

# ADOTT GEOMETRIÁJÚ VERSENYAUTÓ ALVÁZ RÚD- ÉS HÉJMODELLJÉNEK VÉGESELEM ANALÍZISE

## FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A RACING CAR CHASSIS WITH GIVEN GEOMETRY BY BEAM AND SHELL MODELING

Fehér Lajos\*  
MSc hallgató

Dr. Pere Balázs\*  
egyetemi docens

Dr. Égert János\*  
egyetemi tanár

\*Széchenyi István Egyetem, Alkalmazott Mechanika Tanszék, H-9026 Győr, Egyetem tér 1.  
E-mail: feherlb@freemail.hu      perebal@sze.hu      egert@sze.hu

### ABSTRACT

The aim is to design an ultralight chassis for a racing car which is a very complex engineering problem. This can be prepared by a series of finite element (FE) analyses using different mechanical models. The paper shows numerical results for beam and shell modeling concerning a given racing car structure.

### 1. BEVEZETÉS

Járműszerkezeteknél a szerkezet tömegének minimalizálása kiemelt mérnöki feladat. Ennek egyik oka a tömegcsökkentéshez kapcsolódó súlycsökkenés, amivel a jármű mozgásához szükséges energiafelhasználás javítható. A másik ok az, hogy a tömegcsökkentéssel a hirtelen sebességváltozásoknál, azaz nagy gyorsulásoknál (fékezés, gyorsítás, kanyarodás) csökkennek a tömegek és így kisebb lesz a járműszerkezet terhelése és mechanikai igénybevétele.

A minimális tömegű, lehetőleg egyenszilárdságú alváz kialakítás eléréséhez alapos és részletes mechanikai (szilárdságtani) vizsgálatok szükségesek. Ezeket a szerzők rúd és héjmodelleket felhasználó végeelem analízissel végezték el. A cikk a numerikus vizsgálatok eredményeiből mutat be kiragadott szemelvényeket.

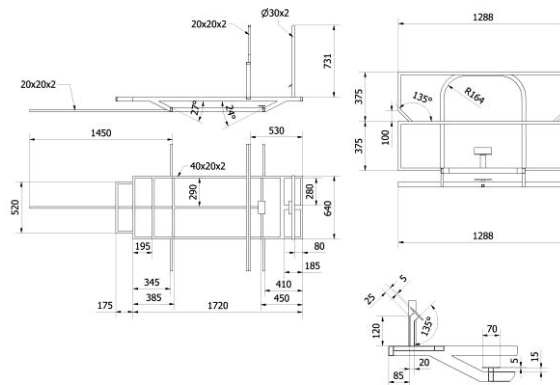
### 2. A FELADAT KITŰZÉSE

A mechanikai modellek kialakításához rendelkezésre álltak a versenyautó alvázának geometriai kialakítása és méretei. Az 1. ábrán látható geometria az alváz befoglaló méreteit és falvastagságát tartalmazza. Az alváz zárt szelvényű rudakból épül fel, amelyek megadott pontokban, kis felületeken kapcsolódnak a jármű más szerkezeti elemeihez.

A kitűzött feladatot többszintű mechanikai geometriai modellezéssel oldottuk meg:

1. modell: Végeelemes rúdmodell.
2. modell: Végeelemes héjmodell.

A második modell alkalmazása azt jelenti, hogy a héjmodell kevesebb egyszerűsítést, elhanyagolást tartalmaz a szerkezet geometriájára, anyagára és terhelésére vonatkozóan, mint a rúdmodell. Azaz a héj modell a szerkezet valóságos szilárdságtani viselkedését várhatóan jobb pontossággal és részletességgel írja le.



