

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

2011
3/4

www.jret.sze.hu | www.ejtt.bme.hu

A TRUCKDAS
PROJEKT EREDMÉNYEI

OSZLOPBAN HALADÓ
JÁRMŰVEK IRÁNYÍTÁSA

ECO-DRIVING
MÉRÉSTECHNIKA

GÉPJÁRMŰ-SEBESSÉGVÁLTÓK
FEJLESZTÉSI TRENDJE



AUTÓTECHNIKA KALENDÁRIUM

2012



Az Autótechnika kalendarium olyan kiadvány, amely az autójavításban dolgozók napi munkáját segíti. A megszokott határidőnapló funkción túl a kalendarium az évre aktualizált naptári munkanap-átrendezéseket, az esemény napjára bejegyzett szakmai történeteket, a nemzetközi kiállítások dátumait is tartalmazza.

A kalendarium végén található, jelentős terjedelmű szakmai kisokos a munkánkat segítő hatósági, intézményi címjegyzékek, elérhetőségek széles köre mellett műszaki tartalommal is szolgál.

- Az **Autótechnika kalendarium** megvásárolható: **2000 Ft+áfa áron**, az alábbi elérhetőségeken:

X-Meditor Kft.

9023 Győr, Csaba u. 21.

Tel.: 96/618-074. Fax: 96/618-063.

E-mail: info@autotechnika.hu

www.autotechnika.hu

(Postázás január közepén)

PROF. DR. BOKOR JÓZSEF

akadémikus, BME EJJT tudományos igazgató



Köszöntő

2011-ben folytatódott a magyar járműipar múlt évben kezdődött kiemelkedő időszaka. A Mercedes-Benz kecskeméti gyártósorairól hamarosan legördülnek az első járművek, folyik az Audi Hungaria Motor Kft. teljes gyártási folyamatot lefedő autógyárrá bővítése. Szentgotthárdon új sebességváltó-gyártó csarnokot adtak át. Némileg árnyalja a képet, hogy 2011-ben (a három évvel korábbinál kisebb) válság jelei mutatkoztak Magyarország és az Európai Unió gazdaságában. Közlekedésre, szállításra (a járműipari ágazat szerencséjére) mindig szükség lesz, a minőségi, magas szellemi értéket tartalmazó termékek piacra fognak találni. A válság ellenére ezt a folyamatot nem szabad nehezíteni a kutatás-fejlesztési költségek csökkentésével, megvonásával.

A BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kara ebben az esztendőben ünnepelte alapításának 60 éves évfordulóját. A jubileum lehetőséget adott a számvetésre, a múlt eredményeinek értékelésére, a jövő feladatainak körvonalazására. A járműipar meghatározóvá válása a magyar ipari struktúrán belül, a járműtudomány önálló diszciplínává alakulása is indokolta tette a kar ez évben történt névváltoztatását, a „Járműmérnöki” szó megjelenését. A közlekedés, a járműipar szállítási-logisztikai feladatainak bővülése miatt jelentkező szakemberigények kielégítését fogja segíteni a 2012-ben induló logisztikai mérnöki alapszak.

Az oktatáshoz is kapcsolódó fejlesztések egyike volt ez évben a Jármű, Közlekedés és Logisztika kutatóegyetemi program egyik kiemelt kutatási projektje keretében kialakított járműszimulátor-rendszer. Az oktatási és kutatási célokra egyaránt alkalmas rendszer különlegessége, hogy a szimulátor üzemmód és a teljes értékű közúti jármű között egy kapcsolóval átváltható. A rendszer felépítése, komponensei és működési módjai e lapszámban részletesen bemutatásra kerülnek.

A mérnöki gyakorlatban napjainkban egyre nagyobb szerepet játszik a számítógépes modellezés. Sok esetben nincs lehetőség valós körülmények közötti tesztelésre, mérések elvégzésére. Ezen problémák megoldására nyújt segítséget egy megfelelően validált szimulációs rendszer. A BME EJJT ez évi kutatási projektjeinek keretében nyílt lehetőség olyan újszerű diagnosztikai eljárások kidolgozására, amelyekkel elvégezhető volt egy vasúti kocsi felépítményének szilárdsági szempontból leginkább igénybe vett részeinek statikus és dinamikus

szimulációs vizsgálata. Egy másik EJJT kutatási projekt korszerű numerikus áramlástani módszerek alkalmazásával a metróalagutakban keletkező tüzeseteket vizsgálta. Ez az alagutak tervezése, korszerűsítése, üzemeltetése során felhasználható eredményekkel zárult.

A Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. vezetésével 2008-ban létrejött egy konzorcium, melyben a BME EJJT biztosította a járműveket és az ehhez kapcsolódó tudásbázist, az MTA SZTAKI a járműirányítási és forgalmi rendszerekkel kapcsolatos háttérrel, a Trigon Elektronika Kft. pedig a megfelelő hajtáslánccal kapcsolatos tapasztalatokat. A közös projekt 2008-ban TRUCKDAS néven nyert pályázati támogatást. Fő célját intelligens járműalkalmazások, a megfogalmazott funkcióikhoz szükséges szenzorok és aktuátorok kutatása, fejlesztése képezte, melyek a haszongépjárművek üzemeltetésekor felmerülő – nemzetközi statisztikákban is kimutatott – legjelentősebb biztonsági kockázatokat tudják csökkenteni. A sikeresen megvalósított projekt záróeseményére 2011 novemberében került sor. A rendezvényen a nemzetközi közönség és a sajtó megismerhette a projekt eredményeit, melyet járműves demonstráció egészített ki a tököli tesztpályán. A nemzetközi háttérrel rendelkező és fő profiljában a világon piacvezető nagy vállalat, az egyetemi tudásközpont, az akadémiai kutatóintézet és a kkv együttműködésének kiemelkedő példája lehet a hároméves időtartamot felölelő projekt.

De a példán túl komoly üzenetet is hordoz: az új kapacitások belépésével a járműipar lesz az ország legnagyobb nemzetgazdasági és exportágazata, és ha a gyártók mérnökökkel szemben támasztott igen magas színvonalú követelményeit ki akarjuk elégíteni, azt csak interdiszciplináris megközelítéssel, azaz a konkrét hazai egyetemi és egyetemen kívüli tudásbázis összefogásával, a konkrét tudás konszolidálásával és a cégek világszínvonalú fejlesztésében való napi szintű részvételén alapuló oktatásba történő tudás-visszacsatolással lehetséges. Ezt a szerepet az EJJT mint a BME Közlekedési és Járműmérnöki Karának tudásközpontja példásan és igen sikeresen tölti be és országosan is élenjáró, kiáll bármely összehasonlítást. Remélem, hogy A Jövő Járműve karácsonyi számában megjelent cikkek ezt mind tartalmukkal, mind szakmai színvonalukkal, mind a széles körű, több tudományterületet felölelő szerzői összefogással alátámasztják. ●

Tartalom

03	KÖSZÖNTŐ prof. dr. Bokor József
05	A TRUCKDAS PROJEKT EREDMÉNYEI Kovács Roland, Hankovszki Zoltán, dr. Stukovszky Zsolt
10	VASÚTI KOCSI SZILÁRDSÁGTANI VIZSGÁLATA Marton Ádám, dr. Veress Árpád, prof. dr. Palkovics László, dr. Stukovszky Zsolt, Takács Péter, Héri József
16	FÜST- ÉS HŐTERJEDÉS NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI MODELLEZÉSE JÁRMŰIPARI LÉTESÍTMÉNYEK BEN Rákos Roland, dr. Veress Árpád, prof. dr. Palkovics László, dr. Stukovszky Zsolt, dr. Ailer Piroška, Takács Péter, Héri József
21	AUDI TT KÖZÚTI JÁRMŰ SZIMULÁTORÉNT TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSA A MÉRNÖKKÉPZÉSBEN dr. Szalay Zsolt, dr. Gáspár Péter, Kánya Zoltán, Nagy Dávid
25	OSZLOPBAN HALADÓ JÁRMŰVEK TÖBBKRITÉRIUMOS OPTIMÁLIS IRÁNYÍTÁSA Németh Balázs, Csikós Alfréd, dr. Gáspár Péter, dr. Varga István
29	JÁRMŰOSZLOP IRÁNYÍTÁSI ALGORITMUSAINAK KÍSÉRLETI IGAZOLÁSA Hankovszki Zoltán, Aradi Szilárd, Rödönyi Gábor, dr. Gáspár Péter, Kovács Roland
34	ELTÉRŐ DINAMIKÁJÚ JÁRMŰVEK OSZLOPBAN VALÓ IRÁNYÍTÁSA ZAVARÁSOK ÉS KÉSÉSEK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL Mihály András, dr. Gáspár Péter
38	GÉPJÁRMŰVEZETŐK, KAMIONOK ÉS UTAK EGYMÁSRA HATÁSA A JÁRMŰBIZTONSÁGI RENDSZEREK ÁLTAL DETEKTÁLT KRITIKUS HELYZETEK TÜKRÉBEN Fazekas Zoltán, Biró Zsolt, dr. Gáspár Péter, Kovács Roland
41	GÉPJÁRMŰ-SEBESSÉGVÁLTÓK VÁRHATÓ FEJLESZTÉSI TRENDJE dr. Simonyi Sándor
45	TORZIÓS LENGÉSCSILLAPÍTÓ SZILÁRDSÁGTANI VÉGESELEMES SZIMULÁCIÓJA Tóth Balázs, dr. Ailer Piroška, dr. Veress Árpád, prof. dr. Palkovics László
48	EGR SUPPORT INVESTIGATION ON A DIESEL ENGINE Ádám Bárdos, dr. Huba Németh
54	M&A – A VÁLLALATI FELVÁSÁRLÁS ELŐKÉSZÍTÉSE prof. dr. Palkovics László, Harald Schneider, Stukovszky Tamás
58	ECO-DRIVING MÉRÉSTECHNIKA FEJLESZTÉSE AZ ÚJ COMMON RAIL MOTOROS VW CRAFTERRÉ Kánya Zoltán, dr. Szalay Zsolt, Limp András
63	AEBS, AVAGY RADARALAPÚ BALESET-MEGELŐZÉS HASZONGÉPJÁRMŰVEKNÉL Dóczy Csaba, Koleszár Péter
69	JÁRMŰIPARI FEJLESZTÉSEK TÁMOGATÁSA KONCENTRÁLT PARAMÉTERŰ MODELLEZÉSSSEL Liczkó Gábor, dr. Veress Árpád, prof. dr. Palkovics László
73	KORSZERŰ VÉGESELEMES OPTIMALIZÁLÁSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA KÜLÖNBÖZŐ GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA SEGÍTSÉGÉVEL ELŐÁLLÍTOTT ALKATRÉSZEK ESETÉN Tóth Balázs, dr. Veress Árpád, prof. dr. Palkovics László
80	VÁRHATÓ-E ISMÉT EGY KOMOLYABB VÁLSÁG A JÁRMŰIPARBAN? Stukovszky Tamás, Kovács Imre
85	CFD ANALYSIS OF EGR MIXERS Balázs Kereszty, Marcell Kiszely, dr. Huba Németh
91	ATOMENERGIA HASZNÁLATÁNAK ELMÉLETI VIZSGÁLATA A KÖZÚTI GÉPJÁRMŰVEKBEN Stubán Norbert, Török Ádám
94	TOVÁBB BŐVÜL A CONTINENTAL VESZPRÉMI VÁLLALATA Dusza András

IMPRESSZUM

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

A JÖVŐ JÁRMŰVE JÁRMŰIPARI INNOVÁCIÓ

V. évfolyam, 2011/3–4. szám

Alapítva: 2006

Megjelenés: negyedévente

HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK:

**Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem –
Elektronikus Jármű és Járműirányítási
Tudásközpont (EJTT)**
1111 Budapest, Stoczek u. 6., J épület 516.
Tel.: 1/463-1753. Fax: 1/463-3255.
E-mail: info@ejtt.bme.hu

**Széchenyi István Egyetem –
Járműipari Regionális Egyetemi
Tudásközpont (JRET)**
9026 Győr, Egyetem tér 1.
Tel.: 96/613-680. Fax: 96/613-681.
E-mail: jret@sze.hu

**X-Meditor Lapkiadó, Oktatás-
és Rendezvényszervező Kft.**
9023 Győr, Csaba u. 21.
Levelezési cím: 9002 Győr, Pf. 156
Tel.: 96/618-062. Fax: 96/618-063.
E-mail: ajj@xmeditor.hu

KIADÓ:

**X-Meditor Lapkiadó, Oktatás-
és Rendezvényszervező Kft.**
Felelős kiadó: Pintér-Pétek Imre

SZERKESZTŐSÉG:

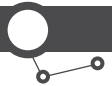
**Autómédia, Fenntartás, Fejlesztés
X-Meditor vállalatcsoport autóiipari divíziója**
Felelős szerkesztő: dr. Nagyszokolyai Iván
Lapmenedzser: Dudás Alexander
Lapkoordinátor: dr. Komócsin Zoltán,
Nagy Viktor
Szerkesztő: Sándorné Tamási Rita
Tel.: 96/618-074. E-mail: auto@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

dr. Bercsey Tibor, dr. Bokor József,
dr. Czigány Tibor, dr. Cziné Imre,
dr. Kardos Károly, dr. Keviczky László,
Lepsényi István, dr. Michelberger Pál,
dr. Náday László, dr. Palkovics László,
dr. Réti Tamás, dr. Stukovszky Zsolt,
Szilasi Péter Tamás, dr. Tisza Miklós

NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:

Palatia Nyomda és Kiadó Kft.
9026 Győr, Viza utca 4.
PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A TRUCKDAS projekt eredményei

KOVÁCS ROLAND

Knorr-Bremse
Fékrendszerek Kft.

HANKOVSKI ZOLTÁN

BME EJJT

DR. STUKOVSKY ZSOLT

BME EJJT

A TRUCKDAS projekt fő célját intelligens járműalkalmazások és a megfogalmazott funkcióikhoz szükséges szenzorok és aktuátorok kutatása és fejlesztése képezte, melyek a haszongépjárművek üzemeltetésekor felmerülő – nemzetközi statisztikákban is kimutatott – legjelentősebb biztonsági kockázatokat tudják csökkenteni. A projekt alatt alkalmazott projektmenedzsment bemutatása mellett ismertetjük a létrejött prototípusrendszereket, technológiákat, valamint a fejlesztésükhöz kapcsolódó próbapadokat, mérési eljárásokat és szimulációs környezeteket.

The main objective of the R&D activities of the project TRUCKDAS were intelligent vehicle applications and the sensors and actuators necessary for their expressed functions, which systems can reduce the most significant safety risks – shown in international statistics as well – of commercial vehicles. The applied project management is presented. The system prototypes and technologies that have been created, as well as the necessary test benches, measurement and simulation environments used for their development are shown.

BEVEZETÉS

A Nemzeti Technológiai Program, Versenyképes ipar alprogram keretében meghirdetett pályázat többek között olyan K+F tevékenységek ösztönzése, amelyek

- olyan technológiaalapú innovációkat alapoznak meg, amelyeknek jelentős nemzetgazdasági és társadalmi hatásai várhatóak
- valós piaci igényeken alapuló versenyképes termékek és szolgáltatások kifejlesztését eredményezik
- tervezésében és a végrehajtásában a vállalkozások vezető szerepet látnak el
- a vállalkozások és a K+F szféra együttműködésére építenek, stratégiai partnerségek kialakításához vezetnek.

A felhívásra TRUCKDAS néven beadott projektterv fő céljait így jelölte ki a konzorcium:

- Projektmenedzsment és kommunikáció kidolgozása és fenn tartása
- Járműdinamikai biztonsági rendszerek kidolgozása integrált járműirányítással (kormány, fék, hajtáslánc)
- Járműcsoport irányítása
- Biztonsági rendszerek működésének elemzése.

A konzorcium 2008-ban elnyerte a pályázott támogatást, majd a következő három évben szisztematikusan megvalósította a vállalt feladatokat. A közvélemény erről a nyilvánosság felé záróeseményként megtartott konferencián és járműves demonstráción győződhetett meg 2011 novemberében.

PROJEKTMENEDZSMENT

Szervezet

A konzorcium létrehozása során megtaláltuk azokat a tagokat, melyek szakértelme záloga lehetett a sikeres szakmai munkának, azon vállalkozások teljesítésének, melyeket a munkatervben szándékoztunk megfogalmazni. Így sikerült a konzorciumot vezető Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. által kezdeményezett feladatokhoz illeszteni a konzorciumot, amennyiben a BME EJJT biztosította a járművekkel kapcsolatos háttérrel, az MTA SZTAKI a járműirányítási és forgalmi rendszerekkel kapcsolatos elméleti háttérrel, valamint a Trigon Elektronika Kft. a kvv-kra

jellemző rugalmasságot egybekötve a megfelelő hajtáslánccal kapcsolatos tapasztalatokkal. Fontos szempont volt a szervezet kialakítása során, hogy a rokon területekkel foglalkozó, azonban sok tekintetben teljesen más szakmai megközelítést alkalmazó és részben eltérő motivációk által mozgatott tagok kiegészítsék egymást, valamint képességeikhez illeszkedő és céljaiknak megfelelő feladatokkal tudjanak hozzájárulni a projektben kitűzött célok eléréséhez.



