

M3. Melléklet - Kezdeti kísérleti módszerek komplett autóbuszok tetőszilárdságának ellenőrzésében (1971-1983)

Az autóbuszok tetőszilárdságának fejlesztéseivel, vizsgálati módszereivel Magyarországon már közel 40 éve foglalkozunk. A különböző vizsgálati módszerek bemutatásával, leírásával egyrészt szakmatörténeti áttekintést is szeretnék adni, másrészt értékes mérési eredményeket is ismertetni akarok, közöttük olyanokat is, amelyek soha nem voltak publikálva..

M3.1 Az 1971-72-es statikus tetőszilárdsági vizsgálatok ¹

Az IKARUS fejlesztési munkáinak keretében először 1971-ben végeztek kísérleteket az autóbusz tetőszerkezet igénybevételének és 1972-ben, majd 1975-ben az autóbuszok borulási folyamatának gyakorlati vizsgálatára. (Innen számítható az IKARUS több évtizedig tartó passzív biztonsági fejlesztéseinek európai szinten is elismert eredményessége, amelyben az AUTÓKUT – és nevesítve: az AUTÓKUT mérnökei, Matolcsy Mátyás vezetésével- jelentős szerepet játszottak és nemzetközi érdemeket szereztek.)

Az 1971 szeptemberében az IK 55, majd 1972 áprilisában az IK 250 típusú autóbuszokon végrehajtott tetőterhelési kísérlet-sorozatok kettő vizsgálatból álltak:

- statikus függőleges tetőterhelés (vízterhelés);
- statikus átfordítás a tetőélen, sík talajon.

Vízszintes talajon álló helyzetből oldalra billentés, majd a tetőélen át a tetőszerkezetre átfordítás történt. (M3.1.a-c ábrák)



M3.1.a-c ábra

IK 250 típusú autóbusz statikus átfordítási vizsgálata

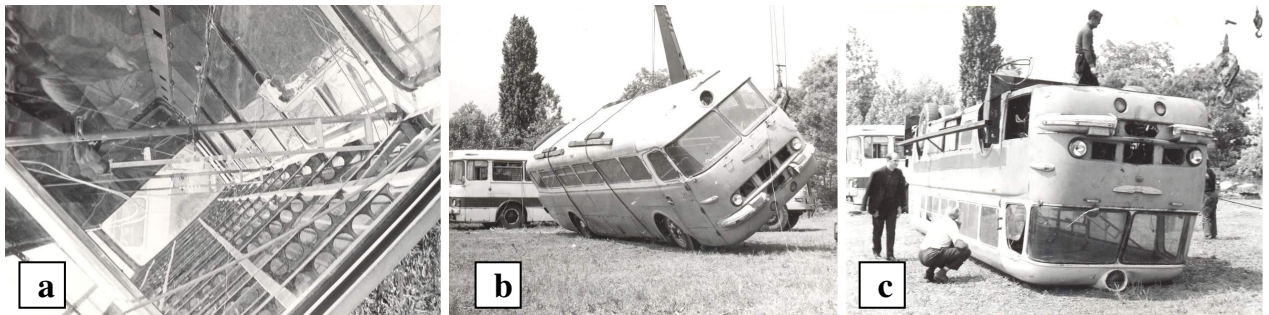
¹ Jelentés az 1975. okt. 27-én lebonyolított autóbusz borítási kísérletekről JÁ-07/76 – AUTÓKUT vizsgálati értesítő (1976), készítette: Batiz Zoltán

Az IK 250 típusú autóbusz emelési pontjaira keresztirányban I 160-as gerendákat hegesztettek, amelyek 300 mm-re kinyúltak az oldalfalból és a végekhez csomólemezes hegesztéssel szintén I 160-as gerenda csatlakozott függőlegesen és így alakítottak ki emelőpontokat. Kettő darab 6 tonnás daruskocsi billentette az autóbuszokat és a fenékváz alatt húzódó drótkötélhez csatlakoztatott vontatókötéllel megakadályozták a hirtelen oldalra ill. a tetőre történő felütközést.

A statikus függőleges tetőterhelési kísérletek során a jármű önsúlyának megfelelő, megoszló terhelést hoztak létre a tetőszerkezeten, mégpedig speciális medence kialakításával, vízterheléssel. Mindkét típusú autóbuszra kb. 10 m^3 vizet juttattak fel, amely a tetők alapterületéből adódóan az 55-ös típusnál 500 daN/m^2 , míg a 250-es típusnál 400 daN/m^2 felületi terhelést okozott.

Mindkét busz teljesítette az alábbi feltételeket:

- a tetőív közepének behajlása max. 75 mm;
- az egyes oldaloszlopok kihajlása az ablak alsó övénél max. 25 mm;
- a padló közepén mérhető behajlás max. 15 mm volt.



M3.2.a-c ábra

IK 55 típusú autóbusz statikus átfordításos vizsgálata

A statikus átfordítási vizsgálatoknál a járművek belsejében 3 db un. átlómérő volt elhelyezve a keresztirányú deformációk mérésére. Tetőélen átfordulásakor volt mérhető a maximális deformáció (32-33 mm), a visszafordítás után mért maradó alakváltozás 10 mm volt. (IK 250 típus.) Mindkét kocsitesten 20-20 tenzometrikus nyúlásmérő bélyeg regisztrálta a feszültségek változását a borítás teljes folyamata alatt és az AUTÓKUT mérőkocsijában 7 sávós Philips analóg mérőmagnetofon rögzítette az adatokat. (Az **M3.2.b-c ábrák** képein az IK 55 típusú autóbusz átfordítása látható.) A tetőélre állított autóbuszok ajtajai akadálytalanul nyithatók maradtak és a gumiágyas ablakok egyike sem esett ki.

M3.2 Az 1972-es dinamikus tetőszilárdsági vizsgálatok [51]

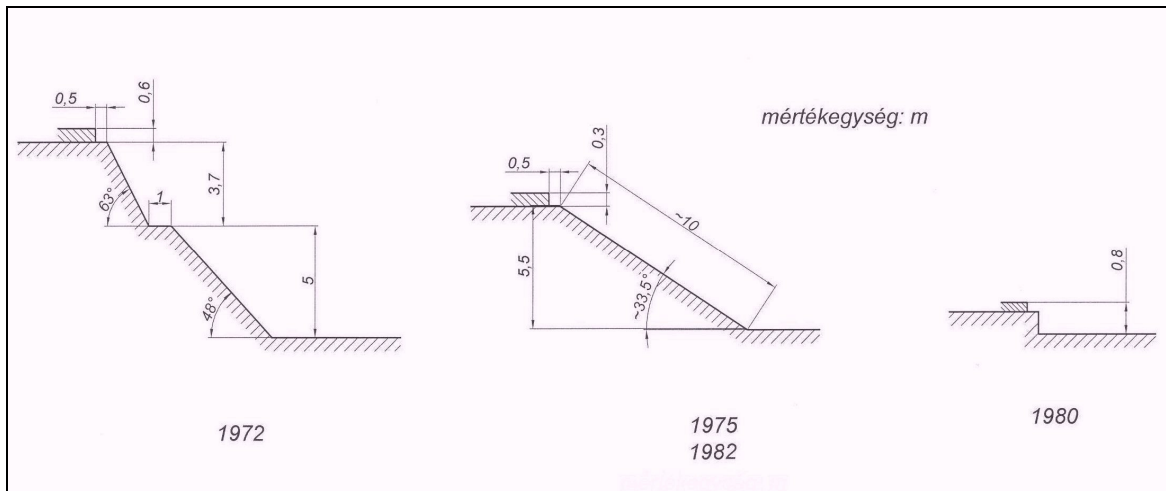
Borulásos balesetekre kettő jellegzetes és veszélyes körülmény szerinti forma jöhetett számításba:

- töltésről való borulás;
- felüljáróról (hídról) történő borulás.

A kérdés az, hogy milyen meredekségű lejtőn történő leborulásra, illetve mekkora mélységbe történő lezuhanásra érdemes méretezni a járműszerkezetet.

Az 1972 júniusában (a mátyásföldi sóderbányánál) elvégzett borítás egy 9 m magas, kiépített rézsűjű lejtőn történt, melyet felső felében egy 1 m széles tereplépcső szakított

meg. A tereplépcsővel a tetőszerkezet igénybevételét kívánták növelni, hogy annak élé az autóbusz tető-középvonalával találkozáva elősegítse a tetőszerkezet beroppanását.



M3.3 ábra

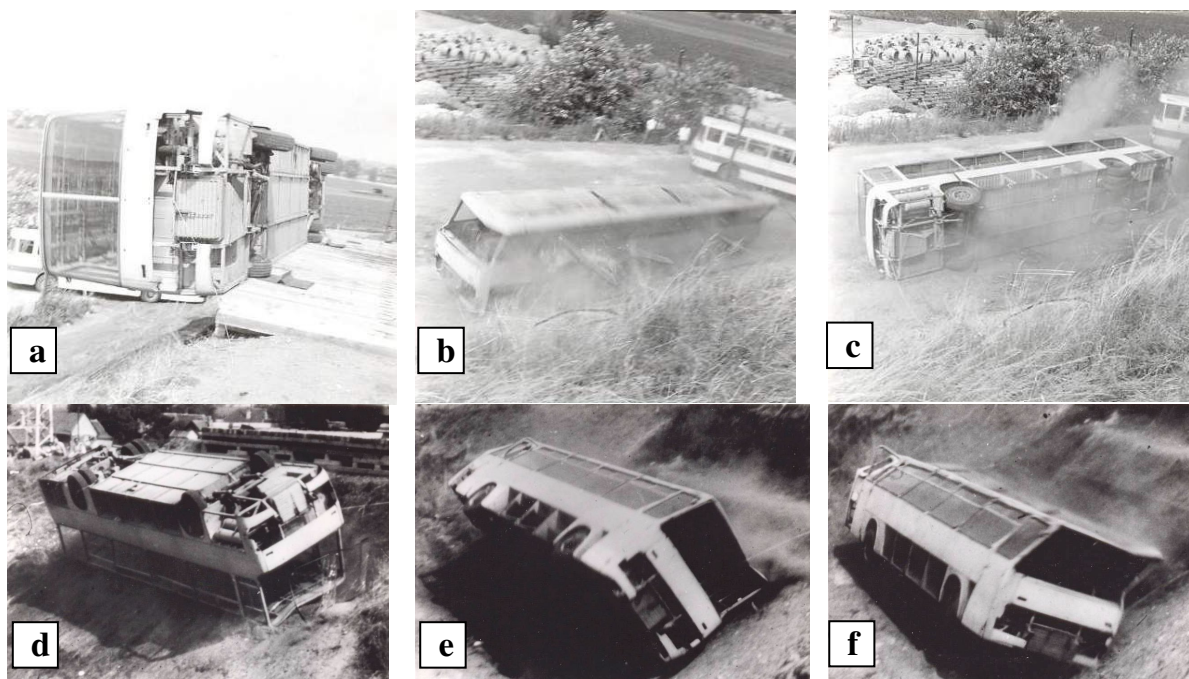
A lejtős borítóvizsgálatok különböző geometria körülményei

Az **M3.3 ábrán** látható 1972-es geometriai kialakítású lejtőn elvégzett kísérletek utólagos elemzése azt mutatta, hogy az így választott lejtőprofil a borulás szempontjából speciális, a karosszéria tönkremenetelét tekintve pedig kedvező eredményre vezetett. A kísérlet során az IK 55 és IK 250 típusú autóbuszok lejtőfelőli tetőéle a meredekebb felső lejtőszakaszra ütközve megcsúszott, majd a járművek a tetejükkel a tereplépcsőre zuhantak.



M3.4.a-b ábra

IK 55 típusú autóbusz 1972-es lejtős vizsgálata



M3.5.a-f ábra

IK 250 típusú autóbusz 1972-es lejtős vizsgálata

A tetők íve betört a padka élén, aminek az lett a következménye, hogy a kocsik továbbfordulásakor a bal oldali oszlopok is közel merőlegesen ütköztek a második lejtőn, és rúdírányú terhelést kaptak. A két karosszéria között azonban jelentős szerkezeti különbség volt. Az IK 55 kocsiszekrénye nem volt prizmatikusnak tekinthető, aminek egyik oka, az utasteret lezáró erős hátfal, de szerepe van ebben a rendkívül könnyen deformálható vázszerkezetnek is. Az IK 250-es típus alakváltozásai rugalmasabbak voltak és a deformáció a mellöv feletti részre korlátozódott és a kocsiszekrény végig közel prizmatikus maradt. (Az **M3.5 ábra** képein jól megfigyelhető az IK 250-es autóbusz bal hátsó ablakoszlopjának rugalmas alakváltozása.) Az ablaküvegek gyakorlatilag egészben, az első felütközések után, a kocsikon kívül estek le. Az életben maradáshoz szükséges térrész a deformált felépítményekben mindvégig biztosítva volt, annak ellenére, hogy ezek a járművek gyakorlatilag nem módosított, széria autóbuszoknak voltak tekinthetők. A kialakított padka a várt negatív hatás helyett pozitív szerepet játszott a felépítmények deformációjában, nem növelte, hanem csökkentette azt. Ez a következő években, a szaporodó balesetek elemzésekor vált világossá.

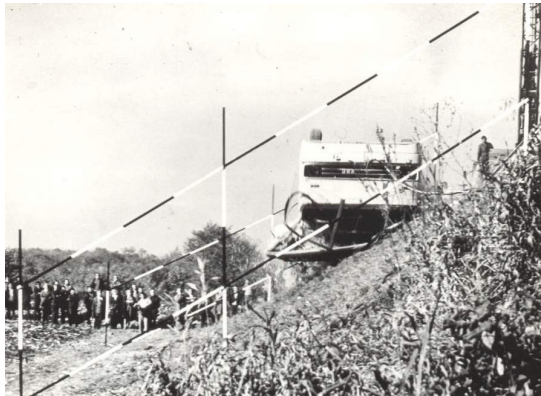
A világon elsőként elvégzett dinamikus, az autóbusz valóságos forgó, guruló mozgását is szimuláló vizsgálat minden hibája, kezdetlegessége ellenére elvezetett egy fontos felismeréshez: a tetőszerkezet tönkremenetelében döntő szerepet játszanak az oldalirányú dinamikus erők, tehát csak olyan vizsgálati módszer fogadható el, amely vizsgálja ezeknek az erőknek a hatását.

