

STUDIUL RIGIDITĂȚII ȘASIULUI PE BAZA SIMULĂRILOR NUMERICE

Maria IENE¹, Andra IENE, Andrei PÎRVAN³,

¹Universitatea Transilvania din Brașov, România, ² Universitatea Transilvania din Brașov, România, ³ Universitatea Transilvania din Brașov, România.

REZUMAT. Studiul rigidității șasiului pe baza simulărilor numerice pentru analiza șasiului BS23, din cadrul competiției „Formula Student” sub acțiunea forțelor de torsionare și încovoiere pe baza calculelor numerice, respectând regulamentul competiției FEA. În cadrul echipei BlueStreamLine s-au realizat simulările cu ajutorul software-ului Hypermesh. S-au înregistrat maximele de deplasări atât în viraje cât și în linie dreaptă. Datorită studiului rigidității dinamice a șasiului automobilului de curse s-au înregistrat valori minime de deplasare cca. 3.63 [mm] și maxime de 11.8 [mm]

Cuvinte cheie: Simulare, BlueStreamLine, rigiditate, dinamică, torsiune, încovoiere, șasiu.

ABSTRACT. Study of chassis stiffness based on numerical simulations for the analysis of the BS23 chassis from the "Formula Student" competition under the action of torsional and bending forces based on numerical calculations, respecting the FEA competition rules. In the BlueStreamLine team the simulations were carried out using Hypermesh software. Maximum displacements were recorded both in turns and straight line. Thanks to the study of the dynamic stiffness of the chassis of the racing car, minimum displacement values of approx. 3.63 [mm] and maximum of 11.8 [mm].

Keywords: Simulation, BlueStreamLine, stiffness, dynamics, torsion, bending, chassis.

1. IMPACTUL EVALUARII PERFORMANȚEI BAZAT PE SIMULĂRI NUMERICE

Șasiul vehiculului reprezintă un ansamblu structural fundamental, menit să ofere suport și să integreze toate sistemele funcționale. De-a lungul evoluției, construcția sa de bază inițială a fost înlocuită de structuri caroserice unitare, care au redefinit modul în care vehiculele sunt concepute. În zilele noastre, conceptul de cadru spațial a devenit tot mai popular, deschizând uși pentru utilizarea versatilă a unei varietăți de materiale care pot fi ușor dezasamblate și reparate, transformând astfel întreaga industrie a autovehiculelor.

Simularea șasiului este o tehnică de modelare și analiză computerizată care se concentrează pe reproducerea comportamentului și performanțelor șasiului unui vehicul într-un mediu virtual. Acest proces implică crearea unui model tridimensional al șasiului folosind software specializat și apoi utilizarea acestui model pentru a efectua diverse simulări și analize. Iată câteva aspecte cheie legate de simularea șasiului:

1. MODELARE 3D;
2. ANALIZĂ STRUCTURALĂ;
3. DINAMICA VEHICULULUI;
4. OPTIMIZARE;
5. TESTARE VIRTUALĂ;
6. VALIDARE ȘI ÎMBUNĂTĂȚIRE

2. STUDIUL RIGIDITĂȚII STATICE LA TORSIUNE A ȘASIULUI AUTOMOBILULUI DE CURSE

Studiul rigidității statice la torsiune a șasiului unui automobil de curse reprezintă un aspect crucial în dezvoltarea acestor vehicule de performanță extremă. Rugozitatea și precizia acestei analize sunt esențiale pentru asigurarea stabilității, controlului și siguranței mașinilor de curse. Iată câteva puncte cheie legate de acest aspect:

1. Definiția rigidității statice la torsiune: Rigiditatea statică la torsiune a șasiului se referă la capacitatea acestuia de a rezista la forțele torsiunii, care pot apărea în timpul accelerației, frânării sau în timpul virajelor. Este important să se înțeleagă cum se comportă șasiul sub astfel de forțe, deoarece acesta trebuie să ofere stabilitate și să prevină deformarea excesivă.

