

## STUDIU DE CAZ PENTRU PARAMETRIZAREA SINCRONA CAD/CAE/PLM

BILIBOU Ionuț - Alexandru<sup>1</sup>, ALEXANDRU Tudor – George<sup>2</sup>

Conducători științifici: Prof.dr.ing. Adrian – Florin NICOLESCU, Prof.dr.ing. Cristina PUPĂZĂ

**REZUMAT:** Lucrarea prezintă o abordare privind parametrizarea sincronă a modelelor CAD/CAE integrate într-un sistem PLM. Pe lângă multiplele avantaje ale acestui tip de integrare, precum: numărul redus de erori, probabilitatea minimă de pierdere a informațiilor, reducerea costurilor și utilizarea corectă a tuturor resurselor, abordarea aduce în discuție transferul unui singur set de parametri între două interfețe diferite. În acest fel, se poate realiza o procedură completă de lucru pentru conceperea sau modificarea unor produse doar pe baza interogării parametrilor și modificării acestora. Soluția se distinge printr-un număr minim de date de intrare (setul de parametri) și un număr extins de date de ieșire (model 2D/3D CAD, fișier de comenzi pentru solver, fișiere rezultate calcul, rapoarte personalizate). Rezultatele modificării seturilor de parametri sunt stocate la nivel PLM, putând fi ținută evidența reviziilor, interogarea rezultatelor și folosirea soluțiilor pentru un alt proiect.

**CUVINTE CHEIE:** parametrizare sincronă, integrare PLM, interfața CAD, interfața CAE

### 1 INTRODUCERE

Reprezentarea tridimensională a corpurilor reprezintă un pas firesc pentru diverse activități premergătoare sau din timpul producerii unor piese sau ansambluri. Pe baza instrumentelor CAD, inginerii realizează etapa de proiectare virtuală a formei reale a produselor. Orice model tridimensional al unui produs care are un rol funcțional sau care este supus unor încărcări statice sau dinamice care pot induce tensiuni și deplasări care să pună în pericol integritatea structurii respective (de exemplu: tija pistonului, grinzile de susținere ale unui structurii portante industriale), sunt supuse unor calcule de verificare înainte de a fi implementate la scară reală. Este vorba de utilizarea programele de simulare numerică cu elemente finite – CAE. (Constantin, 2015)

În concepția modernă, modelarea, simulare și proiectarea reprezintă activități ingineresti care au loc în departamente diferite care pot fi localizate în aceeași locație sau care se pot afla la mare distanță unele față de celelalte. Aici apare problema schimbului de informații dintre departamente. Folosirea instrumentelor de bază pentru comunicare și a unor sisteme informaționale minimale pentru transferul datelor aduce de la sine o mare probabilitate ca informația să se piardă. Deasemenea, evidența modificărilor, a reviziilor sau a fișierelor șterse ține doar de utilizatori, ceea

ce duce la dificultăți în gestionarea corectă a datelor (Saaksvuori & Immonem, 2009). Aceste inconveniente sunt rezolvate prin implementarea unor soluții PLM.

O aplicație PLM se poate defini ca o strategie de business pentru creerea unui mediu de lucru centrat pe produs. Conceptul își are originile din aplicațiile CAD și aplicațiile de management a datelor de produs (PDM). Rolul unui sistem PLM este acela de realiza legătura pe bază de instrumente virtuale dintre prestatorii de servicii și beneficiarii dispersați geografic pe toată durata ciclului de viață al unui produs (din momentul concepției, până în momentul retragerii de pe piață și valorificării din urma proceselor de reciclare) (Ameri & Dutta, 2003). Din punct de vedere industrial, sistemele PLM nu reprezintă doar pachete de aplicații ci o abordare inovativă de lucru care nu necesită utilizarea hârtiei (paperless) și care stimulează re folosirea modelelor existente și stocarea într-o manieră utilă a cunoștințelor referitoare la produs în urma parcurgerii etapelor ciclului de viață (Urwin s.a, 2012).

