

SOFTWARE PLATFORM FOR THE MECHANICAL SYSTEMS ANALYSIS AND OPTIMIZATION

Cătălin ALEXANDRU
Transilvania University of Brasov

Abstract: The paper presents a unitary concept for the kinematic & dynamic analysis and optimization of the mechanical systems, by using a complex software platform for testing in virtual environment. The digital platform integrates software solutions for evaluating the form, the fit, the function, and the durability of the mechanical & mechatronic systems. The platform is developed in the concurrent engineering concept, integrating the mechanic and electronic components at the virtual prototype level.

1 Introducere

Pe măsură ce crește complexitatea și cerințele de competitivitate a produselor, timpii de proiectare și producție se reduc, condiții în care realizarea și testarea prototipurilor fizice devin impedimente majore. Este necesară astfel implementarea de tehnici bazate pe prototipare virtuală, care pot asigura o mai mare performanță și calitate a produselor folosind doar o fracțiune a timpului și costului necesar în abordările tradiționale.

Prin utilizarea diverselor categorii de softuri comerciale (CAD - Computer Aided Design, MBS - MultiBody Systems, FEA - Finite Element Analysis, C&C - Command & Control, PDM - Product Data Management), se pot realiza prototipuri virtuale complexe, mergându-se până la modelarea fidelă atât a componentelor produsului cât și a condițiilor de funcționare specifice. Această abordare permite inclusiv testarea rapidă a numeroase variante geometrico - constructive, în vederea optimizării comportamentului.

În acest context, lucrarea propune prezentarea conceptului integrat de analiză - optimizare - simulare a comportamentului sistemelor mecanice prin utilizarea unei platforme digitale de testare în mediu virtual. Platforma integrează soluții software specifice evaluării formei, montării (asamblării), funcționalității și durabilității sistemelor mecanice și mecatronice. O astfel de abordare permite inclusiv efectuarea de studii de eficiență după caz energetică și/sau economică, precum și previzionarea - managementul ciclului de viață al sistemului mecanic/mecatronic.

2 Conceptul de prototipare virtuală a sistemelor mecanice

Soluțiile CAD/CAM/CAE tradiționale folosite în ingineria sistemelor mecanice au fost direcționate pe conceptul denumit “art to part” (arta pentru componentă). Designul optim de componente nu conduce însă automat la design optim de sistem, interacțiunea dintre formă, montare, funcție și asamblare a tuturor componentelor sistemului având o contribuție majoră a calității per total. Devine astfel necesară implementarea de tehnici de proiectare care se adresează designului nivelelor de sistem, tehnici care includ instrumente de machetare digitală (pentru a investiga forma și amplasarea sistemului), instrumente de prototipare virtuală (pentru a evalua funcția sistemului mecanic și performanța operațională) și instrumente de simulare virtuală a fabricației (pentru a evalua manufacturabilitatea și asamblarea sistemului mecanic) [7].

Practica de design bazată pe prototipare virtuală permite să se evalueze rapid forma, montarea, funcția și manufacturabilitatea sistemelor mecanice, pe întreg parcursul procesului de proiectare - dezvoltare. Prototipurile virtuale nu sunt realizate din materiale reale, rezultând astfel costuri de realizare și testare reduse comparativ cu prototipurile fizice. Utilizarea prototipurilor virtuale permite luarea deciziilor de cost eficient și oferă posibilități pentru abordarea paralelă și globalizare. Simularea prototipurilor virtuale facilitează optimizarea comportamentului sistemului și conduce la o creștere a varietății de prototipuri. Prin intermediul prototipurilor virtuale, defectele privind fabricarea sau sistemul mecanic în sine pot fi detectate încă din primele faze ale procesului de proiectare și astfel sunt eliminate fără costuri deosebite.

Procesul de prototipare virtuală a sistemelor mecanice implică, de regulă, parcurgerea următoarelor etape (fig.1): modelare, analiză - testare, validare, finisare și optimizare [12]. În timpul etapei de modelare, prototipurile virtuale sunt create atât din conceptele sistemelor mecanice noi cât și din produse existente pe piață. Prototipurile virtuale cuprind reprezentări rigide și flexibile ale părților, conectate prin constrângeri geometrice și cinematice, și asupra cărora pot acționa forțe/momente externe și interne. Proprietățile masico-inerțiale ale corpurilor se obțin din modelele solide asociate (CAD), în timp ce caracteristicile vibratorii derivă din modelele bazate pe element finit (FEA).

Una dintre cele mai importante axiome pentru prototiparea virtuală este de a testa pe măsură ce se simulează. Testarea prototipurilor fizice implică în mod tradițional teste de laborator și pe teren în configurații variate, ceea ce determină costuri foarte mari și timp îndelungat. Cu prototiparea virtuală se reproduc procedurile de testare și condițiile de funcționare ale sistemului la costuri mult mai reduse și într-un timp scăzut. Prototiparea virtuală permite construirea de modele care simulează condițiile reale de operare ale produselor. Testarea virtuală este efectuată continuu, în timp ce testarea fizică este introdusă doar în anumite stadii pentru a revalida modelul virtual după o finisare semnificativă.

