

# Tetőszilárdság számítása kisteherautóból átalakított autóbuszra

## Virtual roof-strength test for a bus converted from a van

Dr. VINCZE-PAP Sándor<sup>1</sup>, CSISZÁR András<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JÁFI-AUTÓKUT Mérnöki Kft., H-1115 Budapest, Csóka u. 7-13.

[vincze\\_pap@autokut.hu](mailto:vincze_pap@autokut.hu), [www.jafi-autokut.hu](http://www.jafi-autokut.hu)

<sup>2</sup>Meshinig Kft., H-9025 Győr, Illyés Gyula u. 5.

[andras.csiszar@meshining.com](mailto:andras.csiszar@meshining.com), [www.meshining.com](http://www.meshining.com)

### Abstract

*To create M2 category mini- and midibuses from 4.5-5 tons vans is a common method in practice. Due to this modification the converted buses or coaches must also have additional features that are not mandatory for trucks. The most important is the verification of the adequacy of the roof strength. For this, the superstructure has to be significantly modified. It can be fulfilled by increasing the stiffness of the various sub-assemblies with corner points or it can be done by installing stiffening frames that increase rollover safety. This paper shows a development example for the latter.*

**Keywords:** mini- and midibuses, roof strength, rollover safety

### Kivonat

*A gyakorlatban elterjedt módszer az M2 kategóriás mini- és midibuszok kialakítása 4,5-5 tonnás kisteherautókból. Ehhez az autóbusszá átalakított járműnek olyan plusz tulajdonságokkal is rendelkeznie kell, ami a teherautókra nem kötelező. A legfontosabb a tetőszilárdság megfelelőségének igazolása. Ehhez a felépítményt jelentősen át kell alakítani. Lehet a különböző részegységek, sarokpontok merevségének növelésével és lehet a borulásbiztonságot növelő merevítő keretek beépítésével. Utóbbira mutat egy fejlesztési példát a dolgozat.*

**Kulcsszavak:** mini- és midibuszok, tetőszilárdság, borulásbiztonság

## 1. A FELADAT

A városi, városközi és távolsági utasközlekedésben a rugalmas és költséghatékony utasszállítások igénye egyre inkább megköveteli a kisméretű 18-25 fő szállítására alkalmas kisbuszok forgalomba állítását. A nagyobb autóbuszgyártók ilyen jellegű 7-8 méter hosszú járműveket nem készítenek, ezért előtérbe kerülnek a viszonylag olcsóbb önjáró teherautó alvázra épített, dobozos felépítményű N2 kategóriás 4,5-5,6 tonna össztömegű áruszállító járművek. (Autóbuszok esetén 5 tonna össztömegig M2 kategóriásnak, 5 tonna felett pedig M3 kategóriásnak számít egy autóbusz.)

Az teherautó-autóbusz átalakítás különböző új követelmények szerinti megfelelőség biztosítását követeli meg a jármű átépítőtől (ablakbeépítés, ülésfogás, ajtónyitó rendszer, vészkijárat biztosítás, tetőszilárdság, ...). Ezek közül a legkritikusabb az EGB 66 számú európai járműelőírás szerinti megfelelőség követelménye, amelynek hatálya kitejed minden 16 főnél nagyobb utaslétszámmal közlekedő városközi és távolsági autóbuszra. [1]

Egy autóbusszá átalakított teherautó tetőszilárdságát kétféleképpen biztosíthatjuk:

- a felépítmény egyes csomópontjainak, legfőképp a padló- és tetőszintű csomópontjainak, ablakövi részeinek megerősítésével, ill.
- un. borulókeretek beépítésével a jármű mellső és hátsó részében.