1. ábra. Az alváz geometriája

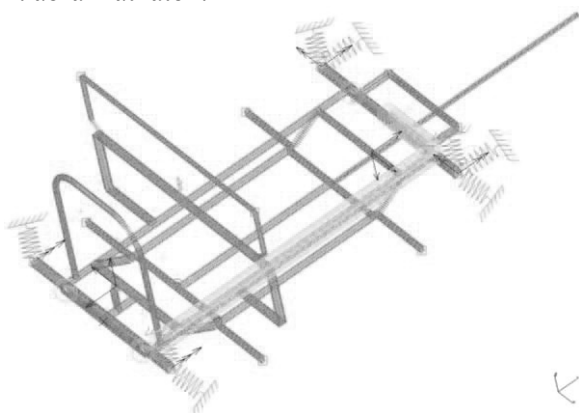
Az adott geometria esetén az alváz tömege acél anyagra  $m_{St}=55,6$  kg, ötvözött alumínium anyagra  $m_{Al}=19,19$  kg és szénszál, vagy szénszálzövet erősítésű epoxi műanyagra  $m_{Ce}=11,67$  kg. Látható, hogy a szerkezeti anyag megváltoztatásával már változatlan geometria mellett jelentős tömegcsökkentés érhető el. Kérdés, hogy az anyagváltoztatás nem okoz-e szilárdságtani problémát.

### 3. AZ ALKALMAZOTT MECHANIKAI MODELLEK

#### 3.1. Az alváz rúdmodellje

Rúdmodell esetén a rudakat a középvonalukkal helyettesítjük és a valóságos térbeli rúd mechanikai viselkedését jellemző mennyiségeket a középvonalhoz kötjük. A rúd keresztmetszetek alakját és méreteit a keresztmetszeti jellemzők (a keresztmetszet  $A$  területe,  $I_{\xi}$ ,  $I_{\eta}$  súlyponti

tengelyekre számított másodrendű nyomatéka és  $I_c$  csavarási másodrendű nyomatéka) tartalmazzák. Az alváz rúdmodelljének végeelem hálója és a modell (rugalmas) megtámasztásai a 2. ábrán láthatók.



2. ábra. A rúdmodell végeelem hálója

Az ábrán látható végeelem háló 2571 db rúdelemet és 2543 db csomópontot tartalmaz. A végeelemes felosztáson minden rúdelemre a hozzá tartozó keresztmetszet is fel van rajzolva.

Rúdmodellezés esetén a végeelem számításnál elsődleges ismeretlenként a középvonal elmozdulásait és a keresztmetszetek szögelfordulásait határozzuk meg (ezek a csomóponti paraméterek) és ezekből számítjuk ki elemszinten az igénybevételeket, továbbá keresztmetszetenként a feszültségeket (feszültség koordinátákat), illetve a feszültségekből a keresztmetszet veszélyes pontjában a *Huber-Mises-Hencky*-féle redukált feszültséget:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right]}$$

Rúdmodellel csak az izotróp anyagú (acél, alumíniumötvözet) szerkezeteket tudunk kezelni, azonban alkalmazása előzetes információ adhat a szerkezet veszélyes helyeinek feltárására.

### 3.2. Az alváz héjmodellje

Héjmodell esetén a rudakat a rúdszelvény középfelületével helyettesítjük és a valóságos térbeli héj mechanikai viselkedését jellemző mennyiségeket ehhez a középfelülethez kötjük. A héj 3D geometriáját a középfelület és a héj vastagsági mérete (a szelvény falvastagsága) határozza meg.

Héjmodellezés esetén a végeelem számításnál elsődleges ismeretlenként a középvonal elmozdulásait és szögelfordulásait határozzuk meg és ezekből számítjuk ki elemszinten az élerőket, élnyomatékokat, továbbá a feszültsé-

geket (feszültség koordinátákat) és izotróp anyag esetén a *Huber-Mises-Hencky*-féle redukált feszültséget a közép- és a két határoló felületen.

A héjmodell esetén a középfelülethez egy vagy több rétegű, rétegenként eltérő ortotróp anyagi tulajdonságú anyag is rendelhető. A héjmodell ezért az izotróp anyagú acél, vagy alumínium ötvözet és a rétegelt szálerősített kompozit anyag kezelésére is alkalmas. Rétegelt szálerősített kompozitok esetén a rétegenként kiszámított feszültségkoordinátákból leggyakrabban a *Tsai-Wu* tönkremeneteli kritérium alkalmazásával szokás ellenőrizni, hogy a szerkezet szilárdságtani szempontból megfelelő-e. Mi is ezt használtuk a számításoknál.