1. ábra: TRUCKDAS szervezeti felépítése

A szervezet ún. mátrixstruktúrában épül fel, amennyiben a részfeladatokhoz rendelt projektvezetők szervezték a szakmai munkát, a konzorciumi tagok által delegált koordinátorok a saját intézményükkel kapcsolatos szervezeti kérdéseket. A részfeladatok vezetői a projektvezető felé jelentettek. A szűken vett szakmai munkától függetlenül, közvetlenül a projektvezetőnek alárendelve dolgozott a projektiroda, mely elsősorban pénzügyi és kommunikációs kérdésekkel foglalkozott. Végül a teljes szervezet működését az Irányító Testület felügyelte.

Fejlesztési folyamat

A fejlesztési folyamatot a projekt elején meghatároztuk. A folyamat nem előzmények nélküli: a BME EJJT és Knorr-Bremse fejlesztési folyamatainak alapszik, melyek működőképességüket már számos korábbi projektben bizonyították. A folyamatok így módon történő definíciója nagymértékben meggyorsította a folyamatfejlesztést, valamint lerövidítette a betanítási időt is, amennyiben a fejlesztési folyamat fő elemei nagyrészt ismertek voltak. A szervezet felépítését, az egyes jogköröket részletesen tárgyalja a konzorciumi megállapodás. A megállapodással egy folyamat alapú munkaszervezés mellett kötelezték el a tagok magukat. A TRUCKDAS projekt munkatervben meghatározott részfeladatait független projektként kezeljük, sőt a 2. részfeladatot tovább bontottuk négy viszonylag független részfeladatra. Az így létrejött tíz alprojektre, valamint az ernyőprojektként kezelt TRUCKDAS projektre egyenként követtük az alábbiakban leírt folyamatot.

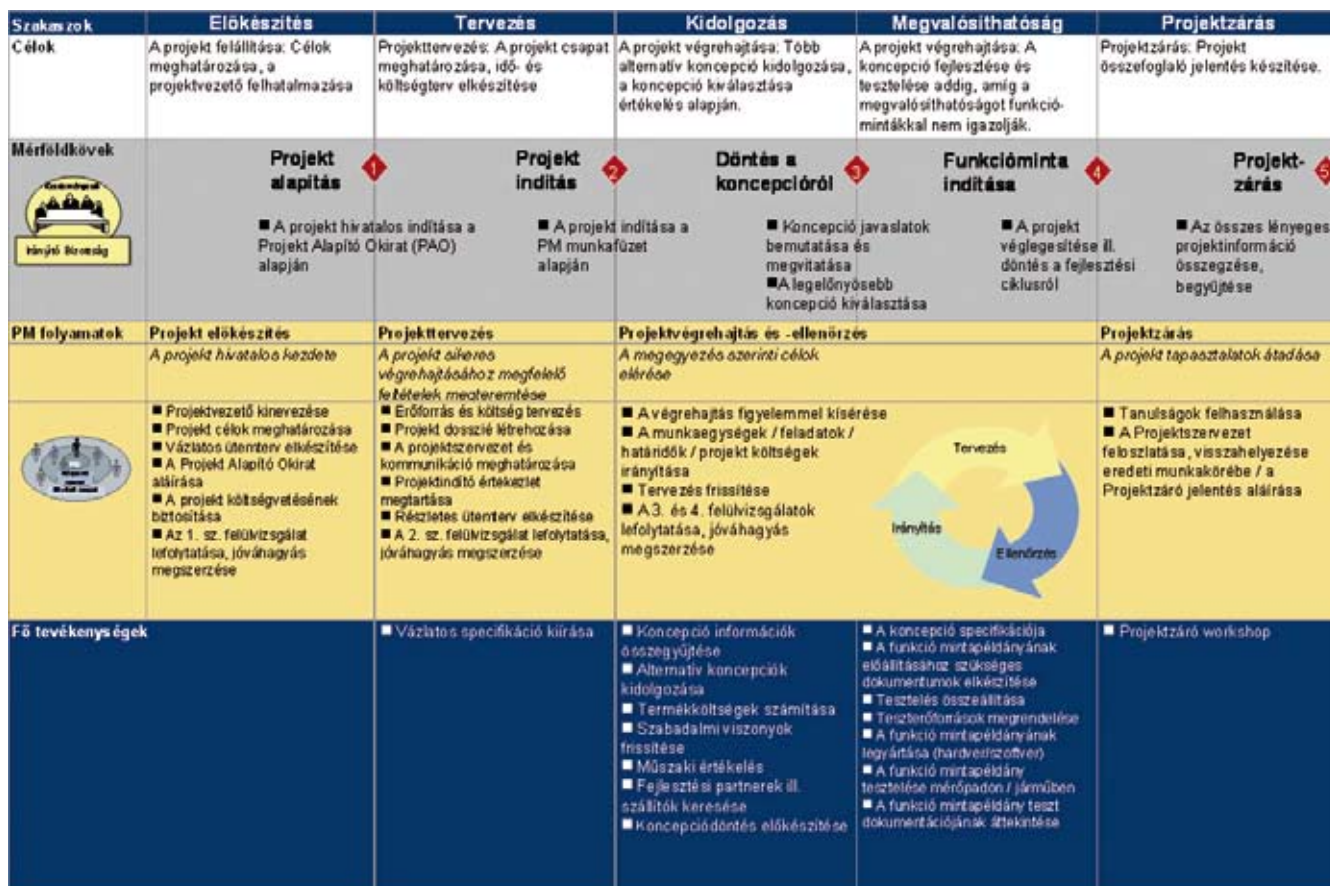
A kutatás-fejlesztési folyamat főbb elemeit szemlélteti a 2. ábra. A folyamat első és második lépése a támogatási szerződés létrejötte előtti időszakra vonatkozik. Első lépésben

a konzorciumi partnerek elkötelezték magukat a pályázat mellett, majd munkaterv szintjén meghatározták annak céljait és lebonyolításának kereteit. A munkaterv elfogadásával és a támogatási szerződés megkötésével a támogató szervezet jóváhagyta a projektet. Ezt követi a szakmai munka nagy részét felölelő két szakasz. Első lépésben a munkatervben meghatározott célok mentén – amennyiben műszakilag értelmes – alternatív koncepciók kidolgozása történik. Utána a műszaki, gazdasági és jogi értékelés, majd a legígéretesebb koncepció kidolgozása melletti döntés következik. A kiválasztott koncepcióban leírt rendszerről részletes specifikáció készül. A specifikáció alapján történik a prototípusrendszer kifejlesztése, gyártása és végül tesztelése. A záró lépés a lényeges információk rendezéséről, a projekt tapasztalatok dokumentációjáról és a projektzáró megbeszélésről szól. A folyamatleírás meghatározza, hogy milyen feltételek mellett lehet az egyes szakaszokat lezártnak tekinteni és milyen projektmenedzsment tevékenységeket kell ellátni.

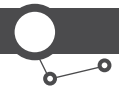
Kommunikáció

A munkaterv már tartalmazott egy igen részletes kommunikációs tervet. A kommunikáció alapvetően a tudományos életben elfogadott csatornákra fókuszált: publikációkra, konferencia-részvételekre. Ugyanakkor fontos eleme volt, hogy a kommunikáció egy egységes arculattal történt, valamint, hogy a projekt egy saját honlapot is üzemeltet (www.truckdas.hu), mely a projekt teljes tartama alatt naprakész információkkal szolgált a széles közönségnek.

Méltó lezárása volt a projektnek a nyilvánosság felé a – szintén már a munkatervben megfogalmazott – összefoglaló konferencia és járműves demonstráció.



2. ábra: TRUCKDAS fejlesztési folyamat



RÉSZFELADATOK ÉS EREDMÉNYEK

A projektet hét szakmai és egy támogató részfeladatra bontottuk. Ezen belül valójában a részfeladat nagysága miatt a 2. részfeladatot (hajtáslánc irányítása) tovább bontottuk négy részfeladatra.

Kormányzási beavatkozás

A projekt során olyan aktuátor kifejlesztése volt a cél, mely egyszerre csökkenti a kormányzservo költségeit és egészíti ki a kormányművet járműstabilitási funkciókkal. Több koncepció elemzése után a nyomaték-hozzáadásos aktuátor mellett döntöttünk. Bár funkcionálisan kevesebbet nyújt ez a megoldás a szöghozzáadásos változatoknál, a nyomaték-hozzáadás egyszerűsége és ezzel a haszongépjárművekben történő alkalmazás gazdaságossága miatt e megoldás tűnt egyedül alkalmasnak. Amint a kormányzási beavatkozással kiegészített járműstabilitási funkciónál is bizonyítást nyert, egy ilyen viszonylag egyszerű kormányaktuátor is biztosíthat megfelelő hatékonyságú aktív biztonság funkciót.

Hajtáslánc-irányítási rendszerek fejlesztése és optimalizálása

A hajtáslánc bizonyos elemeire értékarányos műszaki többlettel bíró mechatronikus megoldások készülnek. A kapcsolódó mérési eljárások kutatása, majd a szükséges próbapadok létrehozása a projekt második célja.

Az elektromos szabályozású elektromechanikus működésű váltóaktuátor alprojekt keretein belül szintén több koncepció közül választva valósítottuk meg mind a működtető algoritmus szoftverét, mind a mechanizmus hardverét. Utóbbi esetében a megvalósítás magában foglalja a hardveregység konstrukciós modelljének megalkotását, valamint a prototípus legyártását és összeszerelését. A működtető algoritmus többszintű logikájának felépítése a fejlesztői környezet kialakításával kezdődött meg, majd ennek alkalmazásával megindulhatott a tényleges funkciófejlesztés. Első lépésben tehát SiL (software-in-the-loop) környezet felépítése következett, majd ennek adaptációja a váltó próbapadra, melynek használatával már a működtetőegység HiL (hardware-in-the-loop) vizsgálata vált lehetővé. A SiL, illetve HiL környezetben zajlott a funkcióalgoritmusok fejlesztése MATLAB Simulink alkalmazásával. A **gépjárműkompresszor főtengelymérőpad** alprojekt keretein belül a két koncepció közül a rezonanciás elven működő főtengelyfárasztó tesztapad megépítése mellett döntöttünk. Az előzetes vizsgálatok és végelelem-szimulációk eredményei alapján megterveztük a berendezés geometriai kialakítását. A súlyok felerősítésére egy patronos megfogókészüléket terveztünk. Mivel a súlyok szabad végein mérhető gyorsulás és a főtengelyben ébredő mechanikus feszültségek között lineáris kapcsolat van, ezért egy gyorsulásmérő jeléből kiszámítható, hogy milyen terhelési szinten fárasztunk. Ezek alapján, a vezérléshez két független szabályozókört kellett megvalósítani: egy gyorsulásamplitúdó- és egy frekvenciaszabályozást. Végül a tesztapad finomhangolása után az első mérési eredmények is megszülettek, melyek eredményei nagyon pontosan egybevágtak a korábbi, szimulációs úton kapott eredményekkel. A **torziós lengéscsillapító tesztapad** alprojektben megvalósítottuk a kardános tesztapad részletezett modelljét és szimulációját abból a célból, hogy a tesztapad fő méreteit, a villanymotor teljesítményszükségletét és a tesztapad modális viselkedését meghatározzuk. A fő eredmény a tesztapad konstrukciójának, ill. ezek alapján a tesztapadnak az elkészítése volt, amely magában foglalja a teszt lengéscsillapító- és a tesztapad alkatrészeinek megtervezését, a szabályzóelektronika, a hardver és a mérőszoftver meghatározását. A **dekompresziós motorféktesztapad** alprojektben az alábbi célokat értük el: specifikáltuk a fékpad és a motorfékaktuátor

jellemzőit mérő eszközt, elkészítettük a fékpad konstrukciós tervét a megfelelő alkatrészejekkel, kifejlesztettük a fékpad hardverét és szoftverét, megírtuk a fékpadhoz tartozó dokumentációkat, majd elkészítettük a motorféktesztapadot.



3. ábra: torziós lengéscsillapító-tesztapad

Adaptív sebességtartó automatika és ütközésmérséklő rendszer

A jármű előtt haladó forgalmat figyelő rendszerek fejlesztésének célja az volt, hogy teljesen kiküszöböljék vagy jelentősen mérsékeljék a nagyon gyakori ráfutásos balesetek következményeit. Az adaptív sebességtartó automatika, mely egy eredetileg tisztán kényelmi funkciónak – sebességtartó automatika – a továbbfejlesztése, képes a jármű hosszdinamikájába beavatkozni, és ezáltal felhasználható biztonsági célokra is, és egy esetleges baleset előtt képes az ütközés energiájának csökkentésére. Mivel a projekthez alapul vett adaptív sebességtartó automatika már egy létező rendszer, melyet személygépkocsikhoz fejlesztettek ki, a különbség elemzése után végeztük el a haszongépjárműves alkalmazáshoz szükséges módosításokat. Az adaptív sebességtartó automatika tesztelése közúton komplikált és gyakran veszélyes feladat, így egy szimulációs környezet felállítása nélkülözhetetlen volt. A vészfékezés funkció kidolgozása során figyelembe kellett venni a vonatkozó előírásokat, üzemeltetési jellegzetességeket. Végül a rendszer megvalósítása, járműves applikációja, ill. tesztelése zárta a projektet.

Kameraalapú sávelhagyásra figyelmeztető rendszer és sáv-tartást támogató rendszer

A sáv-, ill. útelhagyásos balesetek számának jelentős csökkentését szolgálták a járművezető fáradtságából fakadó figyelmetlenséget kiküszöbölni hivatott rendszerek. Első lépésként megvalósíthatósági tanulmány készült a személygépkocsinál használt megoldások haszongépjárműves alkalmazásáról. Egy prototípus HMI eszköz (Human-Machine-Interface, ember-gép-felület) fejlesztését is elvégeztük. A HMI szerepét egy, a műszerfalba integrált eszköz tölti be. Sávelhagyási scénáriók felvétele megtörtént. Elkészült egy járműszimulációs környezet kameramoddellel, 3D megjelenítéssel. Továbbá a vezető fizikális/mentális állapotának becsléséhez fáradtságvizsgálatokat dolgoztunk és értékeltünk ki. Az egyik fő feladat az sávelhagyásra figyelmeztető rendszert irányító algoritmus kidolgozása volt. Ez a szoftver kiértékeli a jármű helyzetét a sávhoz képest, eldönti, hogy történt-e nem kívánt sávelhagyás és szükség esetén figyelmeztetést küld a vezetőknek. A sáv-tartó funkció a sávelhagyásra figyelmeztető algoritmus kiegészítése volt beavatkozó funkcióval. A beavatkozást jelen esetben fékalapon végeztük. A projektet a járműves applikáció és a tesztek zárták.

Kormány- és fékrendszer integrált szabályozásával beavatkozó menetstabilizáló rendszer

A haszongépjárműveknél elterjedt fékalapú járműstabilitási rendszerek hatékonyságát kormánybeavatkozással tovább lehe-

tett növelni. A koncepciók megalkotása, majd a legjobbnak ítélt koncepció alapján létrehozott rendszerspecifikáció alapján megalkottuk a kormány- és fékalapú ESP vezérlésének struktúráját, mely a különböző beavatkozásszervek közötti együttműködést és átmenetet vezérli. A részfunkciók kidolgozása során elvégeztük egy oldalkúszásbecslő algoritmus készítését is, melynek segítségével a jármű állapota az eddigieknél pontosabban becsülhető. A járműves applikációval, majd a tesztekkel ellenőriztük és igazoltuk a rendszer működőképességét. Összehasonlító elemzéssel bemutattuk, hogy a rendszer a jelenleg használatos járműstabilitási rendszerekhez hasonlóan értékeli és kezeli az instabilitási helyzeteket, eltérések leginkább az instabilitás felépülésének észlelésekor, ill. a szélsőséges helyzetekben volt megfigyelhető.

