEXA III** a tezei. În urma procesării modelului dinamic am obținut grafice de variație ale parametrilor cinematici în regim dinamic, (precum și ale forțelor de legătură din cuplele cinematice ale mecanismului (fig.5). Se desprind următoarele observații și concluzii asupra analizei dinamice:

- mecanismul considerat pentru studiul răspunsului dinamic, este un mecanism nou, experimental, a fost proiectat astfel încât să realizeze o cursă a cuțitului de 52 mm. Structural, mecanismul este format din două contururi plane: primul de tipul RRTR, iar al doilea de tipul TRT;

- analiza dinamică a mecanismului considerat este realizată prin metoda modelelor dinamice, care este prezentată teoretic, detaliat în cadrul acestui capitol;

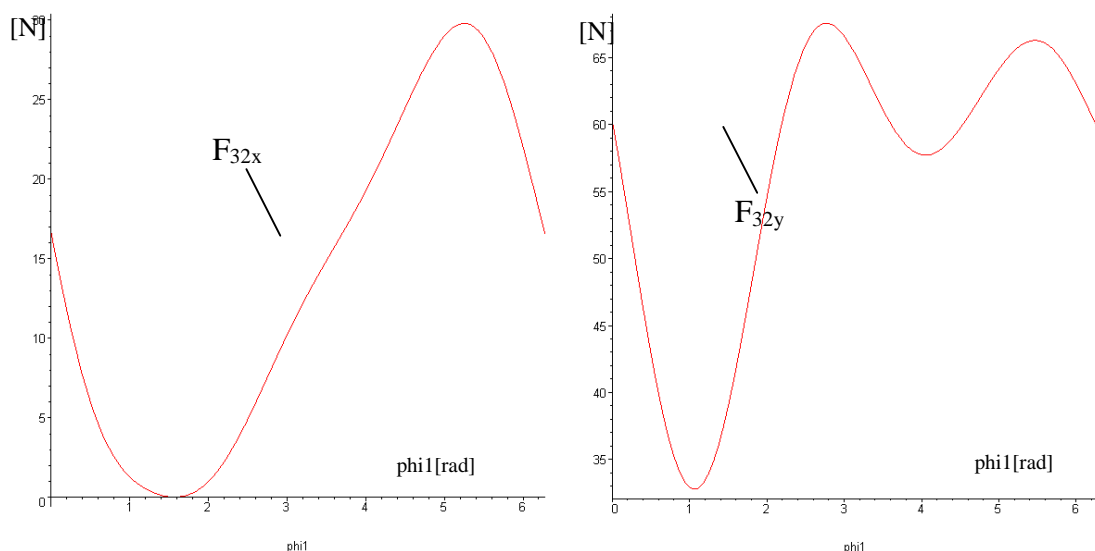


Fig.4. Graficul de variație al componentelor forței de legătură F_{32}

În **capitolul VI** este prezentată analiza modal-dinamică a unui mecanism cu ajutorul soft-ului MSC.Adams.

Mecanismul analizat lucrează în regim dinamic, la o viteză unghiulară de aprox. 9 rad/sec a elementului conducător, deci considerarea flexibilității elementelor sau a elementului cel mai puțin rigid este importantă.

Se modelează mecanismul ca o structură 3D, la care elementele cinematice sunt definite ca formă, geometrie și proprietăți de material.

Se definesc cuplele cinematice ale mecanismului cu constrângerile și mobilitățile corespunzătoare, se definesc sistemele de axe locale și global față de care se calculează parametrii cinematici ai mecanismului. Se definește elementul motor și eventualele încărcări (forțe sau momente care solicită elementele cinematice) după care se procesează analiza dinamică.

Se construiește procedura pentru transformarea elementului cinematic de tip rigid într-un element flexibil. Se alege tipul elementului finit (element spațial de tip solid tetraedral). Se setează valoarea medie și minimă a mărimii discretizării.

Se plasează corpul solid flexibil în centrele cuplelor cinematice prin care acesta se conectează în mecanism.

Se stabilește numărul modurilor de vibrație. Se stabilesc nodurile de interes și se adoptă procedura pentru plasarea unui nod în centrul de masă al elementului cinematic.

Se procesează analiza modal dinamică a mecanismului, considerându-se elementele flexibile, într-o primă fază elementul 1 și apoi balansierul 3.

Rezultatele acestei analize sunt confirmate și de cercetarea experimentală, fiind materializate prin diagrame, reprezentări grafice 2D, 3D și simulări ale funcționării mecanismului în spațiul tridimensional.