2. Materiale și construcție: Materialele folosite în construcția șasiului de curse sunt de obicei materiale compozite sau aliaje speciale, care oferă un echilibru între greutatea redusă și rigiditatea necesară. Structura și geometria șasiului sunt, de asemenea, proiectate pentru a maximiza rigiditatea la torsiune.

3. Simulare și analiză: Pentru a evalua rigiditatea la torsiune, se folosesc software-uri de simulare pentru a modela comportamentul șasiului sub diferite condiții de forță. Aceste simulări pot oferi date despre

STUDIUL RIGIDITĂȚII ȘASIULUI PE BAZA SIMULĂRILOR NUMERICE

deformațiile și tensiunile care apar în structură în timpul manevrelor de conducere.

4. Optimizarea rigidității: Inginerii lucrează la optimizarea rigidității la torsiune pentru a asigura o distribuție corespunzătoare a forțelor pe toată lungimea și lățimea șasiului. Acest lucru ajută la evitarea zonelor cu tensiuni prea mari sau deformări excesive.

5. Siguranța piloților: Rigiditatea șasiului este, de asemenea, legată de siguranța piloților. O structură mai rigidă poate ajuta la absorbția energiei în caz de impact, protejând piloții de daune grave.

6. Adaptabilitatea la condiții variate: Vehiculele de curse trebuie să se comporte bine pe trasee diverse, care pot varia de la circuitele asfaltate la trasee off-road. Prin urmare, rigiditatea la torsiune trebuie să fie proiectată pentru a face față tuturor acestor situații.

Date intrare:

Momentul de torsiune:

$$M_t = F \cdot B = 1,15 \cdot 10^5 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

Ecartament: $E = 1146 \text{ [mm]}$

Ampatament: $L = 1525 \text{ [mm]}$

Deplasarea pe direcția forței: $v = 11,8 \text{ [mm]}$

Date ieșire:

Unghi răsucire șasiu în planul forțelor: $\varphi = 1,18^\circ$

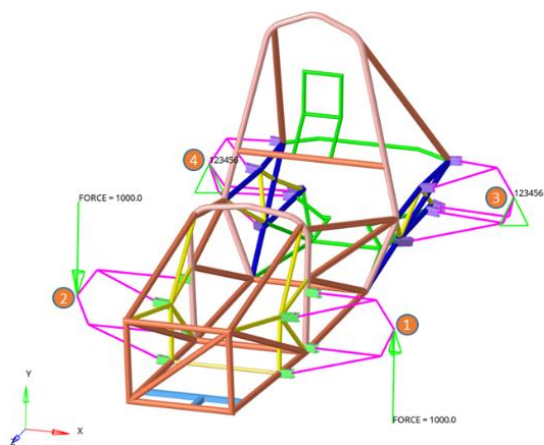
Rigiditatea torsională statică:

$$k = 971 \text{ [N} \cdot \text{m/deg]}$$

Calcul analitic:

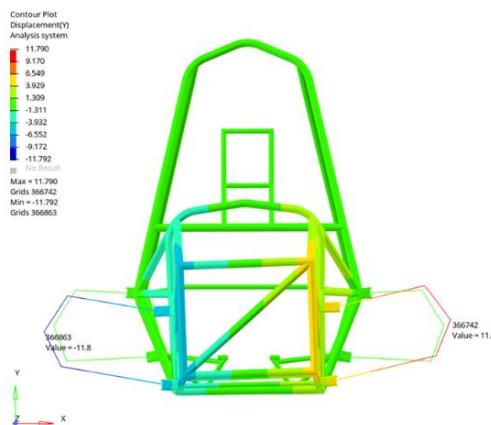
$$k = \frac{M_t}{\varphi} \cong 971 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{deg}} \right]$$

$$\varphi = a \tan \left(\frac{v}{b} \right) = 1,18^\circ$$



1,2 – aplicare sarcini exterioare în c.g. roți față $F = 1000 \text{ N}$
3,4 – aplicare restricții în c.g. roți spate

