

Konstruktív megoldások az utolérési balesetek következményeinek csökkentésére

Construction Solutions for Reducing the Effect of the Rear-end Collision

KERTÉSZ J.¹, KOVÁCS T.A.²

¹Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi és Közúti járművek Tanszék, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, kertesz.jozsef@eng.unideb.hu

²Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Absztrakt. A baleseti statisztikákat vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a közlekedés biztonság fokozása egy indokolt mérnöki tevékenység. A közúti forgalomban részt vevő járművek darabszámának évről-évre történő szignifikáns növekedését a városi infrastruktúra és úthálózat gyakran nem tudja már lekövetni. Ezért a növekvő jármű darabszám természetesen magával vonja a közúti balesetek számának növekvő tendenciáját is. A jármű-konstruktív ütközésbiztonság fokozás célja, hogy a növekvő balesetszám ellenére a személyi sérüléssel járó esetek számát csökkentse. A statisztikák szerint a balesetek jelentős része városban és az elővárosi szakaszokon történik. Ezen balesetek jelentős hányadát az utolérési balesetek adják. Jelen tanulmány az utolérési balesetek következményeinek csökkentése érdekében alkalmazott konstruktív lehetőségeket vizsgálja, első sorban a vétlen jármű és utasai védelme érdekében létrehozott technológiákra fókuszálva. A jelenleg alkalmazott technológiák mellett jövőbemutató lehetséges megoldások és konstruktív lehetőségek is bemutatásra kerülnek. A fejlesztés és kutatás nem koncentrálódhat csak az ütközésbiztonság fokozására, figyelembe kell venni a jármű tömegének optimalizációját is. Ezen látszólag ellentétes követelmények teljesítése csak új anyagok alkalmazásával, meglévő anyagok integrációjával lehetséges. Ezért a tanulmány a járművek gyűrődő zónáiban alkalmazott fémhabok optimalisabb kihasználásával is foglalkozik. Továbbá megfogalmazásra kerül egy, a Mercedes által kifejlesztett Pre Safe Plus® rendszeren alapuló optimalizált fékasszisztensi megoldás az ütközési energia nagyobb mértékű abszorpciója érdekében.

Kulcsszavak: fémhab, konstrukció optimalizáció, gyűrődőzóna, teleszkóp szerkezet, biztonságfokozás

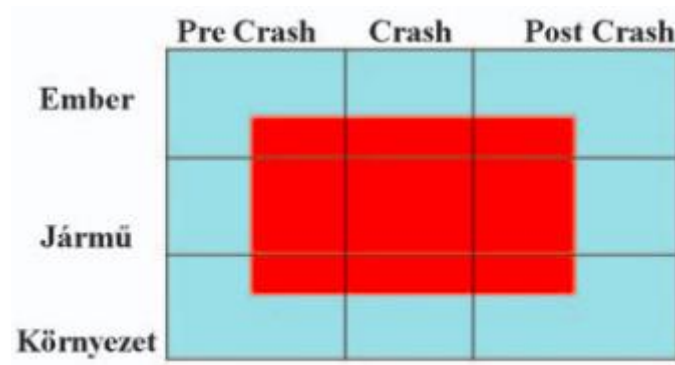
Abstract. Analysing the accident statistics, we can detect that, the improvement of the transport safety is one of the most important engineering task. The number of the vehicles in the transport gets significantly higher from year-to-year, and the infrastructure of the cities frequently can not coordinate already it. Therefore the increasing of the vehicles's number naturally involves the upgrowth of the accidents occasions too. The aim of the improvement of the vehicle-construction to reduce the personal injured and death resulted accidents number in contrast with the increasing traffic performance. This study analyses the construction options for reducing the effect of the rear-end collision which are concentrated for the passive vehicles and its passengers firstly. Among the actual car manufacturers applied solutions, forward-looking possibilities and suggestions are described in this publication. The development can not be concentrated for only the safety improvement, the mass-optimization must be completed simultaneously. These apparent contrary requirements can be completed with application of new materials. Therefore

the study addresses the more optimal utilization of the metal foam in the vehicles crushbox. In addition, an optimized break-assist solution is described based on the Mercedes developed Pre Safe Plus® system to increase the absorption of the impact energy.

Keywords: metal foam, construction optimization, crushbox, telescopic structure, safety improving

Bevezetés

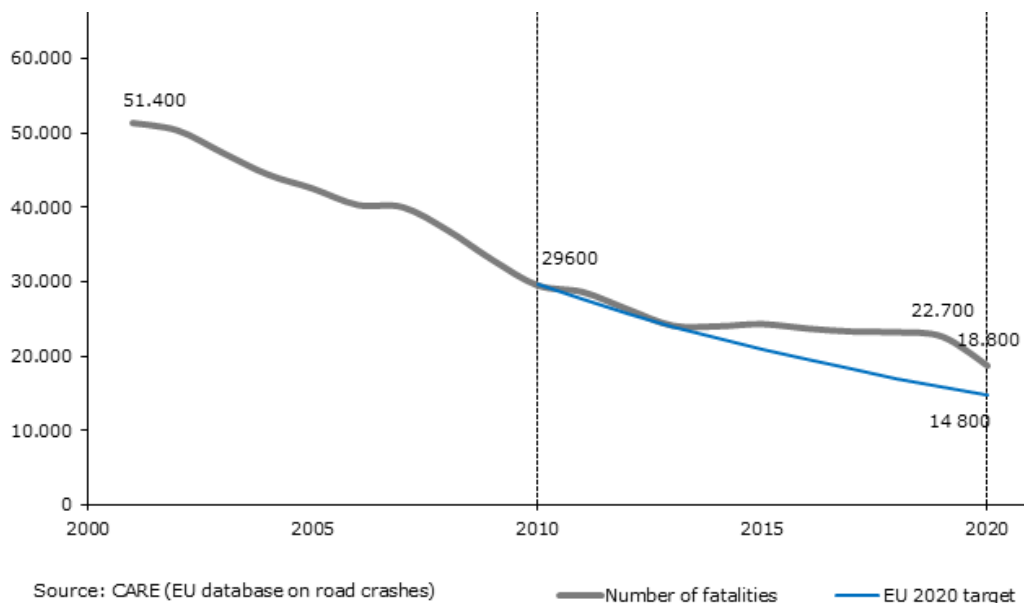
XXI. század elképesztően felgyorsult mobilitásában a gépjármű közlekedés biztonsága is széles körben fejlődött és magasfokú biztonsági szintet ért el, hiszen a mobilitás fejlődése mindig magával vonja a biztonság fokozásának igényét is. Az Amerikai Egyesült Államok közlekedésbiztonságért felelős bizottsága indította az ESV (Experimental Safety Vehicle) programját, melynek elsődleges célja volt közlekedési balesetek halálos áldozatainak számának csökkentése. A program lényege, hogy valós töréstesztekkel kell tudni bizonyítani az adott jármű közlekedésbiztonsági alkalmasságát. Ezekben a programokban való megfelelés céljából kezdődött meg a passzív és aktív biztonsági rendszerek elkülönülése és önálló de mégis szinergikus fejlesztése. Amíg az aktív biztonsági rendszer a balesetek elkerülésére, megelőzésére irányuló intézkedéseket és technikai megoldásokat foglalja magába, addig a passzív biztonsági rendszer a már bekövetkezett baleset következményeit igyekszik csökkenteni. [1] Fontos megemlíteni, hogy a járműgyártás fejlődésével a passzív biztonsági rendszer további két típusát különböztethetjük meg. A külső passzív biztonsági rendszerhez sorolhatjuk azokat a műszaki megoldásokat amelyek a járműben utazók számára biztosítják a túléléshez szükséges védett teret (utascella szilárdság), valamint csökkentik az ütközés során kialakult lassulások és gyorsulások mértékét. Belső biztonságon pedig mindazon technikai eszközök összességét értjük, amelyek a járműben utazók járművön belüli sérülések lehetőségét zárják ki, esetleg csökkentik annak mértékét. Ide sorolhatjuk a lassulásból vagy gyorsulásból származtatható terhelések csökkentésére szolgáló utasvisszatartó eszközöket, és az energiaelnyelő felütközési zónákat. Bármely passzív biztonsági megoldásról legyen is szó, a biztonság fejlesztéséhez, vizsgálatához elengedhetetlen az emberi test terhelésekkel szembeni tűrőképességének ismerete. Ahogy azt az egyes technikai megoldások részletezésénél is látni fogjuk a mai korszerű gépjárművek esetében az aktív és passzív rendszereket elválasztó határvonal kezd elmosódni, és sokkal inkább már integrált biztonsági rendszerekről kell beszélnünk. Az integrált biztonság valójában a járművek teljeskörű biztonságát kifejező Haddon – matrix modellen alapuló leírás amely az 1. ábrán látható. A közúti közlekedést rendszerszerű szemléletével ember-jármű-környezet hármasra bonthatjuk. Ezek az elemek a balesetet megelőző(pre), közbeni és utáni(post) állapotokban folyamatosan meghatározzák és aktívan befolyásolják a baleset körülményeit és annak következményeit. Ebből adódóan a közlekedési balesetkutatáson alapuló technológia fejlesztések ezen a rendszerszemléletű elven alapulnak. [2]