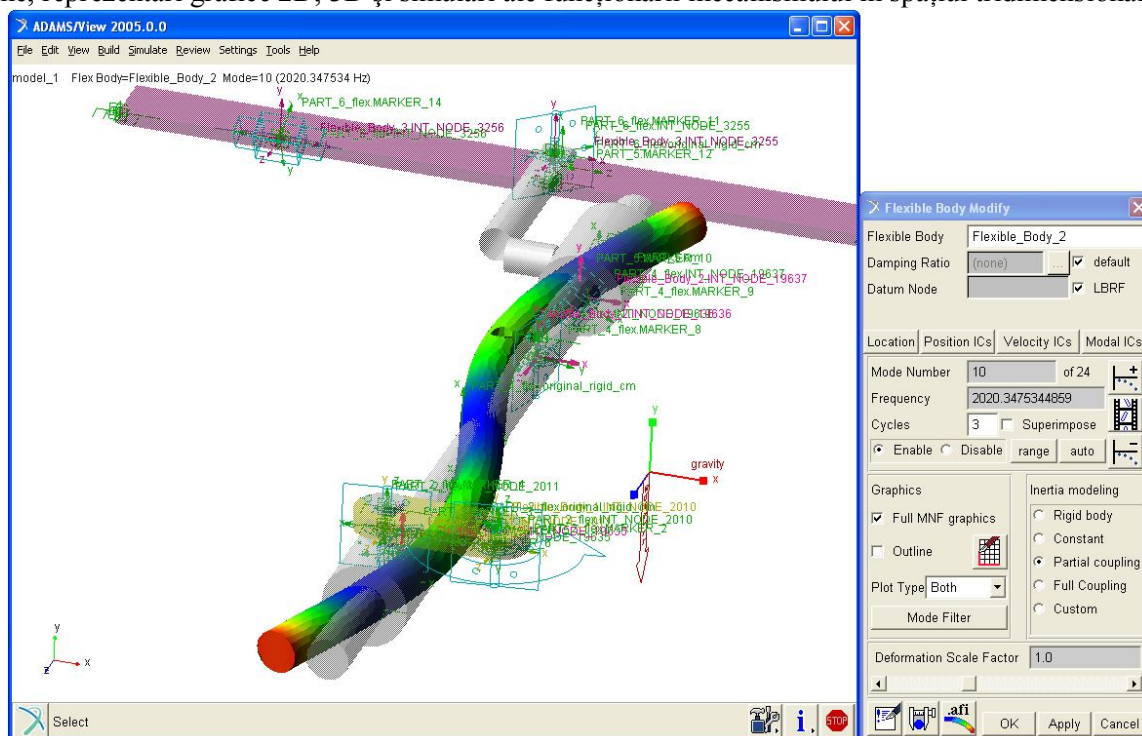


Fig.5.Reprezentarea deformată a elementului 3 pentru modul de vibrație 10

Capitolul VII cuprinde cercetările experimentale efectuate. Au fost efectuate încercări experimentale pentru determinarea parametrilor cinematici și dinamici ai mecanismului auxiliar pentru deservirea tractoarelor, pentru un mecanism de acționare a cuțitului unei motocositori și asupra unei machete experimentale al unui mecanism pentru acționarea cuțitului unei cositori.

Pentru a realiza cercetarea experimentală a acestor sisteme mecanice este necesară parcurgerea următoarelor etape:

- elaborarea unei metode și a unui sistem de investigare experimentală, care să permită determinarea, prelucrarea și analiza parametrilor și mărimilor care caracterizează comportarea dinamică și energetică a sistemului mecanic studiat;
- alegerea aparaturii și echipamentelor de investigație experimentală în concordanță cu obiectivele stabilite prin programul de investigare experimentală;
- achiziționarea, prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale și elaborarea de concluzii referitoare la comportarea dinamică a sistemului mecanic.

Problemele referitoare la structura montajului, dimensionarea mecanică și dimensionarea senzorilor și traductorilor tensometrici, pentru cercetarea experimentală a mecanismului de lucru al tractorului, au fost rezolvate cu ajutorul specialiștilor de la Departamentul pentru încercări tractoare, remorci și mașini agricole al I.N.M.A. București.