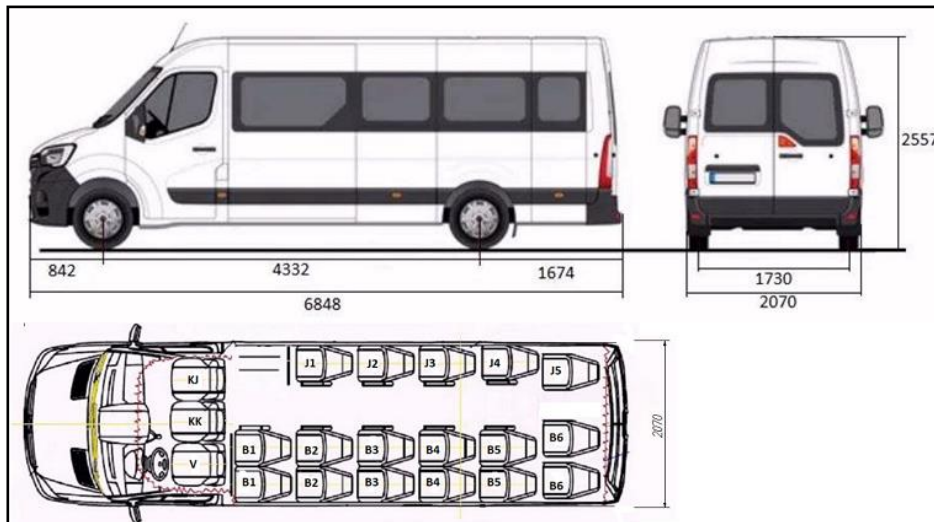
Az utóbbi módszer alkalmazására mutatunk be példát.

## 2. A VIZSGÁLT AUTÓBUSZ

### 2.1 Kiindulási jármű (max. össztömeg: 4500 kg)

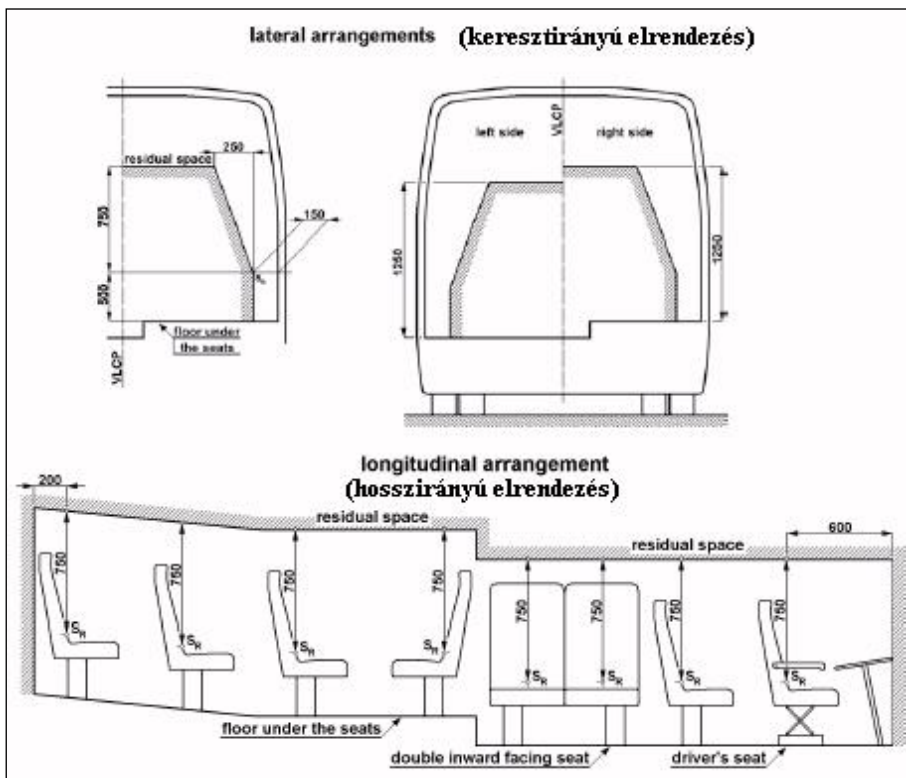
Az autóbusszá átalakított dobozos kisteherautó üléselrendezésénél 17 utas+2 kísérő+1 vezető elrendezésből indultunk ki. (lásd **1. ábra**). Ez az üléselosztás gyakorlatilag a technikailag megengedett tengelyterheléseken belül van, de az össztömeg így kevéssel meghaladja az össztömegre megengedett 4500 kg-

ot. A cél az volt, hogy a megerősítéseknél mindenképpen a biztonság irányába számoljunk, hogy az esetleges súlycsökkentő megoldások esetén (kisebb tömegű ülés, belső kárpit, légkondicionáló elhagyás...) is kiterjeszhető legyen az eredmény, a maximális ülésszámot kihasználva.