Un alt rol semnificativ al unui sistem PLM este acela de a automatiza sarcinile repetitive. Luând în considerare maturizarea conceptelor de sisteme de producție avansate din ultimii 20 de ani (Platon, 1990), întreprinderile se află într-o continuă dinamică de schimbare ceea ce impune reconfigurarea rapidă a acestora pentru a accomoda producția de alte repere. Abordarea prezentată în această lucrare susține competitivitatea prin înglobarea cunoștințelor CAD/CAE ce guvernează

<sup>1</sup> Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: [justbily23@yahoo.com](mailto:justbily23@yahoo.com);

<sup>2</sup> Specializarea MIIV, Facultatea IMST

## Studiu de caz pentru parametrizarea sincrona CAD/CAE/PLM

concepția unui produs. Folosirea unor astfel de instrumente integrate într-un sistem PLM permite modificarea parametrilor de interes și pe baza acestora asigură transferul de informații dintre interfețe aflate în subordinea unor departamente diferite (departamentul de proiectare CAD și departamentul de calcul și verificare CAE). La final, se generează toată documentația necesară implementării fizice a unui produs.

### 2 STADIUL ACTUAL

Există o serie de lucrări care prezintă abordări de integrare CAD/CAE cu sisteme PLM:

- (Salehi & MCMahon, 2009), prezintă o abordare privind integrarea pe bază de parametrii dintre o aplicație CAD și un sistem PLM. Lucrarea abordează problema de modele asociative și utilizarea unui singur set de parametrii CAD ca date de intrare pentru a crea o soluție de modelare CAD-CAE. Se subliniază deasemenea necesitatea de a realiza o corelare între parametrii CAD înainte transferului acestora într-un sistem PLM;
- (Gomes s.a., 2009), propune o integrare CAD/CAE/PLM pentru realizarea studiilor de optimizare multicriterială. Lucrarea prezintă transferul dintre interfețele CAD și CAE și cum poate fi folosit un singur set de parametrii pentru a rula un studiu de optimizare. Flexibilitatea soluției este foarte ridicată considerând integrarea CAD/CAE cu un sistem PLM;
- (Pupăză, 2013) extinde conceptul de modelare CAD-FEM, fiind prezentate dificultățile care apar la interpretarea modelelor tridimensionale realizate cu ajutorul aplicațiilor CAD de către aplicațiile CAE. Se distinge nevoia de a realiza etape complementare de preprocesare înainte de a transfera modelul CAD în mediul de lucru CAE.

Lucrarea de față înglobează abordările prezentate mai sus prin integrarea aplicațiilor Siemens SolidEdge CAD/CAE cu sistemul PLM Siemens Teamcenter. Pe baza unui studiu de caz se demonstrează capacitatea de a automatiza procesul de preprocesare pentru a extrage elemente 1D de tip linie din geometrii 3D-solid. Prin modificarea unui singur set de parametrii se obțin la ieșire toate informațiile necesare implementării fizice a modelului fără a mai necesita alte etape complementare. Toate modificările realizate sunt gestionate de sistemul PLM și permit refolosirea

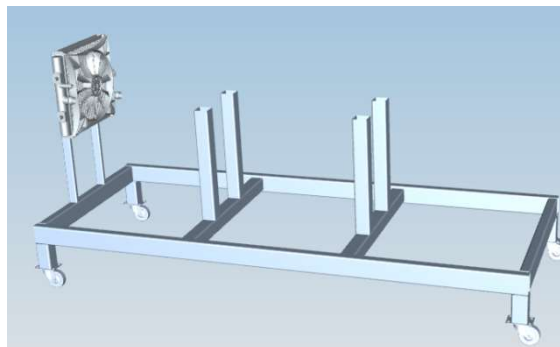


Fig.1. Ansamblu cadru pentru testarea motoarelor cu ardere internă

modelelor și stocarea cunoștințelor relevante pentru a fi înglobate în concepția unor produse noi.

### 3 STUDIU DE CAZ

Varietatea tipodimensiunilor din industria auto impune existența a cât mai multor elemente structurale realizate din componente tipizate. Se permite în acest fel modificarea dispozitivelor de prindere, a soluțiilor de stocare și a posturilor de lucru aferente sistemului de producție responsabil cu realizarea ansamblului final ce compune autovehiculul ce va fi livrat către beneficiar. În figura 1 se prezintă ansamblul tridimensional al unui cadru pentru testarea motoarelor cu ardere internă. Rolul funcțional al ansamblului impune realizarea unor calcule statice pentru a determina dacă structura își păstrează integritatea pe toată durata exploatării. Având în vedere dinamica apariției modelelor noi de motoare, testarea acestora reprezintă o funcție premergătoare instalării finale pe șasiul autovehiculului. Cu toate acestea, există situații în care modificări în gabaritul sau masa ansamblului motor pot să impună modificări ale cadrului de testare. Acestea pot fi modificări ale cotelor de gabarit (de exemplu distanța dintre suportii de prindere) sau modificări structurale (de exemplu înlocuirea anumitor segmente ale standului cu profile de o altă tipodimensiune).