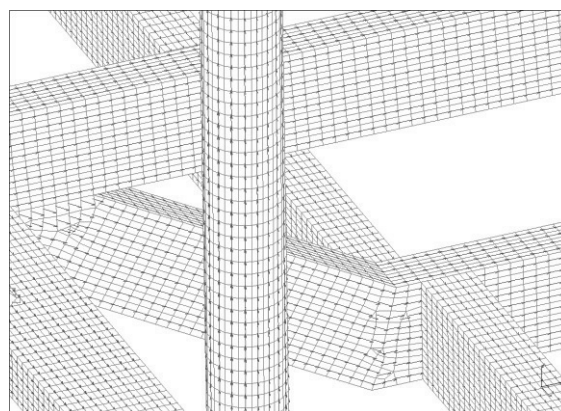
A *Tsai-Wu* kritérium:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 = K_{TW} \leq 1,$$

ahol:  $F_1 = \frac{1}{X_T} - \frac{1}{X_C}, F_2 = \frac{1}{Y_T} - \frac{1}{Y_C},$

$$F_{11} = \frac{1}{X_T X_C}, F_{22} = \frac{1}{Y_T Y_C}, F_{66} = \frac{1}{S^2},$$

$$F_{12} = \frac{1 - F_1\sigma_1 - F_2\sigma_2 - F_{11}\sigma_1^2 - F_{22}\sigma_2^2}{2\sigma_1\sigma_2}.$$



3. ábra. Az alváz héjmodelljének részlete

A héjmodell végeelemes felosztásának egy részlete látható az 3. ábrán. A végeelem háló 5 mm-es „vegyes” végeelemekből (háromszög és négyszög) áll és az egész alvázmodell összesen 110 097 db héjelemet és 109 262 db csomópontot tartalmaz.

### 3.3. A modellek terhelései

A modellezési részletkérdéseket, illetve a kritikusnak ítélt terhelések leírását a [4] közlemény tartalmazza.

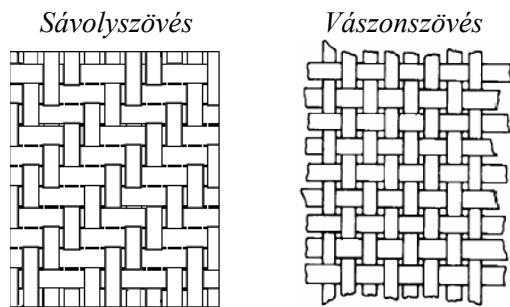
A végeelem analízist az alábbi kritikus terhelésekre végeztük el:

1. kritikus terhelés (KR1): véselfékezés – megcsúszási határeset.
2. kritikus terhelés (KR2): kanyarodás nagy sebességgel – kicsúszási határeset.
3. kritikus terhelés (KR3): véselfékezés nagy sebességgel történő kanyarodás közben – megcsúszási és kicsúszási határeset.

### 3.4. A felhasznált anyagok jellemzői

A végeelem számításoknál felhasznált anyagok jellemzői az 1. és 2. táblázatban találhatók.

Rétegelt kompozit anyagok viselkedése az egyes rétegek ortotróp anyagjellemzőivel adható meg, amit nemcsak az ebben az esetben alkalmazott szénszálak, illetve epoxi anyagjellemzői, hanem a szövés típusa is befolyásol. A rétegelt héjszerkezet anyagtulajdonságai ezen kívül még az egyes rétegek szálirányának változtatásával is módosíthatók.



4. ábra. Az alkalmazott szövési típusok

Az anyagjellemzőket a 4. ábrán látható szövési típusú szénszálzövettel erősített kompozit rétegre kísérleti úton határoztuk meg.