1. ábra Balesetbiztonsági Haddon-mátrix [2]

1. Baleseti statisztikai számok elemzése

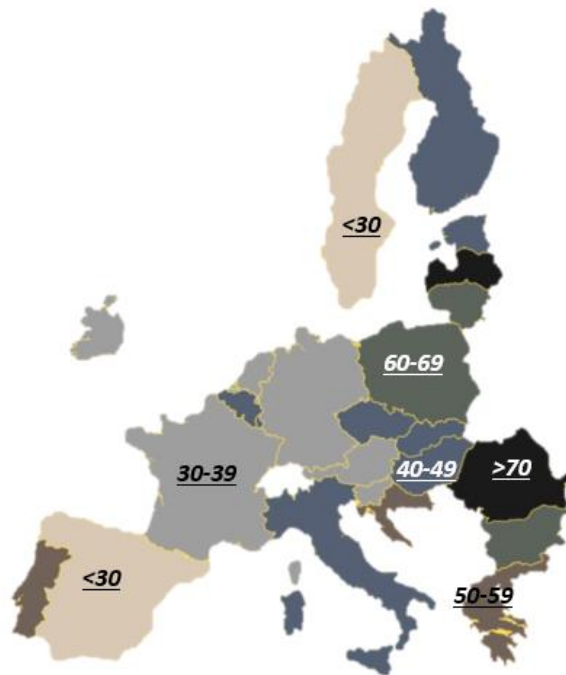
Az Európai Unió 2010-ben indította el legutóbbi közlekedésbiztonsági szakpolitikai programját. A program célja, hogy 10 év távlatában, tehát 2020-ra a halálos kimenetelű balesetek számát 50%-al csökkentse. Ennek érdekében az tagországok törvényi szabályzásokat és iránymutatásokat kaptak, amelyek segítik a kitűzött célt közösen elérni.



2. ábra Halálos kimenetelű balesetek száma 2000-2020 között [3]

A tavalyi évben a 10 éves program lejárt és elkészültek annak statisztikai elemzései, amely azt mutatja, hogy a kitűzött célszámokat sajnos nem sikerült teljesíteni az Uniónak. Az eredménymutatókat vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a halálos kimenetelű balesetek száma csupán 36%-al csökkent, 14%-al elmaradva a kitűzött értéktől. Sajnos az eredményt még tovább árnyalja az a tény, hogy 2019-ben a járványügyi szigorítások miatt az egy napra jutó közlekedő járművek darabszáma jelentősen kevesebb volt, amelynek a pozitív irányba kell vagy kellett volna billenteni a statisztikai mutatót. Viszont még így sem teljesült az 50%-os határ. Az adatok elemzésekor fontos megemlítenünk, hogy a 36%-os javulási tendenciát annak ellenére sikerült elérni, hogy a program futamideje alatt a közúti közlekedésben

résztevő járművek száma 42%-al nőtt. Míg 2010-ben 278 millió darab jármű vet részt aktívan a közlekedésben addig 2020-ban ez a szám már közel 400 millióra tendál. [4]. Ha ezt az adatot figyelembe vesszük, akkor máris látható, hogy óriási feladat hárul a közlekedéspolitikára és az ezt kiszolgáló tudományágakra, hiszen egy dinamikusan növekvő járműdarabszám és sűrűsödő közlekedés ellenére kell a kitűzött célokat elérni. 2020-ban közel 19 ezer ember vesztette életét közlekedési baleset miatt, ami még mindig óriási számadat. Az egyes országok eredményességét a 3. ábra szemlélteti. Míg Norvégia és Spanyolország javítja, a keleti és a balkáni országok rontják a statisztikai számokat. Magyarországon az 1 millióra lakosra jutó közlekedési balesetben elhunytak száma 49 főre tehető, amellyel a statisztikai középmezőnyben helyezkedünk el.