1. ábra

. A kiindulási jármű (kisteherautó) geometriai méretei és az átalakítással tervezett belső üléselrendezési vázlat



2. ábra

Az un. túlélési tér meghatározása

## 2.2 Tervezési, vizsgálati módszer

A tetőszilárdságra vonatkozó előírás szerint az autóbusz vázszerkezetének megfelelően szilárdnak kell lennie ahhoz, hogy a túlélési tér a teljes járművön, 800 mm magasságról, elvégzett borításos vizsgálat alatt és után sértetlen maradjon, azaz:

Az un. túlélési tér semmilyen része nem nyúlhat ki a deformálódott szerkezet körvonalából. A deformálódott szerkezet körvonalát sorban meg kell határozni minden szomszédos ablak- és/vagy ajtóoszlop

között. Két deformálódott oszlop között a körvonal az oszlopok olyan belső körvonalpontjait összekötő egyenes vonalakkal meghatározott elméleti felület, amely pontok a borításos vizsgálat előtt a padlósínt felett egyforma magasan voltak (2. ábra).

A megfelelőség igazolására a teljes jármű vagy karosszéria szegmensek borítóvizsgálata, ill. szimulációs eljárás is használható [2], [4].

Utóbbi módszert választjuk, hiszen ezzel mind a sikeres tervezés, mind a tetőszilárdság megfelelőség igazolása egyetlen eljárásban elvégezhető.

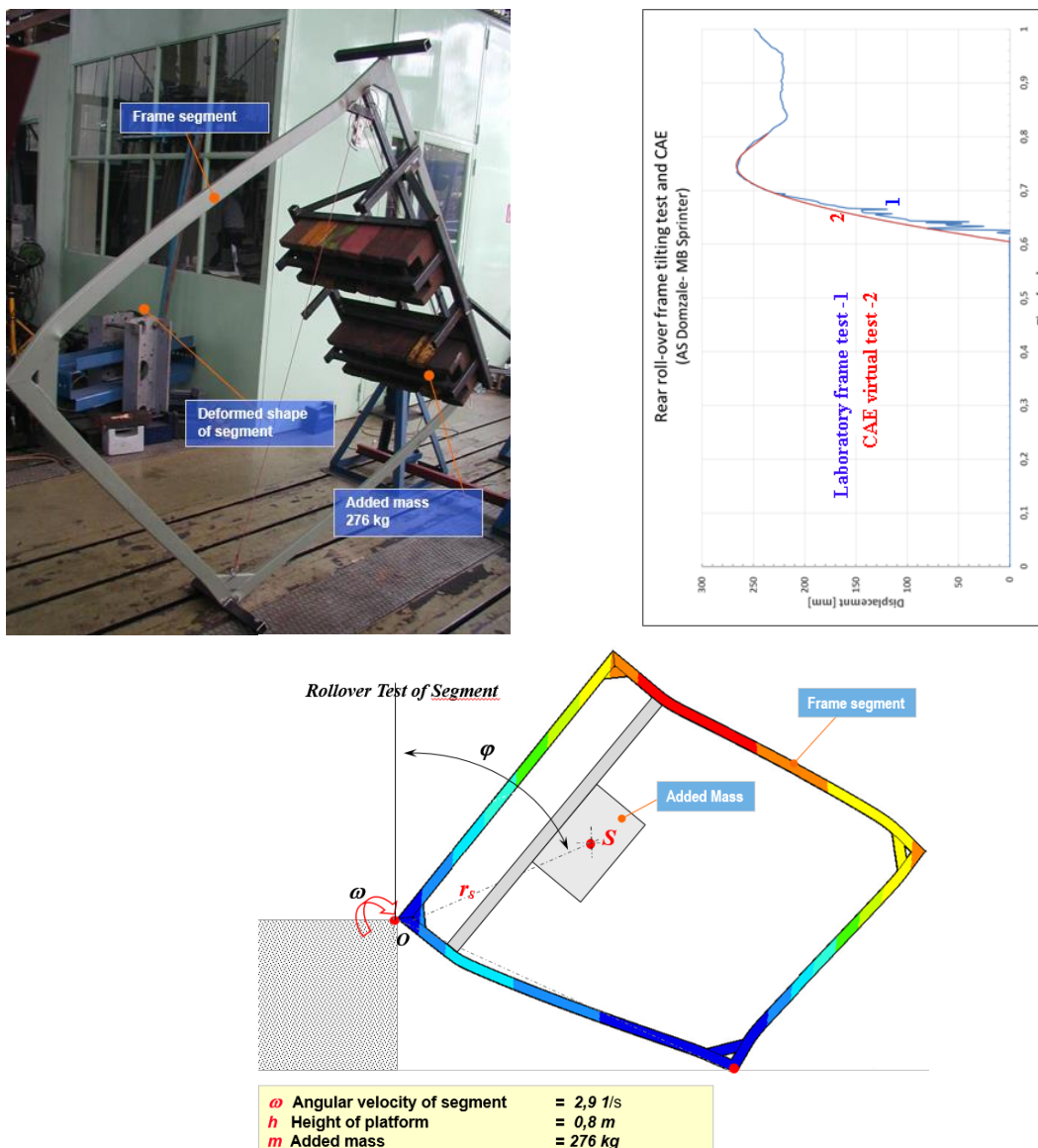
A szimulációs vizsgálatoknál használt szoftverek:

