

2005-ben ünnepeltük a magyar járműgyártás kezdetének 100. évfordulóját. Lehetett volna akár hamarabb, korábbi dátumhoz kötve ünnepelni a centenáriumot, de a Magyar Posta által kiírt nemzetközi tenderen nyertes csomagszállító járművek szériagyártása éppen 1905-ben kezdődött. Az autókat Csonka János tervei alapján a Röck István Gépgyárban készítették. Ugyancsak 1905-höz köthető a Rába erdő- és mezőgazdasági vontatójának – a világ első négykerék-meghajtású járművének – bemutatása az V. Bécsi Autókiállításon. Lapozzuk fel az évforduló kapcsán az „emlékkönyvet” és tekintsünk vissza a nem is oly rég még világhírű autóbuszgyártásunk passzív biztonsági fejlesztéseinek eredményeire.

A járműbiztonsági kutatások kezdete

A közúti járművek és alkatrészeik kereskedelmének megkönnyítése, a közúti közlekedés biztonságának fejlesztése és összehangolása érdekében az európai országok 1958. március 20-án Genfben egyezményt kötöttek a „Gépjármű-alkatrészek és -tartozékok jóváhagyására vonatkozó egységes feltételek elfogadásáról és a jóváhagyás kölcsönös elismeréséről”. Ehhez az egyezményhez a magyar fél 1960-ban hetedik európai államként csatlakozott. (Ez az oka, hogy az általános európai, ún. ENSZ–EGB előírás szerint a Magyarországon minősített járműalkatrészek az E7 jelet kapják.) A Genfi Egyezmény arra szolgál, hogy a csatlakozó országok azonos követelményeket támasszanak a közúti járművekkel és azok szerelvényeivel, alkatrészeivel szemben.

Az Európai Unió (akkor még EGK) 1970-ben megteremtette és elindította a saját belső előírárendszerének (EU-direktívák) kidolgozását, amely kezdetben a fontosabb ENSZ–EGB-előírások átvételét jelentette, némi környezetvédelmi követelmény (szennyeződéskibocsátás, zajterhelés-csökkentés) szigorításával. Az általános európai előírások és az EU-direktívák lényegi egybeesésének köszönhetően a járműipari követelmények átvétele nem okozott zökkenőket, amikor 2004-ben csatlakoztunk az Európai Unióhoz.

A passzív biztonsági követelmények összeállításában mindig egy vagy több standard, általánosított és szintetizált baleseti szituációból indulnak ki a kutatók, és a minél kisebb sérüléssel járó túlélés feltételeit megfogalmazva dolgozzák ki a vizsgálati módszereket.

A 80-as évek közepéig még nem volt egyetlen hatályos európai előírás sem a buszok passzív biztonságára, ugyanakkor az AUTÓKUT-ban már több mint három tucat, az autóbuszok aktív és passzív biztonságára, szerkezeti kialakítására vonatkozó követelménytervezetet dolgoztunk ki, amelyek közel fele passzív biztonsági témájú volt.

Az autóbuszokra vonatkozó passzív biztonsági témaköröket a magyar kutatási eredmények alapján a következők szerint csoportosíthatjuk:

- borulásbiztonság;
- homlok- és oldalütközés elleni védelem;
- tűzbiztonság.

(Az első kettőt az angolszász szaknyelv 1971-től a „crashworthiness”, *ütközésállóság* szóval foglalja össze.)

Európai autóbusz-előírások

A buszokra és részegységeikre vonatkozó passzív biztonsági követelményeket 8 előírás tartalmazza: az autóbusz-felépítmény tetőszilárdságára vonatkozó előírás (EGB 66); az autóbuszülések, -üléslektétek szilárdsági követelménye (EGB 80); a midibuszok tetőszilárdsága (EGB 52); az ülések övbekötési pontjainak ellenőrzése (EGB14); a fejtámlás

ülések szilárdsági követelménye (EGB 25); az autóbusz-szélvédő biztonsági követelményei (EGB 43); a konstrukciós és átfogó biztonsági kialakítás (EGB 36, EGB 52, EGB 107).

