



# JÁFI-AUTÓKUT MérnökiKft.

Az EU és az ENSZ EGB kijelölt járművizsgáló laboratóriuma (7/C)

1115 BUDAPEST, CSÓKA U. 7-13. ; ☎ : 203 7633, 203 7638

E-MAIL: [info@autokut.hu](mailto:info@autokut.hu) \* <http://www.autokut.hu>

## Új tetőszilárdság számítási módszer kidolgozása autóbusz vizsgálatokhoz

Szerző: Vincze-Pap Sándor Ph.D. ügyvezető igazgató (JÁFI-AUTOKUT Mérnöki Kft.)

Budapest, 2023. április. JÁFI-AUTOKUT Tudományos Közlemények. 2023. évi 2. szám

### Summary:

Based on the EGB 66 regulation, it became necessary to develop a new calculation method based on the application of simulation modeling in order to check the roof strength of buses. In this study, the author describes the new methods developed during the research and their application through practical examples.

Az EGB 66. számú előírás autóbuszok tetőszilárdságra vonatkozik, a 16-nál több utas szállítására alkalmas, M2 vagy M3 kategóriájú, a II. vagy III. osztályba vagy a B osztályba tartozó egyszintes merev vagy csuklós járművekre.

Az előírás által megengedett vizsgálati módszerek:

- a) Borításos vizsgálat mint alapvető jóváhagyási módszer (ld. Előírás 5. melléklet)
- b) Karosszériarészekon végzett borításos vizsgálat mint egyenértékű jóváhagyási módszer (ld. Előírás 6. melléklet)
- c) Karosszériarész kvázistatikus terheléses vizsgálata mint egyenértékű jóváhagyási módszer (ld. Előírás 7. melléklet)
- d) Alkatrészek vizsgálatán alapuló kvázistatikus számítás mint egyenértékű jóváhagyási módszer (ld. Előírás 8. melléklet)
- e) Teljes járművön történő borításos vizsgálat számítógépes szimulációja mint egyenértékű jóváhagyási módszer (ld. Előírás 9. melléklet)

### 1. Az új módszertani fejlesztések összefoglalása

- A d) és e) módszerek (alkatrész vizsgálat és elméleti számítás) egyesítéséből **új elméleti módszer kifejlesztését végeztük el.**  
(Példa számítás egy hazai cég által gyártott „A” típusú mini autóbusz alapján)
- A teljes körű borítási szimulációt általánossá tettük (Példa számítás)

### 2. Új elméleti módszer az autóbuszok tetőszilárdságának szimulációjához

A karosszéria elemek kvázistatikus vizsgálatán és annak kiértékelésén alapulóan új módszert dolgoztunk ki, amelynek lényege a következő:

Az előírás 8. melléklete tartalmazza a kvázistatikus számítás elveit, amelyek az autóbuszok terebélyes vagy síkbeli keresztmetszemeinek laboratóriumi hajlító vizsgálatán alapul.

Jelen esetben a kijelölt keresztmetszemeinek hajlító vizsgálatának számítógépes szimulációjának eredményeit használjuk fel.

Példaként egy átalakított „A” típusú **L4H2** autóbusz tetőszilárdságát számoltuk ki ezzel a módszerrel.

Jelen elméleti módszerünknel két közelítéssel éltünk:

- a. A poliészter alapanyagú műanyag tető merevségét (amely hét darab 65x55x2 mm terebélyesített műanyag tetőbordával is merevítve van és alakzáróan ragasztva, ill.

csavarkötéssel rögzítve az oldalvázakhoz) egyen merevségűnek vettük a hasonló kialakítású 1 mm vastag lemezszerkezetű tetővázakkal.

b. Egy korábbi, a jelenlegi vázkeretekhez nagyban hasonló „B” típusú autóbussz vázkereteinek Ansys programmal történő számítási eredményeit használtuk fel a szimulációs számításához. (4-7. ábrák.)

A valós talajérést szimulálva a keresztsgemenseket a tetőélen megtámadva, fokozatosan növekvő erőterhelést alkalmaztunk és VEM (*Ansys*) program segítségével határoztuk meg az erő-elmozdulás függvényeket. Az ellenőrző számítás felépítése egyébként megegyezett a kvázistatikus laboratóriumi vázkeret vizsgálatoknál korábban követett módszerrel.

### A modell felépítése, kiindulási adatok

Az elkészült menetkész, üres autóbussz tömege mérlegelés alapján: 2930 kg. (ld. 8. ábra-Mérlegjegy.)

Az autóbussz üléseit biztonsági övvel szerelték, ezért boruláskor az utasok bizonyos tömeghányadát is bele kell számolni az aktív tömegbe. A 19 fő utas +1 fő vezető tömegterheléséből a legújabb tetőszilárdsági megközelítés (EGB 66.02 sz. előírás szerint) – merev lekötés esetén- személyenként 34 kg adódik hozzá az 2930 kg alapterheléshez és így a boruláskor figyelembe veendő utasterhelés: 680 kg. Tengelyekre szétosztva:

$m_a =$	1492 kg
$m_b =$	2118 kg
-----	
$m_{össz} =$	3610 kg

Az elnyelendő energia az előírás 8. melléklet 3.1 pontja szerint:

$E_T = 0,75 M \cdot g \cdot \Delta h$ , ahol:

$M = M_k$  a jármű menetkész saját tömege, ha nincs benne utasbiztonsági berendezés, vagy

$M_t$  a jármű tényleges össztömege, ha utasbiztonsági berendezéssel szerelték fel

$g$  = gravitációs állandó

$\Delta h$  = a jármű tömegközéppontjának függőleges elmozdulása (méterben kifejezve) a borításos vizsgálat alatt, (7. melléklet 1. függeléke szerint)

Jelen esetben az „A” típusú autóbussz esetében a következő összefüggéssel számolhatjuk az elnyelendő energiát:

$$E_T = 0,75 M_t g (\sqrt{W^2 / 4 + H_s^2} * -W / 2 \sqrt{H^2 - 0,8^2} + 0,8 H_s / H) \text{ [Nm]}$$

ahol:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2,$$

$W = 2070 \text{ mm}$  - a jármű szélessége,

$H = 2750 \text{ mm}$  - a jármű magassága (a légkondicionáló magasságát nem számítva),

$M_t = 3610 \text{ kg}$ ,

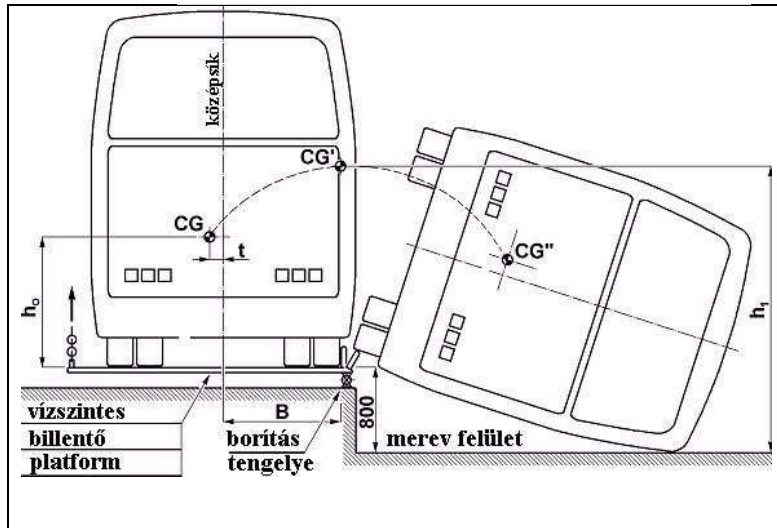
$H_g = 1100 \text{ mm}$ , - üres járműegység súlypontjának korábbi, hasonló buszokkal elvégzett billentő vizsgálatokkal kapott magassága.