M3.3 Az 1975-ös dinamikus tetőszilárdsági vizsgálatok [51]

A tényleges borulási balesetek a kísérleti eredményektől eltérő deformációkra vezettek. Több tényleges baleset körülményeinek és a tetőszerkezet károsodását okozó hatásoknak a gondos tanulmányozása alapján mód nyílt egy, a valóságos baleseti körülményekhez közelebb álló vizsgálati módszer kidolgozására.

Ennek az úgynevezett magyar módszernek a lényege, hogy az autóbusz, álló helyzetből lassan átbillenve legurul az útépitési gyakorlatban általánosnak tekinthető 6/4-es, 33,6°-os lejtőn.

Az 1975-ös autóbusz borításos vizsgálatokat a fentiek szerint, egy valóságos közúti töltésen végeztük el. Ennek során két darab felműszerezett IK 250 típusú autóbusz borító vizsgálata történt meg. Az 1. számú autóbusz roncsolódása a valóságos közúti borításos baleseteknél tapasztaltakkal azonos jellegű volt. A 2. számú IK 250 típusú, biztonsági borulókeretekkel való megerősítése megfelelőnek bizonyult, bár a tetőborda alatti keretelemek, és a keret vízszintes övének csatlakozása erőbevezetés szempontjából még további módosításra szorult.



M3.6 ábra

IK 250 típusú autóbusz (eredeti kivitel)
lejtős borítóvizsgálata 1975-ben
(1. számú vizsgálat)



M3.7 ábra

IK 250 típusú autóbusz (mellső és hátsó
borulókeretekkel erősített kivitel) lejtős bo-
rítóvizsgálata 1975-ben
(2. számú vizsgálat)

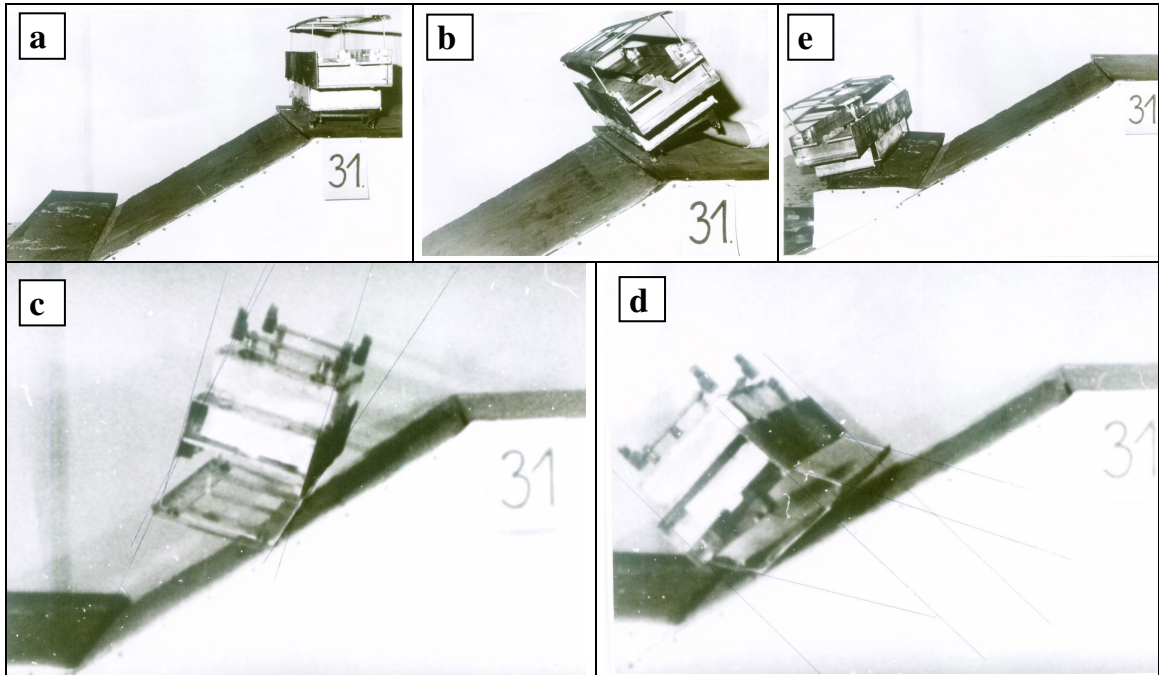
Mindenesetre igazolódott, hogy a tetőszilárdság növelése borulókerettel jól járható és helyes út. Ilyen előzmények után érthető volt, hogy (az autóbuszok passzív biztonságával foglalkozó európai szakbizottság) GRSA különböző ülésein a magyar delegáció a tetőszilárdság passzív biztonság szempontjából történő vizsgálat előírás-tervezetében ezt a tényleges baleseti körülményekhez közel álló- kísérleti módszert javasolta ellenőrzésre.



M3.8 ábra

Borulókeretekkel erősített autóbusz 1979-es, közúti borulásos baleset utáni deformációi. (A borulókeretek merevítő hatása miatt a tetőfal közepén is képlékeny zóna alakult ki.) A vázmerevítések jól működtek, biztosították a megfelelő túlélési tér sértetlenségét

M3.4 Kisminta kísérletek [29]



M3.9.a-e ábra

1:10 léptékű kisminta borításos kísérletek 1978-ban

1973 és 1979 között nagy számú 1:10 léptékű autóbusz modell kísérletet is végzett az AUTÓKUT (benné 1:10 léptékű síklapos utasmodell!).

A vizsgálatsorozatban három különböző tetőmagasságú (3000 mm, 3400 mm, 3800 mm) és kettő borulókerettel kialakított modellek szerepeltek és a kísérletek kiterjedtek a klíma, ill. tetőcsomagtartó hatásának vizsgálatára is. A kapott eredményeket öt megállapításban foglalhatjuk össze:

- a második (tetőéli) felütközések okozták a legnagyobb deformációkat, ezért csak olyan lejtőhosszt szabad borítóvizsgálati helyszíneként választani, amely ezt lehetővé teszi;
- a bekötött terhelés hatására az első deformáció nagyobb, a második kisebb lett!;
- a tetőrátétek ráhelyezésével az első felütközés deformációi nem változtak, a második felütközés deformációi csökkentek;
- a modell két végén (mellfal, hátfal) keletkezett deformációk függenek a súlypont hosszirányú helyzetétől;
- A modell magassága nem lényeges, ha egyértelműen a tetőéltre történt a felütközés.

M3.5 Az 1982-es lejtős borítás előkészítése

A magyar javaslat európai autóbusz tetőszilárdsági követelményként a 33°-os lejtőn történő vizsgálatnak megfelelést favorizálta –és a magyar kutatók általános véleménye szerint szigorúbb-, és jobb követelmény lett volna, mint a jelenleg létező előírás által meghatározott feltétel. A későbbi vizsgálatokkal, ill. a hasonló elrendezésű borulásos balesetekkel történő összehasonlítás kedvéért az utolsó teljeskörű magyar buszborítási vizsgálatot részletesen leírom, egyrészt azért, mert ennek a kísérletnek a gépészeti előkészítéséért, feladataiért én voltam a felelős és a kísérleti eredmények, mérések kiértéke-

lését én végeztem, másrészt azért, mert ez a vizsgálat még soha, sehol nem volt részleteiben publikálva. A vizsgálat kiértékelésével nyert adatok önmagukban is érdekesek és tanulságosak. /³

A vizsgálat időpontja: 1982.09.15-e volt.

M3.5.1 A kísérlet körülményei

M3.5.1.1 A kísérleti terep

A vizsgálat helyszíne megegyezett az 1975-ös borítások helyével: Polgárdi térségében az M7-es autópálya felett, a 82. km-kőnél átívelő közúti felüljáró úttöltése.

A rézsút a kísérlet előtt lekaszálták, a lejtő aljában levő gazt pedig kiirtották és ott a talajt zúzott kővel felszórták. Hasonlóképp felszórták a töltés tetejét egészen a lejtő éléig, hogy annak egyenetlenségét megszüntessék. Az út menti kőkorlátot 25m-es szakaszon eltávolították. A kísérletet megelőző két hétben nem esett az eső, így megfelelően száraz töltésoldalon kerülhetett sorra a mérés.

Ekkor nem került sor újabb talajmechanikai vizsgálatokra, de a hét évvel korábban, 1975-ben elvégzett talajellenőrzés eredményeit a teljesség kedvéért idemácsolom:

Talajmechanikai jellemző	Lejtő	Lejtőalja
Plasztikus index	20,7 %	21,8 %
Természetes víztartalom	16,0 %	18,3 %
Konzisztencia index	1,05	1,15
Hézagtenyező	1,18	0,61

M3.1 táblázat

A lejtős borítóvizsgálat Polgárdi térségében található helyének talajmechanikai jellemzői

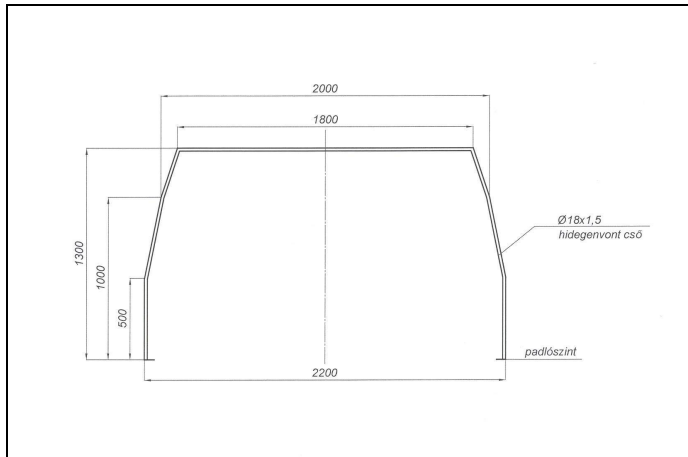
M3.5.1.2 Az IK 255 típusú autóbusz előkészítése a mérésre

A magyar módszer szerinti borítás elvégzéséhez a kísérletben szereplő autóbusznak tartalmaznia kellett valamennyi aggregátját, szerkezeti elemét vagy azokkal azonos tömegeloszlású, helyettesítő szerkezeteket.

A szériakocsiknak megfelelő, mellső és hátsó merevítő kerettel (un. borulókerettel erősített) vázszerkezeti állapotban került az autóbusz a mérés-előkészítésre. A jármű saját motorjával, keréken ment a helyszínre, és végül komplett, üzemképes, feltöltött üzemanyag-tartályú autóbusz borítására került sor.

A hátsó tengelytől 890 mm távolságban és a kormányközpont függőleges síkjában elhelyezett, - az **M3.10 ábrán** látható és az ENSZ EGB GRSA elé 1980-ban beterjesztett magyar javaslatnak megfelelő- túlélési tér határát jelző keret került beépítésre.

³ Autóbusz borítás vizsgálat (1982. szeptember 15) AU-3/83 – AUTÓKUT Vizsgálati értesítő (1983), készítette: Vincze-Pap Sándor, Voith András

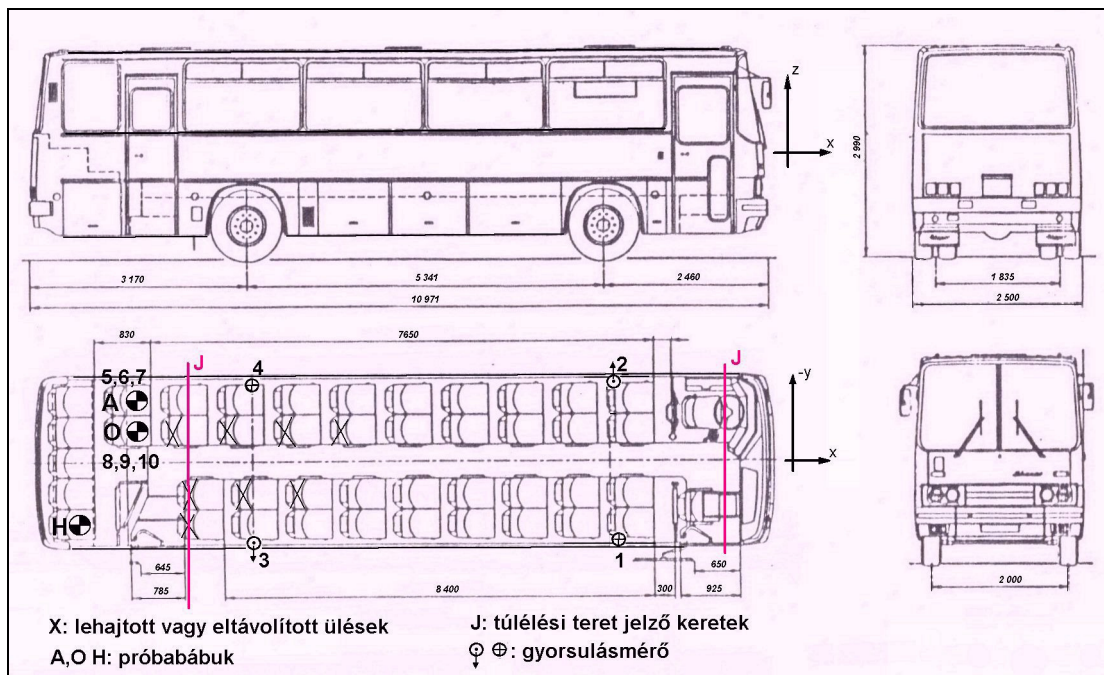


M3.10 ábra

A túlélési teret jelző keret mérete az 1982-es borítóvizsgálatkor. (A busz belső keresztirányú szabad távolsága 2320 mm, tehát alul csupán 60-60 mm távolság maradt az oldalfal és a túlélési keret széle között.)

Három - az ütköző vizsgálatoknál használt - próbabábut is beültettünk az autóbuszba.