Osztópban haladó gépjárművek szenzorfüzión és jármű-jármű kommunikáción alapuló szabályozása

A jármű-jármű kommunikáción és szenzorfüzión alapuló járműirányítás több járműből álló kötelékeket volt hivatott a hagyományos járművezetők által vezetett járműveknél a közlekedés biztonságának és gazdaságosságának szempontjából optimálisabban vezetni. Kezdő lépésként megvizsgáltuk, hogy milyen szabályozási stratégiákkal tudnánk egy láncba szervezett járműegyüttest biztonságosan és ugyanakkor hatékonyan végigvezetni egy adott trajektórián. Megvizsgáltuk, hogy milyen forgalmi szituációkra kell felkészülnie egy ilyen rendszernek, milyen jellemzőkkel kell rendelkeznie egy olyan vezeték nélküli kommunikációs rendszer elemeinek, mely a kötelék szabályozója által definiált minimális követelményeinek eleget tud tenni. A lehetséges rendszerkonceptciók kidolgozása mellett sor került a rendszer specifikálására. A forgalomszabályozás megköveteli azon egymást szorosan követő járművek szétválasztását és összecsatolását, melyek a konvojban haladáskor jelentős mennyiségű üzemanyagot spórolnak a csökkent légellenállásnak köszönhető-

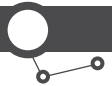
en. A szétválasztások és összecsatlakozások energiaszükségletét az említett tüzelőanyag-nyereségből kell fedezni. Ezen műveletek energiaigénye több változótól is függ, úgy mint a követési távolság, követési sebesség, járműoszlop hossza stb. E paraméterek hatásait, befolyásolásuk különböző lehetőségeit vizsgáltuk, az irányítást ennek megfelelően alakítottuk ki. A kidolgozott specifikáció alapján szintén elkészült egy prototípus hardver, mely tartalmaz minden szükséges perifériát, amely alkalmassá teszi a speciális „gateway” feladatok ellátására. Az eszköz szoftverének fő funkciója a különböző interfészek között átjárás biztosítása a specifikált protokollok alapján. Végső lépésben a rendszert installáltuk három járműre: egy felvezető és két követő járműre. A rendszer hangolása, a követési távolság minimalizálását követően elvégeztük a különböző mértékű gyorsító és lassító manővereket magába foglaló teszteket és értékeléseket.

Járműbiztonsági rendszerek működésének statisztikai elemzése távdiagnosztikai rendszerrel

Járműbiztonsági rendszereket vizsgáló és minősítő eljárások segítségével képet kaphattunk a jelenleg használt, ill. a fejlesztés alatt álló rendszerek teljesítőképességéről. A járműbiztonsági rendszerek működésének statisztikai elemzésére irányuló projekt második évében két feladatcsoportra koncentráltunk. A célkitűzésekkel összhangban a járműbiztonsági rendszerek működésével kapcsolatosan rögzített adatbázis részletes elemzésére, valamint a folyamatos mérések és a járműbiztonsági szempontból fontos eseményekhez kötődő mérések elemzésére. A mérések során az eseményekhez köthető adatok csak akkor kerülnek rögzítésre, ha a járműbiztonsági rendszerek működésével kapcsolatos fontos esemény, például aktív ABS-fékezés vagy RSP-esemény történt. A mérésben részt vevő járműveken elhelyezett műszerek által szolgáltatott mérési adatokat adatbázisban rögzítettük. A valós forgalomban szereplő járművek biztonsági rendszereinek működésén



4. ábra: osztópban haladó járművek a demonstrációs napon



5. ábra: TRUCKDAS projektzáró konferencia

alapuló forgalmi elemzések leginkább a mikroszkopikus forgalmi modelleknek feleltethetők meg. A forgalmi helyzetek, közlekedésbiztonsági konfliktusok finomabb térbeli-időbeli feltáráshoz, elemzéséhez egy szubmikroszkopikus forgalomszimulációs rendszer létrehozása is szükségessé vált. E szimulációs rendszer – a fenti mérések kiértékelésével párhuzamosan – a projekt keretén belül kifejlesztésre került. Az összefoglaló eredmények a mérési adatokon alapuló elemzések, valamint a szimuláció eredményeinek összegzéséből jött létre.

Koordináció és tájékoztatás

A szigorú projektmenedzsment volt biztosítéka ez egyes projektekben megfogalmazott célok elérésének. A tájékoztatási terv megvalósítása segítette a projekt eredményeinek hosszú távú társadalmi és gazdasági hasznosítását.

A projektmenedzsment folyamatot támogató kidolgozásra került egy munkafüzet, mely segítségével pontosan nyomon követhetőek voltak a részfeladatok, valamint a teljes projekt előrehaladása. Magának a folyamatnak részét képezték a rendszeres megbeszélések, ahol a részfeladatok vezetői, valamint a projektiroda részletesen beszámolt a projektvezető felé. Az Irányító Testület évenként vizsgálta felül a projektet.

Kommunikáció szempontjából kiemelkedő fontossággal bírtak a konferenciarészvételek, a publikációk, ill. a szélesebb nyilvánosság felé a honlap (www.truckdas.hu). A projekt nyilvánosság felé történő zárását jelképezte a projektzáró konferencia, ahol a projekt eredményeit ismerhette meg a nemzetközi közönség és a sajtó. A konferenciához kapcsolódott az a járműves demonstráció, mely során a tököli tesztpályán mutattuk meg az eredményeket. ●

ÖSSZEFOGLALÁS

A három éves időtartamot felölelő projekt kiemelkedő példája lehet nemzetközi háttérrel rendelkező nagyvállalat, kkv, kutatóintézet, valamint egyetemi tudásközpont együttműködésének. A szakmai eredmények létrejöttét nagyban elősegítette úgy a megfelelő konzorciumi összetétel, mint a projekt kezdetekor lefektetett tiszta szervezeti struktúra, folyamatok és a kapcsolódó infrastruktúra.

A szakmai eredmények magukért beszélnek, a demonstrációs napon sikerült bemutatni előben, nagyközönség előtt az összes vállalt részfeladat kapcsán megvalósított rendszert. Szintén fontos kiemelni, hogy a feladatok meghatározása is kellően előrelátó volt, amennyiben a létrehozott rendszerek egy része a következő években szériatermék lesz.

A járműszlop szabályozása feladat különböző formában megvalósításra kerül különböző nagy járműgyártók által. Fontos indikátor lehet a hazai járműiparral kapcsolatos K+F szektornak, hogy képesek voltunk járműgyártói támogatás nélkül is egy ilyen komplex rendszert létrehozni, annak működését való járműveken bemutatni.

A projektzáró konferenciával és demonstrációval kapcsolatos pozitív és érdeklődő visszajelzések igazolták, hogy a projekt tartalma és az elért eredmények hazai és nemzetközi szinten is fontosak és előremutatóak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TRUCKDAS projekt a Kutatási és Technológiai Alap támogatásával valósult meg.

Vasúti kocsi szilárdságtani vizsgálata

MARTON ÁDÁM

Széchenyi István Egyetem

DR. VERESS ÁRPÁD
PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
DR. STUKOVSKY ZSOLT

BME, EJJT

TAKÁCS PÉTER
HÉRI JÓZSEF
 BKV Zrt.

A közlekedés- és gépészmérnöki gyakorlatban egyre nagyobb jelentőséggel bír – az adott igénybevételek hatására – a járműelemekben kialakuló feszültségeloszlás minél pontosabb meghatározása. Ennek ismeretében ugyanis lehetőség nyílik olyan újszerű diagnosztikai eljárások kidolgozására, melyek alkalmazásával tovább növelhető a meghibásodásmentes és hosszú élettartamú üzemeltetés iránti igény kielégítése. Ezért, a jelen tanulmány elsődleges célja, hogy végeselemes szilárdságtani számítások elvégzését követően mutasson rá olyan folyamatokra, illetve eljárásrendszerekre, amelyek például egy vasúti kocsi felépítményének azon szegmenseire (burkolat- és járműváz-alkatrészek) alkalmazhatók, amelyek szilárdságtani szempontból leginkább igénybe vannak véve az adott műterhelés, feltételezett károsodások, illetve a pályagerjesztésből adódó dinamikai igénybevételek hatásainak.

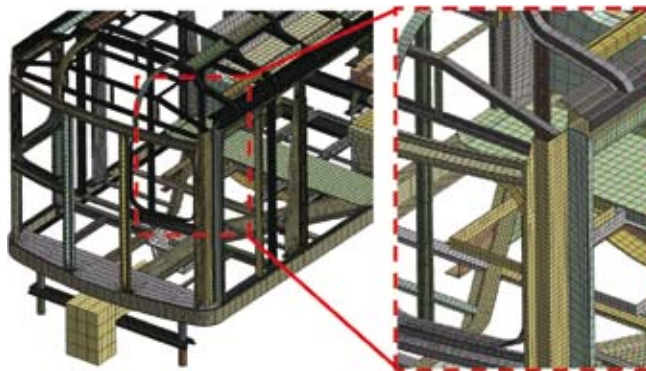
The importance of determining the accurate stress distribution in vehicle components is getting higher and higher. Based on this information, the developments of new approaches are become available in maintenance and operation point of view to increase the safety and reliability. Hence, the main goal of the present study is to demonstrate the effectivity of process developments – across the series of finite element analyses – by means of predicting the most critical cross sections of the railway vehicle construction above the bogie due to the virtual loads, modeled malfunctions and vibration.

BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb szerepet játszik a számítógépes modellezés a mérnöki gyakorlatban. Segítségével – megfelelő validációt követően – olyan problémákra is választ kaphatunk, amelyek esetén például a valós körülmények közötti tesztelés, illetve mérés kivitelezésére nincs lehetőség. A végeselemes szimulációk – a statikus igénybevételek mellett – egyre inkább használhatók dinamikai hatások okozta problémák modellezésére is. A korszerű szoftverek alkalmazását követően a valósághoz közeli képet kaphatunk a különféle alkatrészekben megjelenő feszültségekről. Az eredmények elemzése lehetőséget nyújt olyan új vizsgálati módszerek kidolgozásához, amelyek alkalmazásával tovább növelhető a hosszú élettartamú, megbízható és biztonságos közlekedés iránti igény kielégítése.

A fentiek figyelembevétele mellett, a jelen vizsgálat további célja, hogy szilárdságtani számítások elvégzését követően mutassa be egy vasúti kocsi felépítményének (járműváz) szerkezeti elemeiben kialakuló feszültségeket, deformációkat és a terhelések felvételében jelentős szerepet játszó alkatrészeket a nagy üzemidejű igénybevétel következtében jelentkező kritikus helyek meghatározása érdekében.

Az elkészített végeselemes szimulációban egyrészt azt kívánjuk bemutatni, hogy a szerkezeti elemek átmetszése milyen hatással van adott terhelés esetén a kocsiszekrény maximális lehajlására, illetve ez hogyan kapcsolható össze a biztonságos



2. ábra: a végeselemháló

üzemeltetésre vonatkozó vizsgálati módszerrel. Másrészről pedig a járműszerkény sajátfrekvenciáit határoztuk meg, illetve megvizsgáltuk, hogy a véletlenszerű gerjesztések által okozott igénybevételek a felépítmény mely részein okoznak jelentős feszültségeket.

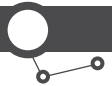
A véletlenszerű pályagerjesztésnek, amely gyorsulás formájában adódik át a kocsiszekrényre, kitüntetett szerepe van a ferasztó igénybevétel szempontjából különösen akkor, ha frekvenciája egybeesik a felépítmény sajátfrekvenciájával. Az említett igénybevételnek köszönhetően repedések indulhatnak el a kocsiszekrény szerkezeti elemeiben, amely töréshez és azt követően feszültségátrendeződéshez vezethet. Ennek eredményeként megnő a feszültségátrendeződésben szerepet játszó szerkezeti elemek terhelése és a további üzemeltetés, illetve a ferasztó igénybevételek ismételt hatására intenzív repedésterjedés és gyors lefolyású törés alakulhat ki.

JÁRMŰMODELL

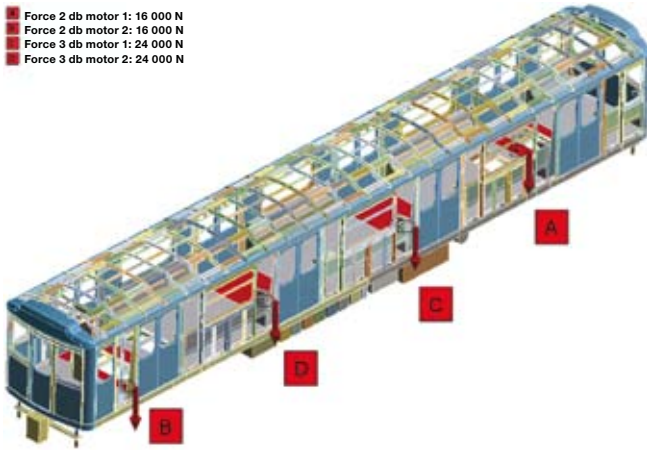
A végeselem-számítás egyik alapfeltétele a pontos geometriai modell megalkotása. A járművázra ható igénybevételek meghatározása érdekében a forgószámoly feletti rész vázszerkezetének és burkolatának 3D-s modelljét annak tervrajza alapján készítettük el (lásd 1. ábra). A vizsgált felépítmény hossza 19 méter és súlya kb. 20 tonna.



1. ábra: vasúti kocsi 3D modellje



- Force 2 db motor 1: 16 000 N
- Force 2 db motor 2: 16 000 N
- Force 3 db motor 1: 24 000 N
- Force 3 db motor 2: 24 000 N



3. ábra: a statikus terhelések

VÉGESELEMHÁLÓ

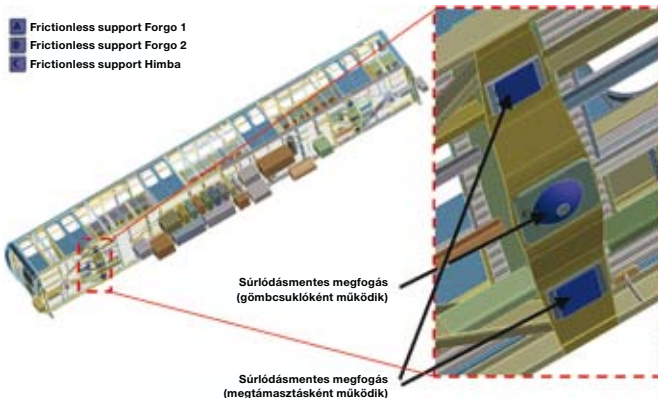
A PRO\Engineer környezetben felépített geometriai modell végeselemes hálóját az Ansys 13 programcsomag segítségével készítettük el. A végeselemhálót 10 csomópontos tetraéder és 20 csomópontos hexaéder elemek alkotják, méretük 20 mm-től 200 mm-ig változik, az adott alkatrész méretétől függően. A végső háló kb. 685 000 hálóelemet tartalmaz (lásd 2. ábra). Ezt a hálót használtuk fel valamennyi, a következőkben ismertetett végeselemes szimulációhoz. A háló további sűrítésének a rendelkezésre álló számítástechnikai eszközök kapacitása szabta meg a határt.

PEREMFELTÉTELEK ÉS TERHELÉSEK

A későbbi alfejezetekben ismertetett eredmények segítségével azt vizsgáltuk, hogy milyen mértékben deformálódik a jármű, elsősorban a burkolat és a tartókerete, mekkora a járműváz maximális lehajlása statikus terhelés hatására sérülésmentes, illetve feltételezett károsodás esetén. A műterhelést négy pontban helyeztük el (lásd A, B, C, D a 3. ábrán), amelyek megfelelnek 2 db ~800 kg-os villanymotor (A és B), illetve 3 db ~800 kg-os villanymotor (C és D) által okozott terhelésnek (16 000 N és 24 000 N). A villanymotorok okozta műterhelés az elvégzett mérések esetén 1 egység lehajlást eredményezett a járműváz közepén.

A szimuláció során a forgószámló csatlakozási helyén gömbcsuklószerűen működő súrlódásmentes kényszer, illetve két további

- Frictionless support Forgó 1
- Frictionless support Forgó 2
- Frictionless support Himba



4. ábra: peremfeltételek a forgószámló csatlakozási pontjain

helyen pedig megtámasztásként működő súrlódásmentes megtámasztást alkalmaztunk (lásd 4. ábra).

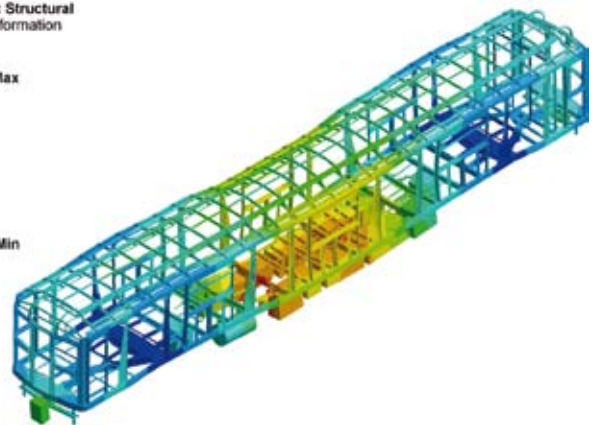
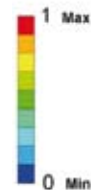
A teljes terhelést két lépésben építettük fel. Az elsőben csak a gravitáció hatott a szerkezetre, a második lépésben alkalmaztuk a gravitáción felül a statikus terheléseket is.

A szimulációban az érintkező elemeket ragasztott/hegesztett kapcsolatként (bonded contact) definiáltuk. Ezt a kényszer alkalmaztuk a burkolat és a vázszerkezet érintkezési felületein is, ami merevebb viselkedést jelent a valósághoz képest, vagyis a szakaszos varrathoz képest.