Pentru măsurarea în lucru a parametrilor cinematici și dinamici, se folosește un echipament modern de tensometrie cu sistem de achiziție tip DAP 1200 MICROSTAR LABORATORIES, cu 10 intrări analogice, 10

ieșiri digitale și frecvența de eșantionare de 120 KHz și înregistrarea datelor direct pe un calculator notebook 486. Modulul de amplificare este de tip Analog Devices 3B18/ 3B20. Sursa de alimentare a fost o baterie de acumulatori cu plumb, cu tensiunea de 12 V. Software-ul existent pe placa de achiziție permite filtrarea semnalelor primite de la traductoare și determinarea valorilor minime, maxime și medii ale acestora.

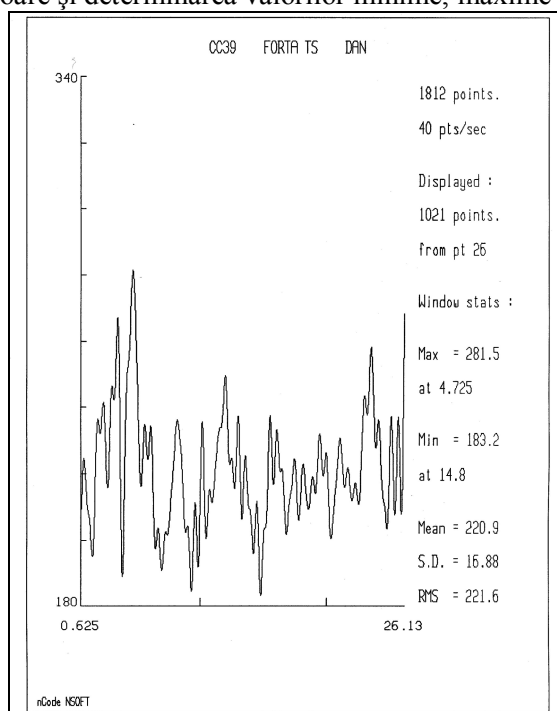


Fig.6. Grafic înregistrat pentru variația forței de tracțiune în articulația din stânga în timp, în treapta de viteză I_R

Au fost efectuate încercări pentru determinarea caracteristicilor cinematice ale mecanismului de acționare al cuțitului unei motocositoare (fig.7).

Încercările au fost efectuate pe o motocositoare în condiții dinamice de pornire și de tăiere în iarbă.

Au fost determinați următorii parametri:

- Cursa liniară a cuțitelor tăietoare, Crs [cm],
- Accelația de vibrație a cuțitului (în plan vertical, perpendicular pe masă), AccT [m/s²],
- Accelația de vibrație a bielei (în plan orizontal), AccB [m/s²],
- Accelația de vibrație a mânerului (în plan orizontal), AccM [m/s²].