Ezek közül gyakorlatilag két (EGB 66 és EGB 80) olyan alapvető előírás van, amelyet eredetileg és kizárólag az autóbuszok passzív biztonságának növelésére alkottak meg, és mindkettő kidolgozásában kezdeményező szerepet játszottak a magyar mérnökök.

Az Európai Unió – az egyedi EGB-előírások elfogadása mellett –, saját irányelvekkel dolgozik, és a 2001/85 számú buszdirektívába az összes fontos passzív biztonsági EGB előírást beledolgozta.

A magyar autóbusz vizsgálatok kezdete

Személyautó-gyártás híján, „szocialista feladatmegosztás” révén autóbuszgyártó világhatalommá vált hazánkban értelemszerűen az autóbuszok biztonságának vizsgálatai, kutatásai indultak meg az 1960-as évek legvégétől a járműiparban, a világ fejlettebb részein elkezdett személyautó biztonsági fejlesztésekkel [1] egy időben, aminek három alapösszetevője volt: az Ikarus 200 típusú autóbuszcsalád sorozatgyártásának megindítása, és ennek hatására új műszaki követelmények kidolgozásának igénye; Magyarország 1970-ben bekapcsolódott az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága vezetésével folyó, az európai járműipari (ECE-, magyarul: EGB-) előírásokat kidolgozó albizottságok munkájába; 1971-ben beindult egy kormány szintű, hazai közúti járműfejlesztési program, és ennek keretében egy új, speciális vizsgálóbázis jött létre az Autóipari Kutató és Fejlesztő Intézetben (rövidített nevén az AUTÓKUT-ban, amelynek ma működő szakmai utódszervezete a JÁFI-AUTÓKUT Mérnöki Kft.). A program nagyságának érzékelésére ideírjuk, hogy mai árakon számolva 400 milliárd forint nagyságú fejlesztési projektet jelentett a 70-es években!

300 ezer darab, 10 méternél hosszabb járművet produkáló autóbuszgyártásunk, amely a világ 75 országába exportált, a magyar járműgyártás legfényesebb fejezetét írta meg több mint 100 éves autóiparunk történelmében. A 80-as évek közepére közel 14 ezer éves darabszámra felfutott gyártásunkkal a világ legtermékenyebb autóbuszgyárának számítottunk. Csuklós buszból akkoriban egyedül többet építettünk, mint Európa összes autóbuszgyára együttvéve. Az egységes elvek szerint kialakított Ikarus 200 család nagy sikereket aratott Nyugat-Európában is. (Ennek a típusnak több mint 200 változatából közel 240 ezer autóbusz készült!)

Az autóbusz mérete, jellege, magas költsége, a személyautókra kifejlesztett vizsgálati eszközök és módszerek használhatatlansága miatt Európában kevesen folytattak autóbuszokon passzív biztonsági vizsgálatokat. Magyarország ebben a témakörben – a szó legnemesebb értelmében – úttörő munkát végzett, élenjáró szerepet töltött be. Ezenkívül a moduláris busztervezés és a sorozatgyártási technológia is a világ élvonalába emelte haszonjármű-iparunkat. Összegzően megállapítható, hogy az Ikarus gyár igényeire alapulva az AUTÓKUT-ban kialakított vizsgálati eszközök és kifejlesztett vizsgálati módszerek révén nemcsak buszgyártásban és -tervezésben, hanem járműbiztonsági fejlesztésekben is európai vezető országgá váltunk. (Például a tervezési módszerek akkori fejlettségére jellemző, hogy a komplett buszváz szerkezetek véges elemes szilárdsági elemzése az AUTÓKUT Tervezési Főosztályán, a Miskolci Műszaki Egyetem közreműködésével, már 1975-ben elkezdődött, elsőként az országban, de Európában is az elsők között.)