3. ábra 1 millió lakosra jutó halálos kimenetelű balesetek száma országonkénti bontásban [5]

Az elemzések során az országonkénti statisztika fontos adat, azonban a térségenkénti jelentős eltérések alátámasztja azt a tényt, hogy - a bevezetésben említett - három közlekedésbiztonsági alterület együttes szinergikus működése szükséges a globális eredmények eléréséhez. Hiába készülnek ütközésbiztonság szempontjából nagy teljesítményű járművek a nyugat-európai országokban, ha az egyes uniós országok közlekedési személy és úthálózati kultúrája visszamaradott és nem idealizált. Ugyanakkor a fejlett közlekedési infrastruktúra és személyzet sem elegendő a halálozási számadat csökkentéséhez a növekvő jármű darabszám miatt, ha a járművek amelyekkel közlekedünk ne rendelkeznének a legkorszerűbb aktív és passzív biztonsági rendszerekkel. A 2020-ban közlekedési balesetben elhunyt személyek száma még mindig alapos indokot ad a járművek ütközésbiztonságának fokozására irányuló kutatások létére. A halálos kimenetelű baleseteken túl a számokat elemezve azt tapasztalhatjuk, hogy a közlekedési balesetek 38%-as lakott területen, míg 53%-as főúton és elővárosi szakaszon történik. [5] A National Highway Transportation Safety Administration által végzett statisztikai elemzések szerint közúti baleseteknek közel egy harmadát az utolérési balesetek teszik ki, amelynek oka természetesen a folyamatosan sűrűsödő forgalom, amit már a közlekedési infrastruktúra nem minden esetben tud kezelni. [6] A növekvő forgalom miatt, növekszik a kereszteződésekben és a lámpáknál várakozással

töltött idő, amely türelmetlenséget és feszültséget szít a járművezetőkben. Az ebből adódó követési távolság be nem tartása, a figyelmetlenség, és az adott környezeti feltételekhez nem megfelelően megválasztott sebesség a legfőbb okai az utoléréses baleseteknek.

2. Az utoléréses balesetek jellemzői

A ráfutásos baleseteket következményeinek mértékét a vétkes és a vétlen jármű mozgási energiájának különbsége határozza meg, így nem csak a járművek sebessége, de a járművek tömege is hatással van a baleset következményeinek mértékére. A személyi sérülés súlyosságát leginkább az emberre ható erők nagysága határozza meg. Ütközés során óriási mértékű és sebességű energia átalakulás zajlik le a járművekben. Ezt az átalakulást energia elnyelésnek vagy ütközési abszorpciónak nevezzük, amely során a mozgási energia alakváltozási, hő és hangenergiává alakul, ezért a balesetek káros következményei a növelt energia abszorpció teljesítménnyel csökkenthetők. Az ütközés következtében a járműre ható F erőt az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

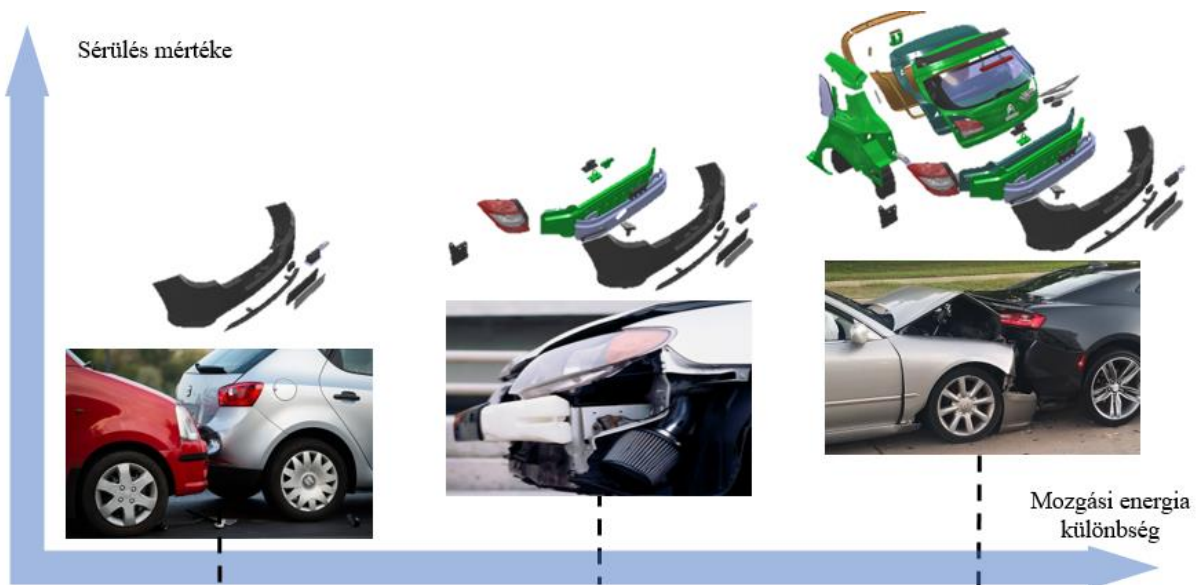
ahol az m a mozgó test tömege, az a pedig a gyorsulása.

A ráfutásos balesetek esetében a vétkes jármű sebessége hirtelen nullára csökken, a vétlen jármű sebessége pedig hirtelen gyorsulást követően szintén nullára redukálódik. Vagyis a képletet elemezve azt tapasztaljuk, hogy a személyi sérülések mértéke valóban a rendkívüli lassulásokra és gyorsulásokra vezethetőek vissza, ami fejlesztési irányt mutat a mérnököknek. Miszerint ha szerkezeti megoldásokkal tudjuk befolyásolni a mozgási energia-abszorpció időbeni lefolyását azzal a gépjárművezetőre és utasaira ható erő, és ezáltal a személyi sérülés mértékét is csökkenteni tudjuk.

2.1. Az utoléréses balesetek jellemző karosszéria sérülései

Mivel a balesetek következményeinek mértékét elsősorban a járművek mozgási energiájának különbsége határozza meg, ezért ezt figyelembe véve csoportosíthatjuk a jellemző sérüléseket. Kárszakértői tapasztalatok alapján az alacsony mozgási energia különbözetű ráfutásos balesetek esetén elsősorban optikai elemek mint pl. az első-hátsó lökhárító borítás, díszlécek, hűtőrácsok, PDC szenzorok sérülései a legjellemzőbb következmények. A felsorolt elemek sérüléseinek mértékét elsősorban azok minőségi mutatói határozzák meg. A nagyobb energia osztályú ütközések esetén már a burkolati elemeken túl az ütközési energia elnyelését szolgáló lökhárító is deformációt szenved. Tipikus következményként tapasztaltuk a homlokfal teljes vagy részleges törését. Ennek a közepes mozgási energia különbözetű ráfutásos balesetekben már a víz, töltőlevegő, olaj, klíma hűtő is sérül, ezáltal az adott közeg a zárt rendszerből rendszerint elfolyik. A tömegoptimalizáció miatt a fényszórók és lámpatartók elsősorban műanyagból, teherautók esetében inkább öntvényből készülnek, melynek következménye, hogy egy ilyen mértékű ütközésnél ugyan a fényszóró sérülésmentesnek látszik de gyakran megrepednek, tartó fűlek, rögzítések eltörnek. Nagy sebesség különbség vagy nagy tömegkülönbség miatt a mozgási energia differencia is megnő. Nagy mértékű mozgási energia különbségű ütközések esetén már további passzív biztonsági rendszerek lépnek működésbe. Jellemző ezekre az ütközésekre a motorháztető és csomagtér törés, hátfal és első nyulvány deformáció. Tipikus jellemzője ennek az energiatartományú utoléréses balesetnek a vétkes jármű csúcsos formájú motorháztető törése. A motorháztető a zsanérokön keresztül