Ezekkel az értékekkel kapjuk  $E_T^* = 22315 \text{ [Nm]}$  adódik, ami a helyzeti energia a tetőél felütközéséig számítva. Számítási görbéink alapján a felütközés utáni deformáció miatt

bekövetkező további súlypont csökkenés mintegy 105 mm, ami az elnyelendő energiát növeli, ezt a súlypont csökkenést is beleszámítva a szimuláció során elnyelendő energia mennyisége

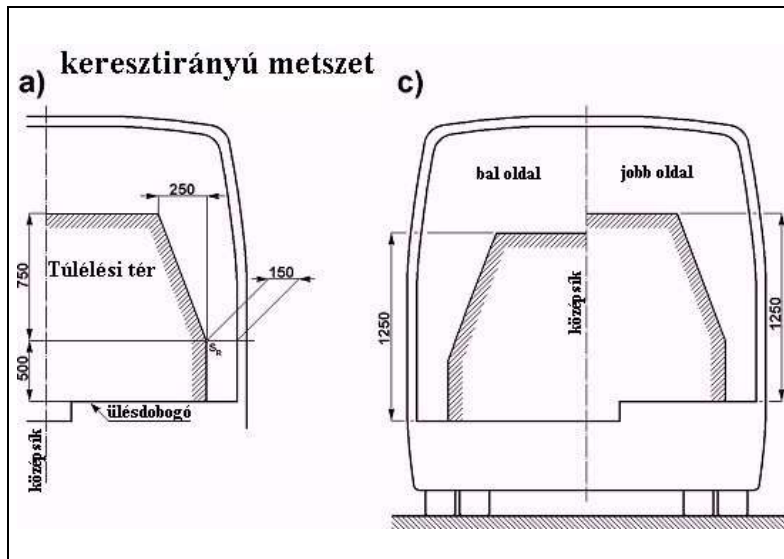
$$E_T = 22\,816 \text{ Nm.}$$

Ekkora elnyelendő energiával kell számolni.



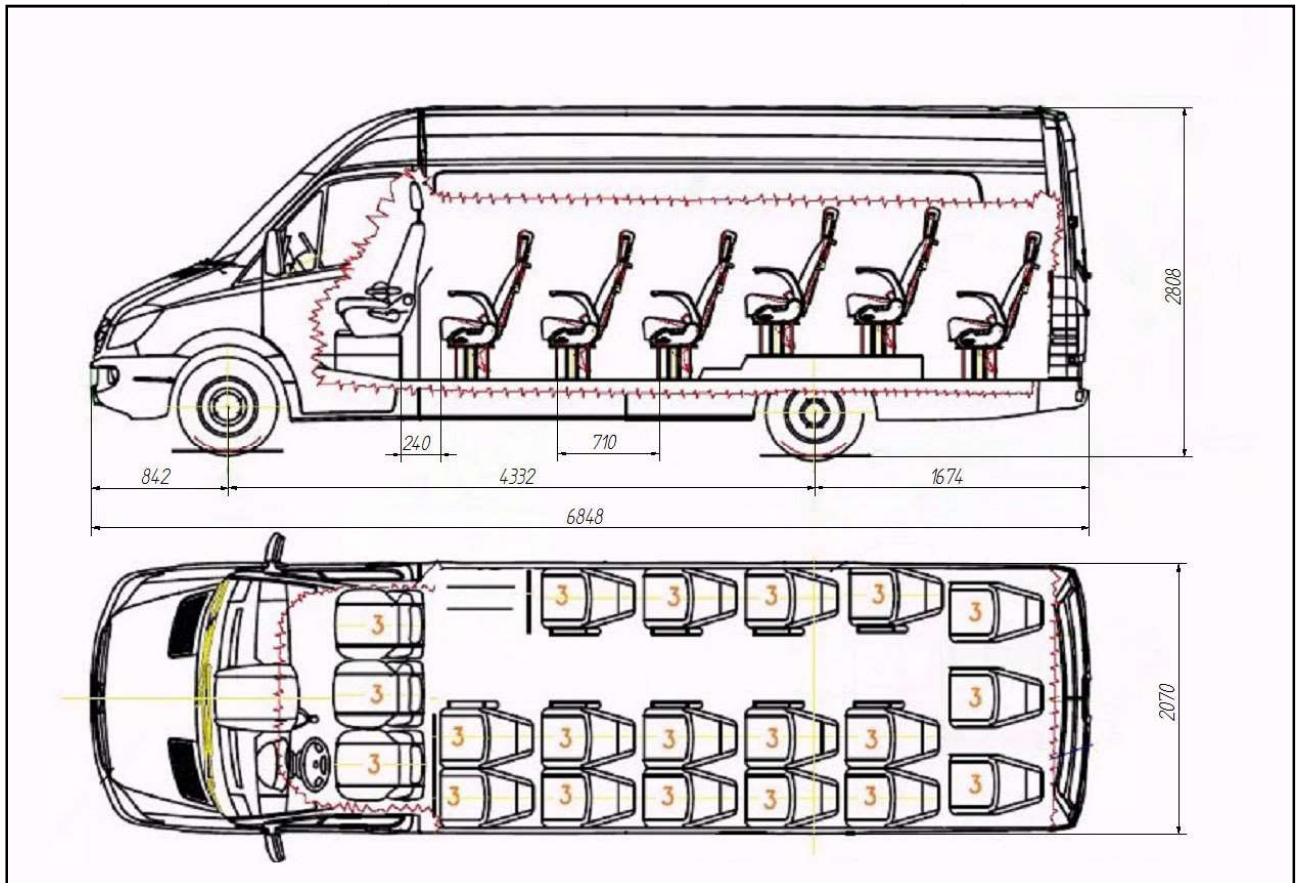
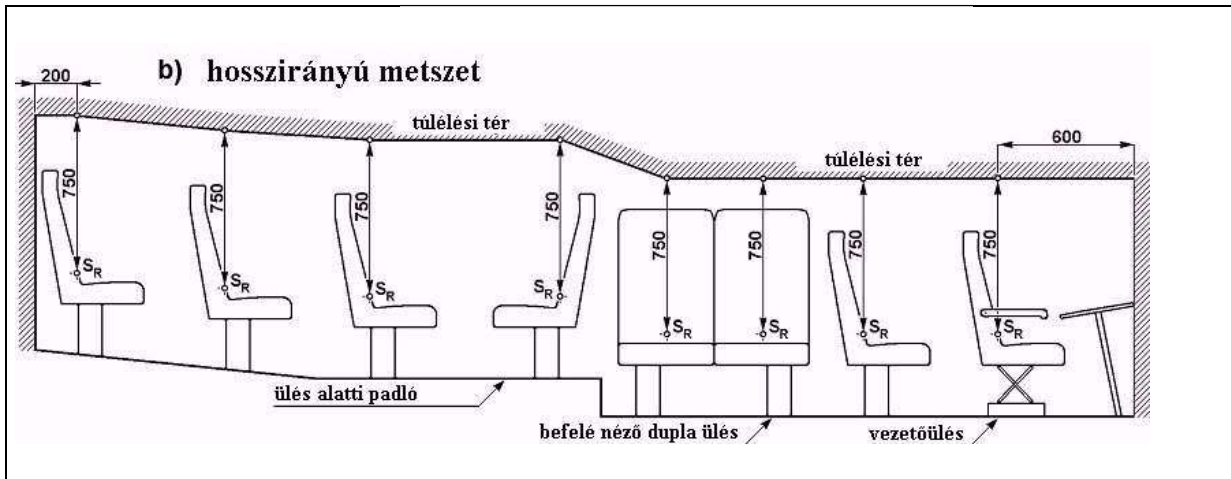
**1. ábra**