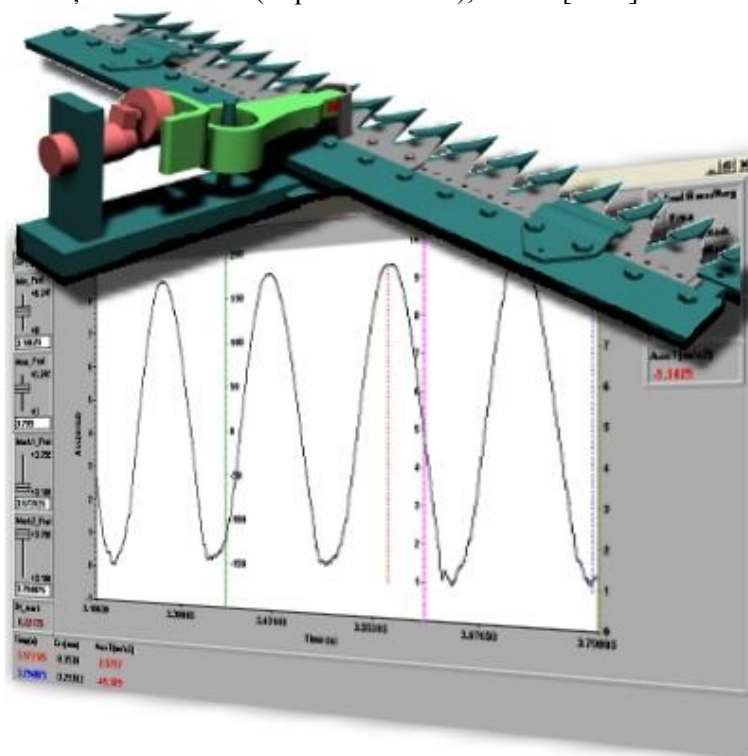


Fig.7. Mecanism cositoare

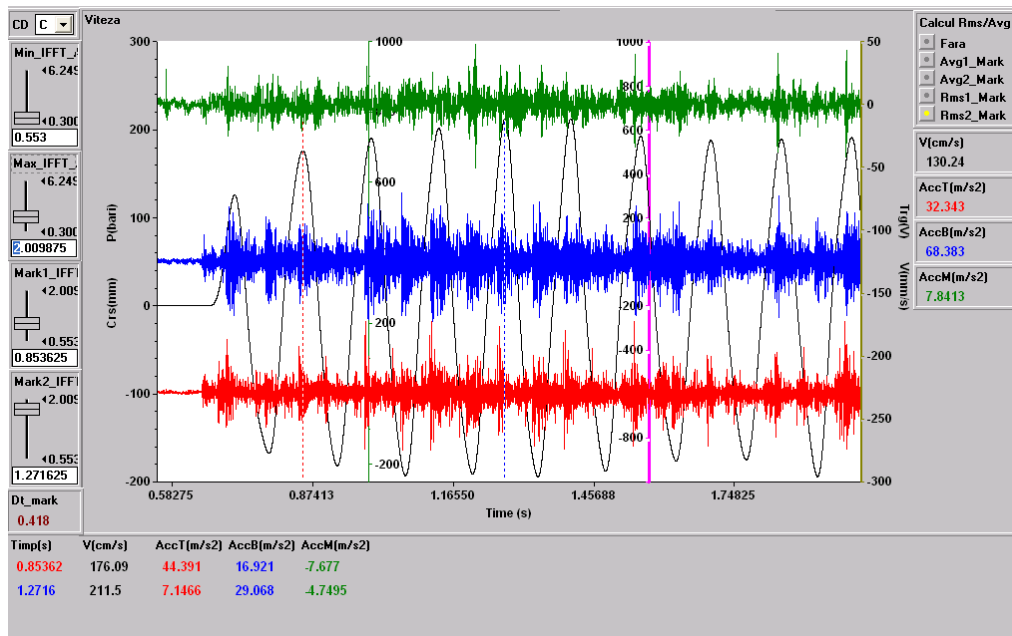


Fig.8. Graficul de variație în timp a vitezei cuțitului (detaliu), pe care s-au mai reprezentat și vibrațiile care apar în timpul lucrului

Au fost efectuate încercări pentru determinarea parametrilor cinematici și dinamici ai unui model experimental de mecanism, pentru sistemul de tăiere de la o cositoare.

S-au efectuat încercări pentru 6 forțe tehnologice, care au fost determinate cu ajutorul unui traductor de forță. Cu ajutorul sistemului de măsurare Spider cu 8 canale au fost determinate cursele S_1 – deplasarea culisei 1, S_2 – deplasarea culisei 2, și S_3 – deplasarea cuțitului, valoarea forței de rezistență, variația momentului motor. Am prezentat variația în timp a deplasărilor S_1 , S_2 și S_3 , a momentului motor și a forței de rezistență tehnologice.

În figura 9 este prezentat mecanismul montat pe standul de încercare.

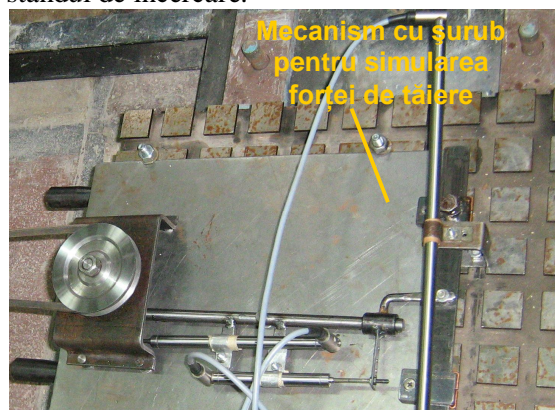
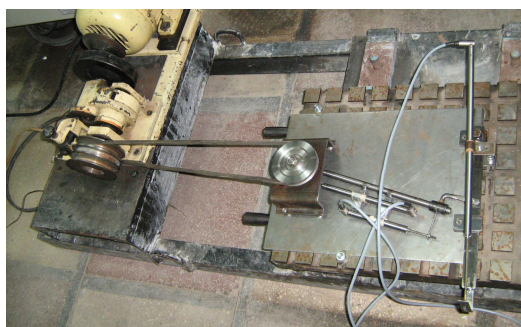


Fig.9. Mecanismul montat pe standul de încercare

În capitolul VIII, s-a realizat modelarea și simularea computerizată a sistemelor mecanice studiate.