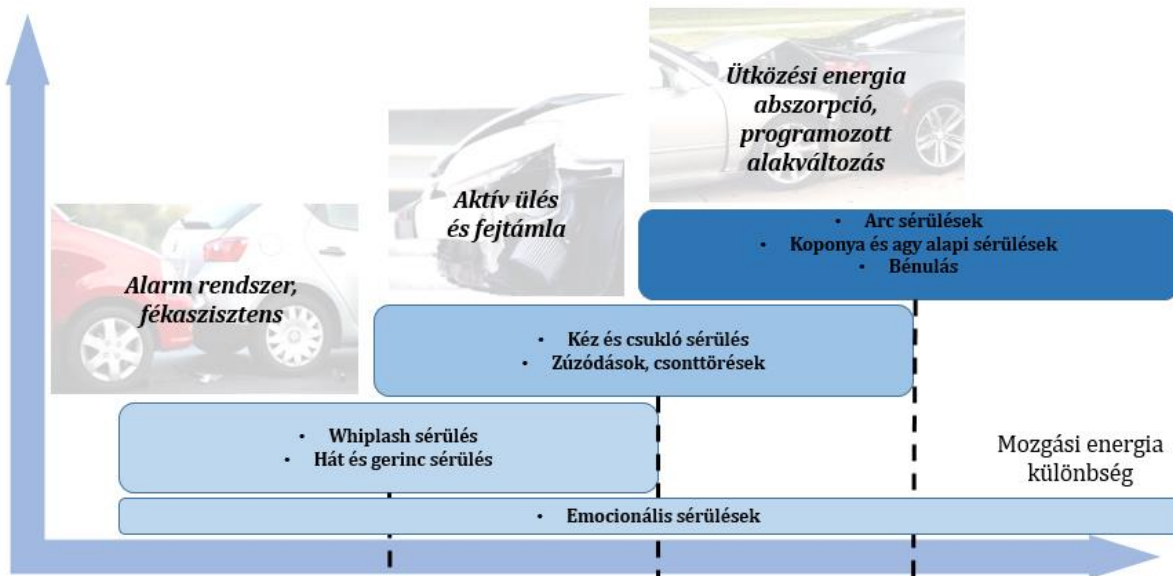
az A-oszlopig vezeti az ütközési energiát, ezért gyakori jelenség még a szélvédő törés. A nagysebességű ütközéseknél már a légzsákok és az övfeszítők is működésbe lépnek, ezért a kormány és a műszerfal is növeli a javítás során cserélendő elemek listáját. A 4. ábra az egyes energiatarományokhoz tartozó legjellemzőbb karosszéria sérüléseket szemlélteti. Látható, hogy az egyes mezők átfedésben vannak, hiszen jármű típustól és konstrukciótól függően ugyan azon karosszéria elem már alacsonyabb energia különböző tartományban is sérülhet.



4. ábra Jellemző karosszéria sérülések csoportosítása a mozgási energia különbségének függvényében
[Saját forrás]

2.2. A ráfutásos balesetek személyi sérüléseinek csoportosítása

A előző fejezetben részletezett karosszéria elemek sérüléseinek csoportosításához hasonlóan, a balesetek következményeiként jelentkező személyi sérüléseket is az ütközési energiatarományok alapján csoportosítjuk. Az alacsony energiaszintű ráfutásos ütközés leggyakoribb személyi sérülései a hát és gerincsérülés, a nyaki merevítő izmok húzódása és a whiplash-sérülés, amelyek enyhe lefolyásúak, általában 8 napon belül gyógyuló sérüléseknek tekinthetjük őket. A whiplash-sérülés azonban hosszútávú tünetekkel is járhat, amelynek részletesebb bemutatása egy későbbi, a konstrukciós fejezetnél kerül kifejtésre. A mérsékelt energiájú ütközéseknél már sajnos jellemző következmény a kéz és csukló sérülések valamint a zúzódások, csönttörések. Ennek legfőbb oka, hogy a járművezetők csukló és kar része a kormány szorítása miatt hirtelen nagymértékű terhelést kap az ütközési erőtől. A sérülések gyógyulásai már meghaladhatják a 8 napot. A nagysebességű ütközéseknél a személyekre ható erő, és a test tehetetlensége miatti rendkívüli gyorsulás és lassulás már a belső szervi sérüléseket is magával vonja többek között az agyi és koponya sérüléseket is. A gerincoszlop felső szakaszának csigolyái a nagymértékű ütközési energia miatt sérülhetnek, kritikus esetekben a bénulás esélye fenn áll. [7] Az 5. ábra a ráfutásos balesetek legjellemzőbb sérüléseit mutatja a mozgási energia különbségének függvényében.



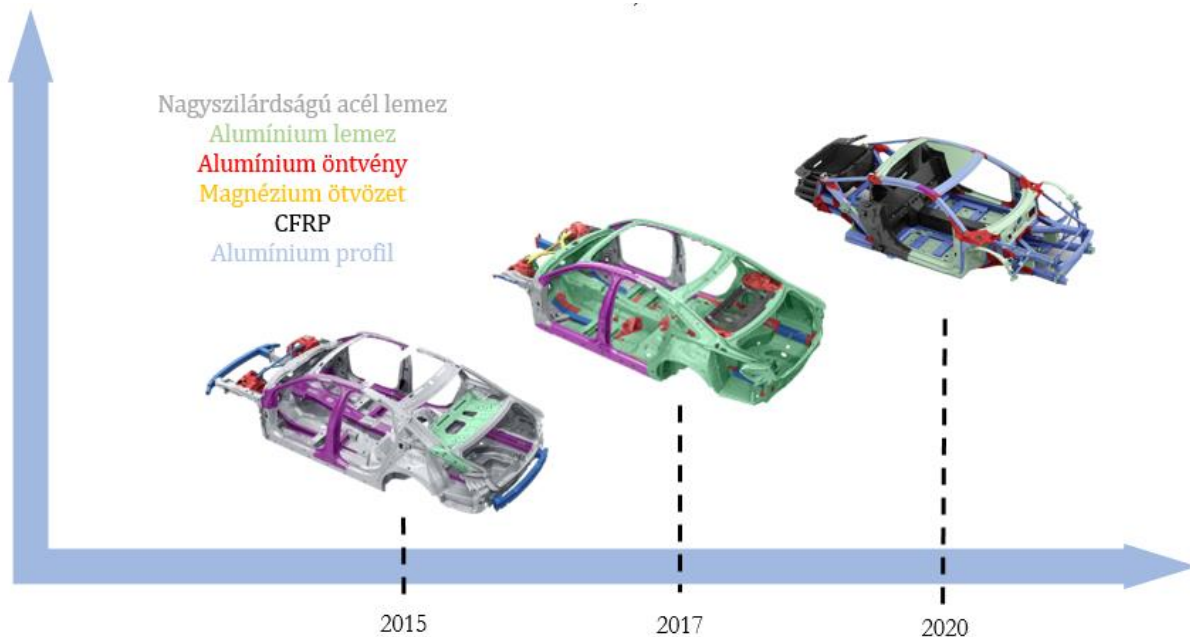
5. ábra Jellemző személyi sérülések csoportosítása a mozgási energia különbségének függvényében [Saját forrás]