Az EGB 66.02 számú módosított előírás alapelrendezése



**2. ábra**

A túlélési tér jellemzői



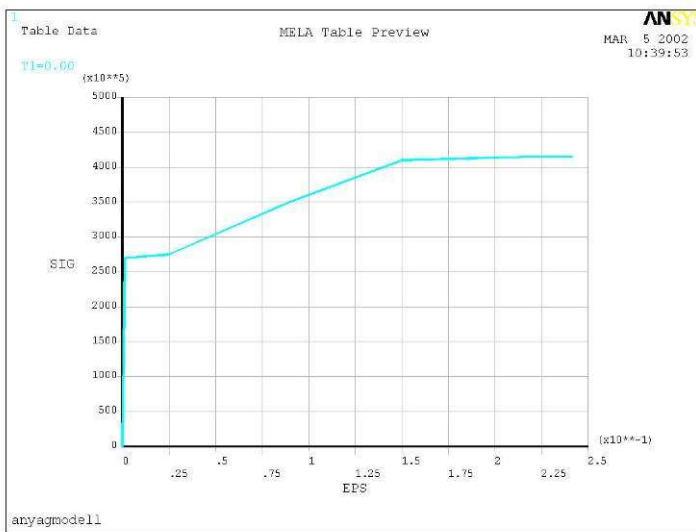
**3. ábra**

A vizsgált „A” autóbusz jellegrajza, üléselrendezése a számításban figyelembevett síkbeli vázkeretek (G1-G5) bejelölésével

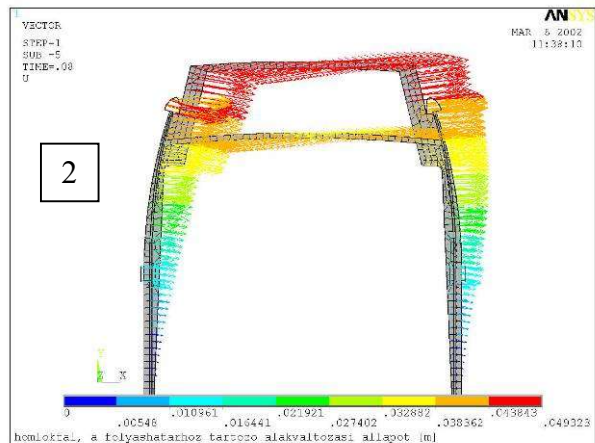
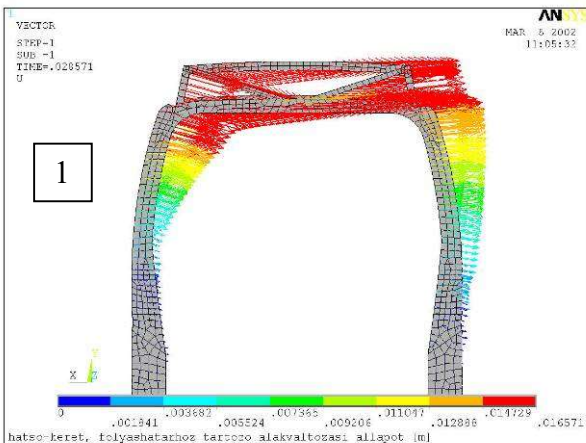
Az autóbusz jellegrajzát a számításba vett keresztmetszetekkel a **3. ábrán**, a közelítő-erő deformáció diagramokat a **7. ábrán** rajzoltuk fel.

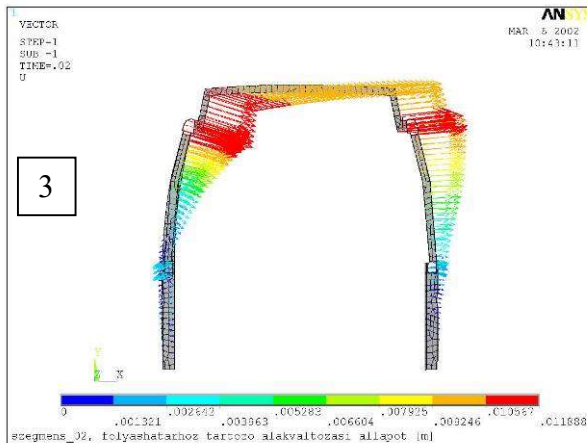


**4. ábra**  
A számításban figyelembe vett mellső vázkeret, ablakkeret és hátsó vázkeret térbeli modellje



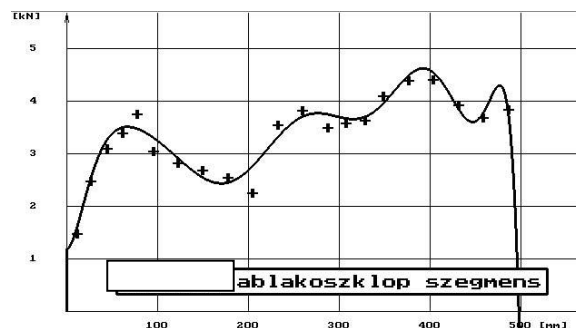
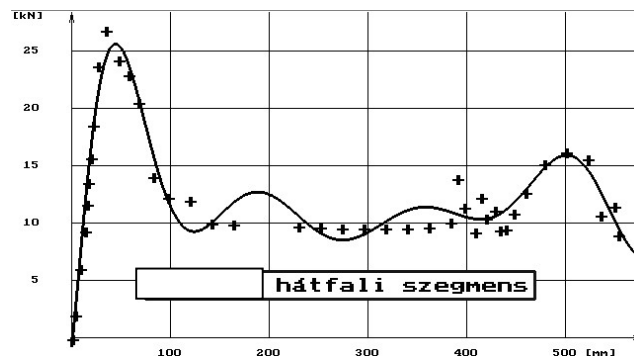
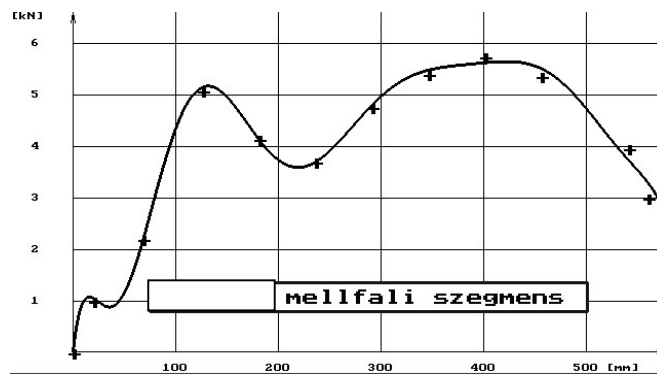
**5. ábra**  
A VEM számításban használt anyagmodell





6. ábra

A keresztaszegmensek végesselemes analizisében a folyáshatárhoz tartozó állapotok (1: hátfal, 2: homlokfal, 3: ablak)



7. ábra

A keresztaszegmensek erő-elmozdulás függvényei a 11-ed fokú közelítő polinommal

keret jele „A” MC	A tengelytől mért előjeles távolság ( mm)
G1	1350
G2	2960
G3	3850
G4	4950
G5	5610

**1. táblázat**  
**Autóbusz vázkeretek A tengelytől mért távolsága**

A **3. ábrán** látható módon az autóbuszt 5 darab keresztaszegmensre bontottuk, amelyeknek a súlyponttól számított távolságait a **1. táblázatban** tüntettük fel. Az egyes keresztaszegmensek feltételezett képlékeny csuklóinak padlószinttől mért magassága:

homlokfali szegmens	(képl. csukló):	630 mm
ablakoszlopok	(képl. csukló):	800 mm
hátfali szegmens	(képl. csukló):	740 mm