a. Hálózás, végelem modell összeállítása: BETA CAE System ANSA v16.2.2

b. Futtatás: ESI VIRTUAL PERFORMANCE SOLUTION 2016 (PamCrash 2016)

### 3. VALIDÁLÁSI LABORVIZSGÁLATOK, MECHANIKAI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

A JÁFI-AUTÓKUT laborjában speciális validálási tesztet is végeztünk a buszgyártó által legyártott és átadott vázszegegymensen. Egy tervezett hátfali merevítőkeret borító vizsgálatát hajtottunk végre. Ennek szimulációs vizsgálatait is elvégeztük az autóbusz borításos szimulációjának programjával és a szimulációs eredmény jó egyezőséget mutatott a valós kísérleti eredményekkel. (Az energia és a maximum erő eltérések 2%-on belül maradtak) (3. ábra).



3. ábra

Validálási vizsgálat: dinamikus laboratóriumi és virtuális összehasonlító vizsgálat borulókereten



4. ábra.

*A tervezett (kísérleti) ülésekkel beépített autóbusz előre bólintási tesztje*

A **4. ábrán** látható bólintási teszt a pontos súlypont meghatározásához szükséges. Bólintáskor a mellső kerekek felterhelődését mérjük, jelen esetben a maximális bólintási szög  $21,4^\circ$  volt. A tengelyterhelések: Mellső tengely: 1640 kg, Hátsó tengely: 1635 kg.

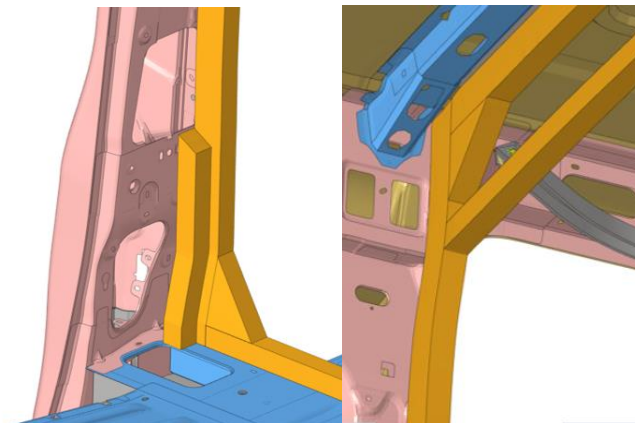
A kísérleti busz tömegének súlypontja:  $x=1770$  mm (a B tengelytől),  $y=12,8$  mm (középsíktól jobbra),  $z=980,1$  mm (talajtól).

#### 4. ELŐZETES SZIMULÁCIÓK

Először egy kísérleti szimulációt kell elvégezni a kiindulási dobozos kisteherautón, felsúlyozva az ülésekkel, aggregátokkal (légkondicionáló, fűtőkészülék, ...) és így meghatározni a deformációkat. A tervezett borulókeretek keresztirányú merevségének meghatározása (azok helyének pontosításával) ezután történhet. [3]

Következő lépés a keretek pontos geometria méretének, anyagának meghatározása.

Ezután következhet az első kvázi autóbusz változat szimulációja. A szimulációs eredmény ismeretében a keretek merevsége, ill. alakja még módosításra szorulhat. (Ez megtörtént jelen esetben is, mert a mellső borulókeretet át kellett tervezni a gyártó kívánságára, kábelezési és kárpitozási igények miatt (**5. ábra**).