3. Konstruktív megoldások

3.1. Jármű-vázszerkezeti evolúció

A járműgyártók több konstrukciós megoldás együttes alkalmazásával igyekeznek fokozni a járművek ütközésbiztonságát. Ennek egyik eszköze az úgynevezett gyűrődési zóna optimalizáció. A cél minden esetben az, hogy ütközés során a lehető legkevesebb energia jusson el a utascellához, csökkentve ezzel a személyi sérülések mértékét. Ütközés során a gyűrődőzónát alkotó karosszéria elemek maradó deformációt szenvednek, ezáltal az ütközési energia egy jelentős része felhasználásra kerül, csökkentve ezáltal az utasokra jutó ütközési terhelést. A gyűrődési zóna optimalizáció komplex mérnöki tevékenység, hiszen egyidejűleg kell teljesíteni a kocsiszekrény menet közbeni merevségét, ütközéskori energia elnyelés okozta alakváltozás lehetőségét, továbbá figyelembe kell venni a tömegoptimalizációt is. A 6. ábra a járművekben alkalmazott fémek evolúciós változását szemlélteti. A szürke színnel jelölt nagyszilárdságú acél adja a járműszerkezet merevségét, és a utascella ütközéskori védelmét. Mára a tömegoptimalizáció érdekében a nagyszilárdságú acélt felváltották az ötvözött alumínium és magnézium elemek. A felhasznált könnyűfémek mennyisége jól nyomonkövethető a középső ábrán, ahol a zöld és a piros szín indikálja azt. A karosszéria elemek végelesemes szimuláción alapuló alakoptimalizációjának köszönhetően az alumínium esetleges alacsonyabb szilárdsági értékei sem rontják a járműszerkezet merevségét, ellenben jelentős súlycsökkentés érhető el alkalmazásával. A 6. ábra harmadik járműszerkezetét vizsgálva látható, hogy a legfrissebb konstrukcióknál már az alumínium felhasználás is kezd csökkenő tendenciát mutatni, és helyette a szálereősítéses CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) kerül felhasználásra. Ez az ábrán sötétszürke színnel jelenik meg. A ütközésbiztonságra irányuló kutatások célja, hogy valóban csak azok a karosszéria és alváz elemek készüljenek nagy

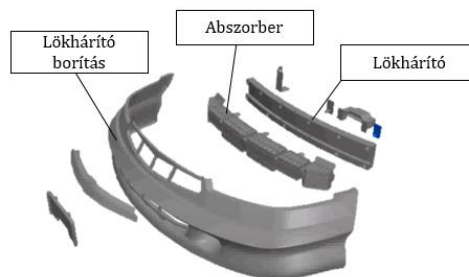
szilárdságú anyagokból, amelyek ténylegesen részt vesznek az energia elnyelésben, és az utascella védelmében.



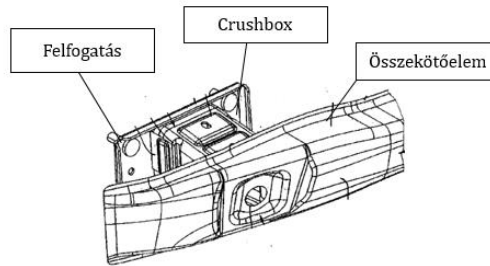
6. ábra Karosszériákban alkalmazott anyagok aránya [Saját forrás]

3.2. Lökhárítók szerkezeti felépítése

Az 7. ábra szerint a járművek lökhárítójának szerkezeti struktúráját tekintve három fő részt különíthetünk el. Az első a lökhárító borítás, amelynek esztétikai és áramlástechnikai optimalizáción túl nincs vagy csak rendkívül alacsony a szerepe az ütközésbiztonság szempontjából. [8] Ezért ezek az elemek legtöbbször üvegszál vagy ABS (Akrilnitril-Butadién-Sztirol) típusú műanyagból készült alkatrészek, így ütközés szempontjából energia abszorpcióra nem alkalmasak. A borítás és a lökhárító között elhelyezkedő abszorbens anyag feladata, hogy az alacsony és közepes mozgásienergia tartományú ütközések esetén elnyelje az ütközési energia egy részét valamint csökkentse a borítás sérülésének mértékét. Az első és hátsó gyűrődési zóna egyik legfontosabb eleme a lökhárító. Célja és feladata, hogy deformációjával elnyelje az ütközési energia egy jelentős részét, csökkentve ezzel a járműben utazókra ható ütközési erőt. A lökhárító a következő elemekre osztható: felfogatás, crushbox(gyűrődőelem), összekötő elem. (8.ábra)

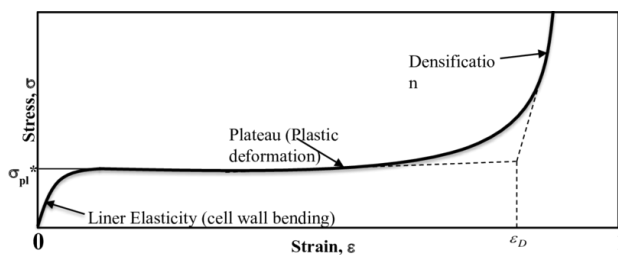


7. ábra Lökhárító szerkezet felépítése [Saját forrás]



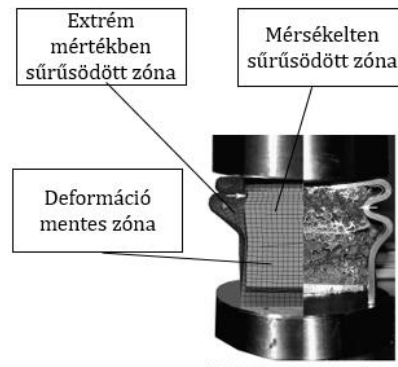
8. ábra Lökhárító részei [9]