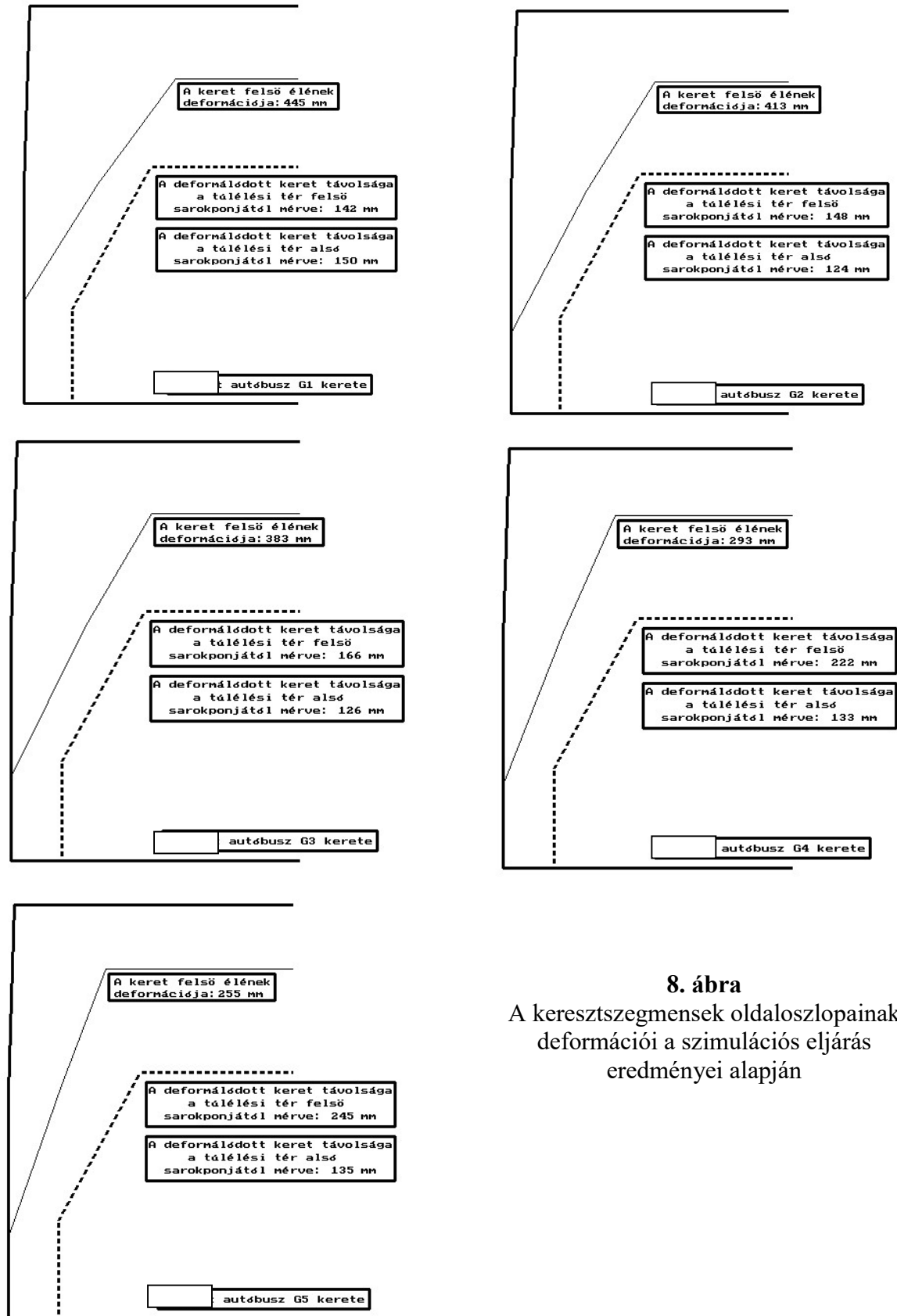
Elvégezve a számításokat, a **2. táblázat** a tetőélnél levő keresztaszegmens pontok deformációs elmozdulásait ill. a deformálódott vázkeretek jobb oldali oszlopainak az elméleti túlélési tér felső és alsó sarokpontjaitól számított távolságait tartalmazza a vizsgált típusra.

Keretek Jele	Tetőélnél mért deformáció [mm]	Távolság a túlélési tér felső sarkától [mm]	Távolság a túlélési tér alsó sarká- tól [mm]
G1	445	142	150
G2	413	148	124
G3	383	166	126
G4	293	222	133
G5	255	245	135

**2. táblázat**  
**Vázkeretek sarokpontjainak deformációs elmozdulásai**

A számítógépes eredmények geometriai megjelenítését a **8. ábra** tartalmazza.





**8. ábra**

A keresztmetszensegek oldaloszlopainak deformációi a szimulációs eljárás eredményei alapján



Az Előírás szerint elvégzett ellenőrzésnél az utasok számára kijelölt túlélési tér a deformációs folyamat során sértetlen maradt, a tárgybeli „A” típusú autóbusz megfelel az ENSZ-EGB 66. 02 Előírás követelményeinek.

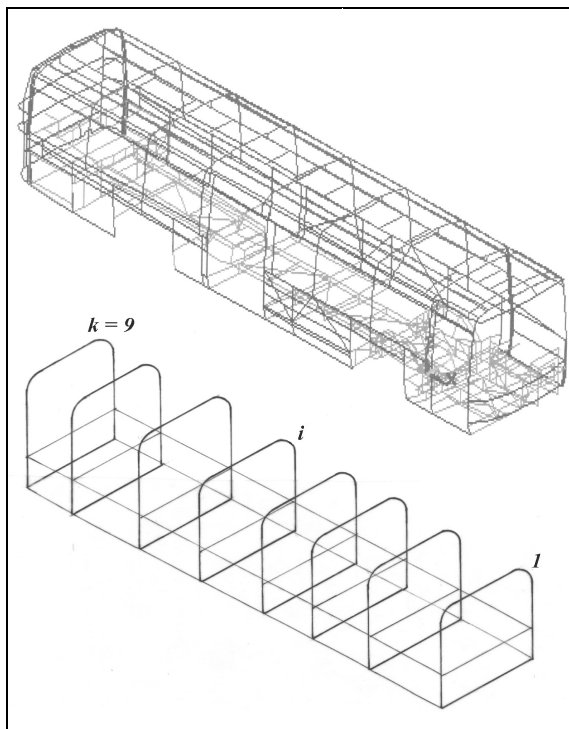
### 3. Modulrendszerű számításos módszer általánossá tétele

Az előző elméleti számításos módszer általános felépítésének alapját az autóbusz modulrendszerű elosztása adja, amelyre általánosan is megfogalmazhatjuk a feltételrendszert.

Az autóbust un. keresztaszegmensekre osztjuk fel, modulrendszerű vázkeresztmetszeti szegmensekből indultunk ki. Az alapelv egyszerű:

A komplett jármű borulásakor a járműszerkezet keresztirányú merevségét adó vázszegmensek határozzák meg a jármű energiaelnyelő képességét. Ezek a keresztirányú síkban elhelyezkedő vázszegmensek tartalmazzák a fenékváz (alváz) kereszttartóit, az oldaloszlopokat, ablak (ajtó) oszlopokat, tetőbordákat a hozzájuk tartozó lemezelésekkel együtt.

A keresztirányú síkban elhelyezkedő vázszegmensek (továbbiakban röviden: vázszegmensek)- homlok- és a hátfalat kivéve - tökéletesen modellezhetők síkbeli keretként. A mell- és a hátfali részek, mint hosszirányban is terebélyes elemek, a merevségi (vagy tömeg) középpontjukba redukált síkbeli keretekkel helyettesíthetők, amely keretek merevségi és energiaelnyelési jellemzői megegyeznek a kiindulási kiterjedt hosszgeometriájú mell- és hátfali részek jellemzőivel.