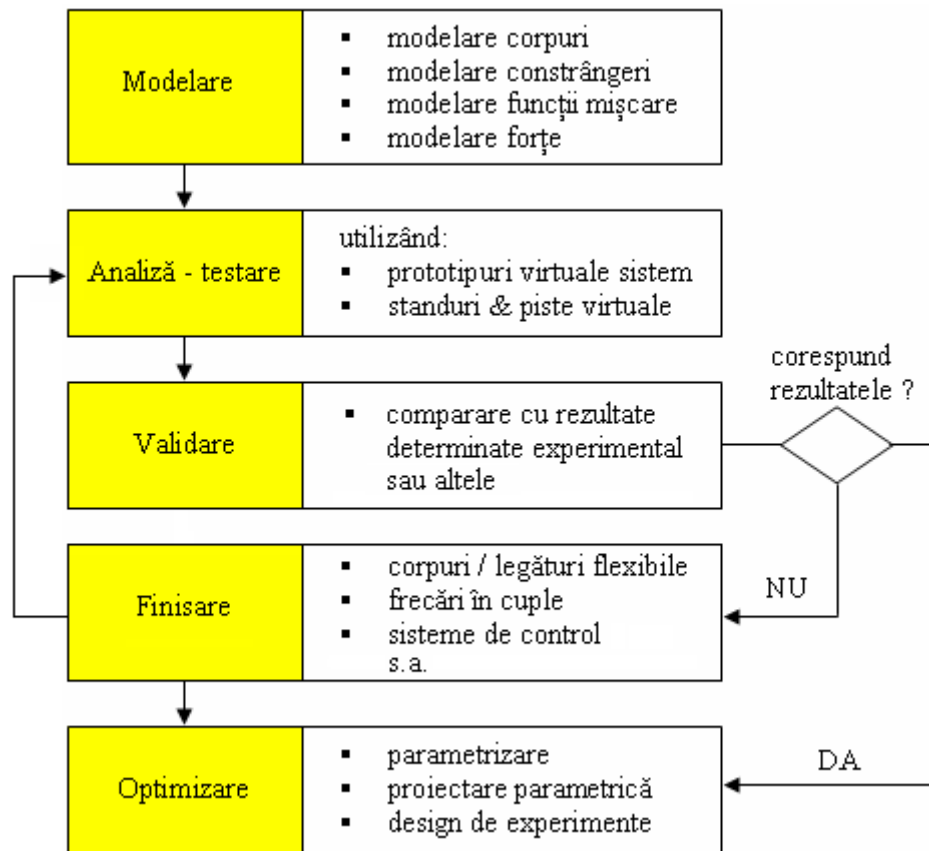


Fig. 1 Fazele procesului de prototipare virtuală a sistemelor mecanice

Validarea este o etapă importantă în procesul de prototipare virtuală a sistemelor mecanice, fiind necesară verificarea faptului că prototipul virtual reflectă performanța de operare a produsului fizic. În procesul de validare, prototipurile fizice și virtuale sunt testate identic, rezultatele obținute fiind comparate pentru a se identifica corelația dintre modele. Totodată, se pot identifica parametrii de design care influențează rezultatele necorelate și se pot efectua o serie de modificări pentru a obține o corelație acceptabilă.

Finisarea unui prototip virtual implică rafinarea / ajustarea fidelității modelului, de exemplu prin înlocuirea modelelor rigide cu echivalentele flexibile (corpuri și legături deformabile), luarea în considerare a frecărilor ș.a., toate acestea fiind extensii ale prototipului virtual inițial. Operația de finisare este complexă și necesită date riguroase, care pot fi obținute prin încercări experimentale.

Optimizarea unui sistem mecanic se realizează, de regulă, prin parcurgerea următoarelor etape: parametrizarea modelului; definirea variabilelor de proiectare; definirea funcției obiectiv de optimizat și a constrângerilor de proiectare; identificarea sensibilităților de proiectare (influența variabilelor asupra funcției obiectiv); optimizarea propriu-zisă a sistemului.

Parametrizarea modelului permite simplificarea operațiilor de modificare a obiectelor (corpuri, restricții, forțe) din sistem, prin crearea de relații între obiecte. Pentru parametrizarea sistemelor mecanice există trei modalități de bază: prin atașarea geometriei corpurilor și a altor locații importante din sistemul mecanic (pentru modelarea cuplelor, forțelor ș.a.) la puncte anterior modelate; prin utilizarea expresiilor; prin utilizarea variabilelor de proiectare.

Prin intermediul punctelor se pot defini localizări importante în model, pe care se construiesc apoi diverse obiecte (ex. geometrie corpuri, articulații); atunci când poziția unui punct este modificată, obiectele legate de acel punct sunt corelate (adaptate) automat. Expresiile sunt utilizate pentru a defini relații între diverse obiecte din model, în sensul că expresia (care definește valoarea unui parametru specific unui obiect) se modifică atunci când o valoare care intervine în expresie se schimbă. Variabilele de proiectare permit definirea de parametri independenți, de care se leagă ulterior obiecte (ex., lungimea unei bare poate fi memorată într-o variabilă, fiind ulterior utilizată pentru alte bare din mecanism). În plus, utilizând variabile de proiectare se pot efectua analize parametrice, în speță proiectare parametrică și proiectare de experimente. Proiectarea parametrică constă în identificarea sensibilității funcției obiectiv la modificarea individuală a variabilelor de proiectare, ceea ce permite stabilirea variabilelor care au influență majoră asupra comportamentului sistemului. Proiectarea de experimente constă în determinarea sensibilităților și punctelor de rezistență ale proiectării prin modificarea simultană a variabilelor de proiectare. Astfel se pot dezvolta informații suficient de riguroase despre performanțele sistemului.

Funcția obiectiv este o reprezentare numerică a calității, eficienței sau costului sistemului, optimizarea urmărind, după caz, maximizarea sau minimizarea acestei funcții. Exemple de funcții obiectiv pot include timpul de execuție, necesarul de energie, costul total de material ș.a. Funcția obiectiv, denumită și cost funcțional sau index de performanță, este o cuantificare numerică care distinge (evaluează) variantele posibile de design. Studiul de optimizare îmbunătățește, pe cât posibil, funcția obiectiv, fără a se încălca constrângerile de proiectare. Constrângerile sunt “frontiere” care direct sau indirect elimină designul de sistem inacceptabil, luând de multe ori forma unor obiective adiționale în proiectarea sistemului mecanic. De regulă, o constrângere implică rezultatele simulării, dar se pot lua în considerare și diverse dimensiuni, mase sau alți parametri care depind doar de structura sistemului mecanic.