Astfel pentru mecanismul de acționare al cuțitului unei motocositoare, care a fost cercetat experimental, determinându-se legea de mișcare a elementului conducător, și considerând forța de tăiere constantă, am realizat analiza cu elemente finite în regim dinamic. Am folosit soft-ul MSC.visual.Nastran, și am considerat elementele ca fiind rigide, considerând contactul dintre elemente. Am prezentat, în cadrul acestui capitol, distribuția tensiunilor, deplasărilor și deformațiilor pentru mecanismul menționat.

Am realizat analiza cu elemente finite în regim dinamic pentru mecanismul de lucru al tractorului. Am folosit pentru definirea condițiilor de contur, a încărcărilor și a legii de mișcare a cilindrului hidraulic rezultatele încercărilor experimentale efectuate.

Un alt mecanism studiat este mecanismul balansier de la mașinile de recoltat.

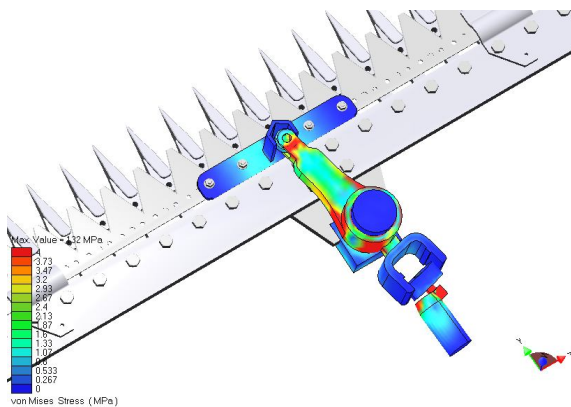


Fig.10.Distribuția tensiunilor - cadru 24

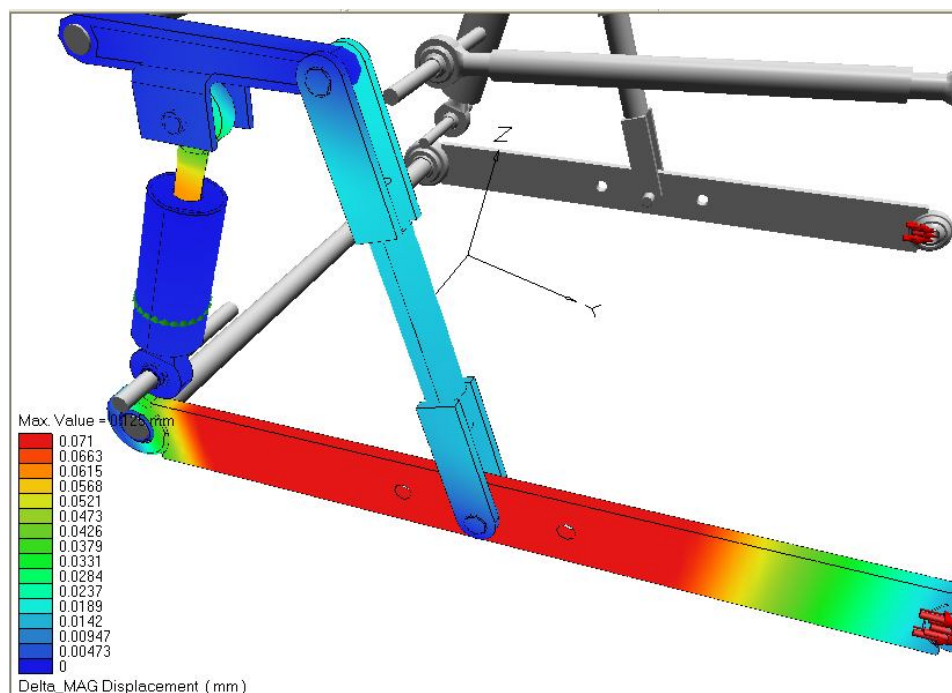


Fig.11.Variația deplasărilor

Capitolul IX cuprinde concluzii generale și contribuții originale ale lucrării.

Pe parcursul elaborării tezei de doctorat s-a consultat un număr de peste **249** referințe bibliografice ce cuprind cărți, teze de doctorat, lucrări științifice, pagini web și cataloage. *De asemenea teza de doctorat a fost elaborată pe baza unui contract de finanțare de către CNCSIS de tip TD nr.234/2007, cu titlul „Cercetări privind analiza și sinteza unor mecanisme de la mașinile agricole”.*

S-au realizat 3 programe de calcul procesate cu ajutorul soft-ului MAPLE, și numeroase simulări virtuale pe sisteme mecanice utilizate la mașinile agricole realizate cu ajutorul soft-ului **MSC.visualNastran** și **MSC.Adams**.