**9. ábra**

Egy autóbusz felépítményének felbontása (k darab) elméleti síkbeli keresztaszegmensekre

A közelmúltban lezárult kutatómunkánk keretében a JÁFI-AUTÓKUT egy speciális karosszéria szegmensek hajlítóvizsgálatán alapuló iterációs számítási módszert dolgozott ki.

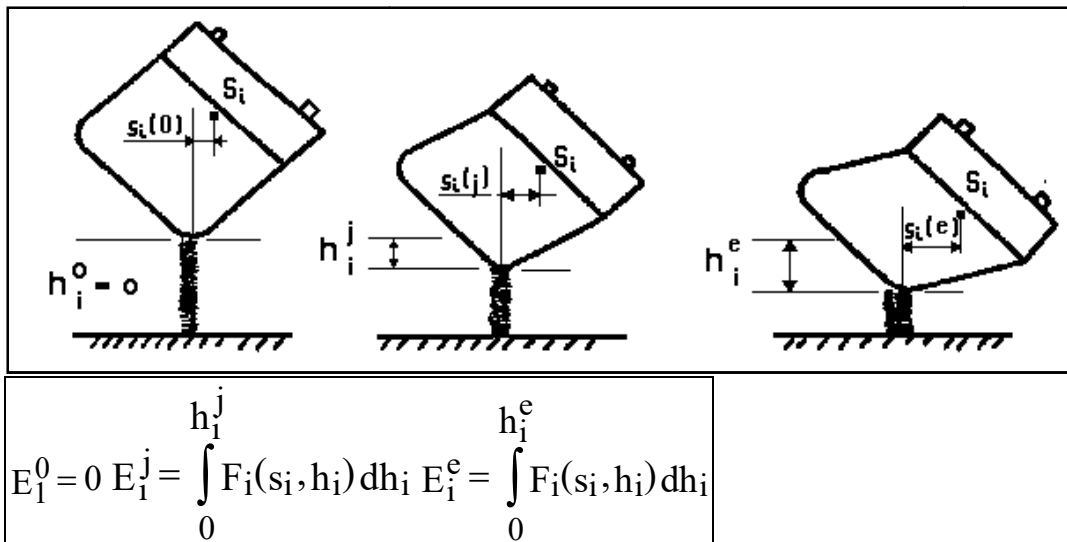
Feltételezések:

- Alapfeltétel, hogy a tetőél a szimuláció során mindvégig lineáris -egyenes vonalú-maradjon!
- A vázszegelemek torziós elcsavarodása a jármű csavaró merevségének a függvénye, merev fenékváz (vagy tetőváz!) járművek esetén elhanyagolható.
- Az algoritmus alkalmas a vázszegelemek súlyponton átmenő hosszirányú tengelyre számított lehetséges elcsavarodásának figyelembevételére is. A feladatban a járműegységekre vonatkoztatva állandó csavaró merevséggel számoltunk a hossz tengelyek mentén.
- A módszer lehetővé teszi az oldaloszlopok átterhelődésének figyelembevételét is. Adott deformáció és szögelfordulás után a talajjal való érintkezés a tetőélről átranzformálódhat az ablakövre. (Az elvégzett vizsgálatok felvételei alapján a vizsgált járművek maximális deformációi már azelőtt kialakultak, mielőtt az ablakövek érintették volna a talajt. Természetesen elképzelhető gyenge vázfelépítményű, magas építésű autóbusz ilyen feltételekkel.)

### Számítási algoritmus ismertetése

A borulásos baleseti szituáció teljes energiaelnyelési folyamata ábrázolható nem lineáris rugalmas megtámasztásaként. A  $k$  darab vázkeret deformációs elmozdulását ugyancsak  $k$  darab nemlineáris rugóval modellezhetjük. A teljes váz véges csavaró merevségét figyelembe véve a vázrészek egymáshoz képest elfordulnak.

(Jelen ábránkban a deformációkat - a jobb szemléltethetőség kedvéért - kétszeresen tüntettük fel, mind a rúgóknál, mind a keresztsegelemek rajzainál.)



10. ábra

A borulás folyamatában az egyes keresztsegelemek deformációját nemlineáris rúgó összenyomódásokkal modellezzük.

Jelölések:

$i$  - a keret sorszáma = 1,2,...,k

$k$  - a keret száma

$j$  - a borulás kezdetétől eltelt idő (s)

0 - a kezdeti pillanat

$e$  - teljes idő

$h_j^i$  - az  $i$ . nemlineáris rugó  $j$ . időpontban mért összenyomódása;

$E_j^i$  - az  $i$ . rugóban felhalmozott energia a  $j$ . időpontban;

$s_i$  - az  $i$  keret súlypontjának vízszintes elmozdulása.

A számításos eljárás lépései a következők:

**a)** A földet érés pillanatában - az elnyelendő energia függvényében - a következő tényezők ismertek ill. előzetesen meghatározottak.

$v_s^0$ ,  $a_s^0$ ,  $\omega_s^0$ ,  $\varepsilon_s^0$ , ... $\Theta_0$ ,  $J$ ,  $M$ ,  $E$ , tényezők, ahol

$v_s^0$  - a jármű súlypontjának sebessége,

$a_s^0$  - a jármű súlypontjának gyorsulása,

$\omega_s^0$  - a jármű keresztirányú súlyponti tengelyre számított szögsebesség,

$\varepsilon_s^0$  - a jármű keresztirányú súlyponti tengelyére számított szöggyorsulása,

$\Theta_0$  - a tehetetlenségi nyomaték a hosszirányú súlyponti tengelyre,

$J$  - a csavaró merevségi tényező a jármű hossz tengelyére számítva,

$M$  - a teljes váztömeg,

$E$  - a teljes elnyelendő energia.

A vizsgálandó időtartamot kicsiny  $\delta t$  időintervallumokra ( $\delta t = 0,001$  s) osztjuk és ez idő alatt a rendszerre ható erőket állandónak vesszük.

**b)** A mozgásegyenletekből meghatározhatóak a rendszer újabb mozgásjellemzői ( $h$ ,  $v_s$ ,  $a_s$ ,  $\omega_s$ ,  $\varepsilon_s$ ,  $\alpha$ ,) ahol

$\alpha$  - az aktuális erőhatás irányának a kiindulási erőhatás irányával bezárt szög a jármű koordináta-rendszerében.

**c)** A kiszámított elmozdulásokhoz az  $F_i(h_i)$  görbék alapján hozzárendelhetők az új erők és azokat állandónak tekintve meghatározhatóak az újabb mozgásjellemzők.

Az iterációs algoritmussal kiszámolható minden egyes  $i$ . síkkeret tetőélének  $h_v^i$  maximális deformációja. Ezek értékeiből a fizikai kísérletekben megállapított képlékeny csukló magasságok figyelembevételével megállapítható az adott síkbeli (vagy síkbelinek modellezett) vázszegegens deformációs alakja, geometriailag ábrázolható és numerikusan is kalkulálható a deformált keret illetve az elméleti túlélési keret egymástól való távolsága.

### Kvázistatikus hajlító vizsgálatok a számításhoz

A vázszegegens képlékeny csuklóinak borulásakor történő stabilitásvesztés módozatai jól megegyeznek ugyanezen szegegens kvázistatikus hajlítóvizsgálatok fellépő stabilitásvesztés módjaival.