3 Platforma software de prototipare virtuală a sistemelor mecanice

În general, platforma de prototipare virtuală a sistemelor mecanice include trei produse software de bază: CAD (Computer Aided Design), MBS (MultiBody Systems) și FEA (Finite Element Analysis). Softul CAD este utilizat pentru a crea modelul geometric al sistemului mecanic, care conține informații despre

caracteristicile masico-inerțiale ale corpurilor (părțile rigide). Softul MBS, ca și componentă centrală a platformei de prototipare virtuală, este utilizat pentru analiza, optimizarea și simularea cinematico-dinamică a sistemului mecanic. Softul FEA este utilizat pentru a modela flexibilitățile din sistem, ceea ce permite simularea cu exactitate a comportamentul sistemului mecanic cu componente (corpuri, legături) deformabile. Totodată, cu softul FEA se calculează starea de tensiune a fiecărei componente a sistemului mecanic și se pot efectua studii de durabilitate.

În plus, în cazul sistemelor mecatronice (sisteme mecanice controlate), platforma de prototipare virtuală include și o soluție software de comandă & control (C&C – Command & Control), care comunică direct cu softul MBS (ieșirea din MBS este intrare în C&C și invers). Funcțiile de bază ale unui sistem inteligent sunt percepția (asigură informațiile necesare privitor la starea prezentă a sistemului și mediul în care operează), cunoașterea (planificarea, programarea și inițializarea acțiunilor sistemului, pe baza informațiilor furnizate de percepție) și execuția (inițializarea, controlul și finalizarea acțiunilor sistemului, bazate pe informațiile primite de la celelalte două funcții) [5].

Din punctul de vedere al proiectării controlerului există numeroase soluții, începând cu clasicul PD/PID și terminând cu controlere moderne de tip robust sau adaptiv. Aspectul important al acestei probleme este de a putea combina modelul mecanic și sistemul de control într-un mediu de programare care deține instrumentele necesare implementării de algoritmi specifici proiectării controlerului. O posibilă soluție o constituie produse software gen MATLAB (MathWorks) sau EASY5 (MSC Software), care permit conectarea modelului mecanic cu modele de actuatori și/sau generatoare de energie, sistem asupra căruia se pot aplica algoritmi de proiectare a controlerului [1].

În procesul clasic de proiectare a unui sistem mecatronic, se lucrează pe același concept, dar cu unelte software diferite, modelele (mecanic și control) fiind integrate abia în faza de testare a prototipului fizic. În situația în care apare o problemă la interacțiunea dintre modele, trebuie finisat sistemul de control și/sau dispozitivul mecanic, etapă urmată de reverificarea procesului. Prin integrarea dispozitivului mecanic și a sistemului de control la nivelul prototipului virtual (fig. 2), cele două modele sunt testate - verificate împreună, ceea ce simplifică procesul de testare experimentală și elimină riscul ca legea de control să nu fie urmărită (respectată cu acuratețe) de dispozitivul mecanic; această abordare este cunoscută sub denumirea de inginerie concurrentă [2].

În acest sens, algoritmul de simulare pentru sistemele mecatronice implică următoarele etape:

- în softul MBS: proiectarea modelului mecanic (incluzând corpuri, legături, forțe ș.a.); analiza dinamică a modelului; identificarea intrărilor și ieșirilor în/din model; exportarea modelului obținut;
- în aplicația de control: importarea modelului mecanic; sinteza traiectoriilor dorite ale sistemului mecatronic și modelarea diagramei bloc de intrare

(sinteza semnalelor de referință); proiectarea diagramei bloc a sistemului de control; sinteza controlerului și a circuitelor electrice de interfațare; simularea sistemului mecatronic.

Procesul de simulare astfel descris creează un contur închis, în care intrările controlate din aplicația de control afectează simularea din softul MBS, iar ieșirile din MBS afectează nivelul semnalelor controlate.

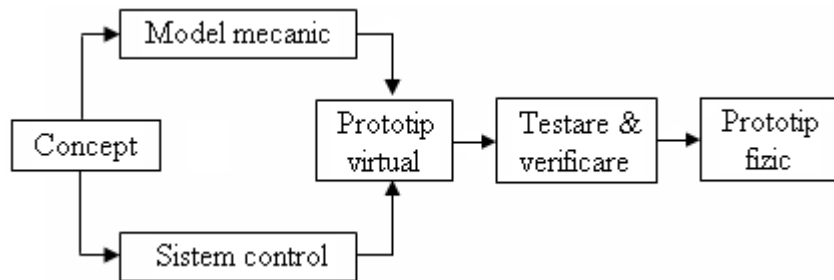


Fig. 2 Modelul ingineriei concurente

În aceste condiții, schema generală a platformei de prototipare virtuală este prezentată în figura 3, în paranteză fiind indicate soluțiile software deținute atât în configurație (licență) academică cât și comercială în cadrul Catedrei de Design de Produs și Robotică - Centrul “Design de Produs pentru Dezvoltare Durabilă” de la Universitatea “Transilvania” din Brașov.