În lipsa unui sistem PLM, orice modificare care accomodează un nou design impune modificările aferente în programele CAD și CAE folosite. Astfel de sarcini cer timp la care se adaugă costurile aferente. Din acest punct de vedere, o astfel de cerere de modificare a unui produs poate fi onorată de o firmă care răspunde cererii și prezintă portofoliul necesar modificărilor fizice într-un timp cât mai scurt, având totodată și un cost de execuție redus. Prin integrarea aplicației Siemens SolidEdge CAD/CAE împreună cu sistemul PLM Siemens Teamcenter, astfel de provocări devin posibile.

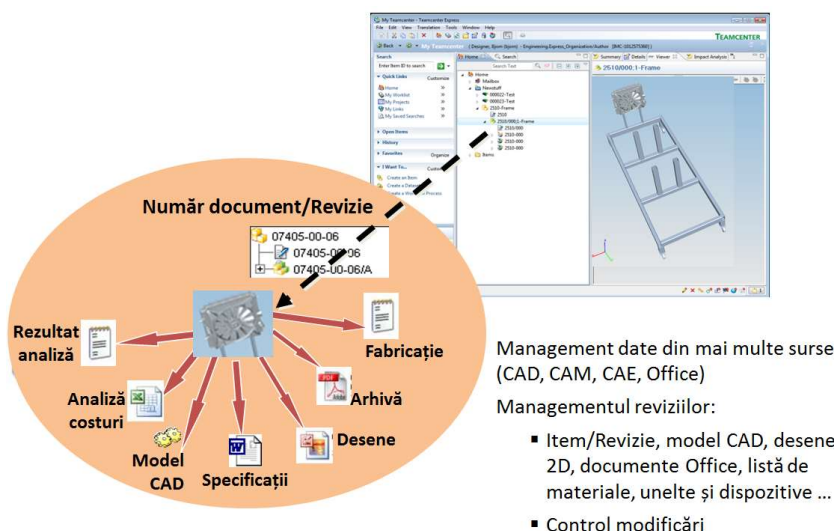


Fig.2. Aspecte privind integrarea instrumentelor CAD/CAM/CAE/Office

În cele ce urmează se va prezenta abordare de lucru propusă:

### 3.1 Integrarea CAD/CAE/PLM

Spre deosebire de alte aplicații PDM, Teamcenter a fost conceput pentru a stoca sub același număr și cu aceeași revizie un număr mare de documente referitoare la același reper, create în etape și cu aplicații diferite.

Stocarea datelor (vezi figura 2) referitoare la modelele 3D provenite de la aplicația CAD, specificațiile reperului, cerințele de proiectare sau analizele de costuri create în aplicații Office, desenele de execuție provenite de la aceeași sau de la o altă aplicație CAD, rezultatele simulărilor din aplicațiile CAE sau programul CNC din aplicația CAM se realizează cu ajutorul unei baze de date și a instrumentelor de integrare din spatele aplicației Teamcenter. În acest fel, o singură sursă de informații este disponibilă pentru toți utilizatorii. Integrarea Siemens SolidEdge – Siemens Teamcenter (vezi figura 3) permite editarea parametrizată a modelului CAD, schimbarea tipodimensiunii secțiunilor dintr-o

bază de date standardizată și salvarea modelelor editate într-un mediu sigur sub altă revizie.

Utilizând instrumentele specifice sistemului PLM, se pot defini parametri CAD de interes. Aceștia sunt transferați ca proprietăți ale obiectului în interfața PLM. Prin sincronizarea proprietăților din PLM asociate parametrilor CAD se realizează modificarea sincronă a parametrilor între cele două medii. Un alt avantaj al acestui tip de parametrizare îl constituie lipsa necesității de licențe pentru aplicația CAD. Utilizând interfața web dedicată sistemului PLM, un client poate comanda un produs cu schimbările dorite în parametrii sau un manager poate decide anumite cote ale unui ansamblu fără a intervenii în sistemul CAD.