A témában végzett irodalom kutatás alapján azt tapasztalhatjuk, hogy a lökhárító nagyobb energia abszorpciós képessége érdekében végzett fejlesztések elsősorban az alkalmazott anyag és alakoptimalizációra koncentrálnak. A különleges tulajdonságokkal bíró anyagok mint például a fémhabok, kompozitok, szálerősítéssel műanyagok megjelenése újabb fejlesztési lehetőséget adott az ütközésbiztonság területén, hiszen több anyagkomponensű integrált karosszéria elemek hozhatóak létre, amelyek egyidejűleg biztosítják az energia abszorpció lehetőségét a tömegoptimalizáció mellett. A több komponensű, integrált karosszéria elem egyik legjobb példája a különböző fémhabokkal töltött crushboxoknak a megjelenése. Az ütközési energia a Crushbox vázban maradó alakváltozást hoz létre, és egy harmónika szerűen rétegzett állapotot vesz fel. A 9. ábrán látható a fémhabokra jellemző feszültség-alakváltozási karakterisztika. A diagram első szakaszában egy rugalmas deformáció figyelhető meg. Ezt pedig egy hosszú energia-elnyelési szakasz követ, ahol láthatjuk, hogy nagymértékű alakváltozáshoz közel állandó feszültség érték tartozik. A fémhab cellák sűrűsödését követően a karakterisztika meredeken emelkedő irányt vesz. Itt már a fémhab energia elnyelő képessége a korábbi szakaszhoz képest jelentősen romlik, hiszen kismértékű alakváltozáshoz nagymennyiségű feszültségérték tartozik. Az energia abszorpció szempontjából optimális szakasz igazolja, hogy a fémhabok a gyűrődő zónákban hasznosíthatóak.



9. ábra Fémhabokra jellemző feszültség-alakváltozási karakterisztika [10]

A 10. ábra mutatja egy fémhabbal töltött crushbox ütközés vizsgálat utáni állapotát és végelesemes szimulációját mutatja. A fémhab szerkezetét megvizsgálva három területet különíthetünk el. Az első a crushbox szélén található extrém mértékbe sűrűsödött fémhab zóna. Ebben a zónában található habosított anyag további energia felvételre már nem képes, hiszen a cellák oly mértékben torzultak és sűrűsödött állapotba kerültek, hogy további alakváltozás már csak magas feszültségi értékekkel érhető el. Az ábrán látható, hogy az extrém mértékben sűrűsödött fémhab zóna közvetlenül a crushbox oldala mentél helyezkedik el, hiszen itt képes leginkább átvenni az ütközés okozta gyűrődési energiát. Ez egy fontos információ a későbbi konstrukciók optimalizációjához.

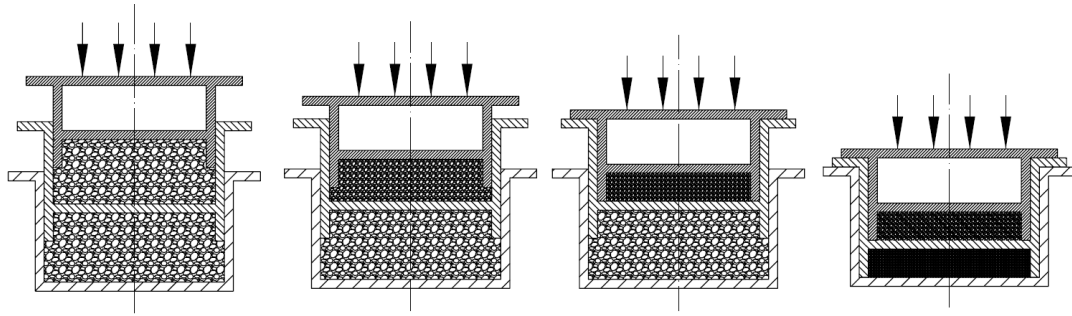


10. ábra Fémhabbal töltött crushbox vizsgálata [11]

A sűrűsödési határt elért zóna mellett található a mérsékelten sűrűsödött zóna. Az alkalmazott fémhab ebben a térfogati részben még alakváltozási tartalékot rejt magában, hiszen még az karaszterisztika optimális vízszintes szakaszbeli állapotában van. Ez azt jelenti, hogy egy optimálisabb crushbox szerkezettel még lenne lehetőség további alakváltozási energiát átadni a fémhab szerkezetnek, és nagy alakváltozást érhetnénk el közel konstans feszültség értékek mellett. A crushbox alsó szakaszában pedig szinte egy teljes mértékben kihasználatlan zónát találunk. Az alkalmazott fémhab ebben a térfogati harmadban deformálódás nélküli állapotban marad, így az, az energia abszorpcióban nem vesz részt. Ennek oka, hogy a felette lévő általánosan sűrűsödött zóna már nem képes továbbítani az ütközési energiát.

3.3. Optimalizált crushbox

Ebben a fejezetben megfogalmazásra kerül egy optimalizált crushbox, amely a teleszkópos szerkezet működési elvén alapszik. A 11. ábra mutatja az idealizált szerkezet konstrukciós vázlatát. A hagyományos csőszerkezetes megoldás helyett teleszkópos működésen alapuló változatot alkalmazunk. A crushbox így több, egymáson elmozdulni képes elemet tartalmaz. Minden elem az alatta lévő fémhab párnán keresztül csatlakozik a következő taghoz. Axiális erő hatására a felső rész a fémhab teljes felületén felfekszik, és megkezdődik annak tömörödése. A fémhabokra jellemző rövid rugalmas alakváltozási szakasz után, megkezdődik az állandó feszültség mellett nagymértékű maradó deformáció. A korábbi hagyományos konstrukciókhoz képest, ebben a szerkezetben a teljes térfogati hányad hasznosíthatóvá válik, és nem csak a csőfal melletti területben történik tömörödés. Amennyiben az ütközési energia nagyobb, mint amennyit az első cella elnyelni képes, még a függőleges feszültség-alakváltozási karakterisztika elérése előtt a felső csészé elem a karimán keresztül felfekszik az alatta lévő elemen, és megkezdődik a második fémhab zóna sűrítése. Ezzel a megoldással a crushbox energia elnyelő képességét folyamatosan a fémhabok optimális energiaelnyelési szakaszában tudjuk tartani, mivel hamarabb megkezdődik a második zóna energia felvétele, mint ahogy az első zóna fémhab rétege teljes mértékben elérné a feszültség-alakváltozási karakterisztika emelkedő szakaszát.