A laboratóriumi vizsgálatkor minden szegmenst a tetőélnél támadunk meg a vízszintes síkkal a teljes jármű borításakor fellépő elméleti első érintkezési szöggel bezáróan. (Kezdetben 20-25<sup>o</sup>-os induló terhelő erőszöveget alkalmaztunk.) A szegmensek a talajhoz rögzítettek a legelső kereszt- ill. hossztartójuknál fogva. (11. ábra.)



11. ábra  
„C” autóbusz keresztaszegmensek vizsgálatáról  
készült képek

A gyártási technológiának jelentős befolyása van a vázszegmensek keresztirányú merevségére, a stabilitásvesztési folyamat anyag- és gyártástechnológia függő. (Jelen módszernek óriási előnyét és megbízhatóságát a teljes egészében végeselemes módszerekhez képest az adja, hogy itt a valós gyártástechnológiával készült vázszegmenseket vizsgáljuk!)

A mellső és hátsó szélvédő merevítő hatása szintén figyelembe vehető (ezt laboratóriumi vizsgálatoknál is megtehetjük) vagy el is hanyagolhatjuk.

A tetőélnél támadó erő függvényében az elmozdulásokat két helyen mérjük: a tetőél közvetlen környezetében és a feltételezett alsó képlékeny csukló fölött.

Az erő-elmozdulás mérési pontok legalább 11-ed fokú polinomokkal vagy "spline"-okkal közelíthető.

A szegmensek az erőterhelés pontossága és jobb kézben tartása céljából duplázottak. A kezdeti terhelés geometriájának rögzítésével az erőterhelés iránya a deformációs folyamat során pontosan számítható.

### „C” autóbussz tetőszilárdság számítása (példa)

Számítási eljárásunknak megfelelően a 10 m hosszú autóbusszt 4 db terebélyes vázszegmenssel modelleztük.

A **12. ábra** a „C”, autóbussz jellegrajzát, valamint az egyes vázkeretek elhelyezkedését mutatja.

Az autóbussz egyes vázkereteinek jellege a következő:

G1: homlokfali szegmens vezetőterrel, szélvédőkerettel és a jobb első ajtó oszlopaival

G2: általános ablakkeret + ablakkeret szegmens

G3: duplázott ajtókeret – ablakkeret szegmens (kapaszkodó csövekkel)

G4: hátfali keret vészkijáratú ajtóval

(A síkbeli G2 számú ablak-ablakkeret kivételével a többi szegmens terebélyes, térbeli vázegységet jelent.)

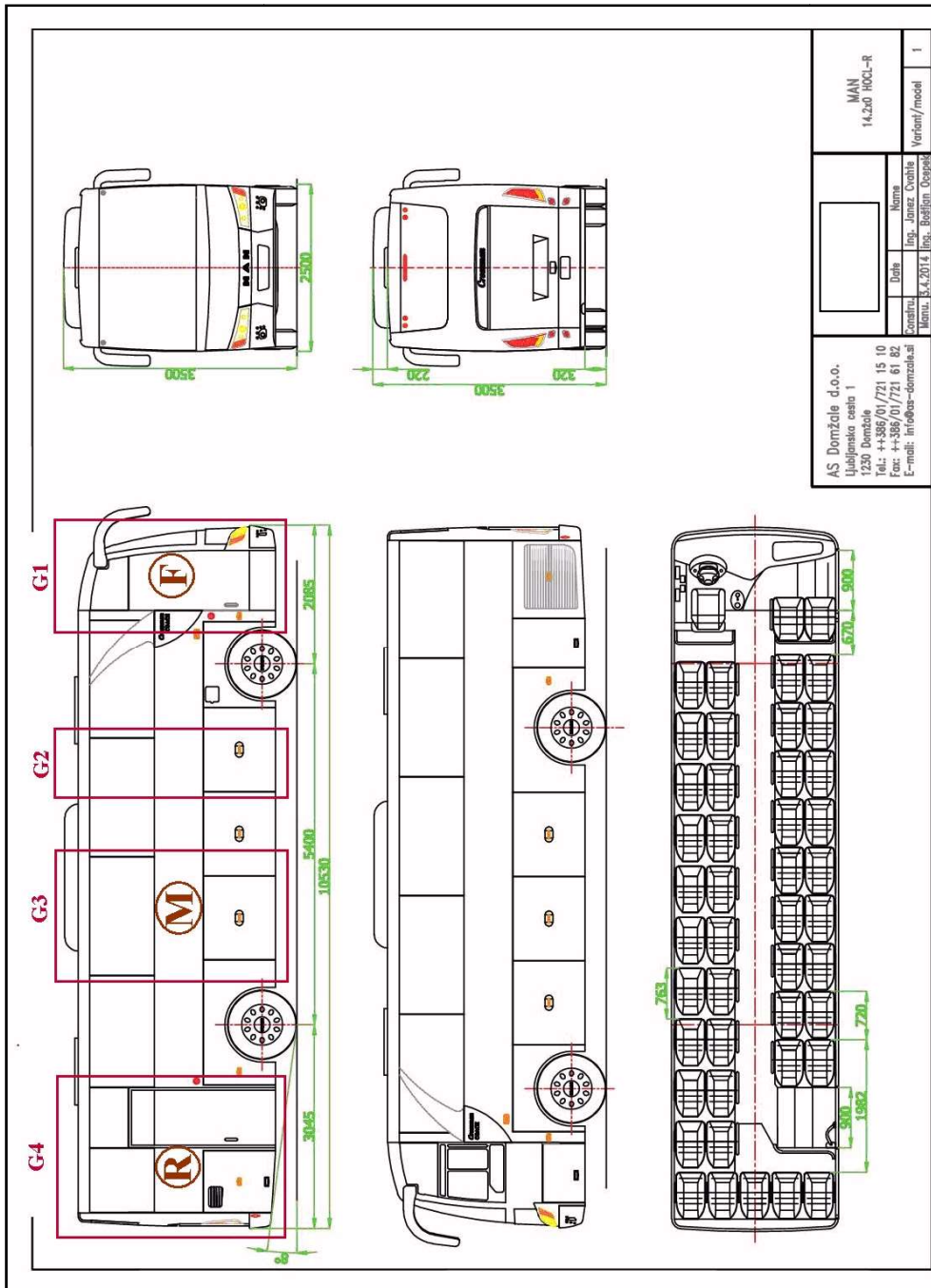
A „C” autóbussz fontosabb súlyozási és súlyponti, mechanikai adatait az autóbussz teljes terheléssel végzett billentéséből, ill a műszaki leírásból vettük ki.

A felterhelt (14 953 kg) „C” autóbussz billentésekor kapott kerékterhelési értékekből a 34 kg plusz terheléssel (12 664 kg) a vizsgálat alá vetett bussz elrendezés súlypont magassága és helyzete a következőre adódik:

$H_S = 1125$  mm (a talajtól számítva),

$X_B = 1882$  mm (B tengelytől előre mért távolság),

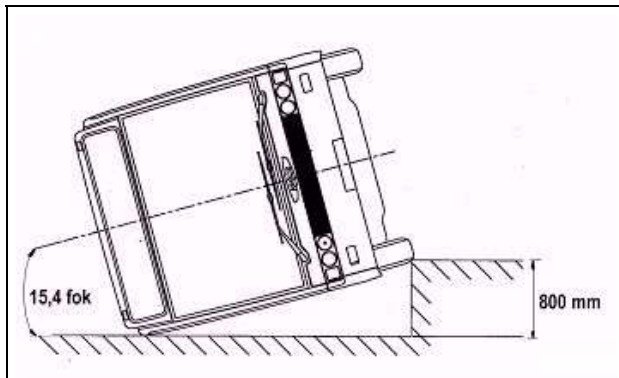
$Y_J = 45$  mm (a középvnalától jobbra).