Considerând integrarea instrumentelor de preprocesare Siemens Femap împreună cu solverul Nastran direct în interfața SolidEdge, parametrii definiți în CAD/CAE/PLM pot fi modificați sincron din oricare dintre cele 3 interfețe. Această integrare aduce și anumite avantaje în realizarea etapelor de preprocesare deoarece transferul CAD/CAE se realizează în aceeași interfață.

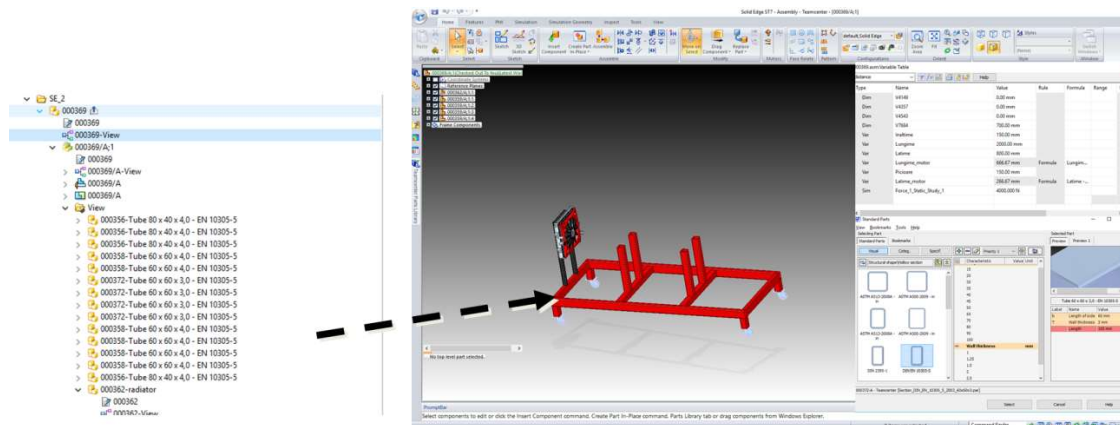


Fig.3. Integrare Siemens SolidEdge ST7 – Siemens Teamcenter

## Studiu de caz pentru parametrizarea sincrona CAD/CAE/PLM

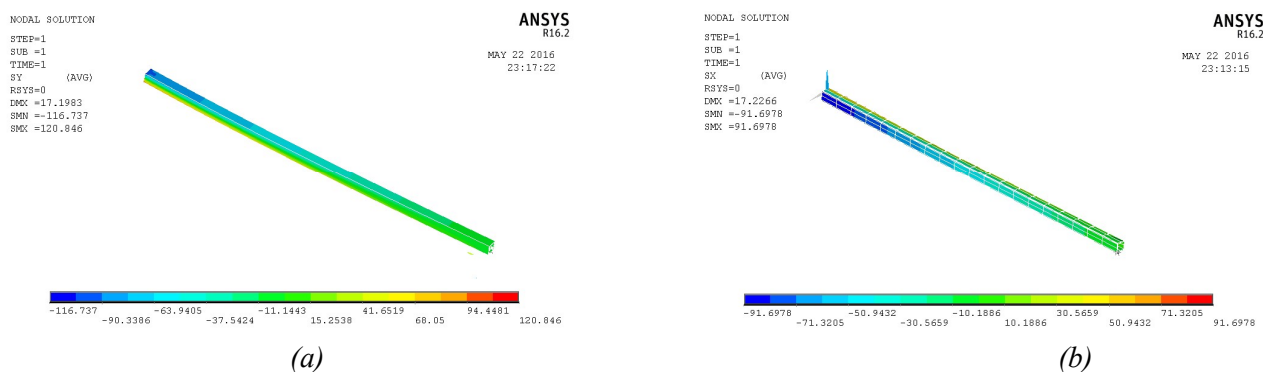


Fig.4. Abordări de calcul pentru structuri de grinzi

(a) = Abordarea 3D - solid și (b) = Abordarea 1D – linie

### 3.2 Automatizarea etapei de preprocesare

Etapa de preprocesare pentru ansamblul studiat preupune pe lângă aplicarea condițiilor de rezemare și distribuția masei proprii anasmbului motor în cele 4 punct de rezemare, simplificarea geometriei 3D-solid prin extragerea centrelor secțiunilor și definirea acestora ca elemente 1D-linie.