Autóbuszok közlekedésbiztonsága

A közlekedés és a közlekedési eszközök biztonsága sokat javult az elmúlt évtizedekben. A személyautók aktív és passzív biztonságának fejlesztése mögött a buszok fejlesztése sem maradt el, hiszen a busz közlekedést 15-ször biztonságosabbnak tekinthetjük, mint a személygépkocsis közlekedési formát (**1. ábra**).

Magyarországon a 80-as évektől számíthatóan a buszbalesetek száma – az európai trendekkel egyezően –, fokozatos csökkenést mutat. És bár a személyautók számának ugrásszerű növekedésével párhuzamosan némileg kevesebb az üzemelő buszok mennyisége, nagyon fontos hangsúlyoznunk, hogy ebben a balesetcsökkenésben nem a csökkenő állomány játszik fő szerepet, hanem döntően a 70-es évek elejétől számítva mintegy három évtizednyi, világszínvonalú autóbuszgyártásunk passzív és aktív biztonsági fejlesztéseinek eredménye jelenik meg!

Az autóbuszok fajlagosan ritkábban kerülnek baleseti szituációkba, ugyanakkor egy-egy baleset sokkal több emberéletet veszélyeztet, és nagyobb anyagi kárt okoz, mint egyéb közúti járművek esetében, és a médiában még a külföldi baleset is mindig kiemelt hírként szerepel.

A személyautó-balesetekhez hasonlóan a buszoknál is a frontális, az oldalütközések és a borulások jelentik a legveszélyesebb baleseti szituációkat. Ha fontossági sorrendet akarunk felállítani, akkor mindenképpen a borulás kerül az első helyre, ekkor történik a legtöbb személyi sérülés, míg az oldalütközések különösen a nehézjárművekkel történő találkozások esetén veszélyesek. Frontális ütközések esetén a vezető és az első sorban ülő utasok kerülnek különösen életveszélyes helyzetbe.

A járművek ütközésbiztonságának tervezésénél két fő szempontot kell figyelembe venni:

– az ütközés során mindig elegendő sértetlen fizikai tér (ún. túlélési tér) álljon a vezető és az utasok rendelkezésére;

– az embereket megfelelő módon (övvvel, légzsákkal, energiaelnyelő burkolatokkal stb.) az ütközés előtti térrészben kell tartani és meg kell védeni a testükre ható, sérüléseket okozó erők, lassulások ellen.

Borulásbiztonság

A nagy ablakmezők kialakításakor már a 60-as évek végén – hazai balesetek elemzése alapján – világos volt a magyar mérnökök előtt, hogy az IK 200-as típus felépítményének borulásszilárdságát növelni kell. Amikor a buszok borulásbiztonságának kérdését az európai járműelőírásokat kidolgozó munkabizottságokban a magyarok felvetették, a válasz az volt, hogy ez csak itt „Keleten” probléma. Így Magyarország egyedül kezdett a kérdéskör boncolásáhpz. Csupán a 70-es évek közepén, saját buszborulásos tömegbaleseteik győzték meg Európa fejlettebb országait álláspontjuk tarthatatlanságáról.

A **2. ábrán** látható vizsgálati eljárást javasoltuk, de a két és félszeres körbefordulást eredményező lejtős borítás helyett 1986-ban egy közös, kompromisszumos angol–magyar javaslaton alapuló, jóval olcsóbb és egyszerűbb vizsgálati eljárást fogadott el Európa: a 800 mm magasról betonfelületre történő leborítást, korlátozott utastéri deformáció (pl. min. 1250 mm szabad beltéri magasság), az ún. túlélési tér biztosításának követelményével (**3. ábra**).

A borulásbiztonság bizonyítását az EGB 66 számú előírás egyéb, alternatív vizsgálati módszerek alkalmazásával is megengedi. Ezekre mutatnak példát a **4–5. ábrák**.