Az **M3.11 ábrán** x-szel jelöltem azokat az üléseket, amelyeknek háttámláját a belső filmezés miatt eltávolítottuk. Ugyanott lerajzoltam a belső kamera helyét is, amelynek magasságát úgy állítottuk be, hogy teljes terjedelmében a támlák felső éle által határolt sík alá kerüljön. Az előírás tervezet szellemében a szabadon maradt ülésekbe (a vezető-ülésbe is) 68-68 kg tömegű homokzsákokat kötöttünk. A bekötések az ülések karfájához zsineggel történtek, a műanyag, homokkal töltött zsákokat felül átlósan keresztben és középen vízszintesen, hevederrel rögzítettük. A zsineg statikus szakítószilárdsága (szakítógépen megmérve) egy-egy oldalon 800-1000 N nagyságúra adódott.



M3.11 ábra

A lejtős borító vizsgálatra került IK 255 típusú autóbusz belső kialakítása, felműszerezése

A 4,4 m³ térfogatú csomagterbe, kalodákba ágyazva szintén homokzsákokat raktunk a 100 kg/m³ előírásnak megfelelően. A csomagter terhelés súlypontja a kocsi szimmetria síkjába esett, a súlypont magassága a tér aljától számítva 250 mm-re adódott.

Az autóbusz súlyeloszlása mérlegeléssel a következő volt:

Terhelés	Üresen [daN]	Műterheléssel [daN]
Mellső tengely	3040	4650
Hátsó tengely	6860	8550
Összesen:	9900	13200

M3.2 táblázat

Az 1982-es lejtős borítóvizsgálat IK 255 típusú autóbuszának tömegadatai

Az **M3.11 ábra** koordinátarendszerében a súlypont helyzetére, terheletlen autóbuszra a következő adatok voltak érvényesek:

$X_S = 1696$ mm (a hátsó tengely vonalától);

$Y_S = 19$ mm (a felezősíktól);

$Z_S = 889$ mm (a talajtól mérve);

$m = 9900$ kg;

$\Theta_S = 8480$ kgm².

Ezeket felhasználva a terhelt autóbusz adatai a következők:

$X_S = 1880$ mm;

$Y_S = -12$ mm;

$Z_S = 1340$ mm;

$m = 13200$ kg;

$\Theta_S = 11360$ kgm².

A gyorsfilmezés miatt 8 üléstámlát lehajtottunk és nem terheltük ezen üléseket homokzsákokkal ill. nem helyettesítettük a megengedett 20 álló utas terhelést sem, így a 13 200 kg összsúly nem a maximális üzemi terhelést jelentette.

M3.5.2 A kísérlet során tervezett és végrehajtott mérések

M3.5.2.1 A filmezés

A borulási folyamatot három külső és egy belső helyről rögzítettük folyamatosan. Az MTA Műszerügyi Szolgálat Országos Kutatófilm központja végezte a filmezést. A buszban belül egy STALEX nagysebességű kamera (250 kép/s), a töltésoldalon, a buszszal szemben, a lejtő vonala fölött kb. 1m-rel 2 db HITACHI nagysebességű filmfelvevő (500 kép/s), ill. mögötte egy darab HITACHI (200 kép/s) kamera és alul a borítás vonalába esően egy ECLAIR háromszoros lassítású filmfelvevő (75 kép/s) kerültek felállításra. (A használt film minősége Eastman Color negatív 2/72-47 típusú volt. A filmeket az Ikarus kapta meg, és sajnos mind az Ikarusnál, mind a filmezést végző és azóta felszámolt MTA Kutatófilm-nél nyoma veszett a gyorsfilmeknek.)

A távvezérlésű, belső kamera indítása a kerekek alá helyezett nyomásérzékelő által megszólaltatott duda jelére történt. A nyomásadó akkor szólalt meg, amikor mindkét baloldali kerék elvált a borítókerettől, ami a "szabad" borulás kezdetét jelentette.

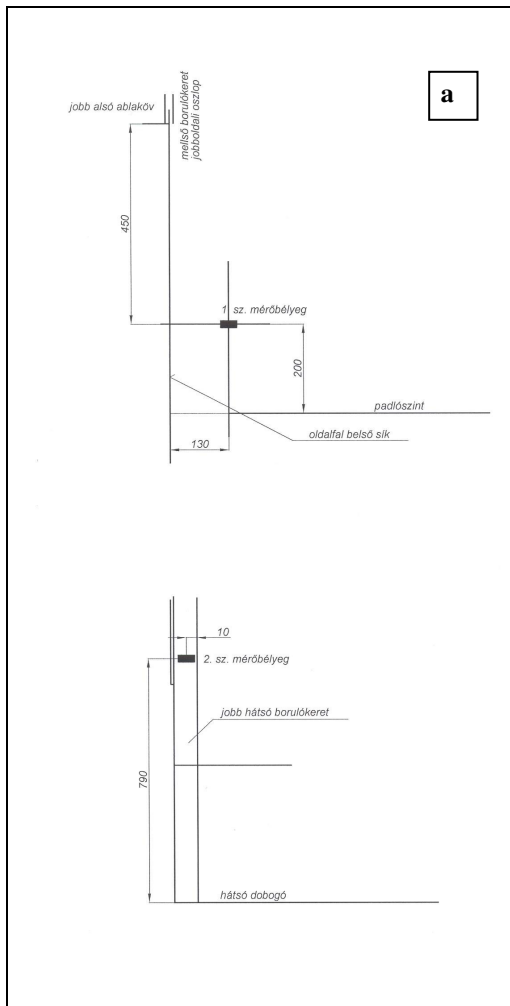
Az autóbusz kocsitest deformációjának nyomon követhetősége érdekében a homlokfalat és a hátfalat 250x250 mm-es négyzethálózással láttuk el, ill. az oldal-, tető-, hát- és homlokfalat 58 helyen, Ø100 mm nagyságú, kör alakú jellel jelöltük meg. Hasonló,

csak kisebb kör alakú jellel láttuk el a bábukat halántékon, homlokközépponton, a váll és a csukló táján.

A filmezéshez a kocsni belsejébe a hátsó védőkoriát mentén lámpákat szereltünk.

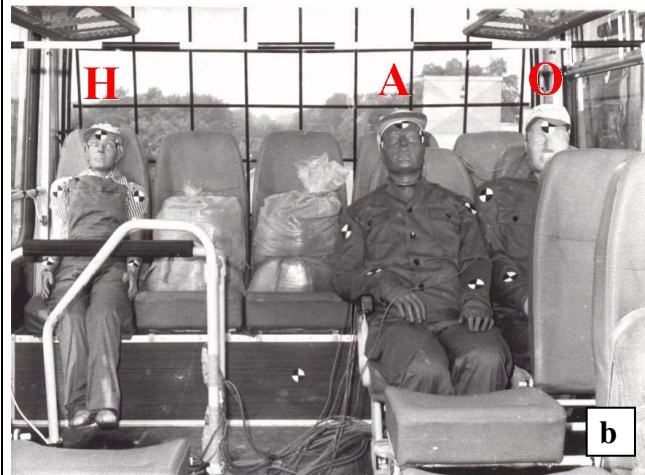
M3.5.2.2 Bélyegek és gyorsulásadók elhelyezése

A borulókeretek viselkedésének vizsgálatára LY 11 típusú Hottinger gyártmányú nyúlásmérő mérőbélyegeket helyeztünk el mindkét biztonsági kereten az oldalfalhoz és az ablaklétra alsó övéhez közel - a jobb oldalon. Ezen két mérőbélyeg helyét az **M3.12.a ábrán** vázoltuk fel.



M3.12.a ábra

A mellő és hátsó borulókereteken elhelyezett nyúlásmérő bélyegek helyei

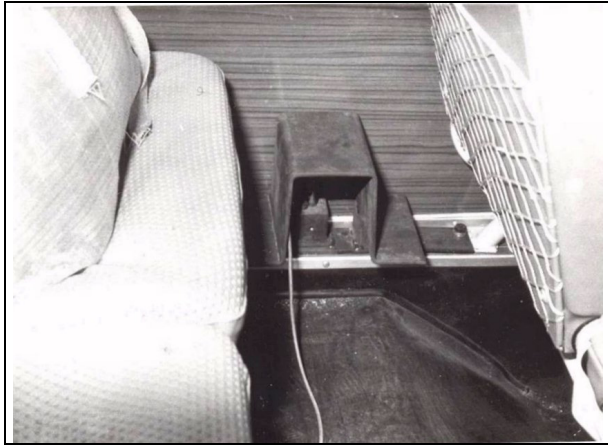


M3.12.b ábra

A hátsó ülésoron elhelyezett kettő 75 kg-os férfi (A, O) és egy 68 kg-os női bábu (H). A "H" próbabábu jobb felső karja mellett a 2. számú mérőbélyeg kompenzáló bélyege látható; A mérőbélyeget a "szélső szálban", az oszlop belső lapján helyeztük el, amit a bábu eltakar

Mivel a buszban használt acélanyag folyáshatára nem volt nagyobb, mint 220 MPa, és a feszültségek követése eddig lehetséges, ezért a mérőerősítőn a 2000 μ strain értéket állítottuk be.

A kocsitestre összesen 4 db Hottinger B12/500 típusú gyorsulásadót rögzítettünk a két szélső oldalfali üléslekötő sínhez, a tengelyek fölötti síkban mindkét oldalon.



M3.13 ábra

4 db Hottinger B12/500 típusú gyorsulásadót az utasülések oldalkonzoljait rögzítő sínekhez rögzítettünk, védőburkolattal ellátva, pontosan a tengelyek felett (A jobb első és a bal hátsó iránya $-z$, a bal első $-y$, a jobb hátsó $+y$ volt.)

A beállított gyorsulásadók és irányultságuk:

Az "A" jelű négy adó méréshatárát 20 g-nek választottuk, irányításuk a következő volt (x: hosszirányban előre, y: keresztirányban jobbra, z: függőlegesen felfelé):

- | | |
|------------------------------|-------------|
| 1. számú (jobb oldal-elől): | - z irányú: |
| 2. számú (bal oldal-elől): | - y irányú: |
| 3. számú (jobb oldal-hátul): | + y irányú: |
| 4. számú (bal oldal-hátul): | - z irányú: |

A bábuk közül a kettős ülésen elhelyezkedő két férfibábút műszereztük fel. (**M3.12.b ábra**)

Az "O" és "A" jelű bábuk fejében és mellkasában elhelyeztünk összesen 6 db 100 g méréshatárra beállított gyorsulásadót. Ezek irányultságai:

Az „A” jelű próbabábuban:

- | | |
|------------------------|-------------|
| 5. számú (mellkasban): | - x irányú: |
| 6. számú (fejben): | - x irányú: |
| 7. számú (fejben): | - z irányú. |

Az "O" jelű férfi próbabábuban:

- | | |
|-------------------------|-------------|
| 8. számú (mellkasban) : | - z irányú: |
| 9. számú (fejben): | - z irányú: |
| 10. számú (fejben): | + x irányú. |

A gyorsulásadók HOTTINGER- BALDWIN B12/10000 és B12/2000 típusúak voltak, amelyek KWS/6T-5 és 6 db KWS 30-72 mérőerősítőkön keresztül csatlakoztak 2 db Philips Analóg 7 típusú mérőmagnetofonhoz. A tápfeszültséget Diesel motoros áramfejlesztő szolgáltatta.

M3.5.2.3 A borítás folyamatának technikája

A töltéspadkán egészen a lejtő éléig egy 6500x3500 méretű fadobogót süllyesztettünk a földbe, amelyre egy U160 profilból készült fémkeret került. A fadobogót a földhöz, a fémkeretet pedig a dobogóhoz rögzítettük megcsúszás ellen.

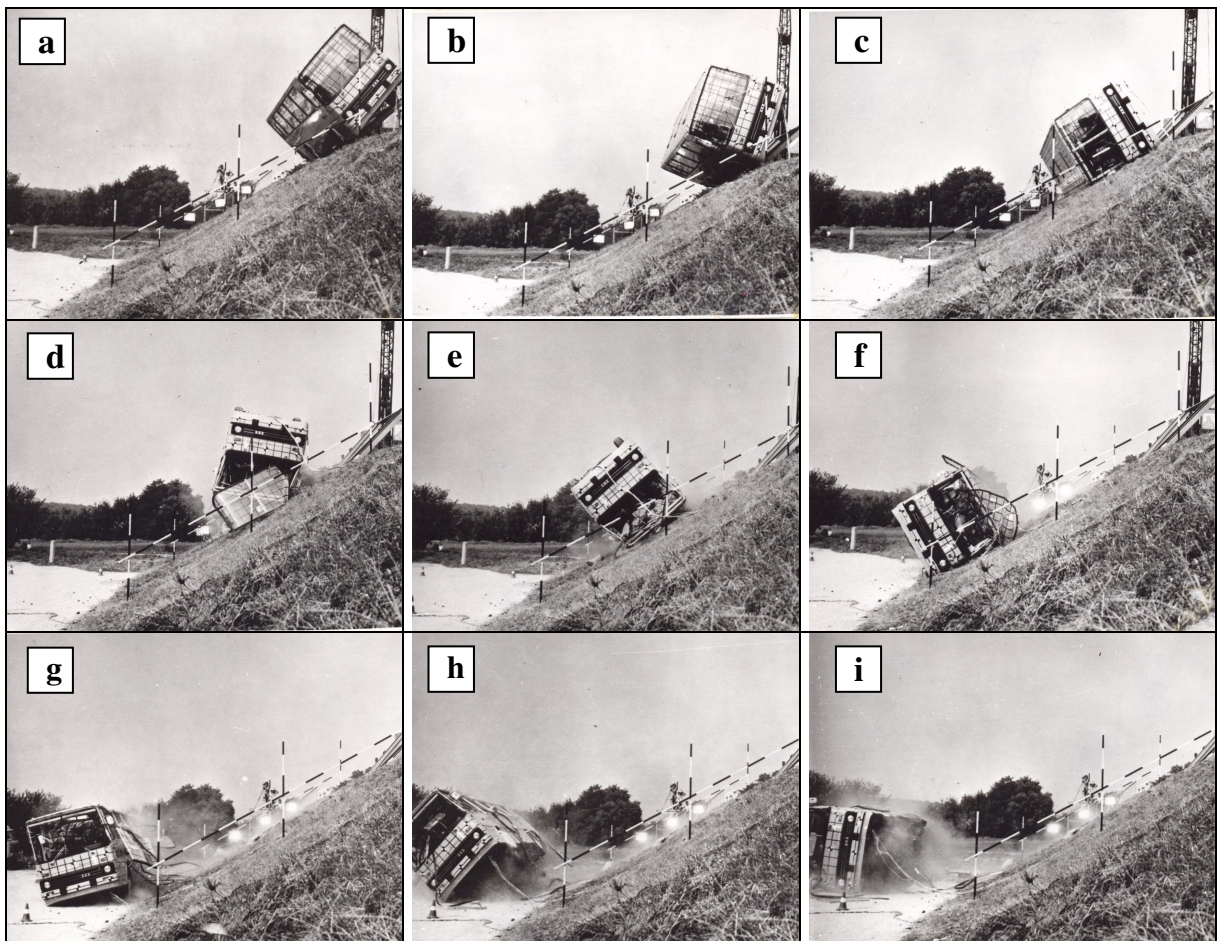
A borítás általános elrendezésére ld. az **M3.3 ábrát**. Érdemes megjegyezni, hogy az előírás tervezet megfogalmazásakor kellő tapasztalat hiányában csak egyetlen feltétel lett előírva, hogy a kerék nem lehet 0,5 m-nél távolabb az útkorona szélétől, mert a busz billenési tengelyének helye döntően befolyásolja a vizsgálat eredményét. Ettől függ ugyanis, hogy a busz az oldalával vagy a tetőével (!) ütközik-e fel a talajon.