Fig. 1



Deplasarea obținută pe direcția sarcinilor: $11,8 \text{ [mm]}$

Fig. 2

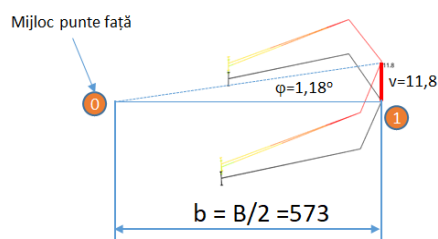


Fig. 3

3. STUDIUL RIGIDITĂȚII STATICE LA ÎNCOVOIERE A AUTOMOBILULUI DE CURSE

Analiza riguroasă a modului în care caroseria unui automobil de curse rezistă la încovoiere este esențială în procesul de dezvoltare a acestor vehicule de performanță. Rigiditatea la încovoiere este de o importanță crucială, având un impact semnificativ asupra comportamentului vehiculului în condiții de cursă. Iată cum putem explora această idee sub o altă formă:

1. Comportamentul structural: Studiul rigidității la încovoiere analizează comportamentul structural al caroseriei unui automobil de curse sub influența încovoiei sau forțelor laterale. Este vorba despre modul în care caroseria reacționează la încărcături și presiuni care apar în timpul virajelor, schimbărilor de direcție și a altor manevre.

2. Capacitatea de a rezista deformațiilor: Rigiditatea la încovoiere reflectă capacitatea caroseriei de a rămâne rigidă și de a rezista deformațiilor în situații de solicitare. Aceasta asigură controlul adecvat al direcției și menține roțile în contact cu suprafața pentru tracțiune optimă.

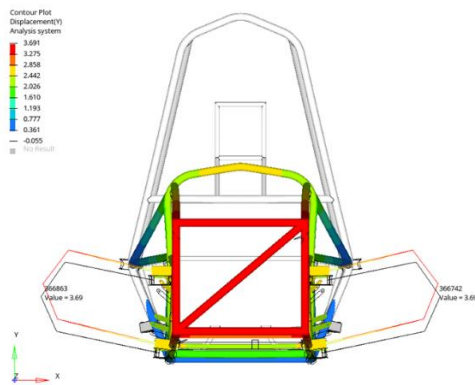
3. Greutate și performanță: În încercarea de a atinge performanțe superioare, inginerii încearcă să obțină un echilibru între greutatea redusă și rigiditatea la încovoiere. Acest echilibru este vital pentru obținerea unei manevrabilități excelente pe traseu.

4. Optimizarea designului: Proiectarea caroseriei pentru a maximiza rigiditatea la încovoiere implică identificarea zonelor care ar putea deveni prea flexibile și adaptarea designului pentru a corecta aceste vulnerabilități.

5. Confortul pilotului: În plus față de performanță, rigiditatea la încovoiere trebuie să fie gestionată astfel încât să asigure confortul pilotului. Caroseria prea rigidă ar putea transfera șocurile și vibrațiile la pilot, ceea ce ar putea afecta negativ performanța acestuia în timpul cursei.

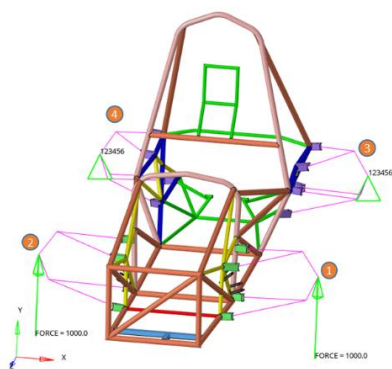
6. Adaptabilitate pe diverse trasee: Automobilele de curse trebuie să se comporte optim pe trasee variate,

7. astfel că rigiditatea la încovoiere trebuie să fie proiectată pentru a face față acestor condiții diverse, menținându-și stabilitatea și controlul indiferent de terenul pe care rulează.