Az autóbusz tetőszilárdságának megfelelőségét az EGB 66 számú előírás alapján lehet kvázistatikus vagy dinamikus szegmensvizsgálatok alapján is minősíteni, ugyanakkor ez az egyetlen járműipari előírás a világon, amely megengedi a számítógépes szimulációt a dinamikus alapvizsgálatot helyettesítő módszereként. Ez természetesen számos – még nem megnyugtatóan megoldott – problémát vet föl, elsősorban a gyártási technológia megfelelő figyelembevétele szempontjából. (A fejlesztési fázisban mára már jól bevált virtuális technikának a jövőben nagyobb szerepet szánunk a jóváhagyó vizsgálatokban is, de ehhez még a szigorú ellenőrizhetőséget, megbízhatóságot, a mások általi ismételtetését meg kell oldani.)

A szegmensvizsgálatokon alapuló eljárás előnye még a lokális merevítések könnyebb kidolgozhatósága (speciális lemezelések, csőkeresztmetszet-növelések, zártmszelvények nem

zsugorodó, korrózióálló műanyaggal való feltöltése! stb.), ami kisebb költséggel, ellenőrizhetőbben tervezhető és oldható meg.

Az autóbusz-ütközésbiztonság tervezésének első fő szempontja – a megfelelően szilárd felépítmény – mellett egészen a 90-es évek elejéig elhanyagolták az ülő utasok biztonsági övének használatát. Ugyanakkor borulás során – a belső szerkezeti elemekhez való ütközések miatt – egy megfelelően szilárd vázszerkezetben is halálos sérüléseket szenvedhetnek az utasok. A távolsági buszok valamennyi ülését ma már kötelező biztonsági övvel felszerelni, de sajnálatos módon használatuk nem kötelező!

Frontális ütközés

Az ütközésállóság másik lényeges eleme a frontális ütközésre méretezés (**6. ábra**). Egy jól tervezett autóbusz-vázszerkezet deformációs és energiaelnyelő képességének homlokütközés esetén három kritériumot kell teljesítenie:

erőkritérium: a vázelemek működése (tönkremenetele) a tervezett stabilitásvesztéseknek megfelelő sorrendben történjen, a stabilitásvesztéshez tartozó erőértékek a sorrendnek megfelelően egyre nagyobbak legyenek;

energiakritérium: ahhoz, hogy adott sebességű ütközés esetén ne sérüljön meg egy vázelem, a jármű mozgási energiáját az előre meghatározott elemeknek kell deformációs munkával elnyelniük (az ún. biztonsági lökhárító tulajdonságait ebből kiindulva határozhatjuk meg);

alakváltozási kritérium: energiaelnyelés közben az alakváltozás nagysága, lehetősége behatárolt, kötött, ennek megfelelően lehet a karosszéria egyes elemeinek sérülésmentességét biztosítani vagy megengedni.

A megfelelő túlélési tér biztosítása a vezető számára azt jelenti, hogy a vezetőt – egy ütközéses baleset után – az ülésből segédeszköz nélkül ki tudják emelni, vagyis a műszerfal (kormányoszlop) és a vezetőülés között az ütközési folyamat minden pillanatában elegendő térrésznek kell maradnia. Másképpen megfogalmazva, a kormánykerék nem préselődhet a vezető hasába, illetve a kormányoszlop vagy a műszerfal nem nyomhatja a vezető lábát a vezetőülés széléhez roncsolásos sérülést okozva. Ilyen buszvezetői térrész egyszerű megoldással megvalósítható az ún. biztonsági dobogó beépítésével. (A biztonsági öv használata természetesen nem mellőzhető, mert a felütközésből származó sérülések súlyossága csak ezzel együtt csökkenthető, illetve kerülhető el.)