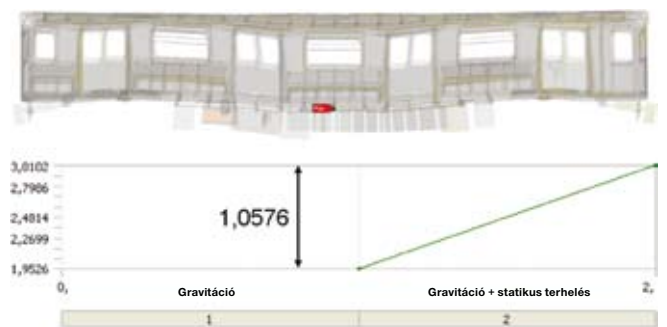
STATIKUS SZIMULÁCIÓK AZ EREDETI VÁZ ESETÉBEN

A bemutatásra kerülő szimuláció célja, hogy a számítás eredményeit összehasonlítsuk hasonló körülmények között elvégzett mérési eredményekkel a számítógépes modellezés alkalmazhatóságának, validációjának céljából. Eredeti váz alatt azt a verziót értjük, amelyben minden alkatrész a tervrajzok szerint, eredeti formájában található meg a modellben. A lehajlásszámítás az előző fejezetben leírt terhelési esetek figyelembevételével történt (lásd 3. ábra). A számítás eredményei az 5–7. ábrán láthatók.

B: Static Structural
Total Deformation

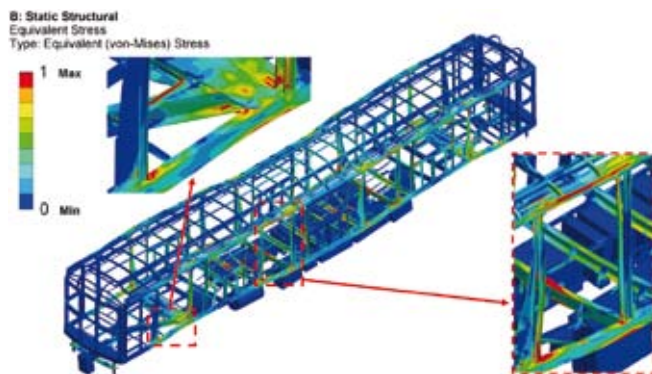


5. ábra: a vázszerkezet normalizált deformációja az eredeti vázszerkezet esetén (a deformáció 100-szoros nagyításban látszik az ábrán)



6. ábra: váz közepének lehajlása az eredeti vázszerkezet esetén

A deformációt az itt megjelenő maximális elmozdulás eredményével normáltuk, így annak értéke 1 egység (lásd 5. ábra). A kocsiközepén, az alsó hossztartón mért maximális lehajlás értéke 1,06-szorosa a mérési eredménynek (lásd 6. ábra). A mérési és a számítási eredmények közötti eltérés elhanyagolható, a mérési hibahatáron belül van, a szimuláció eredményét elfogadhatónak tekinthetjük.



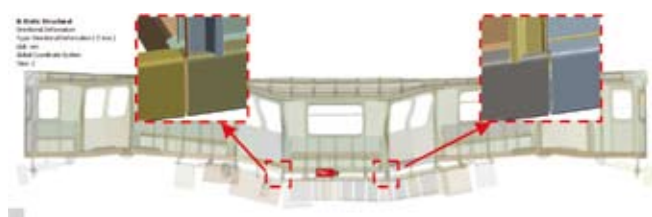
7. ábra: statikus terhelésre ébredő feszültségek az eredeti vázszerkezet esetén normalizált alakban

A szerkezetben, a váz anyagának folyáshatárához képest alacsony feszültségek ébrednek, ezek közül is a legjelentősebbek a tolóajtók alsó és felső sarkainál a tartóvázban (lásd 7. ábra).

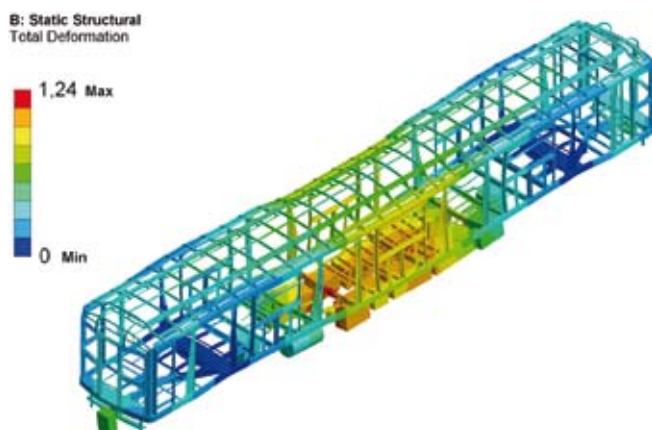
A váz korróziója ezeken a sarkokon a legszámottevőbb, azonban ennek a hatását a végelelemes számításban nem tudjuk figyelembe venni.

STATIKUS SZIMULÁCIÓK ÁTMETSZETT HOSSZTARTÓJÚ VÁZ ESETÉBEN

A számítógépes modellezés lehetővé teszi azonban a mester-ségesen létrehozott repedések és törések esetében kialakult feszültségeloszlások meghatározását. Meg tudjuk vizsgálni, hogy milyen hatása van az egész szerkezetre egy esetleges törésnek, melyeket az előző fejezet végén ismertetett helyek közelében hoztunk létre (a tolóajtók alsó sarkai közelébe). A 4 helyen átmetszett hossztartójú modell a 8. ábrán látható.



8. ábra: feltételezett törések helyén átmetszett modell (a kocsiszekrény mindkét oldalán)



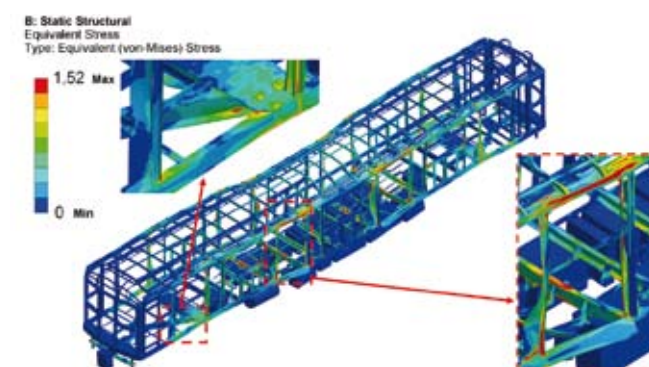
9. ábra: normalizált deformáció az átmetszett hossztartójú modell esetén (a deformáció 100-szoros nagyításban látszik az ábrán)

A szimuláció egyéb beállításait megtartva, az ismételt futtatás eredménye a 9–11. ábrákon látható. A járműváz merevségét mutatja, hogy a gyengített tartószerkezet esetében mindössze 24%-ot nőtt a deformáció értéke, a váz közepének lehajlása pedig a mért érték 1,163-szorosa (lásd 10. ábra).

A feszültségek eloszlásában átrendeződés történt. Az átmetszett tartó miatt a szerkezet többi tartóeleme átvette a teherviselő szerepet az átvágott hossztartótól. Ezáltal a maximális feszültség a nem átvágott modellhez képest 52%-kal magasabb értéket mutat. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy ha bármilyen kis mértékben is, de megnő a műterhelés hatására a vázközép maximális lehajlása, akkor valószínűsíthető, hogy komolyabb sérülés érte a vázszerkezetet.



10. ábra: váz lehajlása átmetszett modell esetén



11. ábra: feszültségeloszlás normalizált alakban az átmetszett hossztartójú modell esetén

MODÁLANALÍZIS

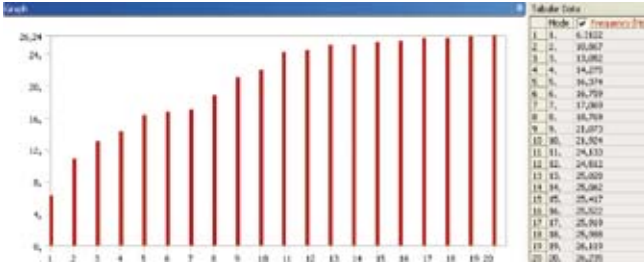
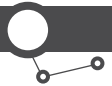
A modális analízis célja, hogy meghatározzuk azokat a frekvenciákat, amelyeken kialakult gerjesztések rezonanciát okoznak és így jelentősen megnövelhetik a feszültségamplitúdót, ami kifáradáshoz vezethet.

Minden szerkezetnek létezik egy vagy több a mozgására jellemző frekvenciája, amelyen gerjesztve lényegesen nagyobb választ ad, mint más frekvenciákon. Egy lengőrendszernek végtelen sok sajátfrekvenciája van, viszont ezek közül a legtöbb elhanyagolható, mivel vagy csak a szerkezet kis részére hatnak, vagy nagyon magas frekvenciákon jelennek meg. Ráadásul ezek a magas frekvenciás rezgések sokkal hamarabb csillapodnak le, mint az alacsonyabbak. A gyakorlatban az első sajátfrekvenciák a legveszélyesebbek, ezekre adja a szerkezet a legnagyobb választ.

A szerkezetet a 12. ábrán látható első hat frekvencián gerjesztve, a járműváz a 13. ábrán látható lengésképeket fogja felvenni.

VÉLETLENSZERŰ, DINAMIKAI IGÉNYBEVÉTELEK MODELLEZÉSE ÉS HATÁSUK VIZSGÁLATA

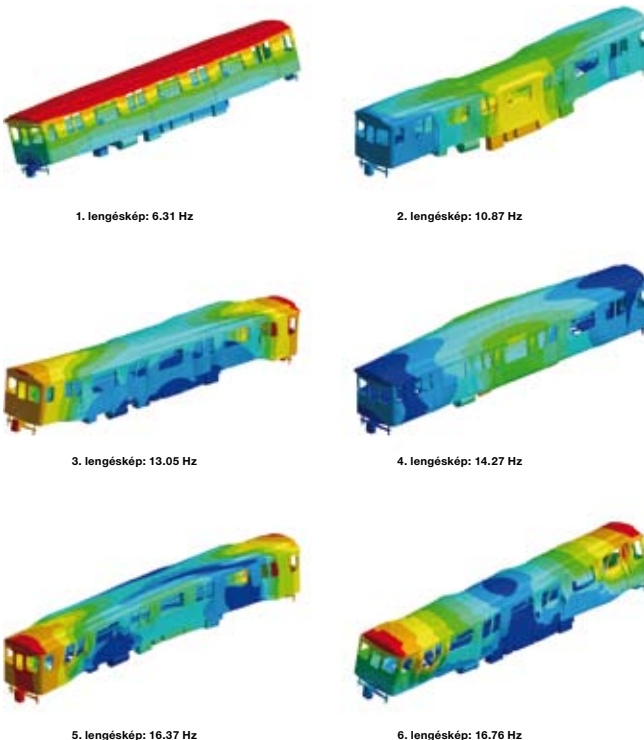
A felépítményre leggyakrabban ható, a gyakorlatban előforduló dinamikai gerjesztések a pályagerjesztésből adódó gyorsulások,



12. ábra: a felépítmény sajátfrekvenciái

amelyek időbeli eloszlását mérések segítségével lehet meghatározni. Ez, időtartamtól függő megfelelő mintavételezés esetén több tíz/százezer mérési pontot is jelenthet. Ezt az óriási adatmennyiséget sem számítógépes szimulációkban, sem pedig mérésekben nem célszerű alkalmazni, e helyett inkább az időtartományt frekvenciatartománnyá alakítjuk. A módszer lényege, hogy kevesebb adat megadásával képes reprodukálni az adott gerjesztés teljesítményét, éppen ezért a szabványokban is ebben a formában találkozhatunk a véletlenszerű gerjesztésekkel. A módszer alapja, hogy bármely véletlenszerű jel különböző frekvenciájú és amplitúdójú trigonometrikus függvényekből épül fel egymáshoz képest adott fázisszöggel eltolva. A mért jeleket Fourier-transzformációval harmonikus összetevőkké bonthatjuk szét, mely lehetővé teszi, hogy a frekvencia függvényében ábrázolhassuk az amplitúdókat. A frekvenciatartományban való ábrázolásnak egy másik nagy előnye, hogy azonnal látni, melyek a domináns frekvenciák és azok mekkora amplitúdóval jelennek meg.

Legyen $H(f)$ illetve $h(t)$ legyen ugyanannak a jelnek kétféle reprezentációja, $h(t)$ az idő-, $H(f)$ az ún. frekvenciatartományban. A megfeleltetést a két tartomány között az 1., illetve a 2. egyenlet írja le.



13. ábra: az első 6 frekvencia lengésképe (a színskála a kitéréssel arányos; piros: maximális elmozdulás, kék: minimális elmozdulás)

$$H(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad 1$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \cdot e^{-i\omega t} df \quad 2$$

Parseval tétele szerint $h(t)$ és $H(f)$, mivel mindkettő ugyanannak a jelnek az idő- és frekvenciatartománybeli reprezentációja, ezért ugyanannyi energiát kell, hogy tartalmazzon (lásd **3. egyenlet**).

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(t)^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)^2 df = T \cdot \int_{-\infty}^{\infty} PSD(f) df \quad 3$$

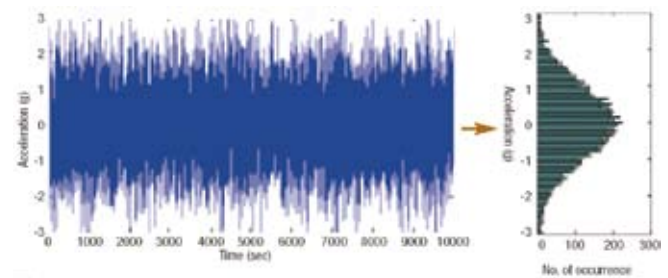
A 4. egyenletben definiált teljesítményspektrumot akkor kapjuk, ha a frekvenciatartományban a Fourier-amplitúdók négyzetének abszolút értékét vesszük.

$$P(f) = H(f)^2 \quad 4$$

Ebből már kiszámíthatjuk a végeselem-szimulációkban is használatos teljesítménysűrűség-spektrumot (lásd **5. egyenlet**), amit definíció szerint úgy kapunk, hogy a teljesítményspektrumot elosztjuk a teljes vizsgálat időtartamával.

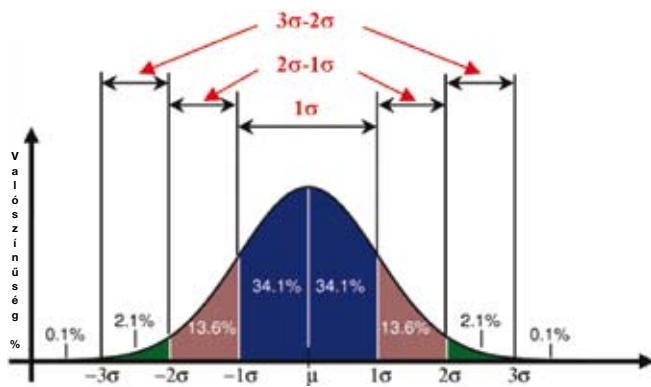
$$PSD(f) = \frac{P(f)}{T} \quad 5$$

A művelet visszafelé is elvégezhető, az átalakítás során ugyan elveszítettük a fázisinformációt, azonban az eredetivel szinte megegyező, egyenértékű időbeli jelet kaphatunk vissza véletlenszerű fázisinformáció generálásával.



14. ábra: gyorsulásamplitúdók normál eloszlása [1]

Ha az időtartományban rögzítjük egy véletlenszerű gyorsulásgerjesztés jelét, akkor megfigyelhető, hogy az amplitúdók értékei normál (Gauss) eloszlást követnek (lásd **14. ábra**). Az alacsony gyorsulásértékek sokszor fordulnak elő, de csak viszonylag magas ciklusszám után okoznak kifáradást. A kiugróan magas gyorsulások nagyon hamar okoznának tönkremenetelt, viszont ezek csak elvétve fordulnak elő. Az előző bekezdésben bemutatottak alapján, e véletlenszerű amplitúdókat a frekvenciatartományban tudjuk a legkönnyebben reprezentálni egy PSD-diagram segítségével (ha az amplitúdó eloszlás az időtartományban normál eloszlású volt, akkor a PSD esetében is az marad).

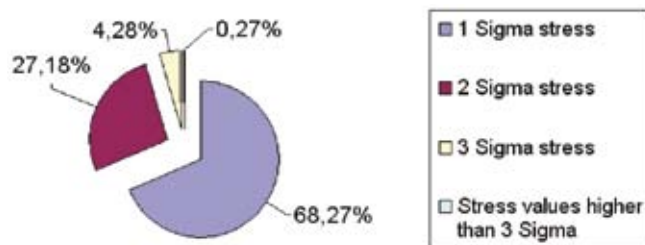


15. ábra: gyorsulásamplitúdók normál eloszlása

A végeeselemes modellre alkalmazott PSD-számítások eredményeként kapott feszültségekből megállapíthatjuk, hogy egy adott feszültségérték mekkora valószínűséggel fordul elő a teljes élettartama alatt. Steinberg közelítésében 3 sávra osztjuk szét a lehetséges feszültségértékeket (1σ , 2σ , 3σ).

A 15. és 16. ábrán bemutatott eloszlások alapján:

- az 1σ feszültségek (1σ) 68,27% valószínűséggel fordulnak elő,
- a 2σ feszültségek ($2\sigma-1\sigma$) 27,18% valószínűséggel fordulnak elő,
- és a 3σ feszültségek ($3\sigma-2\sigma$) 4,28% valószínűséggel fordulnak elő.