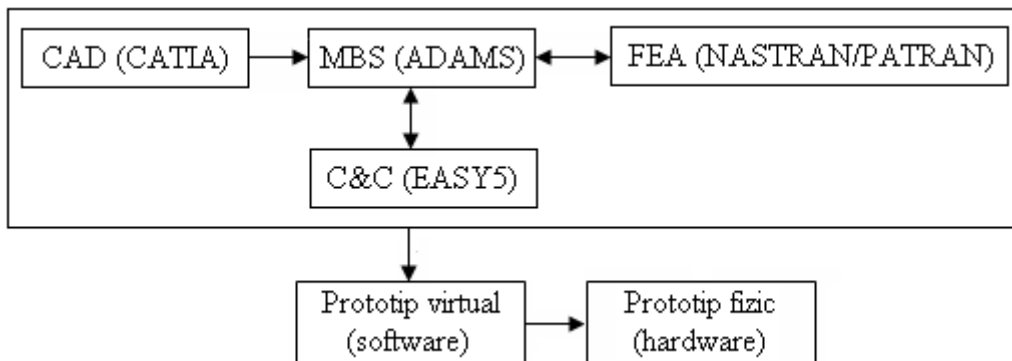


Fig. 3 Platforma software de prototipare virtuală

Softul CAD furnizează către MBS modelul solid 3D al sistemului mecatronic (geometria corpurilor), transferul (export / import) realizându-se prin utilizarea de formate standard de fișiere, gen STEP, IGES, Parasolid, Stereolithography ș.a. Din acest punct de vedere, nu există reguli, ci doar anumite recomandări privind formatul de fișier. De exemplu, formatele recomandate pentru transfer de geometrie între principalele softuri CAD și softul MBS ADAMS sunt prezentate în tabelul 1, importul în ADAMS făcându-se prin intermediul

interfeței generale de transfer ADAMS/Exchange [12]. În același timp, sunt dezvoltate module (interfețe) specializate pentru transfer de geometrie, care realizează un transfer particularizat între mediile CAD și MBS ADAMS, de asemenea precizate în tabelul 1.

Tabelul 1 Transfer de geometrie CAD → ADAMS

| <i>Mediu CAD</i> | <i>Formate recomandate</i> | <i>Interfețe specializate</i> |
|--------------------|----------------------------|--|
| Unigraphics (UG) | Parasolid STL | UG/Mechanism |
| CATIA | STL STEP IGES | CAT/ADAMS |
| ProENGINEER | STL IGES | MECHANISM/Pro |
| Solidworks | Parasolid STL IGES | Dynamic Designer |
| I-DEAS | STL IGES | Mechanism Design Mechanism Simulation |
| Mechanical Desktop | IGS STL DXF | Dynamic Designer |

Formatul IGES (Initial Graphics Exchange Specification) reprezintă primul standard de interschimbabilitate, fiind conceput în cod ASCII (American Standard Code for Information Interchange). IGES reduce modelul CAD la o listă de entități, fiecare entitate fiind asociată cu un număr. Formatul DXF (Drawing Exchange Format) se bazează de asemenea pe entități grafice, fiecare dată, codificată ASCII, ocupând o linie. Formatul STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) descrie datele la nivel de produs și nu de entitate, prin intermediul unui limbaj specializat (Express) care stabilește corespondența dintre fișierul STEP și modelul CAD. Formatul STL (Stereolithography) este un format neutru bazat pe stereolitografie, fiind utilizat cu precădere la dispozitivele de prototipare rapidă (impresionare cu laser). Formatul Parasolid permite transferul întregului model printr-un singur fișier, în timp ce în cazul celorlalte formate, transferul se realizează parte cu parte (câte un fișier pentru fiecare parte).

Proprietățile masico-inerțiale ale corpurilor sunt calculate automat de softul MBS (ADAMS, în cazul de față), în funcție de geometria importată din CAD și de materialul asociat (transferul CAD → MBS nu se aplică și materialului). Majoritatea softurilor MBS (inclusiv ADAMS) dispun de modele solide proprii, principiile de modelare fiind aceleași ca în CAD (modelarea de solide

elementare; solide compozite prin utilizarea operațiilor booleene - reunire, extragere, intersecție; solide obținute prin extruziune, respectiv suprafețe de rotație), dar pentru corpuri cu geometrie mai complexă se impune utilizarea de mediu CAD specializat.

În ceea ce privește comunicarea dintre mediul de analiză & optimizare cinematico-dinamică (MBS) și mediul pentru analiza cu element finit (FEA), mediul MBS furnizează starea de mișcare și încărcările asupra sistemului mecanic, în timp ce mediul FEA returnează starea de flexibilitate a componentelor. Aceasta face posibilă simularea cu precizie a comportamentului sistemului mecanic, cu luarea în considerare a deformabilității corpurilor și legăturilor (zone de contact deformabile), precum și evaluarea caracteristicilor vibratorii și de durabilitate ale sistemului - previzionarea ciclului de viață / funcționare a sistemului mecanic.

Conexiunea FEA → MBS se realizează de regulă prin formatul de fișier MNF (Modal Neutral File), în ADAMS transferul realizându-se sub interfața ADAMS/Flex. Totodată, softul ADAMS dispune de un modul specializat, denumit ADAMS/AutoFlex, prin care se realizează conversia corpurilor rigide (modelate în CAD sau direct în ADAMS) în echivalentele deformabile. Pe de altă parte, transferul de date din MBS ADAMS către principalele medii FEA (NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, DAC) se realizează prin format tip FEA Loads, din interfața generală de transfer ADAMS/Exchange, putându-se specifica atât încărcările pe corp rigid, cât și pe corp flexibil.

În fine, privitor la comunicarea dintre MBS ADAMS și mediul C&C, în cazul sistemelor mecatronice, ADAMS dispune de un modul specializat denumit ADAMS/Controls, prin intermediul căruia se creează interfața cu unul dintre următoarele softuri C&C: MATLAB/Simulink, MATRIX_x, EASY5 (Engineering Analysis Systems). Practic, prin acest modul se definesc intrările și ieșirile procesului controlat (după cum s-a precizat anterior, ieșirile din MBS sunt intrări în C&C și respectiv viceversa), și totodată se gestionează comunicarea ADAMS → C&C pentru realizarea cosimulării (rularea în paralel a dispozitivului mecanic și a sistemului de control). În același timp, ADAMS/Controls dispune de facilități pentru modelarea sistemului de comandă - control direct în ADAMS, dar evident nu până la nivelul de complexitate oferit de un soft specializat C&C.