Mindezek ellenőrzésére igen drága és költséges, teljes körű frontális ütközéses vizsgálatot is végeztünk, amelynél az autóbust 300 tonnás betontömbnek ütköztettük. A „fal” elé egy 50 mm vastag fenyőfaréteggel ellátott merev ütközőlapot szereltünk, amely 4 db erőmérő cellával támaszkodott a betontömbnek. A négy erőmérő cella a jobb és a bal oldalon párba kötve működött, így a jármű két oldalának erőterhelését külön is vizsgálhattuk. A jármű ütközési sebességét optokapuvál mértük. A 29,76 km/h sebességgel végrehajtott ütközés során a betonfaltól 250 mm távolságra levő ütközőlapra az autóbusz homlokfala rágyűrődött, a tető elérte a betonfalat. A hossztartók erősen deformálódtak, az első és a harmadik hossztartón jobb oldalon 80 mm, bal oldalon 130 mm összenyomódást mértünk. A bal oldalon a vezetőülés az alatta levő dobogóval hátracsúszott, a műszerfal több helyen eltört. (A biztonsági dobogónak köszönhetően a kormánykerék és a vezetőülés háttámlája között maradt 330 mm szabad távolság a vezető túlélésének biztosítására.) Az autóbusz jobb és bal oldalának merevsége jelentősen különbözött, az ütközőerő csúcserkéiben a jobb oldalon fele akkora erőt mértünk, mint a bal oldalon. Ezt a gyakorlati tesztet még az Ikarus fénykorában, 1984-ben végeztük, a **7. ábrán** látható számítógépes (Pam-Crash) szimulációt pedig 2004-ben. A valós anyag és a geometriai karakterisztikák jó kísérleti háttérű adaptálása következtében az eredmények nagyon jó egybeesést mutatnak.

Ülés-, üléslekötés- és övbekötés-vizsgálatok

A viszonylag merev vázszerkezet a baleset folyamán a bennülők túléléséhez szükséges deformációmentes térrészt biztosítja, a megfelelő ülés- és övbekötésnek pedig arról kell gondoskodnia, hogy az utasok ebben a biztonságos térrészben maradjanak. Ezekre szintén kidolgoztak előírásokat: egy 30 km/h sebességű, frontális balesetkor fellépő erőhatásokat kell a vizsgálatokkal ellenőrizni (**8. ábra**). A hárompontos autóbuszülés övbekötéseit egy átlagos (75 kg) testtömegű utas súlyának 12-szeresével kell 0,2 másodpercig terhelni és mérni az övbekötési pontok elmozdulását, az ülésváz- és üléslekötés szilárdságát pedig egy maketten szokás ellenőrizni 30 km/h sebességű, 8-12 g lassulási folyosóban végrehajtott bábú ütköztetéssel. (A bábuk fejében, mellkasában gyorsulásokat, combjában erőket mérünk az ún. biomechanikai határértékek ellenőrzéséhez.)

Tűzbiztonság

Az autóbuszok passzív biztonságának lényeges összetevője az autóbuszok anyagainak lángállósága, esetleges tűz esetén a tűz elolthatóságának és az utasok kimenekítésének biztosítása.

Egy vizsgálat során egy motortéri tűzimitációt, egy fűtőtartály-téri és a mellső lépcsőnél egy utastérben keletkező, a teljes autóbusz kiegészéhez vezető tüzesetet szimuláltunk (**9. ábra**). A motortéri tüzet 1,5 perc, a ládatéri tüzet 4,5 perc után eloltottuk, a tűz egyik esetben sem terjedt tovább az utastérbe. A lépcsőnél gerjesztett tüzet nem oltottuk el, és az autóbusz 10 perc alatt kiégett. (Annyi megjegyzés idekíváncozik, hogy a tűzszimulációkat nem járó motorral és nem működő utastér-szellőzés mellett végeztük.)

A lépcsőnél gerjesztett tűz esetében a CO-tartalom 1,5 perc, a HCN és HCl gázok 3-4 perc alatt elérték a menekülést lehetetlenné tevő veszélyességi küszöböt. Magyarul ennyi idő áll rendelkezésre az autóbusz biztonságos elhagyására, ami egy ajtófelőli oldalára borult, majd kigyulladt autóbusz esetében végtelen.

Az utóbbi idők budapesti buszos tüzesetei részben konstrukciós (szerkezetkialakítási és anyagminőségi), részben – legalább ilyen súllyal – karbantartási, üzemeltetési hiányosságokra vezethetők vissza.