1. táblázat. Az izotróp anyagok jellemzői

	E [MPa]	$\nu$ [1]	G [MPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Al	72000	0,2963	27771,3	2700
Acél	206800	0,29	80155	7820

2. táblázat. A kompozitréteg anyagjellemzői

	Sávolszövés	Vászonszövés
$E_1=E_2$ [MPa]	35734	45514
$\nu_{12}=\nu_{21}$	0,07	0,06
$G_{12}$ [MPa]	2115	2722
$X_T=Y_T$ [MPa]	321	562
$X_C=Y_C$ [MPa]	521	580
S [MPa]	23	26,3
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1190	1230

Az 1., 2. táblázatban E a Young-féle, G a csúsztató rugalmassági moduluszt,  $\nu$  a Poisson-

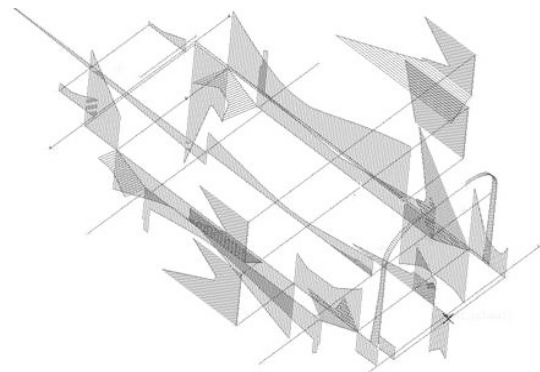
tényezőt,  $X_T$  a húzó-,  $X_C$  a nyomó-, és S a nyírószilárdságot,  $\rho$  pedig a tömegsűrűséget jelöli. Látható, hogy a két közel azonos tömegsűrűségű szénszövet erősítésű kompozit réteg közül a vászonszövésű lényegesen jobb anyag- és szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik.

### 4. A VÉGESELEM ANALÍZIS EREDMÉNYEI

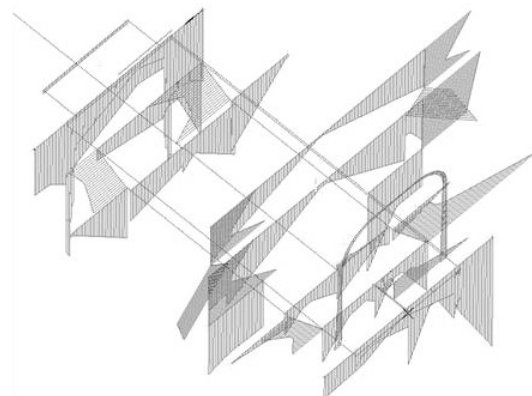
A numerikus vizsgálatokat acél és alumínium anyagot feltételezve mindkét mechanikai modell, rétegelt kompozit anyag esetén pedig a héjmodell felhasználásával végeztük el. Egyenszilárdságú szerkezethez úgy jutottunk, hogy a rétegelt kompozit héjmodellnél a rétegszámot és a rétegenkénti szálirányt módosítottuk több lépésben.

#### 4.1. A rúdmodell számítási eredményei

A redukált feszültségmaximumok eloszlásának jellege alumíniumra és acélra nagyon hasonló. A feszültség értékek azonban acél esetén kb. 20%-kal nagyobbak az alumíniumra kapottaknál. Ez részben a nagyobb tömegsűrűségből adódóan fellépő nagyobb tömegelemek, illetve az acél nagyobb rugalmassági modulusának következménye.

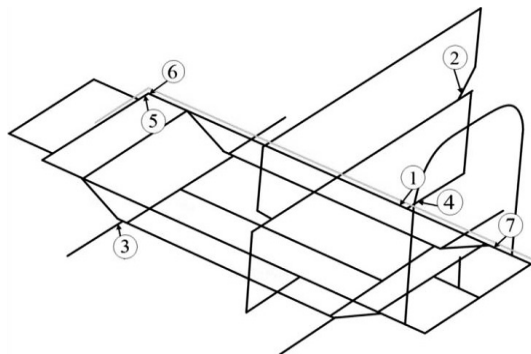


5. ábra. Redukált feszültség eloszlás a hossz- és függőleges tartókban a KR3 terhelésnél



6. ábra. Redukált feszültség eloszlás a kereszt tartókban a KR3 terhelésnél

Az 5. és 6. ábrán a maximális redukált feszültségek eloszlása látható.