Ez azért is fontos, hogy teljesüljön az a borításra megállapított előzetes feltétel, hogy a jármű billenési pontjának Δh magassága a töltéslejtő vízszintes felületétől számítva $\Delta h \leq 300$ mm legyen.

Az 1975-ös kísérletekhez hasonlóan - a két Tátra darus kocsit a mérendő busz két végéhez állt és a borítókeretet a tengelyvonalak irányában a keretbe hegesztett rögzítőfülek segítségével emelte. A billenési szög megállapítása a filmfelvételek alapján történt.

M3.6 A magyar módszer szerinti 1982-es borítás

A borítás folyamatát az **M3.14.a-i ábrák** képsora mutatja. A felvételek robotfényképezőgéppel készültek hozzávetőlegesen 0,5 s időkülönbséggel. A későbbiekben a tetőél beütkezését tekintettük 0. időpontnak, melyhez az **M3.14.c ábra** áll közel.



M3.14.a-i ábra

Az 1982-es lejtős borítózvizsgálat sorozatfelvételei

Az egyes felvételek a következő mozzanatokot örökítik meg:

- a: a busz még négy kerekén, stabilan áll a kereten;
- b: a bal oldali kerekek már elhagyták a keretet, a borulás megkezdődött;
- c: a felborult jármű a talajhoz ütközik (itt is megfigyelhető, hogy a vizsgálati körülmények megválasztása miatt a tetőél csak minimálisan érte el az oldalfal előtt a talajt);
- d: átfordulás a jobb oldali tetőél körül, ahol jól látható az első nagy deformáció;
- e: átfordulás a bal oldali tetőél körül, ahol a második, másik irányú nagy deformáció érzékelhető;

- f: az autóbusz bal oldalára, a bal oldali kerekre fordul (ezzel a tulajdonképpeni tetőszilárdsági vizsgálatnak vége!);
g: a bal oldali kerekeken átfordulva a jobb oldali kerek talajtérésekor jól érzékelhetően nagyon nagy dinamikus erőhatások jönnek létre;
h,i: a továbbforduló autóbusz a jobb oldalával talajt ér, ami a véghelyzetet jelentette.

A folyamat valójában természetesen csak a gyorsfilmekről értékelhető.

A gyorsfilmek alapján a következő fázisokra lehetett osztani a folyamatot:

Fázis	Időtartam [s]	Megnevezés
0		az instabil helyzet eléréséig
I	1,67	a jobb oldali tetőél talajra való érkezéséig
II	0,89	a teljes tetőél ill. a bal oldali tetőél talajra történő leéréséig
III	0,59	a bal oldali kerek talajhoz ütközéséig
IV	0,38	a jobb oldali kerek talajhoz történő ütközéséig
V	1,09	a jobb oldalfal talajra való leéréséig
VI		az V. fázist követő időszak

M3.3 táblázat

A borulás fázisai és időtartamai a gyorsfilmek alapján

A teljes folyamat, az instabil állapoton történő átbillenéstől kezdve a jobb oldalfal talajtéréséig számítva 4,67 másodpercig tartott.

A hátulnézetben készült gyorsfilmről lemérhető volt a billenés szöge (az autóbusz instabil helyzetében mért szöghelyzet):

$\varphi_0 = 47^\circ$, illetve a kezdő szögsebesség számítható volt:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 0,045 \text{ } ^1/\text{s} , \text{ amiből megállapítható, hogy jól sikerült megvalósítani a közel}$$

zérus kezdősebességű indítást. ($V_0 = 0,068 \text{ m/s}$ - ra adódott az autóbusz súlypontjára számítva.)

Lényeges különbség mutatkozott az 1975-ben végzett vizsgálatokhoz képest a talaj deformációban.

Az akkori, jelentősnek mondható (100-120 mm) talaj deformációkkal szemben a jelen esetben keletkezett 20-60 mm mértékű benyomódások jelentéktelennek mondhatók. Ennek magyarázatát elsősorban abba kell keresni, hogy a talaj 1975 óta üledett és most a hosszú csapadékmentes időszak után szárazabb, kötöttebb volt. Ez a körülmény arra utal, hogy a talajminőségét és szilárdságát a lehető legpontosabban kell definiálni.

M3.6.1 A borítás folyamata a gyorsfilmekben:

A borításról készült belső, valamint az elől-, hátul - és oldalnézetben készült gyorsfilmeket az MTA Kutatófilm Szolgálat értékelő vágóasztalán tanulmányoztam át.

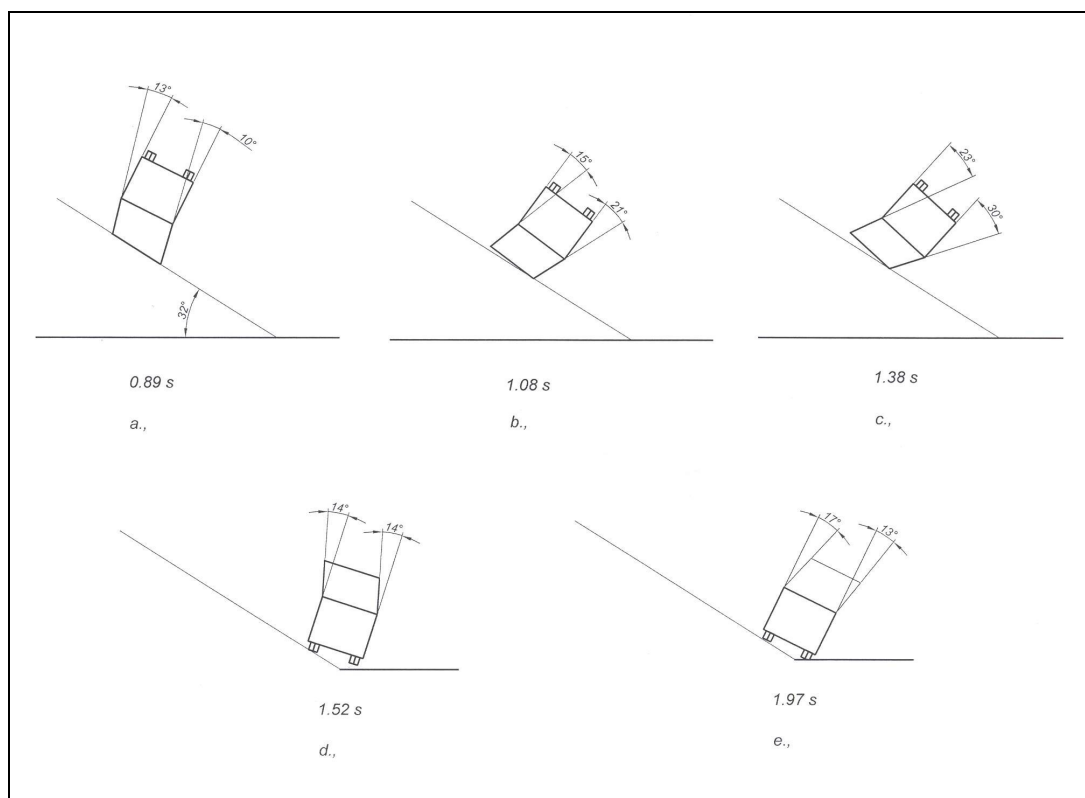
A történések kronológiai sorrendjét a következőkben filmenként és nézetenként leírom. Azonosítási pontonként mindegyik lassított filmnél a jobb-oldali tetőél talajra érésének pillanata volt a 0. időpont.

M3.6.1.1 Oldalnézet

-1,67 s - a bal oldali kerek elválnak a segédkerettől;

- 0,00 s - a jobboldali tetőél ütközik a lejtőhöz; megkezdődik az első és hátsó szélvédők kidomborodása;
- 0,23 s - mindkét szélvédő elválí a hát- illetve a homlokfaltól;
- 0,29 s - az első tetőszellőző (egy homokzsák nekiütődése következtében) kezd kiesni;
- 0,89 s - a busz teljes tetőlapjával a lejtőn fekszik; a kiszakadt tetőszellőzőn kiesett homokzsák a tetőél alá került;
- 0,94 s - a jobboldali második ablaküveg kiesik a keretből (2 homokzsák veri ki); a jobboldali csomagtér ajtaja kinyílt;
- 1,04 s - a motorháztető kezd felnyílni;
- 1,15 s - a mellső borulókeret utáni bal első oldalablak kezd kitörni;
- 1,48 s - a baloldali kerekek érintik a lejtőt (annak aljától mintegy 60 cm-re); az ablakon keresztül kiesett homokzsákokra a baloldali mellöv rányomódott;
- (A vizsgálat érdemi része –a vázmerevséget tekintve-, itt gyakorlatilag véget ért; a tetőszilárdságot az eddigiekből már minősíteni lehet.)
- 1,86 s - a jobboldali kerekek talajt érnek (a mellső 0,03 s-mal hamarabb, mint a hátsó);
- 1,92 s - a szekrényváz szoknyája beleér a zúzott kőbe; a jobb első ablaküveg kerettestől kiesik;
- 2,38 s - a jobboldali harmadik ablaküveg kiesik;
- 2,91 s - kipattan a jobb negyedik üveg is;
- 2,95 s - a busz jobb-oldalával érinti a talajt, a töltésoldalon összesen 4 db homokzsák maradt.

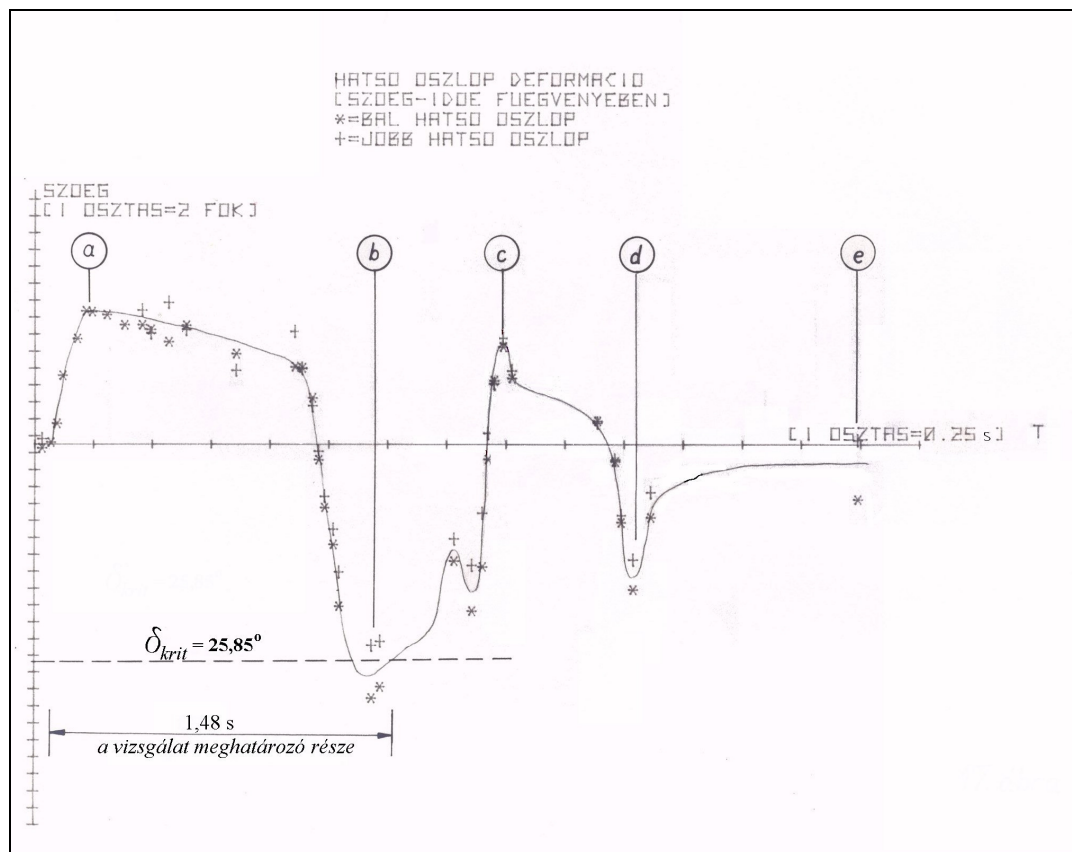
M3.6.1.2 Hátulnézet



M3.15 ábra

A borulás folyamatának lényeges fázisai hátulnézetből

- 0,00 s - a jobboldali tetőél felütközésének és a hátsó szélvédő kitörésének a kezdete;
- 0,65 s - a hátfali üveg helyén kibukik egy homokzsák;
- 0,89 s - a busz teljes tetőlapjával a lejtőn van (M3.15.a ábra);
- 1,05 s - a jobboldali tetőél elválik a talajtól kialakult az ellenkező irányú tető-deformáció (M3.15.b ábra);
- 1,31 s - a jobb első ablaküveg kiválik a keretből, kialakult a maximális tető-deformáció (M3.15.c ábra);
- 1,35 s - a hátsó tetőszellőző felpattan;
- 1,48 s - a baloldali kerekek ütköznek a talajhoz, az autóbusztető ostorozó mozgást végezve mintegy lemarad a felépítményhez képest (M3.15.d ábra);
- 1,56 s - látható, hogy a baloldali üvegek sorra elkezdnek kiesni ill. 2 db homokzsák is kiesik;
- 1,76 s - felnyílt az akkumulátor tér;
- 1,86 s - a jobboldali kerekek talajt érnek;
- 1,92 s - a jobboldali kerekek teljesen berugóznak, a szoknya is talajt ér, a nagy dinamikus hatás miatt a tető újra előre ostoroz (M3.15.e ábra);
- 2,95 s - a busz jobboldala talajt ér- véghelyzet.