În cele ce urmează se prezintă dezavantajele lucrului cu elemente de tip 3D în cazul structurilor realizate din elemente structurale de tip grinzi. Se consideră grinda din figura 4. Aceasta este încastrată la un capăt și solicitată printr-o forță de 350N la celălalt capăt. Grinda are lungimea de 1500mm și profilul secțiunii este de tip țevă pătrată 40x40 cu grosimea peretelui constantă de 3.5mm.

Soluția analitică pentru calculul tensiunilor este prezentată mai jos (Oberger s.a., 2004):

$$\sigma_{\max} = \frac{W \cdot l}{Z} \quad (1)$$

$$Z = \frac{I_y}{z} \quad (2)$$

Din soluția analitică,  $\sigma_{\max} = 91.69 \text{ MPa}$ .

#### • Abordarea 3D Solid

Modelarea grinzii s-a realizat utilizând solidele rezultate din importul direct al geometriei din interfața CAD Siemens SolidEdge în interfața CAE ANSYS Mechanical APDL. Discretizarea s-a realizat cu opțiuni de mapare utilizând hexaedre. Comparând soluția obținută din calculul 3D de 120.84 MPa cu soluția analitică de 91.69MPa, se constată o eroare de 31.7%. Se observă

din harta de tensiuni prezența unui concentrator pe suprafața de aplicare a condițiilor de rezemare. Fizic, fenomenul se explică prin imposibilitatea reală ca nodurile corespondente feței încastrate să aibă deplasare nulă. Pentru a putea prelua rezultatele corecte, este necesară rafinarea rețelei de discretizare în jurul concentratorului și citirea rezultatelor dinafara nodurilor încastrate.

#### • Abordarea 1D - linie

Comparativ cu abordarea 3D, abordarea 1D se caracterizează printr-un număr redus de noduri cu o relevanță ridicată a rezultatelor pentru calculul structurilor de grinzi. Deasemenea, elementul reprezintă cea mai simplă formă de matrice de rigiditate. Implicit, timpul de calcul este redus semnificativ față de abordarea 3D. Comparând soluția obținută din calculul 1D de 91.69 MPa cu soluția analitică de 91.6978MPa se poate constata o eroare de 0.008% (eroare neglijabilă).

Din cele prezentate mai sus, se observă necesitatea de simplificare a geometriilor de tip grinzi înainte de a fi supuse calculului.

Utilizând preprocesorul integrat în Siemens SolidEdge, se poate determina centrul de greutate al unei secțiuni. Acesta este folosit ca referință pentru definirea unui nod. În acest fel, limitele sunt definite prin două noduri. În funcție de un număr de diviziuni ales de utilizator sau arbitrar de preprocesor se realizează discretizarea pe întreaga lungime a profilului. Acolo unde apar noduri comune acestea se intersectează, rezultând un singur nod de intersecție.

În figura 5 se prezintă liniile extrase automat de preprocesor.