Informațiile despre intrări și ieșiri sunt salvate într-un fișier cu extensia .m (pentru MATLAB) sau .inf (EASY5 și MATRIX_x); totodată, se generează un fișier de comenzi (.cmd) și unul de date (.adm), care sunt utilizate pe durata simulării. Fișierele astfel create în ADAMS/Controls se importă în aplicația C&C (de exemplu, în MATLAB, prin tastarea în prompt-ul de comandă a prefixului fișierelor exportate din ADAMS).

4 Schema de analiză a sistemelor mecanice în concept MBS

După cum s-a precizat anterior, componenta centrală a platformei de prototipare virtuală este mediul MBS pentru analiza și optimizarea cinematico-dinamică a sistemului mecanic. Softurile MBS autoformulează și rezolvă ecuațiile de mișcare ale sistemului mecanic, pe baza modelului geometrico - elastic și a restricțiilor în mișcare existente în sistem [8, 10]. Se pot identifica două mari grupe de softuri MBS: programe care formulează numeric ecuațiile de mișcare ale sistemului pentru fiecare pas de integrare; programe care formulează simbolic ecuațiile de mișcare, utilizatorul stabilind ulterior dacă se face sau nu integrarea, operație care se poate efectua cu programe de calcul simbolic gen MATLAB sau MAPLE [3]. Softurile MBS privesc mecanismul ca pe un ansamblu de corpuri rigide, interconectate prin legături mecanice (restricții geometrice), elemente elastice și disipative; asupra sistemului mecanic acționează un sistem de forțe exterioare și de forțe interne.

Pentru analiza unui sistem mecanic, softurile MBS permit mai multe opțiuni, anume: analiza fezabilității (asamblarea modelului), redundanța (eliminarea legăturilor redundante - suplimentare), echilibrul static, echilibrul cvasistatic, analiza cinematică, analiza dinamică și dinamica inversă. Acestea pot fi realizate separat sau împreună într-o anumită secvență, depinzând de tipul analizei și de gradul de libertate (DOF - Degree Of Freedom) al sistemului mecanic (fig. 4).

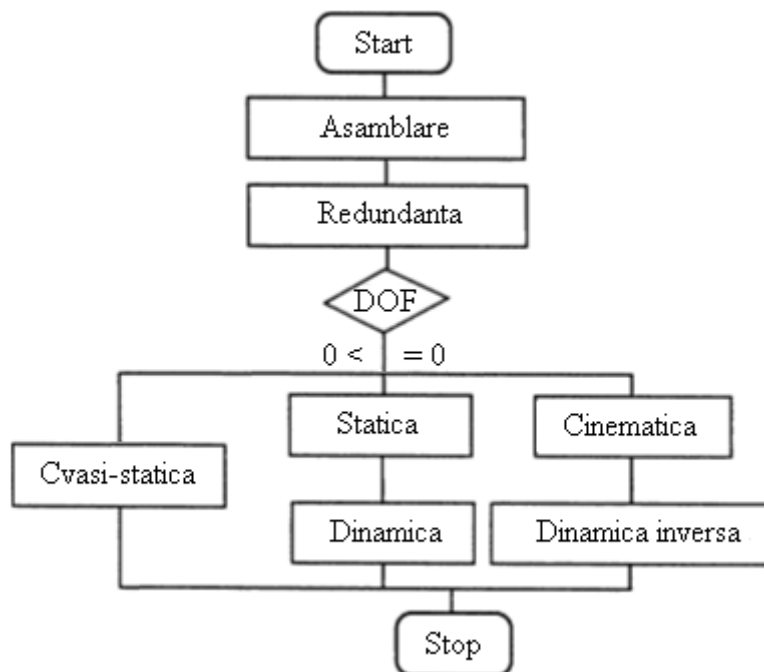


Fig. 4 Schema de analiză a sistemelor mecanice în concept MBS

Gradul de libertate al unui sistem mecanic este dat de numărul mișcărilor nedeterminate cinematic, $DOF = DOM - DN$, unde DOM reprezintă gradul de mobilitate (degrees of mobility), adică numărul coordonatelor generalizate care definesc mișcarea tuturor corpurilor din mecanism, iar DN (driver number) – numărul mișcărilor conducătoare/generatoare (restricții reonome, dependente de timp) [4]. Mișcarea corpului rigid este descrisă prin șase coordonate generalizate: coordonatele originii reperului atașat corpului și orientarea axelor acestui reper relativ la axele sistemului de referință global (inerțial). Prin urmare, gradul de libertate este echivalent cu numărul total de coordonate independente în sistem (relația Gruebler), $DOF = 6 \cdot (n-1) - r$, în care n reprezintă numărul corpurilor din sistem (corpuri mobile, plus corpul fix - baza mecanismului), iar r - numărul restricțiilor independente (restricții geometrice - introduse de cuple, respectiv restricții cinematice - mișcări conducătoare).

La analiza fezabilității se realizează asamblarea corpurilor din sistem prin intermediul restricțiilor impuse, în limitele unor toleranțe admise. Analiza redundanțelor constă din identificarea și eliminarea legăturile redundante (suplimentare) din sistemul mecanic supraconstrâns. Eliminarea redundanțelor în faza de modelare a sistemului mecanic implică eliminarea duplicatelor și înlocuirea unor cuple din modelul inițial cu alte tipuri de cuple de clase inferioare. Constrângerile redundante corespund mișcărilor care nu se produc (altfel, nu ar putea fi eliminate pentru că s-ar denatura mișcarea sistemului mecanic), spațiul redundant (R) fiind de fapt inversul spațiului asociat de mișcare / spațialitate (S), $R = 6 - S$, de aici relația de calcul a gradului de libertate al sistemelor mecanice care conțin redundanțe, $DOF = 6 \cdot (n-1) - (r-R)$.