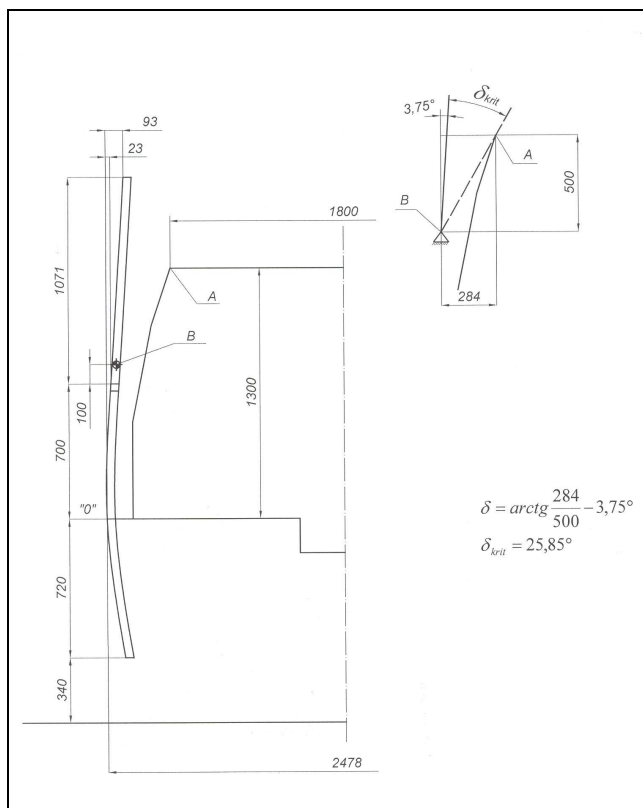
M3.16 ábra

A hátsó ablakoszlopok deformációi (szögelfordulásai) a borulás folyamata alatt

A tetőnek a fent leírt deformációs folyamatát jól érzékelteti az **M3.16 ábra**, ahol a jellegzetes pontok mért koordinátaiból számítógéppel számított (szögelfordulás) deformáció látható az idő (s) függvényében. Az első ütközésből adódó 16-17°-os (a) jelű de-

formációt (a kocsi eredeti helyzetében balra deformálódást, itt + előjelű ez az irány), a másik tetőél beütközésénél nagyobb, 25-30°-os, ellenkező irányú (b) jelű deformáció követi. A baloldali kerekek beütközésekor [(c) jelű] a tető "lemarad", a jobboldali kerekek beütközésekor újra "előresiet" [(d) jelű], majd a jármű jobboldalán kerül nyugalmi helyzetbe, ahol a végső szögelfordulásból [(e) jelű állapot] már nem lehet következtetni a közbeni és a maximális deformációkra. A pontokat összekötő folyamatos vonalból némiképp érzékelhetők a filmen észlelt tetőlengési jelenségek is.

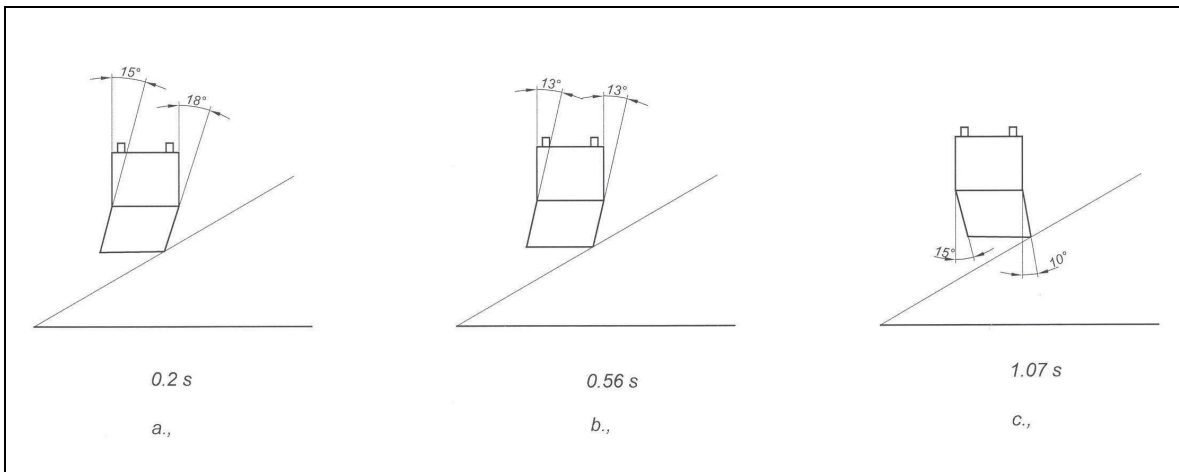
Az **M3.15 ábrán** - az **M3.16 ábra** számítási modellje alapján-, berajzoltuk azt a δ_{krit} ablakoszlop deformációs szöget, amelynél az oldalfal eléri a védett teret. Az **M3.15-16 ábrák** összevetéséből kitűnik, hogy a **B pont** környezetében a védett tér sértetlensége, integritása nem biztosított. A jelenség a belső kamerával készített filmen is látható: az oldalfal eléri a túlélési tér határát jelző keretet.



M3.17 ábra

A hátfali jobboldali hátsó ablakoszlop képlékeny csuklópontjának (B) helyzete és a túlélési tér határoló keretéhez képest megengedhető oszlop szögelfordulás (δ_{krit}) kiszámításának módszere. (A kiindulási helyzetű túlélési tér határán belülré került a deformált hátsó ablakoszlop.)

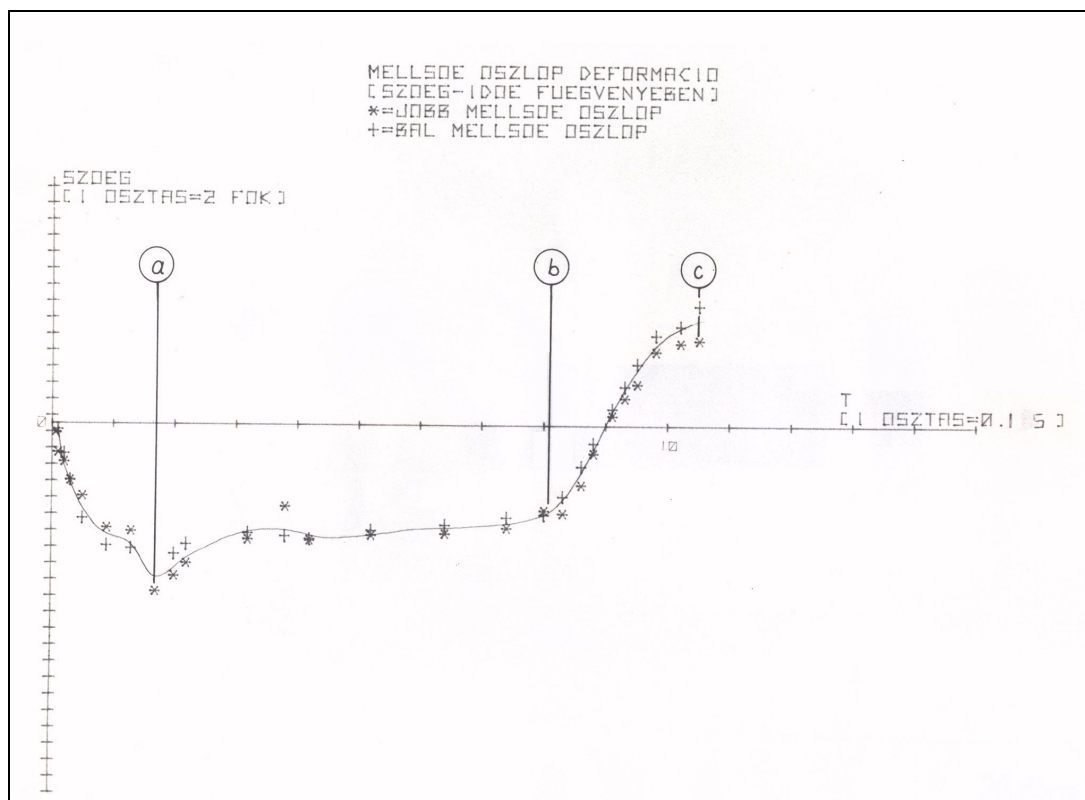
M3.6.1.3 Előlnézet



M3.18 ábra

A borulás folyamatának lényeges fázisai előlnézetből

- 0,00 s - a jobboldali tetőél felütközésének kezdete, a teljes oldalfal majdnem egész síkjával egyszerre ütközik a lejtőhöz (ld. az **M3.14.c ábrát** is!);
- 0,04 s - az ablakoszlopok alsó öve is éri a domboldalt;
- 0,14 s - az oldalfal kezd elválni, már újra csak a tetőél támaszkodik fel a lejtőn; A filmen ez alatt a 0,14 s alatt megfigyelhető ill. lemérhető volt egy minimális (65 mm) lejtőirányú csúszás;
- 0,24 s - a mellső szélvédőkeret legnagyobb torzulása (**M3.18.a ábra**), ekkorra eldől, hogy az első ütközést elviseli-e a tetőszerkezet;
- 0,56 s - a szélvédőkeret újabb torzult állapota (**M3.18.b ábra**), az ütközés utáni, statikus jellegű továbbfordulás alatt mintegy $2-5^\circ$ -kal kisebb ablakoszlop deformáció volt mérhető;
- 0,89 s - a teljes tetőfal a lejtőn;
- 1,07 s - a tetőlapon átfordulás után (**M3.18.c ábra**), az ellenkező irányú deformáció kialakulása közben; (innen az autóbusz kiforgott a kamera látómezejéből).



M3.19 ábra

A mellő ablakoszlopok deformációi (szögelfordulásai) a borulás folyamata alatt

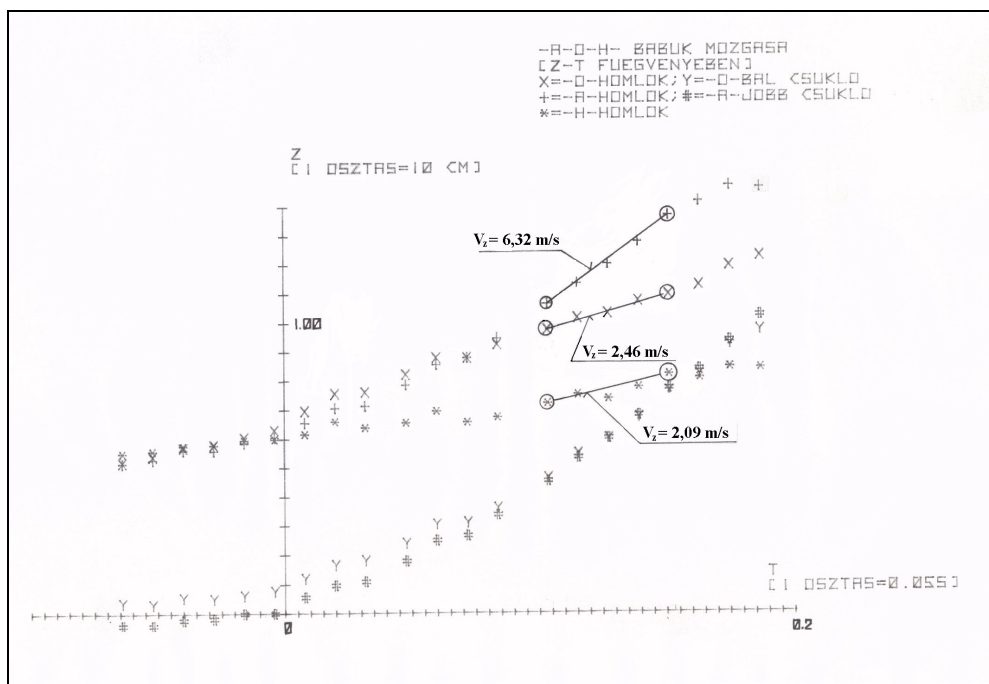
A folyamat a gyorsfilm elemzése alapján követhető volt. Az **M3.18 ábra** jellegzetes pontjai: (a) jelű állapot: legnagyobb kialakult deformáció, ami után egy kisebb állandósult ill. enyhén csökkenő deformáció volt meghatározható; (b) a baloldali tetőél beütközése és az ellenkező irányú deformáció kezdete, és (c) az ellenkező irányú deformáció. A (c) időmetszékben kialakult 15° -os deformáció már csak közelítőleg volt pontos, mert a busz fokozatosan elhagyja az elülső kamera látómezejét.

Érdeemes megjegyezni, hogy a (b) időmetszék 0,81 s-nál van, míg a baloldali tetőél 0,89 s-nál éri el a talajt, tehát a "visszadeformálódás" már a jobboldali tetőélen való átfordulás közben megindul.