12. ábra

A „C” autóbussz körvonalrajza a vizsgált keresztmetszgek bejelölésével




**13. ábra**

A vázszegek tetőélen ható terhelő erőirányára kiinduló helyzetének meghatározása

A gyári technológiával elkészült vázszegek hajlító vizsgálatát az AUTÓKUT Járműmechanikai Laboratóriumában végeztük el: duplázott ablakkeret (ülésvázakkal merevítve), duplázott ajtókeret (4 db kapaszkodóval merevítve), mellfal (első ajtónyílással), hátfal.

Minden szegmens a tetőélen volt megtámadva a vízszintes síkkal  $19^\circ$ -os szöglet bezáró kezdeti terheléssel. (A számításhoz a **13. ábrán** látható  $15,4^\circ$ -os elvi ütközési szögre számoltuk át a mérési eredményeket.)

Az erőterhelés villamos emelőszerkezettel, drótkötélen és erőadón keresztül történt, ahol az erővektor a vizsgálat során mindvégig azonos földponton halad át.

Az erő irányának pontos nagysága és a függőlegessel bezárt szögének változása erőadóval és útdókkal pontosan követhető volt. Kettő helyen mértünk elmozdulást: a tetőél környezetében és a feltételezett képlékeny csukló felett.

A vázszegek az erőterhelés jobb kéz bentartása céljából a mellfal és a hátfal kivételével duplázottak voltak, ill. a kétfajta ajtókeret jelentett egy duplázott szegmenst.

A vázszegek mindkét oldalán mértük az elmozdulásokat, pontonként 2-2 Hottinger típusú útdót használtunk. UPM 60 típusú erősítőn keresztül számítógép szolgált a PL 812 G kártyán jövő jelek tárolására.

A **11. ábra** mutatja a szegmensek laboratóriumi vizsgálatán készült felvételeket.

A felső tetőélek erő-deformáció mérési diagramjait a **13-14. ábrák** mutatják.

A diagramok minden esetben a mérésben felhasznált keretekre vonatkoznak, kivétel csupán az ablakkeret duplázott, ahol a mért erőket megosztottuk a szegmens két keretére, amely egyszerű erőfelezést jelent.

### ***Elnyelendő energia számítása***

Az ENSZ-EGB 66.02 Előírás 3.2.2.1 pontja szerinti összefüggésében a borító vizsgálat során a referencia ( $E_R$ ) és az elnyelendő energia ( $E_T$ ) képletében az ( $M_k$ ) üres jármű tömeg helyére az un. teljes effektív tömeg ( $M$ ) kerül.



Due to the Paragraph 3.2.2.1 of Regulation 66 in equations of the reference energy ( $E_R$ ) and the total absorbed energy ( $E_T$ ) the empty mass ( $M_k$ ) shall substitute with the effective mass ( $M$ ).

$$M = M_k + k \cdot M_m,$$

$M_k$  – üres, menetkész tömeg/ *the unladen kerb mass of the vehicle type*,

$M_m$  – utasok tömege (68 kg vagy merev bekötéssel 34kg/utas) / *the total mass of the restrained occupants (68kg 3point fixing or 34 kg with rigid 2point fixing)*

$$k = 0.5$$

Így a módosítás szerinti ún. referencia energia (a jármű borításkori legmagasabb instabil helyzetében) a teljes effektív tömeg figyelembevételével/ *so the reference energy with effective mass*

$$E_R = M_t \cdot g \cdot h_l = M_t \cdot g \left[ 0.8 + \sqrt{h_0^2 + (B \pm t)^2} \right]$$

Ahol/ *where*

$h_0$  = a teljes effektív tömegű jármű súlypontjának magassága m-ben;

$t$  = a jármű súlypontjának távolsága keresztirányban a középsíktól;

$B$  = a borítóvizsgálati berendezés billenési tengelyének távolsága a középsíktól m-ben kifejezve;

$h_l$  = a jármű súlypontjának távolsága m-ben a talajtól a borítás instabil pozíciójában mérve.

Ebből  $E_R = 308\,311 \text{ Nm}$ .

Szimulációs vizsgálatkor az összes energia ( $E_T$ ), amit a felépítménynek a 7. Melléklet 4.2.1 pontja szerint el kell nyelnie:

$$E_T = 0,75M g \Delta h$$

Ahol:

$M = M_k = 12\,664 \text{ kg}$  -a jármű 34 kg-os utas terheléssel felsúlyozott tömege,

$g$  = gravitációs állandó;

$\Delta h = 0,71 \text{ m}$ , a jármű tömegközéppontjának függőleges elmozdulása (méterben kifejezve) a borítós vizsgálat alatt a teljes deformációt is beleszámítva, amint azt az Előírás 7. melléklet 1. függeléke meghatározza.

Ezekkel az értékekkel az elnyelendő teljes energia értéke:

$$E_T = 66\,157 \text{ [Nm]}.$$

A vizsgált szegmenseken kialakult képlékeny csukló magasságok a **3. táblázatban** találhatóak.

Vázkeret	képlékeny csukló magassága a padlószinttől számítva (mm)
Mellfal	575
ajtó (ablak) keret	310
hátfal/	555

**3. táblázat**

A vázszegmensek képlékeny csuklóinak távolsága a padlószinttől

Az egyes kereteknek a súlyponttól való távolságai a **4. táblázatban** található

keret jele Crossman	Súlyponttól mért előjeles távolság ( mm)	a keretre jutó tömeghányad ( kg)
G1	4158	3284
G2	2003	3046
G3	-157	2978
G4	-3782	3356

**4. táblázat**

Az autóbusz vázszerkezetéből és a főegységekből az egyes vázszerkezetekre jutó tömeghányadok és a kereteknek a súlyponttól mért távolságaik

### *Vizsgálati eredmények*

Elvégezve a számításokat, az **5. táblázat** a tetőélnél levő keresztsgemmens pontok deformációs elmozdulásait ill. a deformálódott vázkeretek jobb oldali oszlopainak az elméleti túlélési tér felső és alsó sarokpontjaitól számított távolságait tartalmazza a vizsgált típusra.

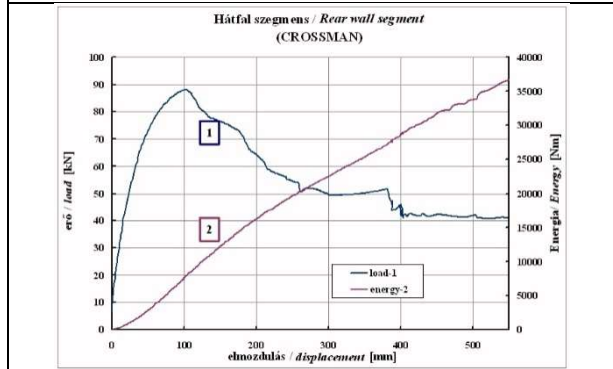
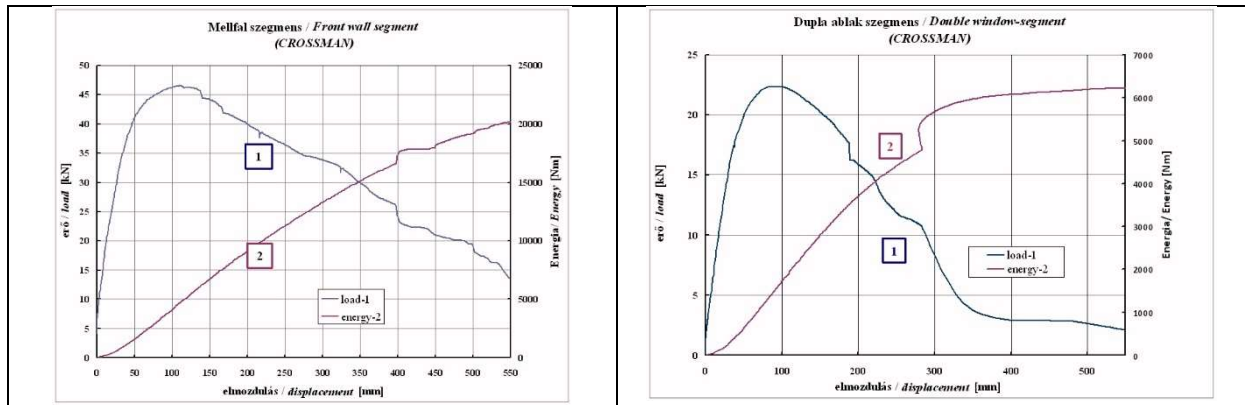
Keretek Jele	Tetőélnél mért Deformáció [mm]	Távolság a túlélési tér felső sarkató [mm]	Távolság a túlélési tér alsó sarkától [mm]
G1	542	70	150
G2	536	41	82
G3	528	46	83
G4	515	83	150