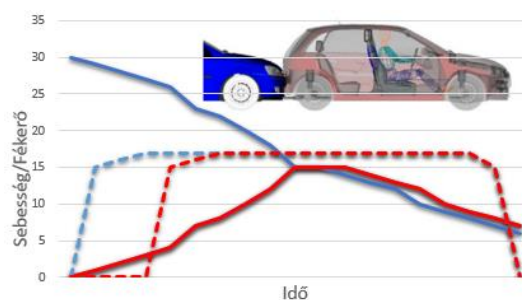


11. ábra Optimalizált teleszkóp szerkezetű crushbox [Saját forrás]

Az optimalizált crushbox-al nem csak nagyobb mértékben használható az alkalmazott fémhab energia elnyelő képessége, hanem lehetőséget biztosít arra, hogy az egyes tömörödő cellákban más-más karakterisztikájú és struktúrájú fémhabot alkalmazzuk. Ez lehetőséget ad a crushbox abszorpciós modulálására.

3.4. Pre Safe Plus® rendszer

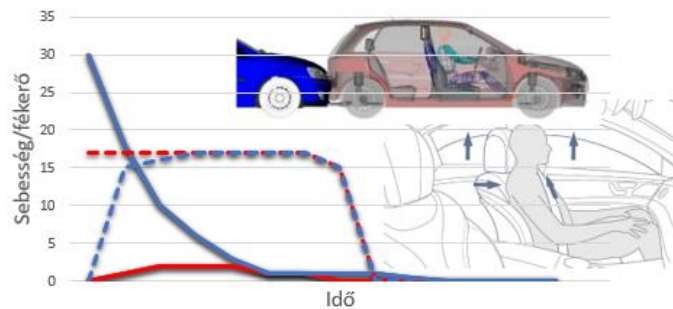
Ráfutásos baleseteknél gyakran a jármű ütközési energiáját teljes mértékben a gyűrődő zónák nem képesek felvenni, ezért a végtelen járművet a fennmaradó ütközési energia mozgásba hozza. Ekkor a járműben utazók az autóval együtt gyorsulni kezdenek, amely rövid úton, rövid ideig tart. Az ütközés pillanatától kezdve mindkét járművezető reflexből próbálja erőteljes fékezéssel csillapítani az ütközés mértékét. Ennek az az eredménye, hogy a korábbi hirtelen gyorsulást, hirtelen lassulás követ. A fej tehetetlenségéből adódóan teljes mértékben hátra, majd előre billen, megterhelve ezzel a gerincoszlop felső csigolyáit és a nyakmeregítő izmokat. [12] Az okozó lassulását és a végtelen gyorsulását a követően a járművek közös sebességet érnek el, majd közösen lassulva megállnak. Ez a folyamat követhető nyomon a 12. ábrán.



12. ábra Az ütközés pillanatától jelentkező sebességváltozások [Saját forrás]

A nagymértékű hirtelen gyorsulás és hirtelen megállás okozta személyi sérülések mértékét kívánják csökkenteni az úgynevezett aktív fékasszisztens rendszeren alapuló technikai megoldások. Ezek a rendszerek az aktív és a passzív biztonsági rendszerek közé sorolhatók, hiszen a még be nem következett baleset következményeit csökkenti azáltal, hogy a jármű biztonságát az ütközést megelőző pillanatban fokozza. Több járműgyártó rendelkezik ilyen technikai megoldással, de az egyik legeredményesebb megoldás a Mercedes által készített Pre Safe Plus® rendszer. A működésének alapját egy, a jármű hátsó részére telepített nagyteljesítményű radar adja. A radar folyamatosan vizsgálja a jármű mögött zajló eseményeket. Amennyiben a hátsó érzékelő nagysebességgel érkező járművet

detektál, és a közeledés mértékéből azt feltételezi, hogy az nem fog tudni megállni, akkor a vétlen jármű utascelláját felkészíti az ütközésre. Az oldalsó és tető ablakokat a jármű azonnal elkezd felhúzni, az övfeszítők működésbe lépnek. A Pre Safe Plus® rendszer az aktuális terhelésre is felkészíti a jármű utasait, ugyanis magas frekvenciájú hangot bocsájt ki a hangszórón keresztül, megemelve ezáltal az utasok hallás küszöbét, így csökkentve az ütközéskori hangterhelés okozta halláskárosodást. Ezek mellett a jármű a hátsó féklámpát villogtatni kezdi, növelve a figyelemfelkeltés esélyét, és lehetőséget biztosítva ezáltal az ütközés elkerülésére. A legfontosabb modulja a PSP® (Pre Safe Plus) rendszernek a fékasszisztens általi fékek blokkolása. [13] A becsapódást megelőző pillanatban a jármű blokkolja a kereket az üzemi fék működtetésével. Ezáltal sem a jármű sem a benne utazók nincsenek a hirtelen gyorsulás okozta terhelésnek kitéve, hiszen a vétkes jármű nem képes mozgásba hozni azt. Blokkolt fékezésű ütközési sebességfolyást mutat a 13. ábra.

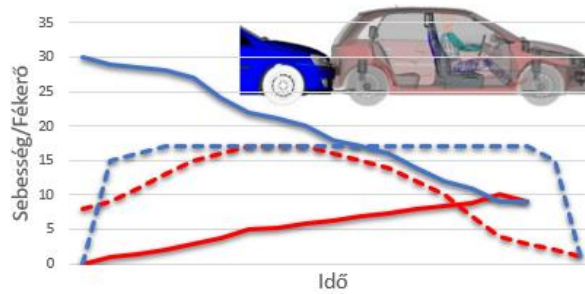


13. ábra Az ütközés pillanatától jelentkező sebességváltozások blokkolt kerekek esetén [Saját forrás]

Látható, hogy a piros színnel jelölt jármű csak olyan mértékben jön mozgásba, amely a blokkolt kerék úton való csúszásából keletkezik. Az energia megmaradás törvénye miatt azonban az ütközés energiája a hátsó járműre és annak utasaira koncentrálódik. A karakterisztikát vizsgálva láthatjuk, hogy az okozó jármű rendkívüli lassulást szenved el, melynek következménye akár súlyos személyi sérülés is lehet. Mivel az első jármű blokkolt kerekei nem teszik lehetővé a mozgás csillapítását, ezért a járművek gyűrődő zónáinak roncsolódása fokozódik, növelve ezzel az anyagi kár mértékét. Az alkalmazott Pre Safe Plus® rendszer kétségkívül csökkentheti a vétlen jármű utasainak sérülését, azonban egy növelt anyagi kárt és az okozó jármű nagyobb anyagi és utasainak személyi sérülését vonhatja magával.