M3.6.1.4 A bábuk mozgása, belső felvétel

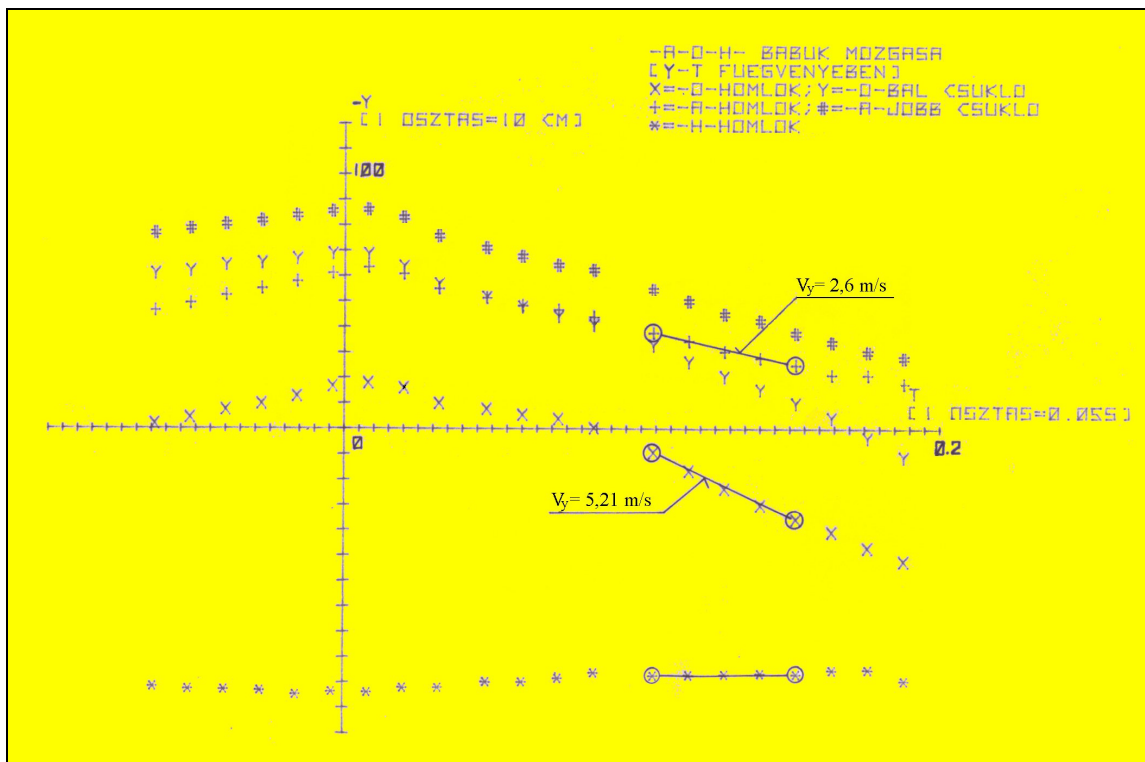
- 0,00 s - ütközés a tetőélen; látható, amint a hátfali szélvédő átellenes sarka is törni kezd; az ütközés pillanatában a tömegerők és a súrlódás következtében lassan az y tengely irányában oldalra dőltek a bábuk (csak az "A" és "0" jelű bábuk, mert a "H" női próbabábut a jobb oldalfal nem engedti), és a pillanatnyi z tengellyel mintegy ($25-30^\circ$ -os) szöget zárnak be;
- 0,15 s - az "A" jelű bábu fejével eléri a tetőt, a jobb oldalfal eléri a túlélési térsarkát és deformálja azt, a homokzsákok sorra kiszakadnak az ülésből;
- 0,18 s - a járóközből az utolsó padló dugó kiszakadt;
- 0,21 s - az "0" jelű bábu feje is eléri a tetőt, a bábuk eddig közel párhuzamosan mozogtak; az "A" bábu feje a járóköz felett érintette a tetőt, "0" feje a járóköz középvonalától mintegy 0,6 m-re az y tengely irányában billent, amikor is a testük mintegy $16-18^\circ$ -os szöget zár be a pillanatnyi z ten-

- gellyel, a "H" bábu még nem érte el a tetőpontot, az oszloppal párhuzamosan csúszik nagyon lassan felfelé;
- 0,26 s - kezdenek a tetőn elfeküdni a bábuk, lábaik a háttámlák felső élének magasságába kerültek;
- 0,32 s - "A" bábu jobb lábával belerúg a túlélési zónát jelképező keretbe (ekkor a z tengely kiindulási helyzetével 157° -os szöget zár be);
- 0,45 s - "A" és "O" bábu már fekszik a tetőn ("H" még nem);
- 1,16 s - "H" még csak most ütközik fejével a buszhoz, amelyhez képest eddigi relatív mozgása szinte egyenes vonalú volt;
- 1,33 s - "H" felső testével végigfekszik a tetőn, a pillanatnyi y tengellyel párhuzamosan;
- 1,49 s - mindhárom bábu a tetőn fekszik, és lábbal megindulnak a busz bal oldala irányába, beleütődnek a bal-oldali kalaptartóba és deformálják azt;
- 2,09 s - "O" lábával szintén belerúg a túlélési zóna keretébe, és mindhárom bábu alulra zuhan a bal alsó részébe a busznak (a jobb keréken való ütközés után);
- 2,40 s - ekkor már a jelzéseket nem lehet látni, az utastér tele van homokzsákokkal -a maradék, még bekötve lévő zsákok pedig kiszakadtak-, repkedő ablakkeretekkel és ablaküvegekkel együtt a bábuk átvágódtak a busz jobb oldala felé;
- 3,57 s - mindhárom bábu a busz jobb oldalán fekszik.



M3.20 ábra

A bábuk mozgása a [z tengely – idő] függvényében a borulás folyamata alatt



M3.21 ábra

A bábuk mozgása az [y tengely – idő] függvényében a borulás folyamata alatt

A film analíziséből adódó bábufej mozgáspályák az **M3.20-21 ábrákon** láthatók. Az értékelési lehetőségeket korlátozta, hogy a fej kivételével nem voltak kijelölhetők egyértelmű azonosítási pontok

A belső felvételek mégis választ adtak a bábuk, utasok mozgásával kapcsolatos alapvető, adat hiányában régen vitatott kérdésre: a bábuk (utasok) a tetőél beütközésig a helyükön maradnak, csak a deformációs fázisban esnek ki az ülésből. Ebből az következik, hogy az utasterhelés (nem bekötött utasok esetén) a busz mozgásjellemzőit a beütközésig lényegesen befolyásolja, magát a deformációt azonban kevésbé.

A film alapján az is megállapítható volt, hogy a szakadó kötésekkel bekötött homokzsákok mozgása időben és térben nem különbözött lényegesen a bábuk mozgásától (a helytől függően a bekötés miatt kicsivel később hagyták el az ülést). A műterhelés –nem bekötött utasokat utánzó- módja tehát jónak bizonyult.

A film alapján mért eredményekből következtetni lehetett a bábuk fejének beütközési sebességére, amit a kocsiesthez képest meghatározható relatív sebességként értelmeztünk. A billenéstől távolabb ülő "A" próbabábu beütközési sebessége volt a nagyobb:

$$V_A = \sqrt{V_Z^2 + V_Y^2} = 6,84 \text{ m/s,}$$

és a sebességvektor $\alpha_A = 22,5^\circ$ -os szöget zárt be az autóbusz felezősíkjával. A másik, "0" jelű próbabábu fejének beütközési sebessége:

$V_O = 5,76 \text{ m/s, } \alpha_O = 64,7^\circ$. A "H" próbabábu gyakorlatilag az oszlopnak támaszkodva, azzal párhuzamosan mozdult el és sebessége:

$$V_H = 2,08 \text{ m/s.}$$

Az adatokból arra lehet következtetni, hogy a billenés során mindvégig a helyükön maradó próbabábuk az autóbusz lefékeződésekor mintegy hajításszerűen, minden kötöttség nélkül továbbrepülnek. Az ebből adódó ütközések súlyosságát a gyorsulásjelekből lehet megítélni.

A bábuknak a fej-beütkezés utáni mozgását, valamint a törzs mozgását a film alapján csak jellegében lehetett értékelni.

M3.6.2 Nyúlásmérő bélyeges- és gyorsulásmérések

Az M3.6.2.2 pontban leírtak szerint 2 nyúlásmérő bélyeget és 10 db gyorsulásadót (6 db-ot a bábukban, 4 db-ot a vázszerkezeten) helyeztünk el.

Az anyag képlékeny alakváltozása miatt a nyúlásmérő bélyegek jelei gyorsan felülnek, de a II. és III. fázisban még viszonylag jól követhető a deformáció, az oszlopok oda-vissza hajlása.

A széklábak oldalsó sínjéhez csavarozott gyorsulásadók 60 Hz-el szűrt regisztrátumaiból számított eredő gyorsulásokat, az oldalsínek szintjében mérve, meghatároztuk az

- elől a jobb oldalfal melletti
- hátul a bal oldalfal melletti

eredő gyorsulásokat, amelyeket a következő táblázat mutat.

Vázgyorsulás [g]		I. fázis	II. fázis	III. fázis	IV. fázis	V. fázis	VI. fázis
eredő	elől	-	17,3	16,3	23,8	15,6	-
	hátul	-	9,3	8,7	29,6	12	-
súlypont		-	13,5	11,3	26,6	10,6	-

M3.4 táblázat

A kocsitesten elhelyezett gyorsulásadók jeleinek kiértékelése

Az eredményekből levonható következtetések a II. és III. fázisban, amely fázisok a vizsgálat lényegi részét adják:

- az elől mért gyorsulások nagyobbak, ami arra enged következtetni, hogy az első borulókeret "merevebb" a rá eső tömeghányadot figyelembe véve.
- az eredő gyorsulási csúcsok abszolút értékei a baleseti gyorsulásoknál megszokott 25-35 g-nél lényegesen kisebbek és jól egyeznek az 1975-ös mérési eredményekkel.

A IV. fázisban, a jobb-oldali kerekek talajra csapódásakor fellépő, a mérés határt rövid ideig meghaladó gyorsulás a folyamat során fellépő legnagyobb dinamikus terhelés.

A bábuk fejjágyorsulásainak lefutása hasonló kis fáziskülönbséggel. Nagy értékeket először a II. fázisban tapasztaltunk, amikor a bábuk feje elérte a tetőt. Ez a gyorsuláscsúcs („A”:14,5 g ill. „O”:19,4 g) alatta marad a veszélyesnek ítélt 80 g értéknek. Bár elég hosszú ideig, mintegy 0,13 sec-ig magas a gyorsulás értéke, messze alatta marad a biomechanikai terhelés a megengedett határterhelésnek. A IV. és V. fázisban fellépő újabb gyorsuláscsúcsok a bábuknak az utastéren belüli ismételt felütkezésére vezethetők vissza. Az "A" próbabábu, a IV. fázisban mért 22 g eredő gyorsulás az egész folyamat során mért legnagyobb fejjágyorsulás.

Az "O" próbabábu mellkasában mért (+x irányú) gyorsulás legnagyobb értéke 12,6 g, ami a megengedett 60 g-s értékhez képest nem számottevő.

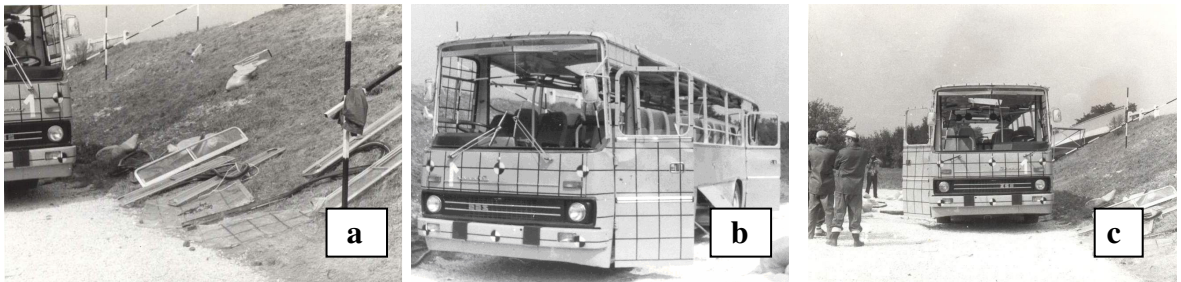
Bár a bábukon végzett gyorsulásértékek nem tekinthetők teljes értékűnek, hiszen ahhoz mind a fejben mind a mellkasban három irányú gyorsulásmérésre lett volna szükség, az eredményekből következtetni lehet arra, hogy a terhelések messze elmaradnak a biomechanikai határértékektől. Ezért nincs szükség az ún. fejsérülési indexek, a HIC értékek kiszámítására sem.

A mérési eredmények ugyanakkor ellentmondani látszanak a film látványának. A belső kamera filmfelvételén a bábuk csapkodása, mozgása ijesztőnek tűnik. A mérési eredmények alapján azonban inkább azt kell mondanunk, hogy számunkra szokatlan a látvány. Ez a megállapítás azonban természetesen nem vonatkozik a helyi terhelésekre, a végtag-törési és a bőr-sérülési veszélyre.

M3.6.3 A borítás utáni felvételek

A borulás folyamata után a jobb oldalára dőlt autóbust egy daruval a kerekeire állították.

Az **M3.22 ábra** felvételein a kiszakadt homokzsákok, a betört mennyezeti burkolat, a tetőszellőző hiánya is láthatók.



M3.22 ábra

A borító vizsgálat végén a kerekeire visszabillentett autóbussz és környezete

Összesen csupán hat darab homokzsák maradt meg lekötésben a borulás után (amelyből három eleve többszörös erősítéssel volt kötve), egy a vezetőüléshez ill. kettő darab a belső kamera környezetében.

A felvételekről leolvasható a borító lemezelések tönkremenetele és az oszloptők hajlítás okozta stabilitásveszélye is. Utóbbi jobban látszik a filmekről, ahol az éles, nagy szögben történő megtörés egyértelműen képlékeny stabilitásvesztésre mutat.

A hátfal felső kereténél a tetőhöz való csatlakozásnál hasonló tönkremenetel volt tapasztalható. A mellő széles oszlopoknál csupán ívben történt hajlás volt látható, törés jellegű deformáció nem. A fellépő dinamikus hatások nem csupán az ütközés során közvetlenül érintett tetőrészt károsították. A tömegerők a nagyobb tömegű főegységek felfüggesztését is próbára tették. Valószínűsíthetően ezek a törések a IV. fázisban jöttek létre. (Eltört a kipufogócső, szétszakadt a bal hátsó lengéscsillapító, a műanyagvédőburok felgyűrődött, az üzemanyagtartály mindkét tartópántja elpattant.)