Egyéb vázszilárdsági vizsgálatok

Ha csoportosítani akarjuk az autóbuszgyártók előtt álló további feladatokat, amelyek a járművek passzív biztonságának magasabb szintre emelését szolgálják, akkor négy kategóriát állíthatunk fel. Ezek a fentebb bemutatott vizsgálati módszerek továbbfejlesztését, a követelmények továbbszigorítását jelentik:

- a vezető védelmének és a vezetőter biztonságának javítása, új követelményrendszer kidolgozása a frontális ütközésállóságra;
- az utasok védelmének és az utastér biztonságának növelése belső védőeszközök alkalmazásával (pl. ablakoszlopok energiaelnyelő burkolata, függönylégzsák, új ülés szerkezet kialakítások stb. – elsősorban a távolsági autóbuszokon);
- a borulásbiztonság fokozása a felépítmény hossz tengely mentén mérhető keresztmerektségének egyenletesebbé tételével;
- a tűzbiztonság, ütközés utáni menekülési lehetőségek követelményeinek szigorítása.

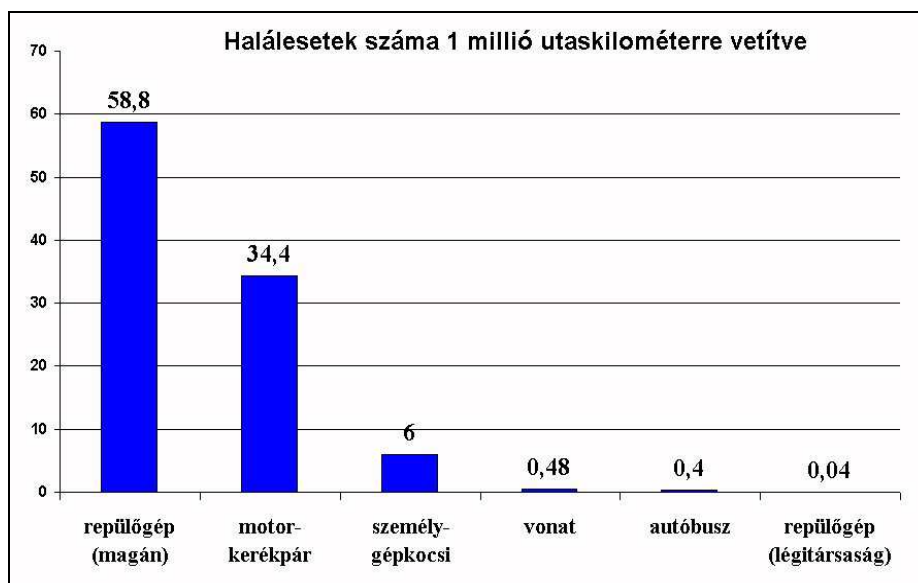
Irodalom

[1] „EU Transport in Figures“, Statistical Pocket Book, European Commission Directorate for Energy and Transport in co-operation with Eurostat, 2000

[2] Vincze-Pap S.: Észrevételek az autóbuszok tetőszilárdságának vizsgálati módszereihez. A Magyarországon használt kombinált számítási eljárás, XXXIII. Nemzetközi Autóbusz Szakértői Tanácskozás, ISBN 963 9058 173, Keszthely, 2002. szeptember 2–4.