Deplasarea obținută pe direcția sarcinilor: 3,69 [mm]

Fig.4



1,2 – aplicare sarcini exterioare în c.g. roți față F = 1000 N
3,4 – aplicare restricții în c.g. roți spate

Fig.5

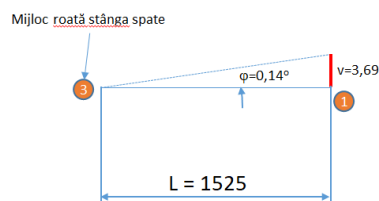


Fig.6

Date intrare:

Momentul de încovoiere:

$$M_i = 2F \cdot L = 6,1 \cdot 10^6 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

Ecartament: $E = 1146 \text{ [mm]}$

Ampatament: $L = 1525 \text{ [mm]}$

Deplasarea pe direcția forței: $v = 3,69 \text{ [mm]}$

Date ieșire:

Unghi răsucire șasiu în planul forțelor:

$$\varphi = 0,14^\circ$$

Rigiditatea torsională statică:

$$k = 542 \text{ [N/mm]}$$

Calcul analitic:

$$\varphi = a \tan \left(\frac{v}{L} \right) = 0,139^\circ$$

$$k = \frac{2F}{v} = 542 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

4. STUDIUL RIGIDITĂȚII DINAMICE A ȘASIULUI AUTOMOBILULUI DE CURSE

Explorarea rigidității dinamice a șasiului unui automobil de curse presupune o analiză detaliată a modului în care acesta reacționează la forțe și solicitări în mișcare. Acest tip de investigație se concentrează pe comportamentul șasiului în timp real pe traseul de curse, luând în considerare factori precum virajele, accelerațiile și frânările la viteze ridicate. Iată cum această abordare poate fi dezvoltată:

1. **Analiza dinamică în mișcare:** Stadiul de cercetare se concentrează asupra modului în care șasiul se adaptează la schimbările rapide ale condițiilor de traseu, cum ar fi forțele laterale, impactele, viteza variabilă și schimbările de direcție.

2. **Structură și materiale avansate:** Proiectarea și materialele folosite pentru șasiu trebuie să fie adaptate pentru a face față solicitărilor dinamice. Adesea, sunt utilizate materiale compozite de înaltă tehnologie, precum fibră de carbon, pentru a atinge un echilibru între rigiditate și greutate redusă.

3. **Simulări în timp real avansate:** Inginerii utilizează software-uri sofisticate pentru a efectua simulări în timp real ale răspunsului șasiului în condiții de curse. Aceste simulări furnizează date importante pentru identificarea zonelor vulnerabile

și pentru adaptarea proiectului pentru a face față solicitărilor dinamice într-un mod optim.

4. **Controlul comportamentului pe traseu:** Rigiditatea dinamică influențează semnificativ modul în care vehiculul se comportă în viraje și în condiții de traseu variate. Aceasta afectează distribuția forțelor și contribuie la menținerea stabilității și controlului asupra vehiculului.

5. **Obiectivul combinației de performanță și siguranță:** Dezvoltarea unui șasiu cu rigiditate dinamică corespunzătoare vizează atingerea unui echilibru între performanța vehiculului în condiții de curse și siguranța pilotului. O rigiditate excesivă ar putea compromite siguranța în caz de impact.

6. **Adaptabilitate pe trasee variate:** Întrucât automobilul de curse se confruntă cu trasee diverse, de la circuite asfaltate la trasee off-road, rigiditatea dinamică trebuie să fie proiectată pentru a face față acestor condiții variate.

Mod propriu 1 (Torsional): 39,85 Hz

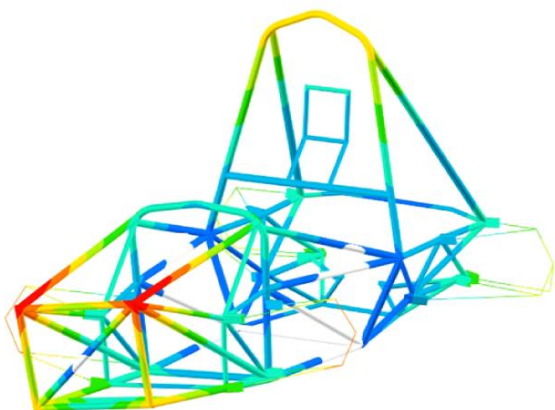


Fig.7

Mod propriu 2 (Încovoiere): 45,15 Hz

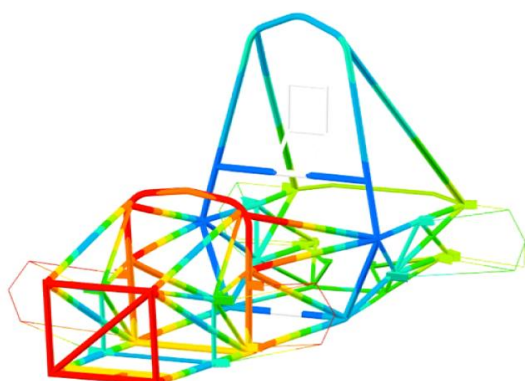


Fig.8

Calcul analitic:

$$J = \frac{\pi}{2} * (R^4 - R_2^4)$$

$$t_{max} = \frac{T * R_2}{J}$$

5. CONCLUZII

- **Hypermesh** a fost folosit pentru pre-procesare, **RADIOSS Solver** pentru rularea analizelor, iar **Hyperview** pentru etapa finală a procesului, pentru a realiza imagini și animații.

- Studiul designului pentru ansamblul șasiului a fost realizat pe baza unor **simulări numerice** utilizând metoda elementului finit (FE).

- Solicitarea din cazul încărcărilor de încovoiere este **mai mică** decât valorile încărcărilor de torsiune.

- Din punct de vedere dinamic, modul propriu 5 al vibrațiilor necesită atenție sporită, în special pe forma ce scote în evidență o rigiditate redusă în partea din spate, care poate produce astfel o vibrație în exces în timpul cursei. O **rigiditate crescută** ar trebui aplicată în această zonă prin adăugarea unor bare transversale.

- După introducerea șasiului în Hypermesh, am aplicat forțe asupra roților din față, cât și din spate.

- Pe roțile din spate s-au rezultat restricții de forțe, iar pe roțile din față s-au rezultat forțe în centrele de greutate .

- În final, studiul rigidității statice la torsiune și încovoiere a șasiului unui automobil de curse este esențial pentru performanța și siguranța acestor vehicule deosebit de specializate. Inginerii lucrează asiduu pentru a găsi echilibrul perfect între greutatea redusă și rigiditatea necesară, astfel încât mașinile să fie competitive pe pistă și, în același timp, sigure pentru piloți.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Geoffrey Davies, *Materials for Automobile Bodies*, 2012 Elsevier Lt.
- [2] Jason C. Brown, A. John Robertson, Stan T. Serpento, *Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals*, ISBN 0 7506 5134 2, Butterworth-Heinemann 2022
- [3] John Fenton, John Fenton, *Handbook of Automotive Design Analysis*, ISBN 9781483141640 Newnes publishing house, 2013
- [4] *FS-Rules_2023_v1.0 (Regulament formula student)*, 2023
- [5] <https://bluestreamline.ro/> (pagina echipei BlueStreamline), 2009
- [6] <https://www.global-formula-racing.com/en/formula-student/> , 2010
- [7] <https://altair.com/hypermesh> (programul folosit) 2021
- [8] https://elearning.unitbv.ro/pluginfile.php/502698/mod_resource/content/0/C3.Deplasari%20la%20bare%20drepte%20supuse%20la%20C3%AEncovoiere_curs.pdf (Curs de rezistența materialelor / formule aplicate) 2023

Despre autori

Maria IENE

Universitatea Transilvania din Brașov, România

Studentă la Universitatea Transilvania din Brașov, facultatea de Inginerie Mecanică, specializarea Inginerie Mecanică, anul III (Licență). În prezent fac parte din echipa Universității, BlueStreamLine.

Andra IENE

Universitatea Transilvania din Brașov, România

Studentă la Universitatea Transilvania din Brașov, facultatea de Inginerie Mecanică, specializarea Inginerie Mecanică, anul III (Licență). În prezent fac parte din echipa Universității, BlueStreamLine.

Andrei PÎRVAN

Universitatea Transilvania din Brașov, România

Student la Universitatea Transilvania din Brașov, facultatea de Inginerie Mecanică, specializarea Inginerie Mecanică, anul III (Licență). În prezent fac parte din echipa Universității, BlueStreamLine.