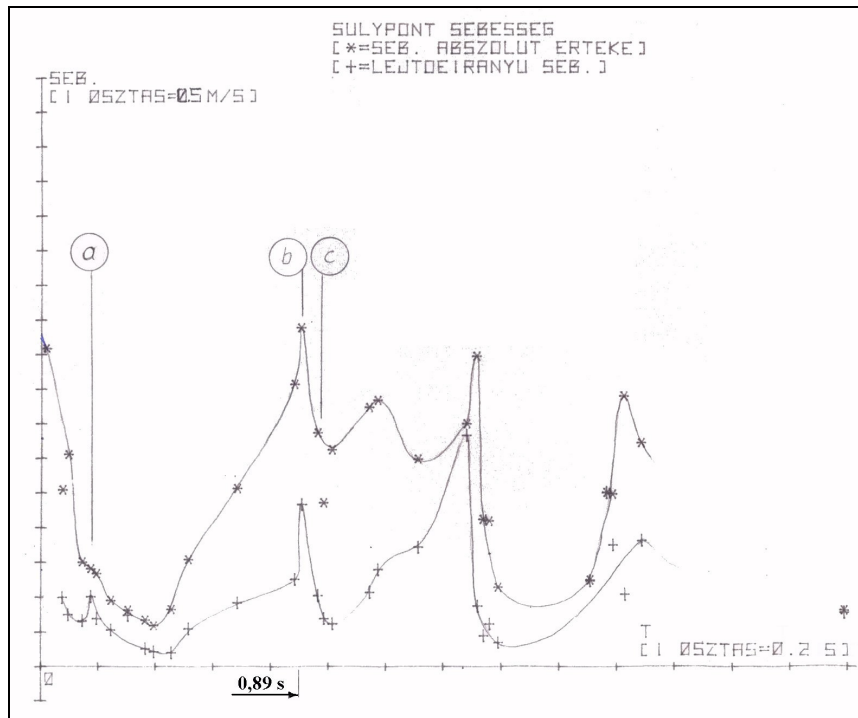
A hátsó ajtó a borulás után is nyitható-zárható volt, a mellő ajtó is könnyen kinyílt, de már nem csukódott, az ablakoszlopok tövében képlékeny alakváltozásból származó tönkremenetel volt látható. Az akkumulátortérből az akkumulátor kiszakadt és a talpraállítás után ki is esett. Az ablakoldali kapaszkodórudak több helyen eltörték és kihajlottak.

A futómű felfüggesztések és környezetük nem szenvedett látható károsodást.

M3.6.4 Sebesség és szöggyorsulás

Az **M3.23 ábra** a terhelt jármű súlypontjának sebesség változását mutatja, külön kirajzolva a sebesség abszolút értékének és a pályamenti összetevőjének alakulását.

(Az átterhelődések miatt bekövetkező súlypont eltolódást nem lehet figyelembe venni.)



M3.23 ábra

A borító vizsgálat során az IK 225 autóbusz súlypontja eredő és lejtőmenti sebességének időfüggvénye

A tetőszerkezet első kihajlása a (0-a) szakaszon történik.

$$D_1 = E_0 - E_a;$$

ahol D_1 - a vázszerkezet és a talaj deformációs munkája, (plusz a kiszakadó elemek által a rendszerből kikerült energia);

$$E_0 = mgh_0 + \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}\Theta_s\omega_0^2 \quad \text{az ütközés előtti helyzeti és kinetikai energia ösz-}$$

szege;

$$E_a = mgh_a + \frac{1}{2}mv_a^2 + \frac{1}{2}\Theta_s\omega_a^2 \quad \text{-a helyzeti és a mozgási energia az ütközés után (a)}$$

pillanatban.

$$v_0 = 4,6 \text{ m/s};$$

$$v_a = 1,48 \text{ m/s};$$

$$\omega_0 = 3,35 \text{ 1/s};$$

$$\omega_a = 1,9 \text{ 1/s};$$

$$h_0 = -1,6 \text{ m};$$

$$h_a = -1,75 \text{ m}.$$

$$D_1 = 187\,860 \text{ Nm}.$$

A tetőszerkezet teljesen a lejtőn fekszik a 0,89 s. időpillanatban. Ekkor kezdődik az ablakoszlopok újabb deformációs kihajlása.

Ennek energia szükségletéről tájékoztató adatok az **M3.16 ábra** jelöléseivel:

$$D_2 = E_b - E_c = 130\,330 \text{ [Nm]}.$$

$$V_b = 4,8 \text{ m/s};$$

$$V_c = 3,3 \text{ m/s};$$

$$\omega_b = 2,75 \text{ 1/s};$$

$$\omega_c = 0,23 \text{ 1/s};$$

$$h_b = -2,7 \text{ m};$$

$$h_c = -2,9 \text{ m}.$$

A tetőlapon átfordulás közben a homokzsákok, bábuk, kiszakadó elemek mozgása, ütközése jelentősen befolyásolja az energiaviszonyokat.

M3.5.5 A magyar módszer szerinti borítóvizsgálatok összefoglalása

Az 1982-es vizsgálatot, amely alapvetően minősítő jellegű vizsgálat volt, kutatási célra is fel kívántunk használni, hogy a bábuk behelyezésével információt szerezzünk az utasok mozgásáról is. Külön-külön mindkét cél kielégíthető, de itt a kettősség némi zavart okozott: a bábuk behelyezése, filmezése miatt nem tudtunk minden ülést terhelni, ugyanakkor a repkedő homokzsákok zavarták a film értékelhetőségét.

A filmezés és a filmértékelés, a filmek mérő-vágó asztalon történő elemzése és az eredmények számítógépes kiértékelése a korábbi, hasonló vizsgálatokhoz képest jelentős előrelépés volt.

A vizsgálati módszer reprodukálhatónak bizonyult és eredményei jól összevehetők az 1975-ben szerzett tapasztalatokkal. A pontosítás, javítás igénye két kérdésben volt felvethető:

- a homokzsákok az utasterhelés szimulálására alapvetően megfeleltek, az a kár viszont, amit kiszakadásuk után a belső térben tettek, irreálisnak tűnik;

- a korábbival azonos helyen, de az eltérő időjárási viszonyok miatt szárazabb talajon végrehajtott kísérletnél a talaj deformáció (és ezzel az ütközési erő) változott.

Felmerült, hogy a "talajminőség" esetleg mű-talaj (pl. műanyag bevonat) alkalmazásával egyértelművé tehető.

A tető igénybevételének növeléséhez a jobboldali kerekeket magasabbra, a töltéskoronához közelebb kell az esetleges szabványosított vizsgálatnál helyezni.

A vizsgálatok bebizonyították, hogy az utasterhelés szerepe lényeges, annak elhagyása csak alapos megfontolások alapján lehetséges.

Az autóbusz végső állapotát lényegesen befolyásolta, hogy a vizsgálat érdemi szakaszát, a tetőn való átfordulást még további, nagy dinamikus igénybevétellel járó folyamat követte.

(Ekkor szakadt ki pl. az üzemanyag-tartály, tört el a kipufogó.) Ez részben elkerülhető lett volna, ha a lejtőt rövidebbre, kb. 6 m-esre választjuk.

A tető az ismétlődő igénybevételek hatására nem veszítette el stabilitását, lényegében megvédte a belső teret. Ez annak ellenére lényeges, hogy az **M3.16 ábra** tanulsága szerint a védett teret a baloldali tetőélen való átfordulás közben a bal oldalfal elérte. A tetőszilárdságot az alapvető koncepció (elöl és hátul borulókeret) megtartása mellett javítani kellett a hátfali borulókeret további erősítésével.

A bábuk mozgásából, az azokon mért gyorsulásokból arra lehetett következtetni, hogy az utasok nem lennének direkt életveszélyben. (Ez jól összevág a baleseti tapasztalatokkal is.) Mégis, az utasok biztonságát lényegesen, bár különböző módon javítaná:

- a buszból való kiesés megakadályozása a vészkijárási tetőszellőző és az ablaképítés módosításával, az ablakkitörés megakadályozásával;

- az utasoknak az ülésben tartása (megfelelő utasvisszatartó rendszer autóbuszokhoz akkortájt még nem volt!).

Összességben a vizsgálatot mind a tetőszilárdság vizsgálata, mind a módszer értékelése szempontjából eredményesnek tekintettük. A tetőszilárdság a kritikus határ környezetében volt és már ekkor 1982-ben megállapítást nyert, hogy az utasvédelem lényegesen javítható az utasok belső, szekunder védelmét szolgáló konstrukciós megoldások kidolgozásával, az utasok helyben tartásával.

M3.7 Eredeti angol és az azt módosító magyar javaslat – (EGB 66)

A tetőszilárdsági vizsgálatoknak a bekövetkezett balesetek száma, súlyossága miatt szintén nagy jelentőséget tulajdonító Anglia is kidolgozott egy tetőszilárdsági előírás tervezetet, amelynek baleseti szimulációra vonatkozó része -11° -os lejtőn oldalirányú csúszás, majd 800 mm mély árokba borulás-, két okból különbözik a magyar javaslatától:

– A magyar javaslat alapján az angolok végeztek egy vizsgálatot, amely sikertelennek bizonyult. Véleményünk szerint a sikertelenség oka elsősorban a nem kellő gondosságú előkészítés volt, az angol hatóságok azonban azt a következtetést vonták le, hogy a magyar módszer szerinti vizsgálatok nem reprodukálhatók biztonsággal.

– Az angolok eleve más baleseti szituációt, a sík úton történő borulást tartották jellemzőnek. (A jármű megcsúszik, keresztbe fordul és az oldalcsúszási sebesség lecsökkenése következtében borul fel).

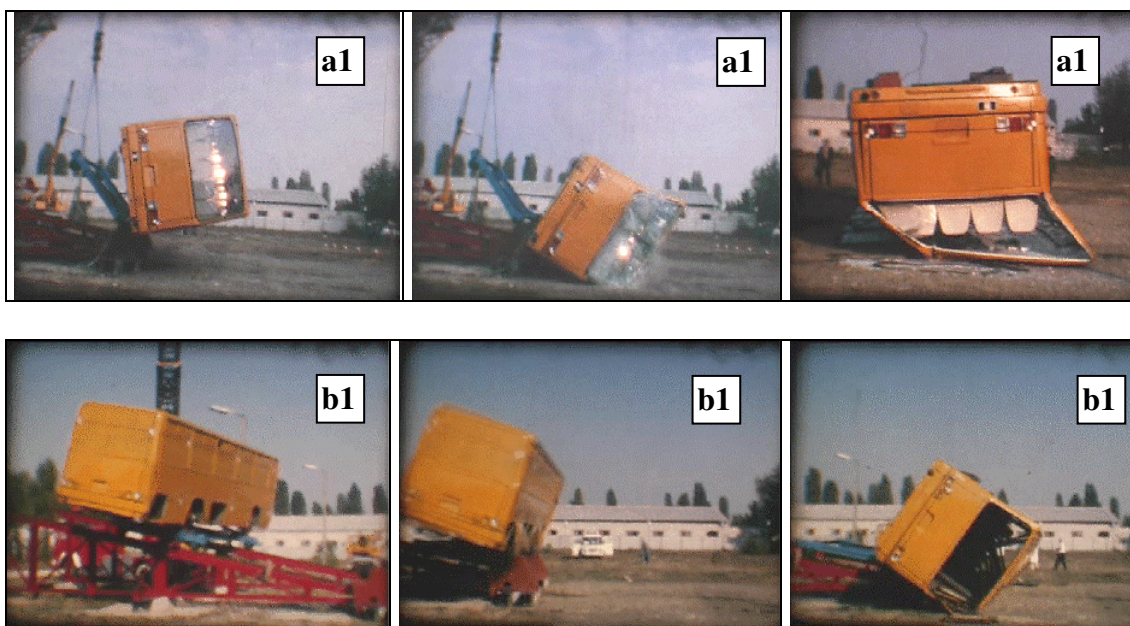
A fentiek alapján az angol kormány egy, a magyar vizsgálatól lényegesen eltérő módszert javasolt GRSA-ban. Az érdekelt akkori magyar minisztérium, a KGM, hogy elősegítse egy nemzetközi érvényű előírás létrejöttét, hajlandó volt támogatni az angol javaslatot is. A végleges döntéshez azonban mind az IKARUS, mind a KGM számára szükséges volt a két módszert összehasonlító vizsgálat sorozat.

A lefolytatandó kísérletek célja az volt, hogy elvégezze mindkét módszer szerint az ellenőrző mérést egy-egy IK 255 típusú autóbuszon, a kapott adatok birtokában pedig összehasonlító értékelést lehessen végezni, véleményt mondani a két módszer hatékonyságáról.

Az első fázisban a magyar módszer szerinti vizsgálatot végeztük el, annak eredményeit, tanulságait dolgoztuk fel, ezt ismertettem részletesen az előbbieken. Egy ezt követő későbbi fázisban, 1983 tavaszán került sor az angol módszer szerinti vizsgálatra, annak értékelésére, és a két vizsgálat eredményeinek, tapasztalatainak összehasonlítására.

Az angol módszer szerinti első, 1983-es próba kudarccal végződött, az autóbusz részben fennakadt a javaslat szerint kiképzett, az AUTÓKUT által tervezett és gyártott berendezésen, másrészt a vizsgálat után elkészült elméleti számítások alapján gyorsan kiderült, hogy bizonyos súlypontmagasság alatti autóbuszok esetében a módszer egyáltalán nem használható, nem működik. A lecsúszott busz fennakad az ütközőn, nem billen át!

A sikertelen első kísérlet után a kísérletvezetők egy egyszerűsített vizsgálat mellett döntöttek, a csúszókeretet némi átalakítással billentő keretté alakították és 800 mm magasságból, álló helyzetből, daru segítségével történt meg az autóbuszok tetőéltre döntése. (M3.24 ábra) A borulókeret nélküli autóbuszok látványosan összerogytak, ami a módosított vizsgálati módszer használhatóságának bizonyítékául szolgált. Így alakult ki a végső formája az előírásnak és magyar kezdeményezésre azután ez a közös magyar-angol javaslat lett az ENSZ-EGB munkabizottságában és a hivatalos vizsgálati követelményben az alapelrendezése az 1986-ban életbe lépett EGB 66. számú autóbusz tetőszilárdsági előírásnak.