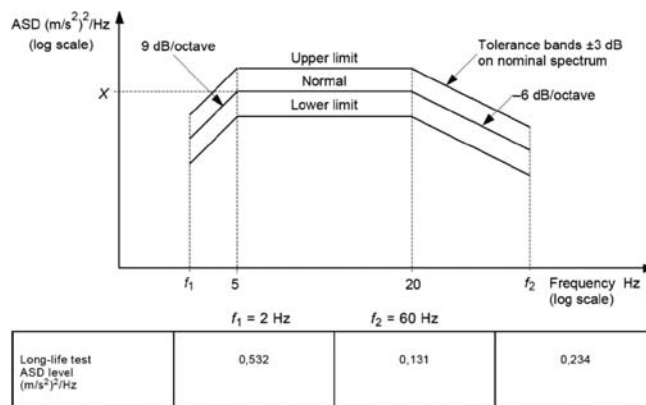


16. ábra: gyorsulások egymáshoz viszonyított aránya

Az elméleti bevezetés összefoglalásaként megállapítható, hogy az útgerjesztésből adódó rezgések karakterisztikáját mérésrel vesszük fel és statisztikai módszerekkel írjuk le; az ún. teljesítménysűrűség-spektrum (PSD – Power Spectral Density) vagy gyorsulás-sűrűség-spektrum (ASD-Acceleration Spectral Density) függvények segítségével. Ezeket a függvényeket közvetlenül használjuk fel a szimulációban mint peremfeltételeket, a gerjesztések helyén megadva. Sok esetben azonban a hosszas és költséges mérések feltételei nem biztosítottak. Ebben az esetben szabványokból kereshető ki az adott járműre és az őt érő igénybevételeknek megfelelő görbe.

A bemutatott számításokban az IEC 61373:2010 vasúti kocsikra vonatkozó nemzetközi szabvány által definiált ASD-görbét alkalmaztuk (lásd „Normal” jelölés a 17. ábrán) [2]. A jármű üzemeltetési körülményeitől függően előfordulhat, hogy a különböző pályatulajdonságok és az eltérő haladási sebesség miatt a szabványostól eltérő gerjesztésekre lehet számítani. Az alkalmazott terhelésprofil azonban alkalmas arra, hogy segítségével feltárhassuk azokat a pontokat a geometrián, amelyek különösen igénybe vannak véve a dinamikai hatások következtében, és melynek eredményeként kiemelt figyelmet kell állapotukra fordítani az üzemszerű használatbavétel előtti átvizsgálás során.

Az ASD-számítás eredményeiben a kapott feszültségértékek 3 sávra bontva szerepelnek (lásd 18. ábra), ami a statisztikai módszerrel való kiértékelés következménye. A felépítmény szerkezeti elemeinek többségében ébredő feszültségamplitúdók jócskán a megengedett kifáradási határ alatt maradnak, viszont előfordulnak olyan elemek, amelyekben magas feszültségek alakulnak ki. Ezek a jármű két oldalán, a burkolóelemek, a vázszerkezet és a hegesztések figyelembevételével, az első és hátsó homlokfelületeken, az ablakok és az ajtók sarkainál, illetve azok környezetében, a vázszerkezet kapcsolódási helyein, a himbagerendában és annak bekötési pontjaiban, valamint az alváza szerelt elemek tartószerkezeteiben, illetve ezek bekötési pontjaiban találhatók.



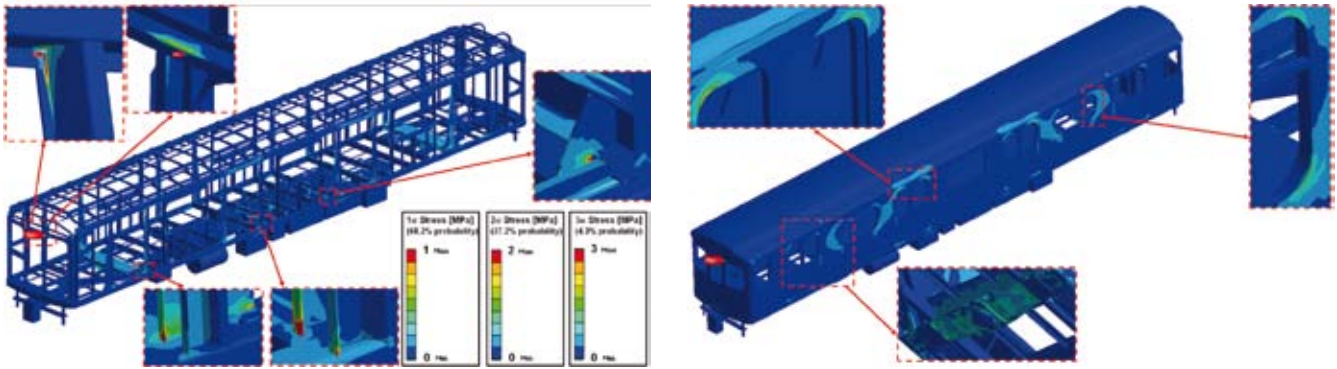
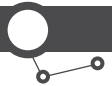
17. ábra: IEC 61373:2010 szabvány által előírt ASD-gerjesztések [2]

ÖSSZEFOGLALÁS

A megjelent munkában statikus és dinamikus szilárdságtani számításokat végeztünk abból a célból, hogy bemutassuk egy vasúti kocs felépítményének (járműváz) szerkezeti elemeiben kialakuló feszültségeket, deformációkat és a terhelések felvételében jelentős szerepet játszó alkatrészeket a nagy üzemidejű igénybevétel következtében jelentkező kritikus helyek meghatározása érdekében. Az eredmények elemzése lehetőséget nyújt olyan új vizsgálati módszerek kidolgozásához, amelyek alkalmazásával tovább növelhető a hosszú élettartamú, megbízható és biztonságos közlekedés iránti igény kielégítése.

A bemutatott statikus számítások alapján az a következtetés vonható le, hogy a modellezett törések okozta anyaggyengítések hatására nem változik meg jelentősen a maximális lehajlás értéke az alkalmazott műterhelés hatására az eredeti konfigurációhoz képest. A feszültségátrendeződésnek köszönhetően azonban, bizonyos esetekben jelentős feszültségnövekedés alakulhat ki, ezért azt javasoljuk, hogy abban az esetben szükséges részletesen megvizsgálni a terhelések felvételében jelentős szerepet játszó szerkezeti elemeket, ha a felépítmény maximális lehajlásának értéke meghaladja az eredeti modell lehajlásának 1,05-szorosát. Megállapítható továbbá, hogy a burkolat szerepet játszik a terhelések felvételében és elosztásában, ezért károsodás (pl. korrózió) esetén el kell végezni a szükséges javításokat, illetve cseréket.

A véletlenszerű gyorsulásgerjesztésen alapuló vibrációs (dinamikai) vizsgálat során az IEC 61373 szabványt alkalmaztuk. A számítások lefuttatását követően arra az eredményre jutottunk, hogy a felépítmény szerkezeti elemeinek többségében ébredő feszültségamplitúdók a megengedett kifáradási határ alatt maradnak, viszont előfordulnak olyan elemek is, amelyekben magas feszültségek alakulnak ki. Ezek a jármű két oldalán, a burkolóelemek, a vázszerkezet és a hegesztések figyelembevételével,



18. ábra: dinamikus terhelés esetén ébredő feszültségek normalizált alakban

az elülső és hátsó homlokfelületeken, az ablakok és az ajtók sarkainál, illetve azok környezetében, a vázszerkezet kapcsolódási helyein, a himbagerendában és annak bekötési pontjaiban, valamint az alvázra szerelt elemek tartószerkezeteiben, illetve ezek bekötési pontjaiban találhatók. A jellemzően magas értékek a szabvány által előírt magas terhelési profil eredménye-

képp adódtak. A kisebb sebesség, illetve jobb minőségű pálya esetén kisebb feszültségekre lehet számítani. Ennek ellenére, a kapott eredmények alkalmasak arra, hogy meghatározzuk a felépítmény azon szerkezeti elemeit, amelyekre kiemelt figyelmet kell fordítani az üzemszerű használatbavétel előtti ellenőrzések és átvizsgálások során. ●

IRODALOM

- [1] Santhosh M. Kumar: Analyzing Random Vibration Fatigue, ANSYS Advantage Volume II, Issue 3, 2008
- [2] IEC 61373 International Standard, Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests, Geneva, Switzerland, 2010

Füst- és hőterjedés numerikus áramlástanai modellezése járműipari létesítményekben

RÁKOS ROLAND

Széchenyi István Egyetem

DR. VERESS ÁRPÁD

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

DR. STUKOVSKY ZSOLT

BME, EJJT

DR. AILER PIROSKA

Kecskeméti Főiskola,
GAMF Kar

TAKÁCS PÉTER

HÉRI JÓZSEF

BKV Zrt.

A közlekedésben használt létesítmények, műtárgyak, alagutak, különösen a metróalagutak tervezése, építése és üzemeltetése során egyre több és szigorúbb biztonsági előírást szükséges figyelembe venni. Az elmúlt évtizedek tapasztalataira alapozva kétségtelen, hogy biztonságtechnikai szempontból a metróalagutakban keletkező tüzesetek a legkritikusabbak. Ezért ennek a tanulmánynak az a fő célja, hogy korszerű numerikus áramlástanai módszerek alkalmazásával bemutassa az alagúthálózatban kialakult bonyolult hő- és áramlástanai folyamatokat metrótüz kialakulása és terjedése esetén. A tranziens számítások eredménye a megfelelő szellőző, illetve vészszellőző létesítmények és berendezések tervezéséhez, kialakításához, telepítéséhez, illetve üzemeltetéséhez használható fel.

Nowadays, more and more requirements are introduced in design and establishment process of tunnels, which are used in transportation, especially metro tunnels. Based on the experiments of last decades there is no doubt that the fire is one of the most safety-critical problems in undergrounds. Hence, the main goal of the presented paper is to show the complex and coupled problem of fluid dynamics and heat transfer in case of fire development and propagation in metro tunnels by using state of the art CFD (Computational Fluid Dynamics) software. The results of the steady state and transient analyses can be used for design, establishment and operation of ventilation systems.

BEVEZETÉS

Biztonságtechnikai oldalról nézve a metróalagutak egyik leg-sarkalatosabb pontja a szerelvényekben keletkező tűzbaesetek, melyek a zárt alagútrendszerben komoly veszélyt jelentenek mind az utasokra, mind pedig az alagút szerkezeti elemeire nézve. Az áramlási tér zártsága miatt a szerelvény kigyulladását követően viszonylag rövid idő elteltével extrém magas hőmérséklet és füstkoncentráció alakul ki, mely életveszélyes lehet az utasokra, ezenkívül jelentős károkat okozhat az alagút és a szerelvény szerkezeti elemeiben (**1. ábra**).

Az előzőekből kiindulva egyértelműen következik, hogy az alagútrendszerek tervezésénél mindenképpen alapvető szempont olyan szellőzőrendszerek, ventilátorok beépítése (**2. ábra**), melyek



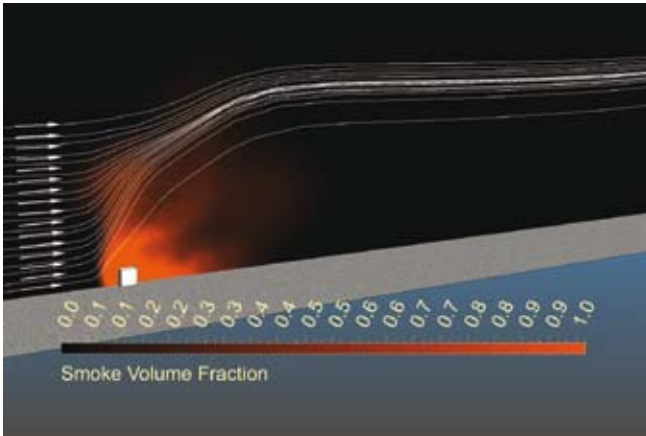
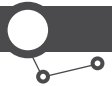
2. ábra: alagúthálózatba épített szellőztetőrendszerek [2]



1. ábra: alagútban keletkező tűz és füst terjedése [1]

a tűz, a magas hőmérséklet, valamint a füst terjedését hivatottak késleltetni, hogy azok ne okozhassanak idő előtt károkat. Szigorú szabványokban, előírásokban rögzítik azokat a követelményeket, melyek a metróalagutak és szellőzőrendszereik alapvető tervezési szempontjait képezik. Egy bonyolult felépítésű alagútrendszer esetén azonban nehéz előre meghatározni, hogy egy adott ponton keletkező tűz és az abból felszabaduló nagy mennyiségű füst, valamint hő hogyan és milyen formában fog továbbterjedni. Egy ilyen komplikált hő- és áramlástanai probléma esetén számos olyan külső bemeneti peremfeltételt szükséges figyelembe venni, melyek jelentősen befolyásolják a teljes folyamat lejátszódását.

A rohamosan fejlődő számítástechnikai világban egyre bonyolultabb numerikus számítások elvégzésére adódik lehetőség. A hő- és áramlástanai vizsgálatok területén a CFD („Computational Fluid Dynamics”) szimulációk egyre nagyobb teret hódítanak, melyek természetesen a mérések szükségességét továbbra sem zárják ki, viszont nagymértékben segítik és felgyorsítják a tervezési folyamatot.



3. ábra: tűzforrás körül terjedő füst térfogatszázalék-eloszlása

A FELADAT MEGFOGALMAZÁSA

Munkánkban egy kereskedelmi CFD szoftver felhasználásával vizsgáljuk meg az alagútban keletkező tűz okozta hatásokat, melyek egy ilyen rendszer megtervezésénél alapvető fontossággal bírnak. Egy fiktív metróalagútban kialakuló tüzeset numerikus analízissel való megközelítésére kerül sor, melyben a hangsúlyt a hő- és a füstterjedésre helyezzük. A feladat célja, hogy megvizsgáljuk egy metrószerelvény kigyulladását követő hő- és füstkoncentráció-eloszlás hely- és időbeli megváltozását egy teljes alagútszakaszban. Figyelembe véve a szimuláció gyors és hatékony kivitelezhetőségét, a cél egy olyan számítási eljárás bemutatása, amelyben az égési folyamatot leíró – lényegesen nagyobb számítási kapacitást igénylő – bonyolult reakciókinetikai egyenletek megoldására nem kerül sor, hanem kizárólag a hő és füst terjedését, illetve ennek vizsgálatát helyezzük a feladat középpontjába.

A FÜSTTERJEDÉS MODELLEZÉSE

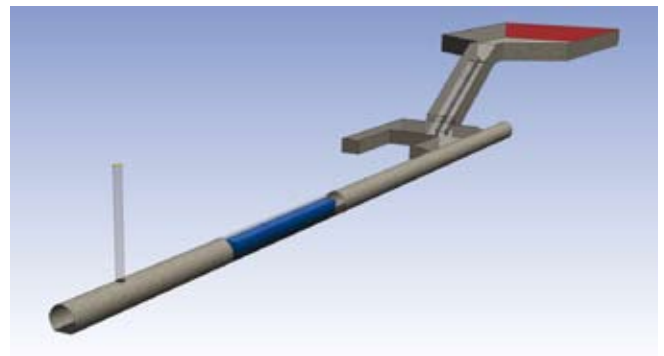
A szimulációs környezetet egy kereskedelmi, véges térfogatok elvén alapuló CFD szoftver szolgáltatja, mellyel – az eddigi számításainkra alapozva – az áramlástechnikai problémák legnagyobb része modellezhető, megoldható. A szoftverben található numerikus megoldó algoritmussal lehetőségünk nyílik reakciókinetikai egyenletek megoldására, így az égés pontos modellezése is lehetséges. Ahhoz azonban, hogy egy számítási eljárás hatékony legyen, a számítási időt is előtérbe kell helyoznunk. Ezért egy olyan módszer használatára van szükség, melyben a kémiai egyenletek megoldása elkerülhetővé válik.