- [3] Vincze-Pap S.: Autóbuszok üléseinek és ülésrögzítéseinek kialakítása, passzív biztonsági követelményei, XIX. Nemzetközi Haszongépjármű Biztonsági Kongresszus, Budapest, 2002. szeptember 16–17.
- [4] Kállay E, Tatai Z, Vincze-Pap S: Napi gyártmányú autóbuszok szilárdságtani vizsgálatai, XXXIV. Autóbusz Szakértői Tanácskozás, Kaposvár, 2003. augusztus 28–29.
- [5] Vincze-Pap S: Autóbuszok tüzesetek elemzése, tűzbiztonsági előírások, XX. Nemzetközi Haszongépjármű Biztonsági Kongresszus, Budapest, 2003. október 15–16.
- [6] S Vincze-Pap: Passive Safety Tests on Buses at AUTÓKUT, Innovative Automobile Technology – IAT '05, ISBN: 961-6238-95-7, pp. 787-795, Bled, Slovenia, 21st–22nd April 2005.
- [7] S Vincze-Pap: Solutions and problems to be solved in bus/coach passive safety, 10th EAEC European Automotive Congress, ISBN 86-80941-30-1, Belgrád, 2005. május 30. – június 1.
- [8] S Vincze-Pap, A Csizsár: Real and simulated crashworthiness tests on buses, 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper No.: 05-0233, DOT HS 809 825, Washington, 2005. június 6–9.

/Megjelent a Természet világa 2006/2 számában/



1. ábra: Különböző közlekedési módok baleseti kockázatai Európában [1]



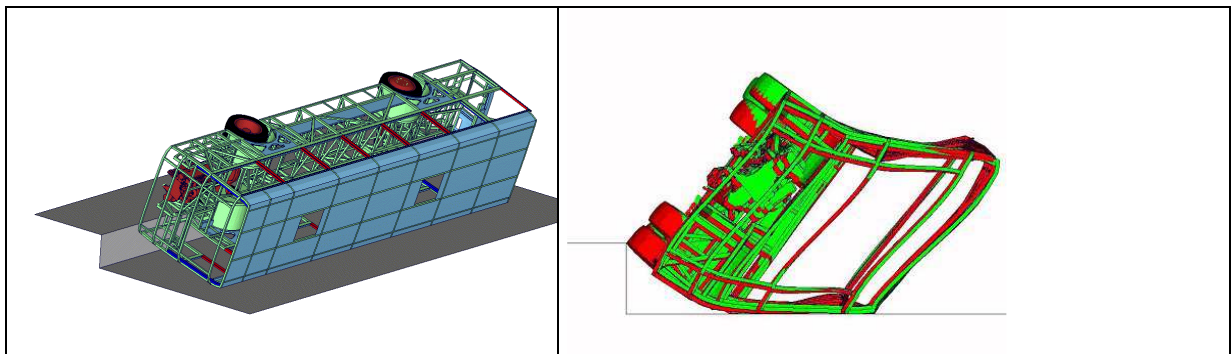
2. ábra: Az első magyar lejtős borítóvizsgálatok egyike – a legendás IK 55 típusú autóbusz 1972-es felépítmény vizsgálata



3. ábra: Az 1986-ban hatályba lépett EGB 66 számú előírás azt írja elő, hogy a komplett önsúlyos autóbust 800 mm magasról betonfelületre kell lebillenteni



4. ábra: A komplett busz borítóvizsgálata helyett az ellenőrzés elvégezhető a lényeges szerkezeti elemeket tartalmazó modellbuszon is. (Az ábrán egy 12 m-es autóbusz 5 m-esre rövidített modelljének borítóvizsgálata látható.)



5. ábra: A standard borítóvizsgálat – a járműipari előírások közül egyedülálló módon – végrehajtható számítógépes szimulációval is



6. ábra: Autóbusz-homlokkal ütközéses vizsgálata 4 tonnás ingás ütőművel. Frontális ütközés esetén, rosszul kialakított vezetőtérben a kormánykerék a vezető hasába nyomódhat; a vezetőülés-kormányoszlop megfelelő távolságának biztosítására szolgál a hátrafelé billenő biztonsági dobogó



7. ábra: A 10 tonnás IK 415 prototípusának kísérleti ütközéses vizsgálata és számítógépes szimulációja. (Az IK 411 autóbusz vázszerkezetileg pontosan megegyezik a Budapest útjain jelenleg is futó IK 415 jelű autóbusszal.)



8. ábra: Hárompontos kettős autóbuszülés vázszilárdságának és szimulációja lekötésének vizsgálata 30 km/h sebességű, dinamikus vizsgálattal, Hybrid típusú bábuk alkalmazásával.