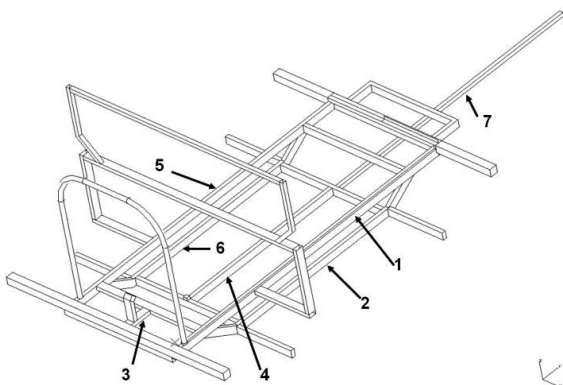


7. ábra. Az alváz veszélyes keresztmetszetei a KR3 terhelésnél

Az alvázban acél, illetve alumínium anyag esetén a KR3 terhelési esetben a 7. ábrán látható veszélyes keresztmetszetek közül az 5 és 6 jelűben lép fel a legnagyobb redukált feszültség.

#### 4.2. A héjmodell számítási eredményei

A héjmodellel végzett végeelem számítások eredményei közül néhány, az alváz hossztartóira vonatkozó számértéket mutatunk be. A kompozit anyag alkalmazásánál első lépésben 8 rétegű (2 mm vastagságú), minden rétegben a tartók középvonalával párhuzamos szálelrendezésű sávoly, illetve vászon szövésű szénszál-erősítést alkalmaztunk.



8. ábra. Az alváz hossztartóinak néhány kijelölt keresztmetszete

A 3. táblázat a 8. ábrán bejelölt helyeken mutatja be alumínium anyagra a maximális redukált feszültségek értékét.

#### 3. táblázat. Redukált feszültség alumíniumra

Hely	1	2	3	4	5	6	7
Terh.	$\sigma_{red\ max}$ [MPa]						
KR1	869	111	55	50	750	110	18
KR2	301	104	99	39	169	71	16
KR3	757	149	130	21	863	95	16

A 4., 5. táblázat a Tsai-Wu tényezőket tartalmazza a 8. ábrán bejelölt helyeken:

#### 4. táblázat. A Tsai-Wu tényezők sávoly szövésre

Hely	1	2	3	4	5	6	7
Terh.	$K_{TW}$ [1]						
KR1	1,39	2,2	0,68	0,02	1,35	2,35	0,04
KR2	1,87	1,11	0,87	0,03	0,8	0,85	0,07
KR3	2,13	1,47	1,51	0,03	1,74		

#### 5. táblázat. A Tsai-Wu tényezők vászon szövésre

Hely	1	2	3	4	5	6	7
Terh.	$K_{TW}$ [1]						
KR1	1,02	1,83	0,54	0,01	0,91	1,88	0,01
KR2	1,32	0,85	0,75	0,01	0,76	0,70	0,01
KR3	1,64	1,15	1,27	0,01	1,58	1,16	0,01

A táblázatokból az látszik, hogy az adott kritikus terheléseknél mindhárom anyag esetén tönkremenetel következik be. A 4. és 5. táblázatból az látszik, hogy a vászonszövésű szénszál erősítés szilárdságtani szempontból kedvezőbb, mint a sávoly szövésű.

A kompozit alváz további számításainál a szerkezetet úgy módosítottuk, hogy a kevésbé igénybevett tartóknál a rétegszámot csökkentettük, az erősen igénybevett tartószakaszokon pedig a rétegszámot növeltük, illetve azoknál a rudaknál, ahol a csavarás a domináns igénybevétel, a két szélső rétegben 45°-os szálirányítást iktattunk be.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásainkat és e publikáció megjelenését a "TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban" projekt támogatása tette lehetővé.

#### 5. IRODALOM

- [ 1 ] M Csizmadia B., Nándori E.: Modellalkotás, Mechanika mérnököknek, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003.
- [ 2 ] L.P. Kollár, G.S. Springer: Mechanics of composite structures, Cambridge University Press, 2003
- [ 3 ] H. Altenbach, J. Altenbach, R. Rikards: Einführung in die Mechanik der Laminat- und Sandwichtragwerke, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1996.
- [ 4 ] Égert J., Aczél Á., Fehér L., Körmendy Á.: Versenyautó alváz mechanikai modellezési lehetőségei és kritikus terhelései, Gép, 2011. 7.-8. sz. 43-48 old.