A következőkben bemutatott számítási eljárás laboratóriumi körülmények közt elégetett metrószerelvényen végzett méréseken alapszik. A szerelvény égése közben a felszabadult hőenergia időbeli lefutását (HRR azaz „Heat Release Rates”) mérik, mely a legfontosabb bemeneti paraméterként szolgál a számításunkhoz. A szimulációs környezetben ezt a hőmennyiséget a reakciókinetikai egyenletek megoldásával tudnánk csak kiszámítani. A megfelelően kiválasztott mérési eredményekből azonban a felszabadult hőmennyiség időbeli változását ismerjük és definiálhatjuk a modellünkben mint elsődleges bemeneti peremfeltételt. A második legfontosabb bemenő adat, a tűzforrásban felszabaduló égéstermékek (esetünkben CO és CO₂) keletkezésének időbeli változása. A valódi égés során ezek közelítőleg a hőmennyiséggel hasonló tendenciával változnak, ezért modellünkben az égéstermékek keletkezésének időfüggvényét a HRR-görbéből származtatjuk. Az így felépített modell a megoldandó egyenletek számának csökkenése

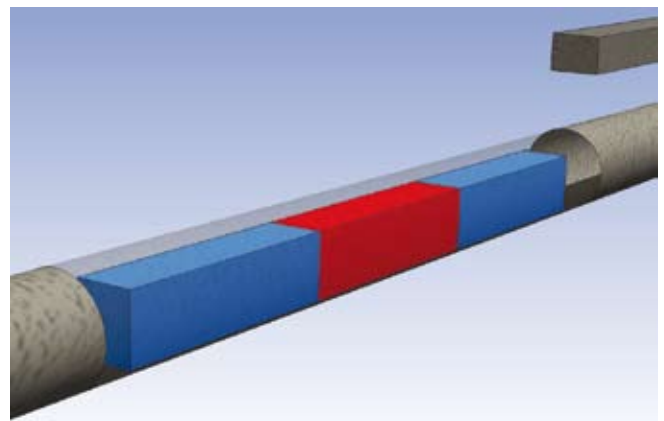
miatt lényegesen kevesebb számítási időt igényel, továbbá az egyszerűbb fizika miatt stabilabb futást is eredményez. Az így kapott eredmények (3. ábra) a metróalagutak bonyolult hálózatának, illetve a szellőztetéséhez és a vészszellőztetésének tervezéséhez is szolgáltathatnak adatokat, bemeneti információkat.

A SZERELVÉNY ÉS AZ ALAGÚT SZIMULÁCIÓS MODELLJE

A számításához nem állt rendelkezésünkre valós geometria, ezért ennek modellezésére egy CAD-szoftvert alkalmaztunk. A 150 m hosszú alagút mellett az áramlási tér tartalmazott egy fiktív metrószerelvényt és egy metróállomást is mozgólépcsővel és kijáráttal (4. ábra). Az alagúthoz egy vékonyabb csőszakasz is csatlakozik, amely esetünkben a ventilátorrendszer funkcióját látja el. A geometria felépítését próbáltuk a lehetőségekhez mérten a legegyszerűbben kivitelezni, mellyel a későbbiekben a numerikus háló elemszámát jelentősen csökkenthetjük. A szerelvényt (5. ábra) három kocsira bontottuk, melyek közül a középső szimbolizálja a kigyulladt járművet.

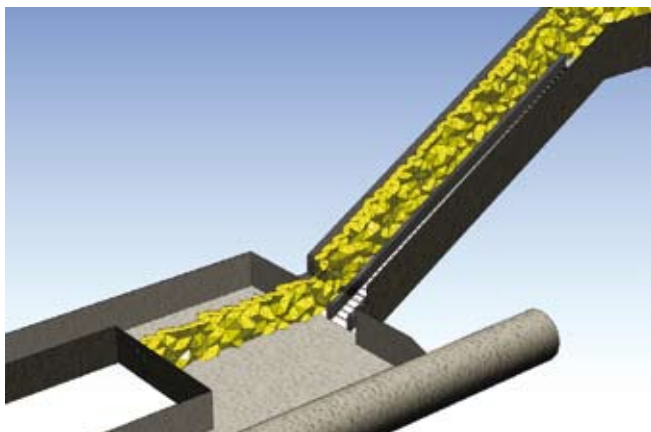


4. ábra: a modellhez használt teljes geometria



5. ábra: fiktív metrószerelvény

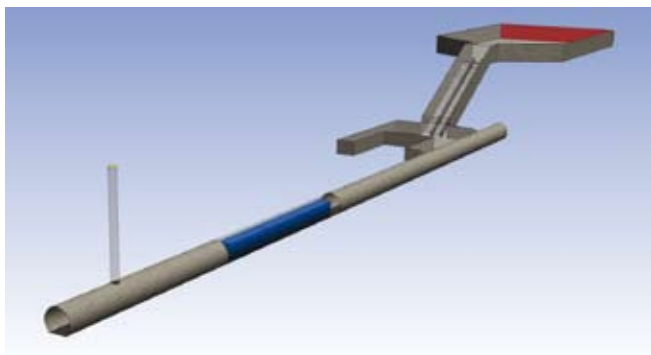
A modell geometriai bonyolultsága miatt a numerikus háló szempontjából a tetraéder elemek tűntek a legkézenfekvőbbnek (6. ábra). A legtöbb CFD szimuláció esetén célszerű a minél egyenletesebb, strukturáltabb, hatlapú térfogatelem alkalmazása. Azonban a strukturálatlan tetraéder alakú hálóelemekből készített diszkretizációnak is vannak előnyei, egyes esetekben stabilabb, ami egy füstterjedés számításánál előnyünkre válhat. Mivel több szimulációs eset vizsgálatára is szükség van, ezért a



6. ábra: tetra háló alkalmazása a teljes modellen

lehető legrövidebb számítási idő elérése a cél, elfogadható számítási eredmények mellett természetesen. A végső elemszám 400 000, ami a rendelkezésre álló számítógépes kapacitással megfelelő számítási időt eredményez.

A modell még a reakciókinetikai egyenletek megoldása nélkül is meglehetősen bonyolult fizikát tartalmaz. Egy többfázisú, tranziens áramlást vizsgálunk, amihez egy jól definiált kezdeti feltétel (hőmérséklet-, sebesség- és nyomáseloszlás) gyorsabb konvergenciához és stabilabb futáshoz vezet. Ezért, először elkészítünk egy inicializáló szimulációt, mely időben állandósult esetet feltételez, és csak egy komponens (a levegő) vesz részt az áramlásban. Az elsődleges CFD-modellt (7. ábra) tehát időben állandósult esetre vizsgáljuk.



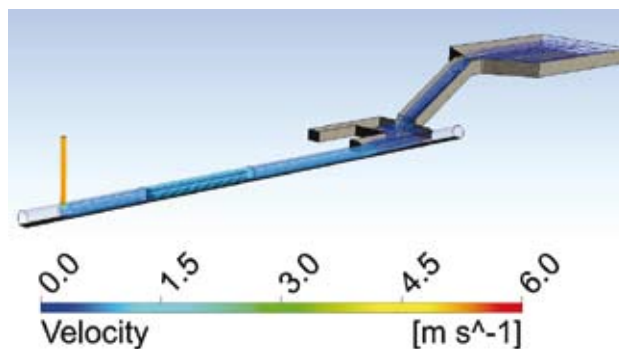
7. ábra: peremfeltételek

A metrószerelvényt és az összes többi határolófelületet adiabatikus falként definiáljuk. Bemeneti peremfeltételként 10 kg/s tömegáramot írunk elő, a kimenetre pedig légköri nyomást (1 bar). A valóságban természetesen hatása van a metróalagút két végén kialakuló feltételeknek is, sőt nem hagyható figyelmen kívül az úgynevezett dugattyúhatás sem, melyet a másik alagútban közeledő szerelvény okoz, e hatásokat azonban a mi modellünknel elhanyagoljuk. Számításunkhoz a $k-\epsilon$ turbulencia modellt alkalmazzuk. A 8. ábrán a stacionárius eset konvergens végeredményét látjuk.

A következőkben a teljes tranziens modell bemutatására kerül sor. A tranziens számítás teljes szimulációs idejét 900 s-ra állítjuk. Az időlépést a stacionárius számítás eredményének sebességtére alapján határozzuk meg. Az áramvonalakon (8. ábra) azt látjuk, hogy a térben a maximális kialakult sebesség 5 m/s, így az időlépést 0,1 s-ra választjuk, mert a közeg így egy időlépés

alatt legfeljebb 50 cm-t halad, ami egy több száz méteres áramlási térben viszonylag kis sebességek mellett elfogadható. A füst terjedésében a hőmérsékletmező inhomogenitásából származó konvekció fontos szerepet játszik, ezért a számításban ezt is figyelembe vesszük, ezenkívül az energiaegyenlet megoldását is aktiválnunk kell. Az áramlási térben ezúttal nemcsak levegő, hanem CO és CO₂ is részt vesz.

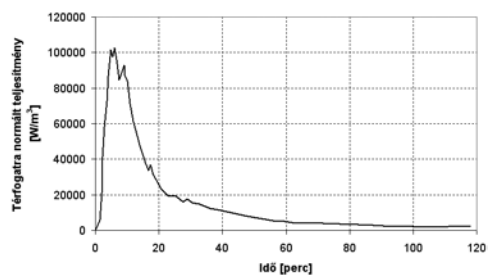
Többféle anyag jelenléte esetén többfázisú áramlásként kezeljük a problémát, ami annyit jelent, hogy a numerikus megoldó az egyenleteket minden egyes összetevő esetén megoldja. A szimulációt azonban azzal egyszerűsíthetjük, ha a jelenlévő anyagok anyagtulajdonságai (sűrűség, viszkozitás stb.) közel azonosak. Ebben az esetben ugyanis a különböző változók eloszlása az áramlási térben hasonlóan fog alakulni minden komponens esetén, így célszerű azokat egy egyesített anyag, úgynevezett „mixture” anyagmodellként kezelni. Ezzel a levegő, a CO és a CO₂ ugyanúgy elkülöníthető komponensként fog szerepelni a modellben, viszont



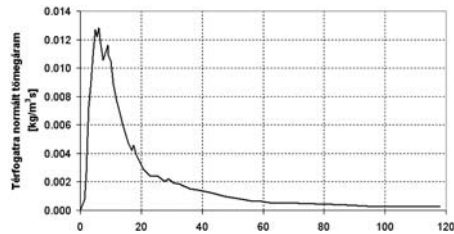
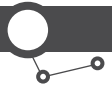
8. ábra: áramvonalak a sebesség szerint színezve

a kontinuitási egyenlet kivételével, minden egyenletet csak egy anyagra kell megoldani, ami lényegesen stabilabb futást és rövidebb számítási időt eredményez. A kiinduló anyagunk a levegő (ideális gáz) lesz, a CO és a CO₂ pedig másik két alárendelt komponens. A modellbe mindenképp be kell építenünk a hőszugárzást, végül a falakon keresztül eltávozó hő mennyisége is szignifikáns lehet, ezért adiabatikus helyett hőátadó falakat definiálunk, ahol a külső hőmérséklet 300 K, a hőátadási tényező 20 W/m²K.

Előzetes számítások alapján a modell egyik sarkalatos pontja a hőforrás (a kigyulladt kocsi) és a hozzá tartozó peremfeltételek megfelelő definiálása. Abban az esetben, ha ez nem életszerű, akkor irreálisan nagy hőmérsékletek alakulnak ki (akár 6–7000 K). A hőforrás megadásához le kell választanunk az áramlási térből az égő kocsi terét (5. ábra). Az elszeparált térrészre három fontos peremfeltétel megadása szükséges: a felszabaduló hőenergia időbeli változása (HRR-görbe), a CO és a CO₂ kiáramlásának (tömegáramának) időbeli lefutása. A modellhez definiált HRR-gör-



9. ábra: térfogatra normált tűzfelfutási görbe [3]

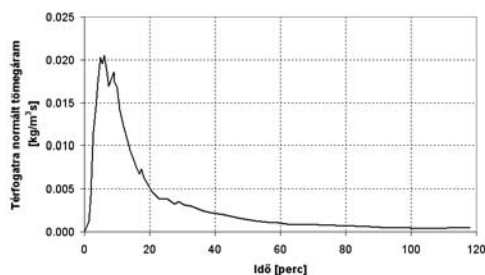


10. ábra: térfogatra normált CO-kibocsátási görbe

be (9. ábra) egy olyan mérési eredményből származik [3], ahol laboratóriumi körülmények közt égettek el egy a modellünkhöz hasonló méretű metrókocsit.

A görbe térfogatra normált értéket mutat, tehát az egységnyi térfogatból felszabaduló hőenergia változását ábrázolja az idő függvényében. Látható, hogy a teljes égési folyamat közel 2 óráig tart. A szimulációban természetesen ennek csak töredékét vizsgáljuk a kis időlépés (0,1 s) miatt.

A HRR-görbe definiálását követően meg kell határozni a leválasztott térfogatból felszabaduló CO és CO₂ idő szerinti változását. Mivel a szakirodalomban, interneten az esetek többségében csak a HRR-görbéről kapunk információt, ezért ezeket a karakterisztikákat nekünk kell megbecsülni. Előzetes számítások alapján, ha időben állandónak feltételezzük a metrókocsiból kiáramló égéstermékek tömegáramát, akkor a hőmérséklet irreálisan nő, extrém magas értékeket érhet el, ami nem tükrözi a valós tapasztalatokat. A valóságnak leginkább megfelelő eredményt akkor kapjuk, ha az égéstermék-kibocsátási görbéket a HRR-görbéből származtatjuk. (10./11. ábra). Természetesen nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy mindezek fiktív bemenő paraméterek egy kísérleti szimulációhoz. A valóságban lejátszódó füstterjedési folyamat pontos számításához e görbék pontos megadása és az eredmények validálása szükséges.



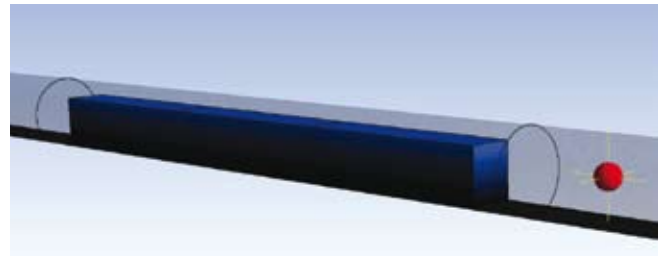
11. ábra: térfogatra normált CO₂-kibocsátási görbe

Végül az égő kocsit szimbolizáló leválasztott térfogatot kapcsolatba kell hozni az alagút áramlási terével: ezt a kontaktust egy határfelülettel definiáljuk. A tranziens szimulációt az előzetesen lefutott időben állandósult számításból inicializáljuk, és mivel a folyamatot attól az időpillanattól számítjuk, amikor a valóságban az égés elkezdődik, ezért a kiindulási állapotban az égéstermékek (CO és CO₂) térfogatszázaléka az egész térre vonatkoztatva 0%.

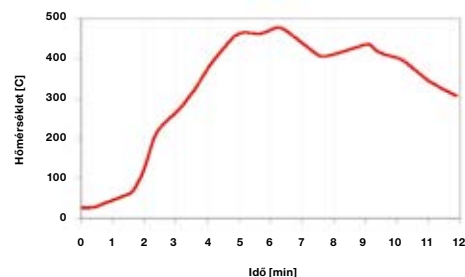
EREDMÉNYEK

A tranziens szimuláció futtatása közben (vagyis még az eredmények kiértékelését megelőzően) lehetőségünk van a számunkra

fontos mennyiségek időbeli változásának a követésére. Számításunkban a kocsik mögött (12. ábra) kialakult hőmérsékletet követjük egy monitorpontban. Jól látható, hogy a hőmérséklet az inicializált légköri értékről (23°C) alig 5-6 perc elteltével az 500°C értéket is elérheti, ami mind a szerelvény, mind pedig az alagút szerkezeti elemeire nézve káros hatással lehet (13. ábra).



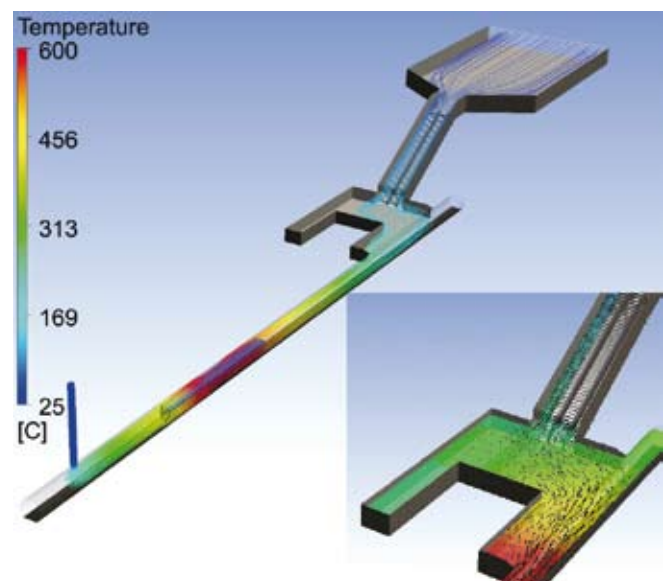
12. ábra: hőmérséklet változását figyelő pont



13. ábra: metrókocsik mögött kialakuló hőmérséklet

A továbbiakban az 5 perc elteltével kialakult állapotot vizsgáljuk. A HRR-görbe megközelítőleg itt éri el a csúcsát. A 14. ábra az egész áramlási térben kialakult hőmérsékletmezőt ábrázolja.

Ahogy az jól látszik, a metrókocsik közvetlen közelében a hőmérséklet 600 °C értéket is elérhet. Érdekes megfigyelés, hogy az alagút egyes részein a hőmérséklet-terjedés sebessége nagyobb, mint maga az áramlási sebesség. Ennek következtében a hőmérséklet-növekedés (mint információ) az áramlás ellenében, a bemenet felé is terjed.