Metodica de analiză a sistemelor mecanice prin utilizarea de softuri MBS presupune parcurgerea a trei etape: preprocesare (modelare sistem), procesare (rulare model) și postprocesare (prelucrarea rezultate). Etapa de preprocesare a datelor presupune indicarea datelor de intrare, în succesiunea următoare:

- precizarea de informații referitoare la calculele care se vor efectua: tipul analizei care se dorește, sistemul de unități de măsură utilizat, sistemul de coordonate utilizat (ex. cartezian), vectorul accelerație gravitațională, intervalul de timp al analizei, toleranțele admise pentru convergența soluțiilor sistemelor de ecuații algebrice și diferențiale, mărimile care se doresc afișate ș.a.
- descrierea caracteristicilor neliniare ale evenimentelor și/sau elementelor modelului (de ex. legea de mișcare a elementelor conducătoare, profilul unui drum pentru simularea mișcării automobilelor, caracteristica unor elemente elastice etc.);
- descrierea structurală a modelului: definire elemente cinematice (poziție, orientare, caracteristici masico-inerțiale), definire legături, restricții în mișcare și mișcări conducătoare, definire elemente generatoare de forță internă (elemente elastice și de amortizare), definire forțe și momente exterioare / aplicate.

Etapa de procesare este realizată automat de către program și constă din următoarele etape: generarea sistemelor de ecuații algebrice și diferențiale, asamblarea sistemului mecanic prin intermediul restricțiilor, identificarea și eliminarea legăturilor redundante, rezolvarea numerică a ecuațiilor.

Etapa de postprocesare constă în prelucrarea rezultatelor prin trasarea de diagrame a dependențelor dorite, realizarea de tabele cu diverse valori și animarea (simularea) grafică a modelului.

Dintre multiplele avantaje pe care le oferă utilizarea softurilor MBS în analiza, simularea și optimizarea funcționării sistemelor mecanice se pot puncta: proiectarea rapidă și eficientă, prin utilizarea de solvere foarte puternice; posibilitatea modelării oricărui tip de sistem mecanic (plan sau spațial); flexibilitatea modelului; estimarea comportamentului sistemului încă din fazele precece ale proiectării; simularea funcționării pentru regimuri reale de solicitare; optimizarea comportamentului sistemului prin modificarea facilă a unor caracteristici geometrico - elastice specifice sistemului mecanic.

5 Aplicații ale procesului de prototipare virtuală

Prototiparea virtuală este o metodă modernă de bază în proiectarea sistemelor mecanice și mecatronice, marii producători utilizând cu deosebit succes platforme de prototipare în activitatea de cercetare - proiectare. Dintre domeniile de vârf în care prototiparea virtuală și-a câștigat un rol deosebit se pot puncta industria de automobile, aerospațială, căi ferate, mașini unelte ș.a.

Marile companii producătoare de automobile testează întregul automobil pe calculator, simulând o varietate de situații de rulare. Dintre aplicațiile specifice se pot puncta: proiectarea suspensiei (prezicerea caracteristicilor suspensiei, optimizarea suspensiei, analiza încărcărilor, stabilirea anvelopelor pentru roți); dinamica vehiculelor (modelarea interacțiunii roți - cale de rulare, simularea manevrelor uzuale și de urgență, prezicerea stabilității vehiculului, prezicerea comportamentului caroseriei la accelerații, aprecierea durabilității); sisteme de siguranță (simularea sistemului de protecție airbag, proiectarea mecanismului centurii de siguranță); ingineria corpului automobilului ș.a.

Dintre aplicațiile prototipării virtuale în industria aerospațială se pot puncta: simularea dinamicii zborului, proiectarea controlului hidraulic, simularea aterizării, proiectarea sistemului de încărcare, simularea sistemului de ejecție a pilotului, dinamica sistemului de lansare, simularea fenomenelor în zero-gravitație și gravitație redusă, analiza sateliților, analiza impactului orbital ș.a.

În industria aferentă transportului pe căi ferate prototiparea virtuală poate avea aplicații precum: modelarea contactului roată - șină, proiectarea suspensiei, amortizoarelor și flexiblocurilor, arcuri pe pernă de aer, ingineria locomotivei și vagoanelor, platforme standardizate, încărcarea pistei, stabilitate, prezicere viteze critice, confortul pasagerilor, modelare accesorii ș.a.

În industria constructoare de mașini, soluția de prototipare virtuală are aplicații în diverse domenii, de exemplu: modelarea unor vehicule utilitare (ex. excavatoare, buldozere, elevatoare), unelte de mână, echipamente pentru calculatoare, produse mecatronice, transmisii de putere, compresoare, pompe și echipamente pentru pompare, mașini unelte, robotică, turbine și motoare ș.a.

Pe lângă aceste domenii consacrate ca pretabile pentru testarea în mediu virtual, prototiparea virtuală câștigă din ce în ce mai mult teren în domenii de mare actualitate și necesitate, precum sistemele bazate pe surse de energie regenerabilă. În acest sens, remarcăm cercetările și rezultatele obținute în cadrul Centrului “Design de Produs pentru Dezvoltare Durabilă” (DPDD) de la Universitatea “Transilvania” din Brașov. Platforma de prototipare virtuală implementată în centru, care integrează soluțiile software indicate în figura 3, este utilizată în proiectarea - testarea - optimizarea sistemelor de conversie a surselor de energie regenerabilă, cu precădere energia solară și cea eoliană.