5. ábra

*A tervezett mellső borulókeret alsó és felső sarokpontjai a tervezés és szimuláció első fázisában. (a hosszirányú kiterjedés, nem volt elfogadható a gyártóknak)*

##### 3.1 A kezdeti szögsebesség meghatározása

Az elnyelendő helyzeti energia az autóbusz instabil pozíciójából számítva

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h_1, \text{ ahol}$$

$m$  a járműtömeg,

$g$  a gravitációs állandó,

$h_l$  a tömegközéppont távolsága a talajtól a szabadesés kezdetekor.

A helyzeti energia átszámítása kinetikus energiára:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot \underline{\underline{\Omega}}^T \cdot \underline{\underline{\Theta}} \cdot \underline{\underline{\Omega}}, \text{ ahol}$$

$\underline{\underline{\Omega}}$  a szögsebesség vektor,  $\underline{\underline{\Theta}}$  az inercia tenzor.

Az "x" tengely körüli elfordulásnál a térbeli autóbusz súlypontjának "x" tengely körüli szögsebessége talajtéréskor:

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega = \sqrt{\frac{2mgr_s}{\theta_0} (1 - \cos \phi)} = \sqrt{\frac{2 * 3955kg * \frac{9,81m}{s^2} * 1,409m}{10318,68kgm^2} (1 - \cos 68,44^\circ)} = \frac{2,58}{s}.$$

Értékük a VEM modell x-tengelyre számított nyomatékából:  $\Theta_{xx} = 10200,57 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ .

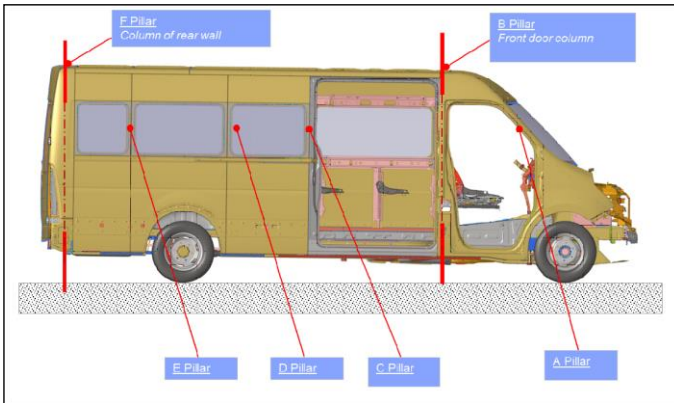
A kezdeti, elnyelendő energiát a talajtérés kori szögsebességből számoltuk:

$$E_{initial} = \frac{1}{2} \cdot \Theta_{xx} \cdot \Omega_x^2 = 34070,7 \text{ J (L4H2)},$$

a helyzeti energia érintkezéskor: 20256,8 J.

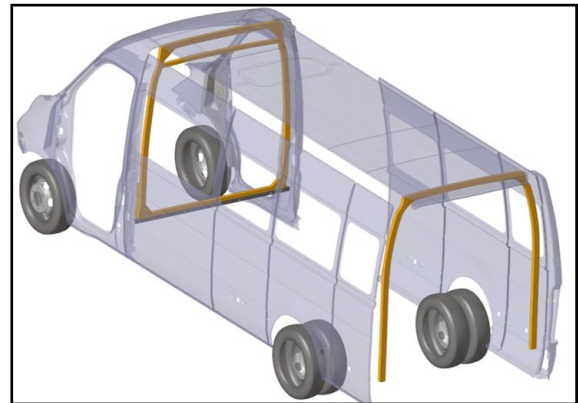
## 5. A MEGOLDÁS

Az autóbuszá átalakított jármű B és F keresztmetszetébe un. borulókereteket kellett beépíteni a szükséges tetőszilárdság biztosítására. (6., 7., 8. ábrák.) A zártszelvényű profilokból kialakított keretek össztömege: 58 kg (B oszlopi keret: 35,4 kg, F oszlopi keret: 22,6 kg).