**5. táblázat**

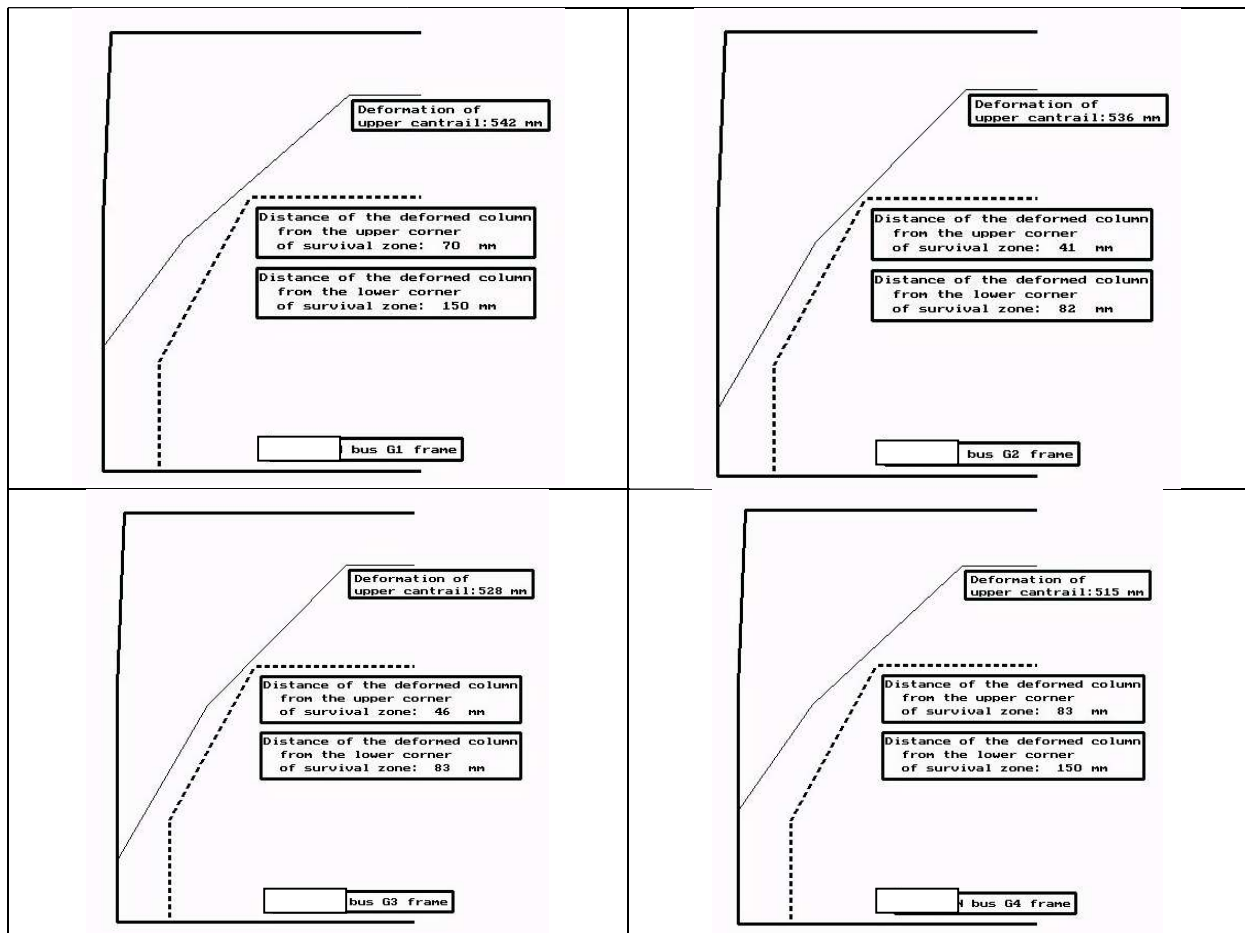
A deformált vázsgemmens számított távolságai a túlélési kerettől

A mért deformációs, enegielyelési értékeket a **13. ábra**, a számítógépes szimuláció eredményeinek geometriai megjelenítését a **14. ábra** tartalmazza.

Az EGB 66 előírás szerint elvégzett ellenőrzésnél az utasok számára kijelölt túlélési tér a deformációs folyamat során sértetlen maradt, a „C” típusú autóbusz megfelel az ENSZ-EGB 66.02 Előírás követelményeinek.



**13. ábra**  
A mért erő-elmozdulás és elnyelt energia diagramok



**14. ábra**  
A „C” autóbusz szegmenseinek számított deformációi a túlélési térhez viszonyítva

## Összefoglalás

Az EGB 66 előírás alapján az autóbuszok tetőszilárdságának ellenőrzése érdekében szükségessé vált új számítási módszer kidolgozása, mely a szimulációs modellezés alkalmazásán alapul. Jelen tanulmány a kutatómunka során kidolgozott új módszereket és azok alkalmazását gyakorlati példákon keresztül mutatta be.

**Jelen kutatómunka kidolgozására az Innovációs és Technológiai Minisztérium által 2020-ban meghirdetett Beszállító-fejlesztési Program alapján, az IFKA/596-2/2020. számú „Korszerű autóbusz gyártóbázis létrehozása KKV státuszú beszállítók közreműködésével” című nyertes pályázat keretében került sor.**

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottságának (ENSZ-EGB) 66. előírása – Egységes rendelkezések a nagy személyszállító járműveknek a felépítményük szilárdsága tekintetében történő jóváhagyásáról [http://data.europa.eu/eli/reg/2011/66\(2\)/oj](http://data.europa.eu/eli/reg/2011/66(2)/oj)
- [2] A Bizottság 523/2012/EU rendelete ( 2012. június 20. ) a 661/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendeletnek az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottsága gépjárművek, az ezekhez tervezett pótkocsik és rendszerek, alkatrészek, valamint önálló műszaki egységek típusjóváhagyásáról szóló bizonyos előírásainak felvétele tekintetében történő módosításáról.  
<https://jogkodex.hu/doc/3344228>
- [3] ANSYS Engineering Simulation Software. <https://www.ansys.com/products/3d-design>
- [4] Vincze-Pap Sándor - Csiszár András: Applied virtual (VT) technology on bus superstructure roll-over tests. [Design Fabrication and Economy of Metal Structures 2013, Miskolc.](#)
- [5] Vincze-Pap Sándor és szerzőtársai (Szerkesztette: Horváth Norbert): Autóbuszok szilárdságtani méretezése, borulásbiztonsági kutatások - az AUTOKUT módszer. Tanulmány. Budapest, 2018. Forrás: [www.busworldblog.com](http://www.busworldblog.com)