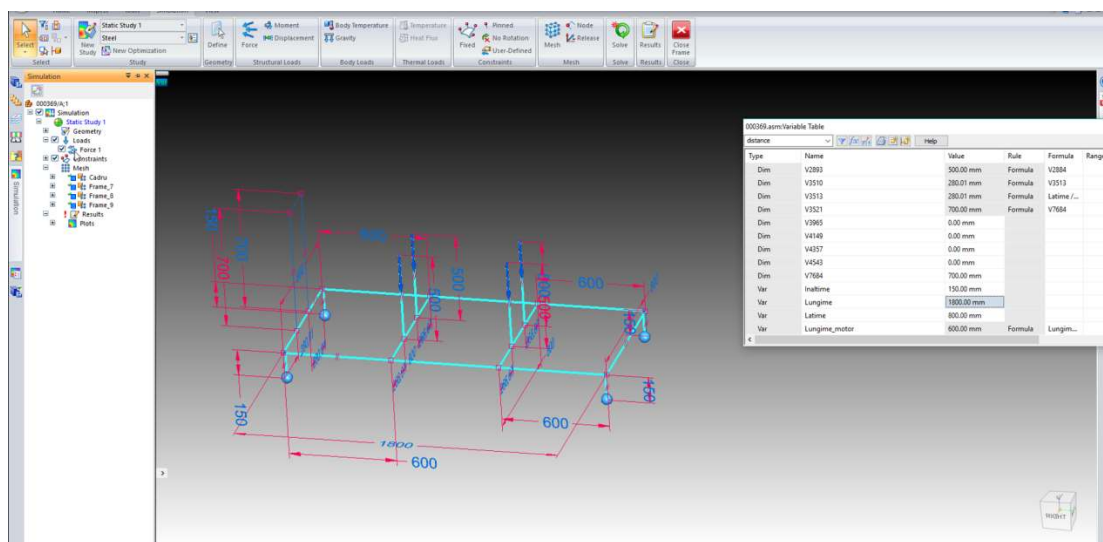


Fig.5. Simplificarea geometriilor 3D prin extragerea liniilor care definesc centrele secțiunilor

În figura 5 se poate observa și transferul parametrilor CAD în modelul CAE.

Totalitatea condițiilor de rezemare, a încărcărilor, datelor referitoare la cotele de gabarit și tipul secțiunii profilelor sunt definite pe bază de parametrii interschimbabili între interfețele CAD/CAE/PLM. Astfel, se obține o flexibilitate mare în modelare deoarece orice modificare realizată în oricare dintre cele 3 interfețe este actualizată sincron în toate celelalte interfețe.

În urma analizei structurale se pot postprocesa rezultatele relevante pentru validarea designului. Un exemplu îl reprezintă procesarea tensiunilor echivalente (vezi figura 5). La o primă verificare, acestea se pot compara cu tensiunile admisibile pentru materialul din componența profilelor. În

cazul în care tensiunile depășesc limita admisibilă, se realizează modificări fie ale secțiunii fie ale geometriei propriu-zise. La rândul lor, rezultatele reprezintă parametrii de ieșire care se pot integra în sistemul PLM.

Alte tipuri de analize care se pot realiza (în funcție de necesitate): calcul de stabilitate pentru determinarea forței critice sau analiză dinamică pentru determinarea modurilor și frecvențelor proprii ansamblului.

### 3.3 Generarea automată a rapoartelor

O altă problemă cu care se confruntă inginerii este cea a generării automate a rapoartelor.

Rapoartele reprezintă o sinteză relevantă pentru orice proiect care include toate informațiile necesare implementării produsului. Utilizând

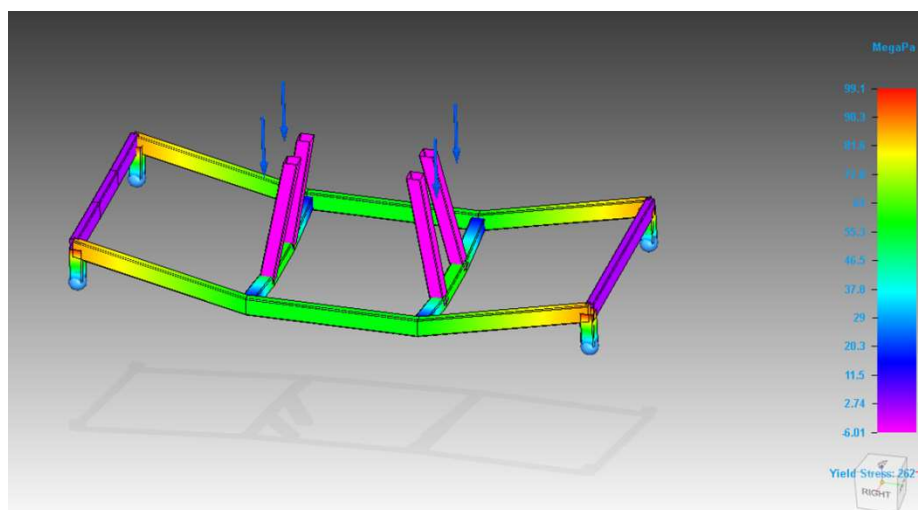


Fig.5. Tensiuni echivalente pentru ansamblul studiat pe baza calculului cu elemente 1D