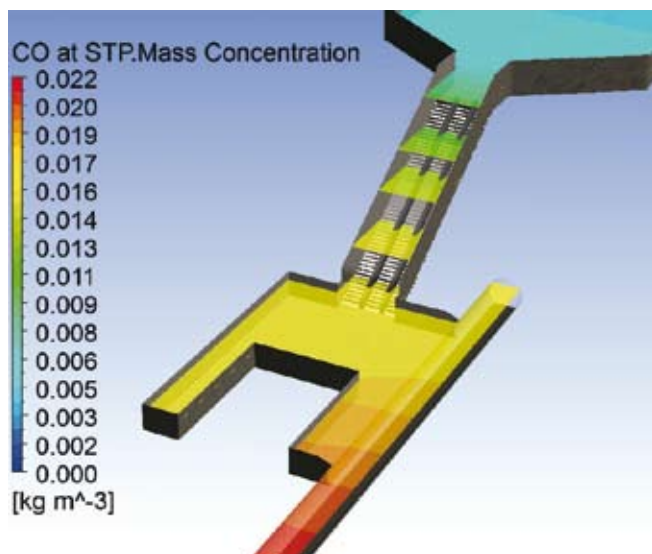


14. ábra: hőmérsékletmező (5 percnél)

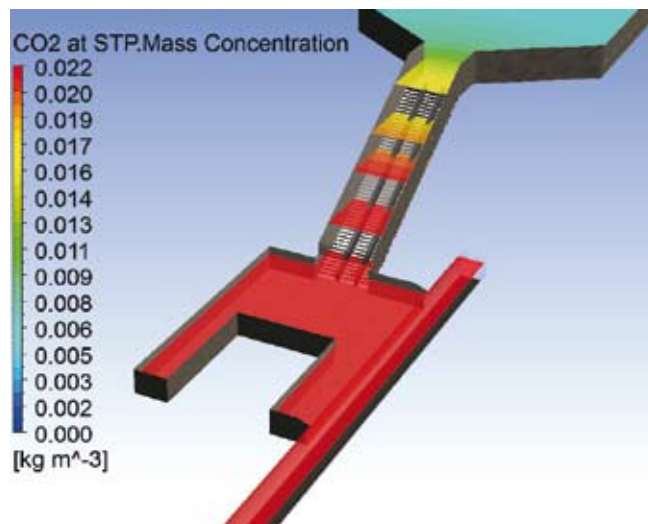
Végül a **15./16. ábrán** az általunk definiált két égéstermék koncentrációjának a változását látjuk. A szén-dioxid (CO_2) gáz 1-2%-os koncentrációban teljesen veszélytelen, körülbelül 20% feletti érték esetén jelent veszélyt [4]. A szén-monoxid (CO) azonban 1-2%-os koncentráció esetén akár pár percen belül is halált okozhat [5]. Ezen információkra alapozva egyértelmű, hogy olyan szellőztetőrendszer megtervezése a cél, amely az időben minél inkább elnyújtja a magas CO-tartalom kialakulását.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban egy metróalagútban kialakult tűz okozta füstterjedés numerikus áramlástanai vizsgálatára került sor. A CFD számításban egy fiktív geometriát használtunk fel. A modell felépítése során arra törekedtünk, hogy az eredmények az alagút- és szellőztető-rendszerek tervezéséhez megfelelő kiindulási alapot nyújtsanak, de mindezt a lehető legrövidebb számítási idő mellett. Ezen okból kifolyólag olyan számítási eljárás kidolgozása volt a cél, ahol a bonyolult reakciókinetikai egyenletek nem kerülnek megoldásra,



15. ábra: CO-koncentráció-eloszlás (5 percnél)



16. ábra: CO_2 -koncentráció-eloszlás (5 percnél)

helyettük laboratóriumi körülmények között elégetett metrókocsi mérési eredményeit használjuk fel mint elsődleges bemeneti paraméterek. Az alkalmazott módszerhez az égő kocsiból felszabaduló hő és az égés során keletkező égéstermék tömegáramának időbeli változását kell definiálnunk.

A megfogalmazott feladat szempontjából a numerikus szimuláció legfontosabb eredménye a kialakult hőmérsékletmező, valamint a CO- és a CO_2 -koncentráció. Az eredmények alapján elmondható, hogy a füst és a hő terjedésének folyamatát az elképzeléseinknek, elvárásainknak megfelelően adja vissza a szimuláció. A modellben alkalmazott egyszerűsítések minimális (tűrőhatáron belüli) hibát adnak, viszont így a számítási idő jelentősen csökkenthető, a számítás stabilabbá tehető.

Az alkalmazott modell fiktív geometrián alapszik, és a felhasznált mérési eredmények sem ehhez a modellhez készültek. Ahhoz, hogy pontos – a tervezési folyamathoz valóban felhasználható – eredményeket kapjunk, a paraméterek precíz hangolására és a számításaink mérésrel történő validálására van szükség. Csak ezeket követően kivitelezhető olyan szimulációs modell, amelynek kimenete egy bonyolult, minden követelményt kielégítő metrórendszer megtervezéséhez nyújt fontos adatokat. ●

IRODALOM

- [1] www.tunnellingjournal.com
- [2] Halcrow: Capability in tunnel ventilation and fire & life safety <http://www.halcrow.com>
- [3] Ingason, H., Gustavsson, S., and Dahlberg, M. (1994). "Heat Release Measurements in Tunnel Fires, BRANDFORSK Project 723-924." SP Report 1994:08, SP Swedish National Testing and Research Institute
- [4] www.monasystem.hu
- [5] <http://hu.wikipedia.org> (szén-monoxid-mérgezés)



Audi TT közúti jármű szimulátorként történő felhasználása a mérnökképzésben

DR. SZALAY ZSOLT

BME Gépjárművek Tanszék

KÁNYA ZOLTÁN

Inventure Autóelektronika

DR. GÁSPÁR PÉTER

MTA SZTAI

NAGY DÁVID

BME Közlekedésautomatikai Tanszék

A BME Közlekedés- és Járműmérnöki Kara a Jármű, Közlekedés és Logisztika kutatóegyetemi program keretében az Audi Hungaria Motor Kft. által a kar rendelkezésére bocsátott Audi TT Coupé tesztjárműre alapozva egy oktatási és kutatási célokra egyaránt alkalmas járműszimulátor-rendszert fejlesztett ki. A cikkben a fejlesztés eredményeként létrejött rendszer felépítése, komponensei és működési üzemmódjai kerülnek bemutatásra.

The faculty of Transportation and Vehicle Engineering at the Budapest University of Technology and Economics has developed a simulator system which is based on a real car, which is equally suitable for educational and research purposes. All the vehicle engineer students use the simulator system during their curriculum, enabling the thorough understanding of modern vehicle functions, thus improving the competence of future generations of engineers. Moreover the simulator system projects ahead the opportunity of new vehicle research that induces additional considerable scientific results.

BEVEZETŐ

A BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kara az Audi Hungaria Motor Kft. által a kar rendelkezésére bocsátott Audi TT Coupe tesztjárműre alapozva egy, hazai környezetben újdonságnak számító járműszimulátor-rendszert fejlesztett ki. A fejlesztés a Jármű, Közlekedés és Logisztika (JKL) kutatóegyetemi program egyik kiemelt kutatási projektje keretében valósult meg. A rendszer különlegessége, hogy a rendszer egyetlen kapcsolóval átváltható a szimulátor üzemmód és a teljes értékű közúti jármű között.



1. ábra: járműszimulátor-rendszer a BME-n

Oktatási szempontból egy olyan jármű-szimulátor kialakítása volt a cél, mely élethűen modellezi a járművezetés élményét, miközben magas műszaki színvonalon teszi lehetővé a járműirányítás oktatását. A szimulátort az egyetemi oktatásban minden járműmér-

nök-hallgató használni fogja, lehetővé téve számukra a korszerű járművek működésének alapos megismerését, ezáltal növelve a jövő mérnökgenerációjának szakmai tudását és hozzáértését. Nem titkolt szándék volt még a hallgatók motiválása, mivel egy ilyen környezetben sokkal lelkesebben tanulják meg a modellalapú fejlesztés lépéseit, mintha csak a számítógép monitora előtt ülnének. Ezen túlmenően a berendezés olyan új járműkutatások lehetőségét vetíti előre, amelyek további jelentős tudományos eredményeket indukálnak.

A JÁRMŰIRÁNYÍTÁS SZINTJEI

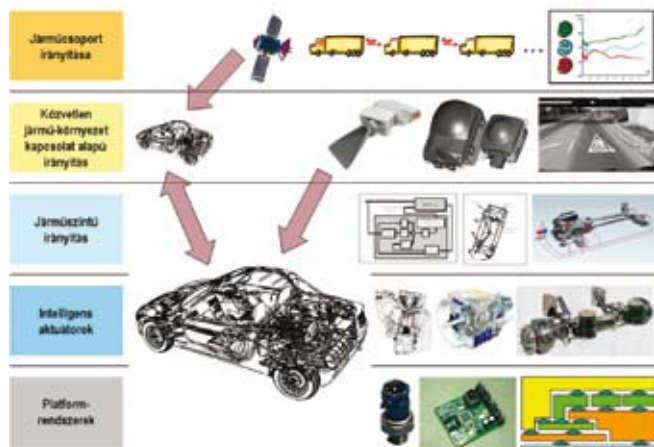
A közúti forgalom növekedésével egyre nagyobb figyelem fordul a járművek hatékony és biztonságos működtetésére, megbízhatóságára, valamint környezetre gyakorolt hatására. Ez egyre szigorodó követelményeket támaszt a járművekkel szemben, amelyek elektronikus rendszerek fejlesztését és alkalmazását igénylik. A kutatás célja komponensekhez, illetve funkciókhoz kapcsolódó olyan szoftverek és eljárások fejlesztése, amelyek járműdinamikai szabályozórendszerekben alkalmazhatók. A kutatás hosszabb távon kiterjed az autonóm járműirányítási rendszerek fejlesztéséhez szükséges rendszermodellezési, szabályozástechnikai, mechanikai, elektronikai és kommunikációs területeken történő kutatás-fejlesztési feladatokra is [5].

A BME Közlekedésmérnöki Karának kutatási programjához kapcsolódóan a járműirányítás szintjeit Palkovics professzor már 2004-ben definiálta, melyeket az 1-es ábra szemléltet [1,3,4]. A járműszintű irányítás kutatása a harmadik szinten valósul meg.

JÁRMŰSZIMULÁTOR-RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Eredetileg egy használt személyautó átalakításával terveztük a szimulátor vezetőfülké létrehozását, azonban az Audi Hungaria

Motor Kft. támogatásának köszönhetően egy teljes értékű Audi TT Coupé alapjain alakíthattuk ki a szimulátor vezetőfülkét. Ily módon azonban külön feladatként jelentkezett a jármű normál üzemképességének megtartása, azaz a szimulátorfunkciók oly módon történő megvalósítása, amely nem befolyásolja a jármű hagyományos módon történő használhatóságát, önálló mozgáskéességét.



2. ábra: a járműirányítás szintjei

Ezt kizárólag a jármű kommunikációs hálózatának jelentős átalakításával lehetett megoldani úgy, hogy szimulátor üzemmódban a jármű kommunikációs hálózata feletti kontrollt a beépített szimulátoregységek veszik át. Ez teszi lehetővé, hogy az álló járművel úgy vezethessünk a szimulált tesztpályán, hogy a jármű minden fedélzeti egysége pontosan úgy működjön, mintha valódi úton közlekednénk: van motorhang, a műszerfal kijelzi az „aktuális” fordulatszámot, sebességet, hűtővíz-hőmérsékletet, tudunk sebességet váltani stb.

Az Audi TT Coupé teszjtármű üzemképességének megtartásával további oktatási és kutatási célok megvalósítására nyílik lehetőség a későbbiekben. A teszjtármű mozgáskéességének megőrzésével valódi tesztpályás mérések is végrehajthatók, melyek olyan új kutatási projekt lehetőségeket teremtenek, mint például a modern járműszerkezetek fejlesztése vagy a járműrendszerek elektronikus irányításának kutatása. A járműszimulátor egyes fázisainak kialakítása során ezt az elvet szem előtt tartva olyan skálázható megoldás került kidolgozásra, mely egy többlépcsős, egymásra épülő rendszerben lehetővé teszi a járműszimulátor egyes funkcióinak kialakítását a jövőbeli továbblépési lehetőségek korlátozása nélkül.

A jármű-szimulációs környezet járműdinamikai szoftvereként a CarSim programot használtuk, mely tartalmazza a gépjármű hajtásláncának, fékrendszerének, kormányrendszerének, kerekeinek, futóművének nagy bonyolultságú, validált modelljeit és képes Real-Time Hardware-In-the-Loop szimulációra. A szimuláció során a valós időben érkező bejövő adatok segítségével a CarSim egy szintjén valós idejű animációt készít a járműről és környezetéről, melyet kivetít a jármű szélvédője elé, ezzel téve teljessé a vezetési élményt. A járműszimulátor-rendszer két részből tevődik össze. Áll egyrészt a HMI (Human Machine Interface) funkciókat megvalósító járműből, másrészt egy személyszámítógép-alapú szimulátor alkalmazásból, melyen a szimuláció fizikai modelljét valósítja meg. A jármű és a szimulátor PC között szabványos – a járműiparban leginkább elterjedt J1939 szabványon alapuló – CAN-kommunikáció biztosít kétirányú, valós idejű kapcsolatot.



3. ábra: a járműszimulátor-rendszer blokkvázlata

A HMI interfész az Audi TT Coupé jármű átalakításával, a személyi számítógépes szimuláció pedig a MATLAB környezetbe integrált CarSim alkalmazás segítségével valósul meg.

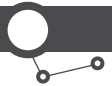
VEZÉRLŐPANEL

A jármű elektronikus átalakítása során alapvető követelmény volt a rendelkezésre álló Audi TT Coupé teszjtármű elektronikus rendszereiből a jármű irányításához szükséges szenzorjelek előállítás. A specifikus jelek (gázpedálállás, kormányszög-pozíció, fékpedál-pozíció) kicsatolása kétirányú CAN gateway segítségével, szabványos interfészen keresztül valósult meg. Az alapfunkciókon felül még további berendezések kialakítása is szükségessé vált a rendszer kényelmes és biztonságos működtetéséhez.

A szimulátor járműbe épített vezérlője (Control Panel) CAN gateway áramköröket, hanggenerátort és egy üzemmód-vezérlő elektronikát tartalmaz. A vezérlőpanel feladata többek között a műszerfal vezérlésének átvétele is szimulációs üzemmódban, vagyis a műszerfalegység mögötti teljes Audi TT jármű-elektronikai rendszer szimulációja. A kihívást ebben az jelenti, hogy a műszerfal ne jelezzen ki semmilyen hibát. Az ún. RBS (Residual Bus Simulation) úgy valósul meg, hogy a műszerfal-elektronika nem érzékeli, hogy mögötte nem a jármű van, hanem csak egy járműszimulátor.



4. ábra: a járműszimulátor vezérlőpanelje



A szimuláció során előállított fontosabb paramétereket a műszerfal valós időben jeleníti meg:

- Járműsebesség
- Motorfordulatszám
- Hűtőfolyadék-hőmérséklet
- Váltófokozat
- Egyéb hibalámpák, jelzőlámpák állapota.

A vezérlő panel további feladata a járműkezelőszervek szenzoradatainak kicsatolása a szabványos külső CAN-adatbuszra. A J1939 interfészen keresztül a PC számára elérhető szenzoradatok az alábbiak:

- Váltófokozat-előválasztó kar státusz
- Fékpedál-pozíció
- Fékpedálstátusz (lenyomva / felengedve)
- Kézifék státusz (behúzva / kiengedve)
- Gázpedál-pozíció
- Gázpedál kickdown kapcsoló
- Akkumulátorfeszültség
- Kormányzög
- Fordulatszám
- Járműsebesség
- Hűtővíz-hőmérséklet.

A vezérlőpanel ezen felül megoldja az utólagosan beépített elektronikák galvanikus leválasztását, illetve megoldja, hogy – az emberélet és a műszaki értékek védelme érdekében – nem lehet a járművet beindítani a szimulációs üzemmódok egyikében sem, kizárólag alapállapotban (normál módban), amikor is az utólagos beépítések hatástalanok.

HMI ÜZEMMÓDOK

A járműbe épített szimulátor vezérlőpanel üzemmódválasztó kapcsolójának segítségével az alább felsorolt funkciók érhetők el a járműszimulátoron.

Normál mód

Ebben az üzemmódban a jármű úgy működik, mint egy hagyományos közúti jármű, tehát az utólag beépített eszközöknek semmilyen hatása nincs a jármű üzemszerű működésére. A jármű esetleges mozgatásához, illetve a tesztpályán tesztjárműként történő használatához ez a funkció elengedhetetlenül szükséges. A vészgomb bármely szimulációs üzemmódban való megnyomásával a rendszer ebbe az alapállapotba kerül.

Szenzor tesztüzemmód

A szimuláció szempontjából fontos a járműbe épített érzékelők használhatóságát ellenőrző funkció. Segítségével a kormányzöghelyzet, a fékpedál-pozíció, a gázpedál-pozíció és a sebességváltó előválasztó kar érzékelőinek működését lehet tesztelni úgy, hogy az egyes szenzorok jelei a műszerfalon kerülnek kijelzésre.