3.5. Optimalizált fékarakterisztika

Biztonságtechnikai szempontú jármű fejlesztés során fontosnak tartjuk, hogy egy esetleges baleset során az esemény minden szereplőjének testi épségét biztosítsuk vagy legalábbis minimalizáljuk a személyi sérülés mértékét. Ezt vettük alapul az optimalizált fékasszisztensre vonatkozó fejlesztési javaslattételünkknél is. Az optimalizált előbiztonsági rendszer alkalmazásához továbbra is az aktív fékasszisztensre vesszük alapul. A hátsó detektorok által észlelt lehetséges ütközésre való felkészülés céljából egy mérsékelt elővezérelt fékezés jön létre, lehetőséget biztosítva ezáltal a vétlen jármű kismértékű előre gurulására. A fékasszisztens nélküli ütközéshez képes a előfékezett állapotú rendszerrel mérsékelhetjük a lámpánál vagy kereszteződésben várakozó vétlen jármű utasaira ható nagymértékű gyorsulást. Az ütközés pillanatától kezdve egy egyenletesen, de enyhe emelkedésű karakterisztikával növeljük a kerekre ható fékerőt, ezzel folyamatosan disszipálva a hátulról becsapódó jármű mozgási energiáját. A 14. ábrán látható, hogy egy mérsékelt előfékezett járműbe való ütközés során a balesetet okozó járművet és ezáltal annak utasait sem terheli drasztikus lassulás.



14. ábra Az ütközés sebességének lefolyása mérsékelt előfékezés esetén [Saját forrás]

Annak érdekében, hogy a whiplash hatás flexion periódusát (fej előre billentése) elkerüljük, a fékerőt egy egyenletesen csökkenő tendenciát mutató karakterisztikának megfelelően csökkentjük zero állapotig. Ezáltal a fej tehetetlenségéből adódó előre billenés mértékét jelentősen csökkenthetjük. Az előfékezett állapotnak köszönhetően a Pre Safe Plus® rendszerhez hasonlóan elkerülhetjük a hármass ütközést, valamint az előttünk a gyalogátkelőhelyen közlekedő gyalogosok közzé való hajtást.

4. Következtetések

Kutatásunk érdeklődésének középpontjában a mai korszerű gépjárművek ütközésbiztonságának fokozása áll. A hiteles források kapcsán a feltárt baleseti statisztikai eredmények azt mutatják, hogy továbbra is nagy szükség van a járművek konstrukciós szempontbeli ütközésbiztonságának fokozására. Ezen túlmenően az elektromos járművek térhódítása még indokoltabbá teszi a jármű karosszéria optimalizációra irányuló fejlesztéseket. Hiszen az akkumulátorok okozta többlet súlyt, tömeg optimalizációval lehet kompenzálni. Mindazonáltal ezt úgy kell megoldani, hogy a jármű a szigorú ütközésbiztonsági szempontoknak megfeleljen. Ezen igények kielégítése kizárólag új anyagok alkalmazásával és anyagok integrációjával valósulhatnak meg. Az irodalomkutatás alapján tett megállapításaink szerint a jármű karosszériájában alkalmazott fémhabok optimálisabb kihasználása lenne megoldható egy átdolgozott konstrukciós lehetőséggel. Az általunk javasolt teleszkóp szerkezetű gyűrődő elem lehetővé teszi az ütközési energiaelnyelése érdekében alkalmazott fémhabok optimálisabb, nagyobb volumenű kihasználását. A javasolt szerkezetnek köszönhetően a lökhárító energiaelnyelő képessége tovább tartható az energia elnyelés szempontú idealizált állapotban a korábbi konstrukciókhoz képest. Egy adott jármű ütközésbiztonságát az aktív és passzív biztonsági rendszerek összessége és annak kapcsolata határozza meg. Egy, a publikációban részletezett Pre Safe Plus® rendszer működésén alapuló mérsékelt előfékezett állapottal, csökkenteni tudjuk mind a véletlen mind az okozó járműben utazókra ható ütközési erő mértékét. Az idealizált fékkarakterisztikának köszönhetően a whiplash sérülés lehetőségét is csökkenteni tudjuk. A fékezett állapot miatt elkerüljük a hármass ütközést, valamint megakadályozható a jármű előtt, a gyalogátkelő helyen közlekedő személyek közzé való hajtást. A tanulmány egyértelműen alátámasztja azt a tényt, miszerint fejlesztés nem minden esetben egy teljesen új anyag, szerkezet, technológia feltalálását kell, hogy jelentse, eredményhez vezethet a már alkalmazott technológiák alaposabb vizsgálatán alapuló optimalizáció is.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Dr. Ing. Kőfalvi Gyula – A gépjárművek aktív és passzív biztonsága
- [2] Kőfalvi Gy. Ignác F. – Utasmozgás vizsgálata gépjárművek ütközésénél (2011) *Biomechanica Hungarica* IV. évfolyam, 1. szám pp. 19-29, DOI: 10.17489/biohun/2011/1/03
- [3] European Commission- Mobility and Transport,
https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2021-04-20-road-safety-statistics-2020_en
letöltés: 2021.10.18.
- [4] ACEA (European Automobile Manufacturers Association) report – Vehicles in use Europe, January 2021
- [5] News - European Parliament – Road fatality statistics in the EU (infographic) Ref. 20190410STO36615, 06-10-2021
- [6] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration - Analyses of Rear-End Crashes and Near-Crashes in the 100-Car Naturalistic Driving Study to Support Rear-Signaling Countermeasure Development (October 2007) DOT HS 810 846
- [7] Law offices of Gary Martin Hays & Associates , P.C. Personal Injury Lawyer Atalanta, Georgia,
<https://www.garymartinhays.com/car-accident-posts/common-injuries-after-being-rear-ended/> letöltés: 2021.10.18
- [8] Muhammad Nasiruddin S., Hambali A. Rosidah J. Widodo W.S.Ahmad M.N. - A Review of Energy Absorption of Automotive Bumper Beam *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 2 (2017) pp. 238-245
- [9] United States Patens - Michael R., Ulrich Lütke-Bexten, Wilhelm A., Elmar M. – Bumper for a motor vehicle (Patent No.: US7357432B2) Benteler Automobiltechnik GmbH, Paderborn (DE) (Apr. 15 2008)
- [10] Shamim H. Sarfaraj A. Asifur R. - Production and Compressive Characterization of Aluminium MMC Foam Manufactured Using Dual Foaming Agent, February 2016, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 115(1):012030, DOI:10.1088/1757-899X/115/1/012030
- [11] A. Toksoy, M. Güden - Partial Al foam filling of commercial 1050H14 Al crash boxes: The effect of box column thickness and foam relative density on energy absorption
DOI:10.1016/J.TWS.2010.02.002 Corpus ID: 55988910, *Thin-Walled Structures* 48 (2010) 482–494
- [12] Mang, Daniel - Development of an active anti-whiplash automotive seat to reduce whiplash injuries following a rear-end collision – thesis/dissertation (2019) DOI: 10.14288/1.0384553
- [13] Ralf Bogenrieder Michael Fehring Roland Bachmann- PRE-SAFE® IN REAR-END COLLISION SITUATIONS , Germany Paper Number 09-0129