În contextul lucrării, semnalăm aplicarea soluției de prototipare virtuală în proiectarea sistemele mecatronice de orientare utilizate pentru creșterea eficienței conversiei radiației solare în energie electrică și termică. Aceste sisteme sunt de regulă mecanisme acționate prin surse motoare controlate, care permit panoului/colectorului să urmărească traiectoria soarelui, astfel încât să se obțină maximul de radiație incidentă. Principala problemă care trebuie avută în vedere la proiectarea sistemelor de orientare o reprezintă eficiența energetică și economică (aport de energie obținut prin orientare versus consum de energie pentru alimentarea motoarelor, respectiv costul sistemului și perioada de amortizare), iar în acest domeniu prototiparea virtuală oferă un suport deosebit. Pentru exemplificare, în figura 5 se prezintă câteva sisteme de orientare proiectate - dezvoltate în cadrul Centrului DPDD [1, 6, 9, 11].

6 Concluzii finale

Utilizarea platformelor software de prototipare virtuală în analiza și optimizarea sistemelor mecanice oferă avantaje deosebite, care se concentrează în reducerea costurilor și a timpului de proiectare - dezvoltare, concomitent cu creșterea calității (performanțelor operaționale ale sistemelor mecanice). Printre factorii critici de succes privind implementarea soluției de prototipare virtuală se pot puncta: procesul bine definit, orientarea pe nivele de sistem, setarea eficientă a scopului, dinamica rapidă a simulării, infrastructura de înaltă calitate.

Din păcate, există și o serie de factori limitatori, care îngreunează aplicarea acestei soluții, precum școlarizarea insuficientă, care are ca efect numărul redus de specialiști în domeniu, schimbarea de proces în companii, care necesită timp de acomodare, costuri inițiale mari pentru implementarea platformelor de prototipare virtuală, atât pentru soluțiile software (în special, configurațiile/licențele comerciale) cât și pentru infrastructura hardware necesară.