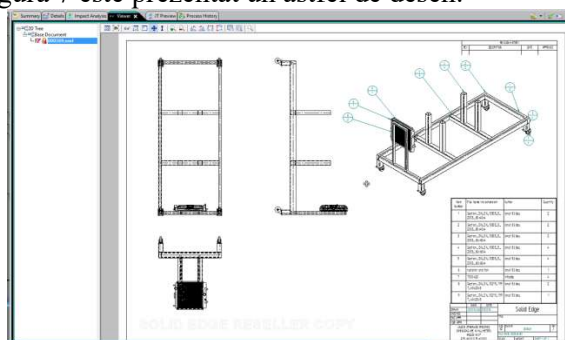


**Fig.6. Raport personalizat generat pe baza rezultatelor obținute din interfețele CAD/CAE**

Instrumentele de personalizare a rapoartelor existente în sistemul PLM se pot personaliza șabloane de rapoarte care implicit se modifică odată cu schimbări în valoarea parametrilor. În figura 6 au fost extrase o serie de informații dintr-un astfel de raport: tipul de analiză CAE realizată, date referitoare la elementele structurale ale cadrului (precum material, aria secțiunii, momentul de inerție).

### 3.4 Generarea automată a desenelor 2D de ansamblu

Având ca date de intrare modelul CAD verificat pe baza calculului CAE, sistemul PLM poate genera automat un desen 2D de ansamblu. În primă fază se realizează un șablon din interfața CAD care va fi actualizat odată cu modificările parametrilor. În tabelul de componență desenul ține cont și de modificarea elementelor componente. În figura 7 este prezentat un astfel de desen.



**Fig.7. Desen 2D de ansamblu generat pe baza modificărilor parametrilor**

## 4 CONCLUZII

Acestă lucrare a prezentat pe baza unui studiu de caz un model de parametrizare sincronă CAD/CAE/PLM. Un element de noutate îl constituie automatizarea etapei de preprocesare la transferul modelului CAD în interfața CAE. Deasemenea, capacitățile soluției prezentate sunt extinse prin integrarea parametrilor de interes într-o interfață web accesibilă de la distanță.

## 5 MULȚUMIRI

Autorii mulțumesc Prof. coordonatori Adrian – Florin Nicolescu și Cristina Pupăză.

## 6 BIBLIOGRAFIE

[1]. Ameri, F. și Dutta, D. (2003), “Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge

Loops”, în: Computer-Aided Design & Applications L.A.Piegl (eds.), *Volume 2*, 577-590, ISSN1686-4360.

[2]. Constantin, G. (2015), *Modelarea 3D cu AutoCAD Aplicații*, Editura Politehnica Press, București, ISBN 978-606-515-595-4.

[3]. Gomes, S., Varret A., Bluntzer J.B și Sagot J.C: (2009), “Functional design and optimisation of parametric CAD models in a knowledge-based PLM environment”, în: International Journal of Product Development M.A.Dorgham (eds.), *Volume 9*, 60-77, ISSN1741-8178.

[4] Oberg, E., Jones, F.D., Horton, H.L., Ryffel, H.H. și Geronimo, J.H. (2004), *Machinery's handbook*, New York: Industrial Press, New York, ISBN 978-0831129002

[5]. Platon, V. (1990), *Sisteme avansate de producție*, Editura Tehnică, București, ISBN 973-31-0284-9.

[6]. Pupăză, C. (2013), *Modelare CAD-FEM*, Editura Politehnica Press, București, ISBN 978-606-515-519-0.

[7]. Saaksvuori, A. Și Immonen A. (2005), *Product Lifecycle Management*, Springer, Berlin, ISBN 3-540-40373-6.

[8]. Salehi V. și McMahon, C., (2009), “Methodological integration of parametric associative cad systems in product lifecycle management (PLM) environment”, Proceedings, ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conferences, ASME, San Diego, 30.08-02.09.2009.

[9]. Urwin, E.N., Young, B., Frazer L., și Hunt, B. (2012), “Improving product performance through manufacturing knowledge reuse in plm”, Proceedings, 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ASME, Nantes, 2-4.07.2012.

## 7 NOTAȚII

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

$\sigma_{\max}$  = tensiunea maximă [MPa]

$W$  = Modulul forței [N]

$l$  = lungimea barei [mm]

$Z$  = Modulul secțiunii [mm<sup>3</sup>]

$I_y$  = Momentul de inerție [mm<sup>3</sup>]

$z$  = distanța față de axa neutră [mm]