6. ábra

A borítás szimuláció során vizsgált keresztmetszkek helye



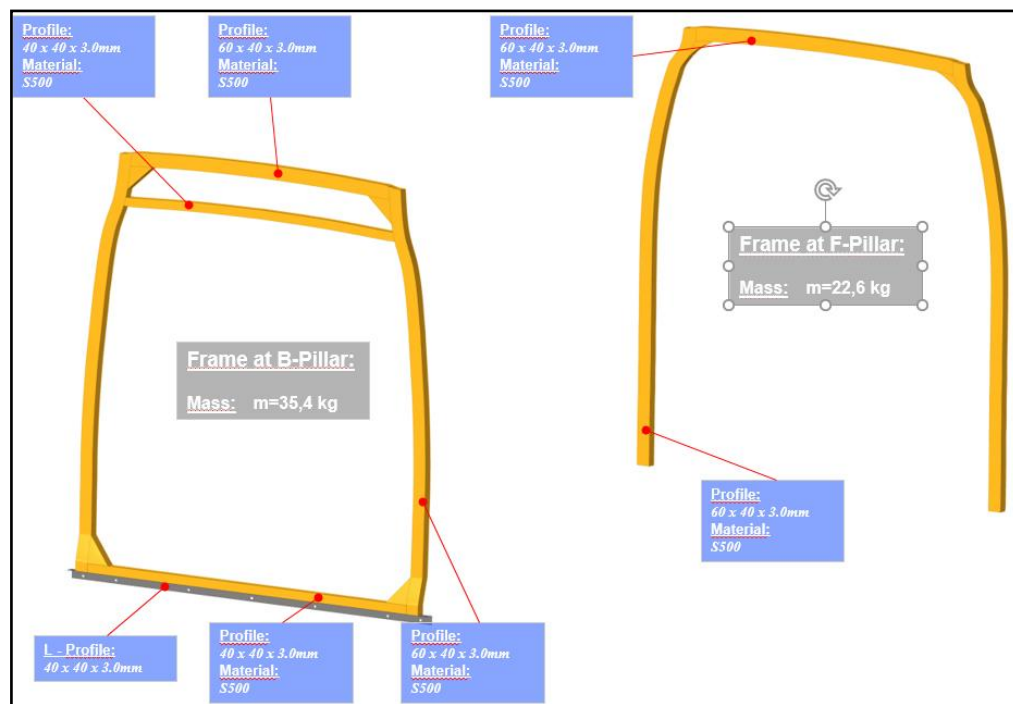
7. ábra

A B és F keresztmetszkekben beépített borulókeretek axonometrikus képei

Az ismételt, végső szimuláció a túlélési tér sértetlenségét igazolja. (1. táblázat).

| Keresztmetszet jele       | Túlélési tér felső sarokpontjának szabad távolsága az oldalfaltól [mm] | Túlélési tér alsó sarokpontjának szabad távolsága az oldalfaltól mm] |
|---------------------------|--|--|
| Mellső keret<br>B pillar  | 4,5  | 41   |
| Hátfali keret<br>F pillar | 15,2   | 61   |

1. táblázat Keresztmetszeti deformációk



8. ábra

A vázerősítéshez tervezett és beéptítendő szelvénymerovítések axonometrikus rajzai

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az autóbussok tetőszilárdságának fejlesztéseivel, vizsgálati módszereivel Magyarországon már közel 40 éve foglalkozunk. A vázszilárdsági megerősítések korábban csak akkor merültek fel, ha egy borulásbiztonságra megtervezett autóbuss mellő vagy hátsó része a megengedettnél nagyobb deformációt szenvedett el a vizsgálat során. Ekkor a szükséges vázerősítéseket (ha lehetett) számítógépes modellen végeztük el és így igazoltuk a megfelelőséget.

A dobozos kisteherautók sorozatos autóbusszá alakítása támasztotta azt az igényt, hogy tervezetten azokra a kisteherautókra végezzük el a szilárdsági megerősítés gyakorlati, sorozatátalakításra alkalmas változatát, azt a változatot, amely a legegyszerűbb és legolcsóbb vázerősítést jelenti. Erre mutat egy 2023-ban kidolgozott fejlesztési, tervezési példát a dolgozat.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] ENSZ-EGB 66 számú előírás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42011X0330%2801%29>
- [2] S. Vincze-Pap, A. Csiszár: Rollover Safety Increase and Adequacy for Buses due to the Laboratory Tests and Simulations (11<sup>th</sup> European Automotive Congress, 30 May-1 June 2007, Budapest)
- [3] J. T. Bai, Y. W. Li and W. J. Zuo: Cross-sectional shape optimisation for thin-walled beam crashworthiness with stamping constraints using genetic algorithm, *International Journal of Vehicle Design* (2017)
- [4] Zhilin Jin, Bin Li and Jingxuan Li: Dynamic Stability and Control of Tripped and Untripped Vehicle Rollover 2019 (SYNTHESIS LECTURES ON ADVANCES IN AUTOMOTIVE TECHNOLOGY, Springer)