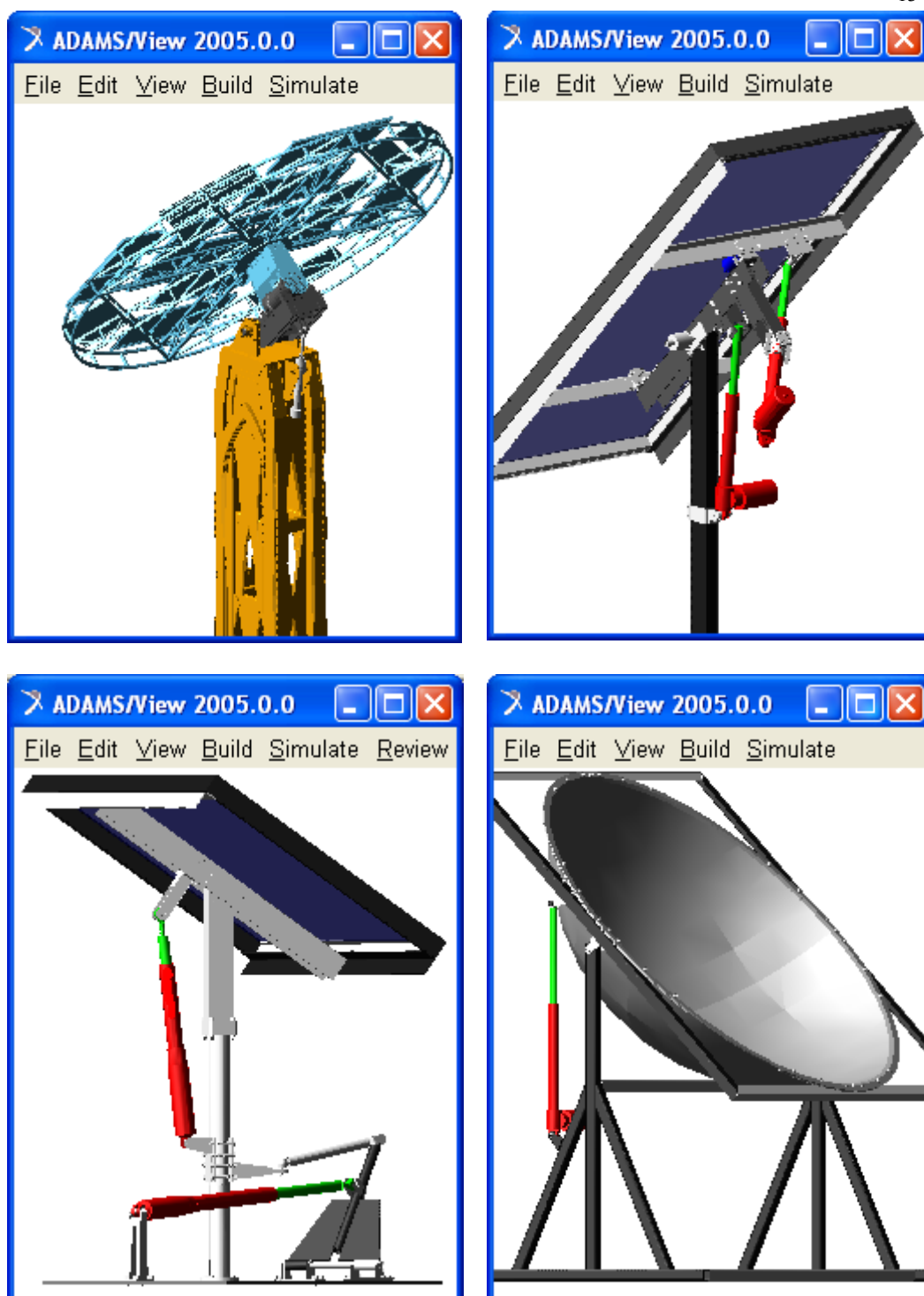


Fig. 5 Prototipuri virtuale de sisteme pentru orientarea panourilor solare

References

1. Alexandru, C., Comșîț, M. Modeling the tracking system of a photovoltaic platform using the ADAMS & EASY5 software solutions, In: Proceedings of the 2-nd Conference on Sustainable Energy, Brașov, pp. 109-114, 2008
2. Dorf, R., Bishop, R., Modern control system, Prentice Hall, 2001
3. Garcia de Jalón, J., Bayo, E., Kinematic and dynamic simulation of multibody systems, Springer, New York, 1994
4. Haug, E.J., Computer aided kinematics and dynamics of mechanical systems, Allyn and Bacon, 1989
5. Mătieș, V., Mândru, D., Tehnologie și educație mecatronică, Editura Todesco, Cluj-Napoca, 2001
6. Moldovean, G., Velicu, R., Gavrilă, C.C., Embodiment design of an azimuthal solar tracking system, In: Proceedings of the 1st International Conference on on Solar Heating, Cooling and Buildings - EUROSUN, Lisabona, 2008 (in press)
7. Ryan, R., Functional virtual prototyping, Mechanical Dynamics Publisher, Michigan, 2002
8. Schiehlen, W.O., Multibody systems dynamics: roots & perspectives, In: Multibody Systems Dynamics, Vol. 1(2), pp. 149-188, 1997
9. Velicu, R., Moldovean, G., Gavrilă, C.C., Constructive aspects on the altitudinal system of a solar tracking PV platform, In: Proceedings of the 2nd Conference on Sustainable Energy, Brașov, pp. 146-150, 2008
10. Vișa, I., Antonya, C., Structural modeling of planar linkages as multibody systems, In: Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin, China, Vol. 3, pp. 1194 -1108, 2004
11. Vișa, I., Comșîț, M., Korner, J., Duță, A., PV twin-tracking system laboratory, In: Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milano, pp. 3083-3088, 2007
12. *** Getting started using ADAMS v2005, MSC Software, Santa Ana, 2005
13. Brișan, N., Vasiu, R.V., Chiroiu, V., Dumitriu, D. Avatar models for suspension mechanisms. International Conference on Innovative Technologies - IN-TECH, 2013, p. 129-132.
14. Țoțu, V. A comparative analysis between the rigid and compliant joint models for the guiding system of the cars axles. Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, vol. XIII (XXIII), nr. 1, 2014, p. 131-134.
15. Mun, G.A., s.a. New desalination system based on hydrophilic polymers. Journal of Scientific and Technical Society "KAXAK", nr. 4 (47), 2014, p. 52-56.
16. Saya, M. Efektifitas dan Desain Sistem Kontrol Photovoltaic Menggunakan Sistem Pelacakan Arah Matahari Double Axis Menggunakan Metode Fuzzy Tipe 2. Hermansyah Elektro ITS, p. 1-3, 2014.
17. Cheng, C.C. Development of a solar tracking control system with remote monitor. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan, 2012.
18. Petrovici, I. Solarna celija u sustavu napajanja elektromobila. PhD Thesis, University of Zagreb, 2011.

19. Carreiras, J.M.P. Sistema híbrido de produção de energia para sistema de comunicações rádio (Hybrid system of energy production for radio communication system). Instituto Politecnico De Viana Do Castelo, 2013.
20. Khyati Vyas, Sudhir Jain, Sunil Joshi. A review on an automatic solar tracking system. *International Journal of Computer Applications*, 2014, p. 1-6.
21. Romaidis, G.O. Moving windows value iteration for effective solar tracking. Doctoral Thesis, Technical University of Crete, 2014.
22. Mahamai, P., Panyoyai, N., Watcharadumrongsak, P. Battery charging by an automatic dual-axis solar tracking system. *The Journal of Industrial Technology*, vol. 8, nr. 2, 2012, p. 19-28.
23. Pinto, M.I. Impacto da penetração de energia eólica na definição da reserva girante e parada. Doctoral Thesis, Instituto Superior Técnico da Lisboa, 2013.
24. Barbu, I. Phenomena occurring in achieving integrated circuit boards using ultraviolet light. *Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. XIII (XXIII), nr. 1, 2014, p. 303-306.
25. Djalo, H., Njampou, P. Modèle de Gassara dans la poursuite de la production pic d'une plaque solaire par régulation deux degrés de liberté. *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 16, nr. 4, 2013, p. 749-759.
26. Yang, C.H. Swept area optimization and simulation of windshield wiper mechanism. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan, 2013.
27. Chaitanya, P., Sireesha, S.C. Analysis of active vehicle suspension system with controllers using simulation. *International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 2, nr. 3, 2014, p. 453-457.
28. Hsu, K.W. Design and control of a novel active vehicle suspension for a quarter car model. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan, 2014.
29. Chen, C.L. Dynamics Analysis of Single-lever Windshield Wiper Systems. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan, 2014.
30. Al-Turki, F.S., Al-Madi, A.F., Al-Shammari, A.A. Design and manufacturing of a dual axis solar tracking system. King Saud University, Riyadh, 2014.
31. Vyas, K., Jain, S. Development of Automatic PV Power Pack Servo Based Single Axis Solar Tracking System. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, vol. 10, nr. 1, 2015, p. 7-10.
32. Gavrilă, C.C. A transversal coupling 3D modeling. *Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. XII(XXII), nr. 1/2013, p. 85-88.
33. Gavrilă, C.C. Modelarea cinematicii cuplajelor mobile transversale, considerate sisteme multicorp. *Buletinul AGIR nr. 2/2013*, p. 91-95.