M3.24 ábra

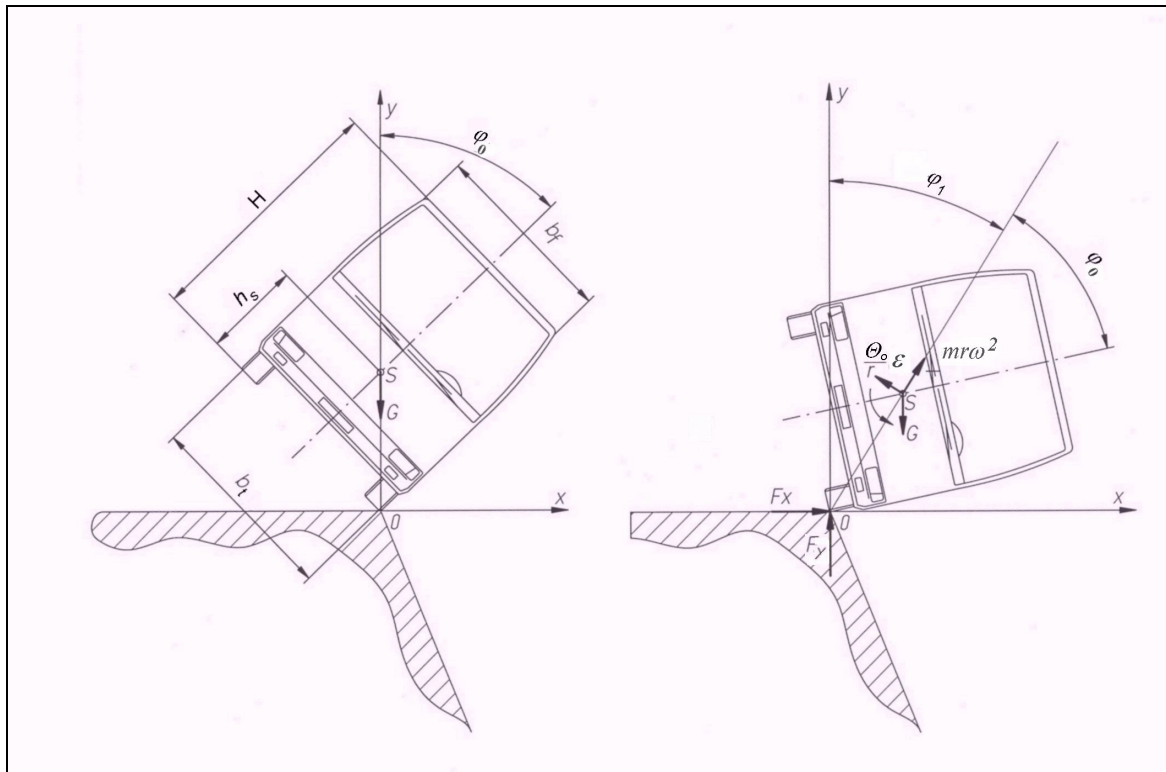
Borulókeret nélküli és borulókerettel ellátott IK 255 típusú autóbuszok angol módszer szerinti elrendezésben, daruval történt „sikeres” billentéses vizsgálata 1983-ban (a: normál kivitel; b: borulókerettel merevített homlok és hátfal)

M3.8 Egy kis „borulásmechanika” az EB 66. számú előíráshoz

Az 1986-ban hatályba lépett ENSZ-EGB 66. számú nemzetközi előírás 6.1 pontja rögzítette azokat a szilárdsági követelményeket, amelyeket egy autóbusznek ki kell elégíteni ahhoz, hogy az illetékes hatóság jóváhagyhassa tetőszilárdság szempontjából. (ld. **3.2 pont**)

Az elfogadott standard baleseti szituáció -a kezdeti 3/4-es lejtőn történő borítást támogató eredeti magyar javaslattal szemben- egy közös magyar-angol kompromisszumos javaslat lett: 800 mm magasságból az üzemkész állapotú üres autóbust <5 fok/s kezdő szögsebességgel kemény (beton) felületre kell billenteni.

Egy sokszor felmerülő egyszerű kérdésre keressünk most választ: a standard borítóvizsgálatnál a tetőél talajra érkezéskor a billentőművel érintkeznek-e még az autóbusz kerekei vagy nem.



M3.25 ábra

A labilis állapottól a kerékválásig tartó borulási fázis

A kerékválás szögének kiszámításához a momentán forgástengelyre (0) felírt nyomatéki egyenlet ($\Theta_0 = \text{áll.}$) kiindulási feltétellel és az elválás pillanatában fennálló ($F_x = F_y = 0$) összefüggés felhasználásával, az **M3.25 ábra** jelöléseivel az

$$\frac{1}{2} \Theta_0 \omega^2 = mgh \quad (\text{M3-1})$$

$$mr\omega^2 = mg \cos \varphi_1 \quad (\text{M3-2})$$

egyenleteket írhatjuk fel, ahol

$$r = \sqrt{\left(\frac{b_t}{2}\right)^2 + h_s^2} \text{ és}$$

$$h = r(1 - \cos \varphi_1), \text{ így}$$

$$\frac{1}{2} \Theta_0 \omega^2 = mg(r - r \cos \varphi_1) = mgr - mr^2 \omega^2$$

adódik. Ebből a Steiner-tétel felhasználásával:

$$\omega^2 = \frac{2mgr}{\Theta_0 + 2mr^2} = \frac{2mgr}{\Theta_s + 3mr^2} \text{ adódik, amelyet a (5-2)-be visszahelyettesítve}$$

$$\varphi_{01} = \varphi_0 + \varphi_1 = \arctg\left(\frac{b_t}{2h_s}\right) + \arccos\left(\frac{2mr^2}{\Theta_s + 3mr^2}\right)$$

összefüggést kapjuk a kerékelválás pillanatában érvényes hossz tengely körüli elfordulás szögére. Innen kezdve a talajtérésig az autóbusz szabadesést végez állandó szögsebességgel.

A kapott összefüggésbe behelyettesítve az IK 255 típusú üres autóbusz mért adatait (ld. **M3.5.1.2 fejezet**) a kerékelválásig a középsík függőlegestől történő elfordulására $102,8^\circ$ adódik, ami – a busz tetősíkban mért kb. 2,3 m szélességével számítva- azt jelenti, hogy a tetőél felütközése előtt az autóbusz kerekei éppen elhagyják a billentő szerkezet felületét. (A tetőél beütközésekor kb. 108 fokos szöget zár be az elfordult középsík a kiindulási helyzetben megállapított függőleges síkkal. Egy magas építésű autóbusz esetén viszont a tetőél felütközésekor még érintkezhetnek az borítóművel.)

M3.9 A vázszerkezet passzív biztonsági fejlesztéseinek gyakorlati eredményei

Az 1970-es évek elejétől kezdődően megindult autóbusz biztonsági fejlesztések közül fogható eredménye volt 38 db autóbusz követelmény (magyar AK előírás) megfogalmazása, amely a kor követelményeinek megfelelő buszok építését tette lehetővé több mint 20 éven keresztül. A buszokra vonatkozóan a 80-as évek közepétől kezdődően kezdtek életbe lépni a különböző európai előírások és ma az EU kompatibilitás jegyében nincsenek érvényben magyar szabványok illetve elkészült egy közös európai busz követelményrendszer.

A különböző autóbusz biztonsági fejlesztések közül emeljük ki az autóbuszok borulásbiztonságára jelentős hatással bíró borulókeret beépítéseket.

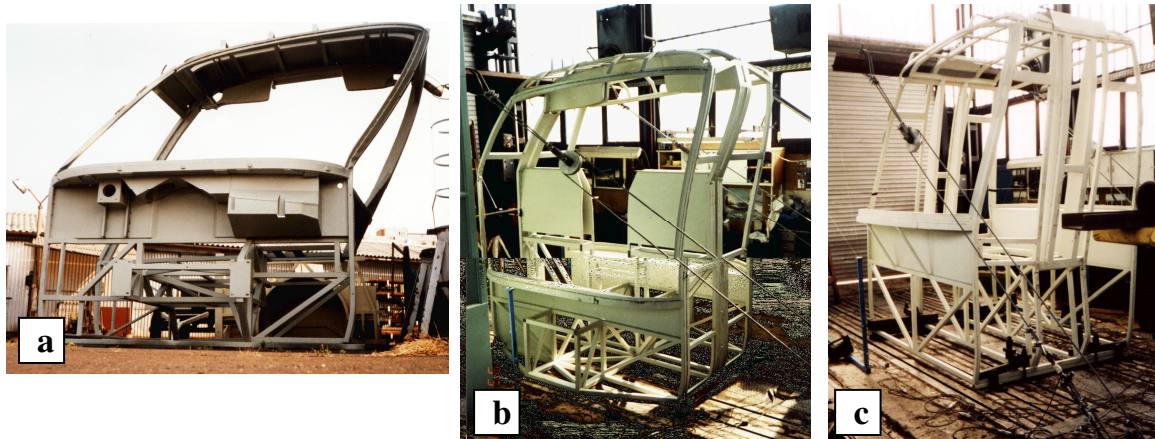
Gyártás éve		Mellső borulókeretek alkalmazási éve	Hátsó borulókeretek alkalmazási éve
IK 250	1967	1974	1974
IK 256	1974	1974	1974
IK 266	1972	1983	1979
IK 260	1972	1983	1983
IK 211	1974	1981	1979

M3.5 táblázat

Az IK 200-as család borulókeretei első alkalmazásainak évszámjai

A borulókeretek beépítésének jelentősége abban állt, hogy a teljes autóbuszváz áttervezése nélkül lehetővé tette a megfelelő merevségű vázszerkezet kialakítását. Ennek kronológiáját összegeztük az **M3.5 táblázatban** az Ikarus buszok 200-as családjára vonatkozóan. [S24]

A buszok tetőszerkezetének biztonságosabbá tétele céljából elvégzett kísérleti és kutató munkák, valamint a több mint kéttucatnyi AUTÓKUT-ban elvégzett tetőszilárdság jóváhagyó vizsgálat alapján néhány –mellfali keretre vonatkozó-, gyakorlati megoldást is mutat a következő ábra, amelyek nagyobb borulásbiztonságot eredményeztek. (**M3.26 ábra**)



M3.26 ábra

Vezetőtér mögötti keresztsgemensek (válaszfalak) különböző megerősítési változatai Ikarus buszok építésénél: a) tetőborda sarokmervítés, b) magasított vezetőmögötti válaszfal + tetőborda, c) terebélyesített első ajtóoszlop műgyanta feltöltéssel.

A személyautók fejlesztésével párhuzamosan jelentős mértékben javultak a tömegközlekedés lehetőségei, de ezen belül érdekes módon a kötöttpályás eszközökkel ellentétben a busz közlekedésnek csökkenő szerepet prognosztizált sok fejlett országbeli szakember még a 80-as évek közepén is. Mára ennek pontosan az ellenkezője bizonyosodott be. A buszok szerepe mind a településeken belüli, mind a városok közötti közlekedésben fokozatosan nő, és ennek megfelelően alakulnak és válnak külön a különböző típusú autóbuszokra vonatkozó biztonsági, üzemeltetési elvárások is. Témához illő, szemléletes példával illusztrálva, például a borulásbiztonság passzív biztonsági követelményrendszere kevésbé szigorúbb egy többszázéves nagyvárosban közlekedő autóbuszhoz szemben, mint a távolsági autóbuszokra kidolgozott szabályozások elvárásai. Igaz ez az autóbusz vázmerevségére ugyanúgy, mind a biztonsági övekkel történő felszerelésükre. Szerencsére az utasok biztonságát fokozó szigorítások az egységesítés irányába hatnak és évről évre javítják az autóbuszok közlekedésbiztonságát.

A következő táblázatban összefoglalóan összesítettem az autóbuszok vázszerkezetére, passzív és aktív biztonsági fejlesztéseire, illetve azok alkalmazási évszámaira vonatkozó magyar és az élvonalhoz tartozó nyugat-európai országok megoldásait összehasonlító módon.

A táblázattal azt kívánom igazolni, hogy a magyar buszfejlesztés az európai élvonalba tartozott a múlt század utolsó negyedében, korszerű megoldások többségét a fejlett országokkal gyakorlatilag azonos időben vezettük be, illetve néhány –elsősorban borulásbiztonsági- szerkezeti fejlesztési eredményt pedig Magyarországon alkalmaztunk először.

VÁZSZERKEZET	HAZAI VISZONYLAT (ÉV)		EURÓPAI ÉLMEZŐNY (ÉV)	
Padlómagasság Városi	920 mm	-1952	920 mm	-1952
	740 mm	1970-	740 mm	1968-
	350 mm	1993-	350 mm	1990-
távolsági	emelt padlószint	1985-	emelt padlószint	1985-
Vázjelleg	önhordó	1948-2002	önhordó	1952-2002
szélvédő	gumiágy	-1990	gumiágy	-1990
	ragasztott	1990-	ragasztott	1990-
vezetőtér	nyitott	-1980	Nyitott	
	zárt	1980-		
hajtáslánc elrendezés	középmotoros	1959-2002	farmotoros	1952-

	farmotoros	1970-2002	
futómű	laprugós	- 1959	laprugós -1960
	lap- és légrugó	1959-1970	légrugós 1960-
	légrugós	1970-	
mozgáskorlátozottak közlekedésének segítése	rámpa, lift	1993-	rámpa, lift 1990-
CAN buszos rendszer		2000-	1998-

PASSÍV BIZTONSÁG			
borulókeretek		1974-	1975-
tetőbordák, oldaloszlop kiegészítő merevítések		1975-	1975-
üléslékötések		1975-	1975-
magas háttámlás ülések		1978	1977-
biztonsági övek		1990-	1989-
éghető anyagok csökk.		1980-	1984-

AKTÍV BIZTONSÁG			
sebességváltó	automata	1973-	automata 1970-
retarder használat		1980-	1970-
ABS		1993-	1990-
kormányzás (szervo,...)	1959-		1955-
gumiabroncs	radiál	1980-	radiál 1975-
világítás	fénycsöves	1968-	fénycsöves 1975-
műszerfal elrendezés	VÖV I.(német) előírás	1971-	VÖV I. előírás 1969-

M3.6 táblázat

Autóbusz szerkezeti és részegység fejlesztések néhány mérföldköve és évszáma Magyarországon és Nyugat-Európában