Demonstrációs üzemmód

A rendszerbe épített utólagos elektronikák PC, illetve járművezető nélkül demonstrálják az általuk megvalósítható funkciókat (fordulatszám-változás demonstrációja a kijelzőn, motorhang, gyorsítás, sebességváltás stb.)

Autonóm szimulációs üzemmód

A járműbe szerelt utólagos elektronikák valósítanak meg önállóan egy egyszerű szimulációt, mely során a pedálok és a sebességváltó előválasztó kar jeleket felhasználva állítjuk elő a műszerfal

által kijelzett sebesség- és fordulatszámértékeket demonstrációs célból. Az autonóm szimulációs üzemmód egy beágyazott rendszeren implementált egyszerűsített modellel teszi lehetővé a járműszimulátor vezetésének élményét, mely az alábbiakat tartalmazza:

- Egyszerűsített motormodell
- Egyszerűsített automata sebességváltó modell
- Egyszerűsített fékrendszermodell.

Megvalósításra került továbbá a szimulált fordulatszámnak megfelelő motorhang generálása, ahol az elektronika hangkimenete a jármű eredeti audiorendszerével van összekötve, így a gyári Bose hangrendszeren keresztül élvezhetjük a szimulált motorhang élményét.



5. ábra: a műszerfal laboratóriumi RBS tesztje

PC-szimulációmód

Az adatcsere folyamatos a szimulátor PC és a járműbe utólagosan beszerelt szimulátor vezérlőpanel között. A PC megkapja a szükséges alapjeleket, míg a jármű műszerfalának kijelzőire a PC által előállított szimulált értékek kerülnek. A PC-re kicsatolt jelek az alábbiak:

- Kormányzöggel: a kormány forgásának mértékét mutatja radiánban. Előjeles érték, abszolút szögelfordulást mutat.
- Gázpedálállás: a gázpedál lenyomásának mértékét mutatja százalékban kifejezve.
- Fékpedálállás: a fékpedál lenyomásának mértékét mutatja százalékban kifejezve.
- Sebességváltó aktuális pozíció: az automata sebességváltó előválasztó karának aktuális pozíciója (manuális fokozatok, automata/sport üzemmód).
- Kézifékállapot: a kézifék aktuális állapota (behúzott, kiengedett).
- Gázpedál kickdown állapot: a gázpedál ún. kickdown (padlógáz) állapota.
- Gyújtás állapot/feszültség szint: A gyújtáskapcsoló aktuális állását, valamint az akkumulátor feszültségét tartalmazza.

A kicsatolt jelek folyamatosan, késedelem nélkül kerülnek továbbküldésre, a fontosabb szenzoradatok 50–100 ms-os gyakorisággal frissülnek. Mivel a rendszer valós idejű (real-time) és kétirányú kommunikációra alkalmas, így a PC-től a vezérlőpanelen keresztül visszirányú információkat is lehet küldeni a jármű irányába. Ebben az esetben a jármű műszerfala a PC-ről érkező szimulált adatoknak megfelelő értékeket fogja kijelezni. Eszerint a HMI által kicsatolt alapjeleknek (gáz, fék, váltófokozat, kormányzög) megfelelően a PC-n futó járműmodell kimeneti jelei (sebesség, fordulatszám) visszavezethetők a jármű műszerfalegységére, így fokozva a virtuális vezetési élményt. A szimulációs szoftver segít

ségével előállított válaszelek a jármű számára:

- Járműsebesség: a jármű – a PC-s modell által előállított – aktuális sebessége.
- Motorfordulatszám: a jármű motorjának aktuális fordulatszám.
- Hűtővíz-hőmérséklet, üzemanyag-tankszint, kilométeróra-állás, idő, visszajelző lámpák állapota stb.

PC-szimuláció üzemmódban a CarSim által generált motorhang, illetve kerékcsikorgás hangok kerülnek bevezetésre a jármű audiorendszerébe, ezáltal még élethűbb hangokat élvezhetünk ebben az üzemmódban.



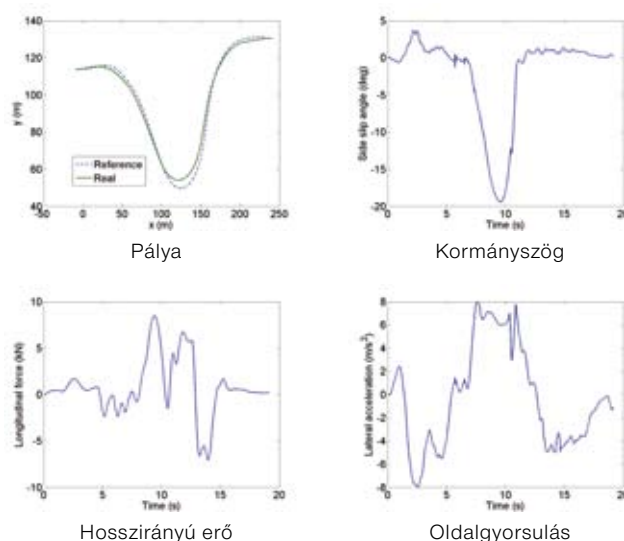
6. ábra: a szimulátorban teljes a járművezetési élmény

JÁRMŰDINAMIKAI SZOFTVER

A jármű-szimulációs környezet járműdinamikai szoftvere a CarSim, amely személygépjárművekkel kapcsolatos szimulációk elvégzését biztosítja. A program adatbázisa különféle járműtípusok paramétereit tartalmazza, egészen a kisebb méretű és tömegű kétajtós személygépkocsiktól a kishaszon- és kisebb katonai gépjárművekig. A program különböző kiegészítőkkel bővíthető, mint például a rugalmas kocsiváz modellezése, vontatmányok modellezése és irányítása vagy az AutoBox használatához alkalmazható dSPACE szoftvercsomag. A BME Közlekedésmérnöki Karán épült szimulációs környezet az alap CarSim mellett a Driving Simulatort alkalmazza. A kiépített rendszerben a CarSim az Audi TT kormányasszisztencia és fékhengernyomás-jeladó átalakított jeleit kapja meg a jármű CAN kommunikációs hálózata-

táról. Ezen jelek fogadásához és feldolgozásához az alkalmazott PC egy CAN-kártyával rendelkezik. A CarSim program a beállított Audi TT Coupé járműparaméterek, közlekedési környezet, időjárási paraméterek alapján egy több fájlból álló csomagot készít. A szimuláció a valós időben érkező és a CarSim-től kapott adatok birtokában történik, miközben a CarSim egy valós idejű animációt is elkészít. A CarSim-hez ugyanakkor Matlab/Simulink szoftver is kapcsolható, amely lehetővé teszi, hogy a bejövő mért jelek alapján különféle járműdinamikai szabályozók kerülhessenek kipróbálásra.

Az alábbiakban egy kanyarodási manőver során szimulált időtartományi függvényekre mutatunk példát.



7. ábra: járműmanőver időtartományi függvényei

KONKLÚZIÓ

A BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán elkészített járműszimulátor mindazon funkciókkal rendelkezik, melyek a kutatási és oktatási tevékenységeket egyaránt lehetővé teszik. A szimulátor lehetővé teszi a jármű hajtáslánc-elemeinek fejlesztését, sőt távlati célként a jármű autonóm, akár vezető nélküli irányításának megvalósítását is. ●

HIVATKOZÁSOK

- [1] Palkovics, L.: Elektronikus Jármű és Járműirányítási Rendszerek. Regionális Egyetemi Tudásközpont koncepciója, 2004. Budapest
- [2] SAE J1939 Oct. 2007 Recommended Practice for a Serial Control and Communications Vehicle Network.
- [3] Bokor J.: Intelligens út- és járműrendszerek: vezetünk vagy vezetnek?, Magyar Tudomány, 5:522, 2005.
- [4] Palkovics L.: Járműirányítás és menetstabilizálás, Magyar Tudomány, 5:561, 2005.
- [5] Bartha T., Gáspár P: Integrált irányítási alkalmazások járműrendszerekben, A Jövő Járműve, 28–31, 2007.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A járműszimulátor-rendszer fejlesztése az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében történt (TÁMOP-4.2.1/B-09/KMR-2010-0002).



Oszlopban haladó járművek többkritériumos optimális irányítása

NÉMETH BALÁZS
CSIKÓS ALFRÉD

BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

DR. GÁSPÁR PÉTER
DR. VARGA ISTVÁN

MTA SZTAI
Rendszer- és Irányításméleti
Kutatólaboratórium

A cikk oszlopban haladó tehergépjárművek optimális többkritériumos irányításának lehetőségét mutatja be. A bemutatott irányítástervezési módszer képes figyelembe venni a tehergépjárművek útvonalán jelentkező domborzati viszonyokat és sebességkorlátozásokat. Ezek tervezésbe való bevonásával képes kiszámolni egy olyan sebességprofilot, ami a tehergépjárműsor számára optimális megoldást ad az emisszió, a felhasznált üzemanyag és a futási idő minimalizálásának együttes problémájára.

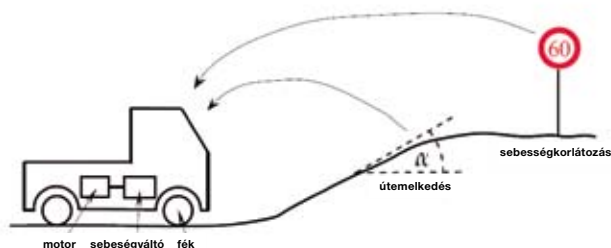
The paper focuses on the optimal multi-criteria control design for platoon systems. The proposed control design method is able to consider the velocity regulations and inclinations of the road. A velocity profile, which results in an optimal solution of the simultaneous minimization of emission, fuel consumption and travelling time for the platoon, can be calculated.

OSZLOPBAN HALADÓ JÁRMŰVEK JELENTŐSÉGE

A tehergépjármű-kutatások egyik kiemelkedő feladata az általuk felhasznált tüzelőanyag és a kibocsátott káros anyagok csökkentése. Napjainkra a feladatoknak több lehetséges megoldási irányvonala bontakozott ki, melyek közül az egyik a tehergépjárművek oszlopba való szervezése. A járművek oszlopba szervezett összehangolt és biztonságos mozgatása mindazonáltal tovább javítható, amennyiben a gépjárművek sebességprofiljának tervezésében figyelembevételre kerülnek a befutott útvonal domborzati viszonyai, valamint a fellépő sebességkorlátozások. Célunk egy folyamatban lévő kutatás részeként [1,2] az oszlopban haladó gépjárművek emissziójának, tüzelőanyag-felhasználásának és fékhasználatának csökkentése.

KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK A SEBESSÉGPROFIL TERVEZÉSÉBEN

A környezeti tényezők figyelembevételének alapja a tehergépjármű-oszlop útvonalának szakaszokra való felosztása. Első lépésben az egyszerűség kedvéért tekintsünk egyetlen tehergépjárművet!



1. ábra: környezeti tényezők a sebességtervezésben

Adott gépjárműsebességből (ξ_0) és hosszirányú irányító erőből (F_{li}) a domborzati viszonyok ismerete mellett kiszámítható az egyes szakaszpontokban elért gépjárműsebesség ($\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$). A kezdeti és szakaszpontokban elért sebességek értékeinek az adott szakaszpontban megengedett maximális sebességekhez kell tartaniuk a futási idő minimalizálásához. A kiindulási ponthoz

egy Q_i és minden további szakaszponthoz rendelhető γ_i egy súly, amely azt határozza meg, mennyire fontos, hogy az adott i -edik szakaszponthoz ($v_{ref0}, v_{ref1}, v_{ref2}, \dots, v_{refn}$) a sebességhiba minimális legyen. A gépjármű pillanatnyi sebességének (ξ_0) számításakor az útvonalon elkövetkező domborzati viszonyok és sebességkorlátozások a következő összefüggéssel vehetők figyelembe [2]:

$$\begin{aligned} \xi_0^2 + \frac{2s(1-Q)}{m} F_{li} - \frac{2s(1-Q)}{m} F_{d1,0} = \\ = \left(Q v_{ref0}^2 + \gamma_1 v_{ref1}^2 + \dots + \gamma_n v_{refn}^2 \right) + \\ + \frac{2s}{m} \left[F_{d1,r} (\gamma_1 + \dots + \gamma_n) + F_{d2,r} (\gamma_2 + \dots + \gamma_n) + \dots + F_{dn,r} \gamma_n \right] \end{aligned} \quad (1)$$

ahol a $F_{d1,0}$ kiindulási pontban a tehergépjárműre ható menetellenállás (gördülés, légellenállás, emelkedési ellenállás), $F_{di,r}$ pedig az i -edik pontban a gépjárműre ható emelkedési ellenállás.

A tehergépjármű sebességprofiljának megtervezésének célja hármas. Egyrészt szükséges minimalizálni a tehergépjármű eljutási idejét. Másfelől kiemelt cél a tehergépjármű tüzelőanyag- és fékhasználatának, azaz a hosszirányú beavatkozási erőnek (F_{li}) a minimalizálása. Harmadik feladat a tehergépjármű emissziójának (E) csökkentése. A jármű eljutási idejének minimalizálása a $|v_{ref} - \xi_i|$ szakaszponti hibák minimalizálási feladatának felel meg. Ez azt jelenti, hogy minden egyes pillanatban az adott szakaszon előírt maximális v_{ref} sebességet kell követni, azaz a jövőbeli környezeti tényezők hatását figyelmen kívül kell hagyni. Ez $Q_i = 1; \gamma_{v,i} = 0; i \in [1, n]$ súlyozási stratégia használatát teszi szükségessé.

A tüzelőanyag- és fékhasználat minimalizálásának feladata a hosszirányú beavatkozó erő minimalizálását jelenti, azaz $|F_{li}| \rightarrow 0$. F_{li} kifejezhető (1) egyenletből, és a Q_i súlyok függvényében változik. A hosszirányú erő szempontjából Q_i, γ_{li} súlyok meghatározása egy optimalizálási feladat. A tehergépjármű emisszió-csökkentésének eléréséhez szükséges meghatározni a tehergépjármű emissziójának modelljét, mely a következő fejezetben kerül leírásra.

TEHERGÉPJÁRMŰ EMISSZIÓJÁNAK MODELLEZÉSE

Egy gépjármű kipufogógáz eredetű károsanyag-kibocsátásának számszerűsítésére számos modell létezik. Ezek között az alábbi csoportosítás végezhető mikroszkopikus megközelítés (egyedi

járműmodellezés) esetén: megkülönböztetünk forgalmi szituációs emissziómodelleket (pl. HBEFA, Artemis), valamint átlagsebesség-alapú modelleket (pl. COPERT, MOBILE, EMFAC) [3, 4]. A forgalmi szituációs modellek a jármű sebessége mellett a forgalmi szituációt (forgalmi állapotot) is bemenő paraméterként tartalmazzák, a forgalmi állapot bemenete diszkrét értékeket vehet fel, a modell kimenetét ezen változó „kapcsolja”. Az átlagsebesség-alapú modellek egyetlen bemenő változója egy meghatározott menetciklust jellemző átlagsebesség-érték. A modell kimenő változója, a kibocsátás tehát nem konstans sebességértékhez tartozó érték, hanem egy szabványos menetciklus során keletkező szennyezőanyag-mennyiség.

A modellek kimenete a jármű pillanatnyi idő- vagy távolság-fajlagos kibocsátása lehet ($[e_t]=g/h$ és $[e_d]=g/km$). A kibocsátásfüggvények között az alábbi összefüggés áll fenn [5]:

$$e_d(t) \cdot v(t) = e_t(t) \quad (2)$$

ahol $e_t(t)$ a pillanatnyi időfajlagos-, $e_d(t)$ a pillanatnyi távolság-fajlagos kibocsátás, $v(t)$ a jármű pillanatnyi sebessége.

A továbbiakban a számítások egyszerűségét szem előtt tartva egy átlagsebesség-alapú modellt használunk. Az alkalmazott COPERT IV modell [4] rendszeresen frissített adatbázissal rendelkezik az EU-ban előforduló járműosztályok, motortípusok és kibocsátásnormák szerint. A modell a távolság fajlagos kibocsátást általában racionális törtfüggvényként közelíti:

$$e_d^{p,c}(t) = \frac{\beta_m^{p,c} \xi^m(t) + \beta_{m-1}^{p,c} \xi^{m-1}(t) + \dots + \beta_0^{p,c}}{\delta_n^{p,c} \xi^n(t) + \delta_{n-1}^{p,c} \xi^{n-1}(t) + \dots + \delta_0^{p,c}} = [g/km] \quad (3)$$

ahol p a szennyező, c a modellezett jármű járműosztálya, $\beta_m^{p,c}$ és $\delta_n^{p,c}$ a hozzájuk tartozó konstans együtthatók.

A vizsgálat során az alábbi szennyezők optimalizálására szorít-

kozunk: CO, CO₂, NO_x és elégetlen szénhidrogének (továbbiakban: HC) – ezek tekinthetők a négy legjelentősebb hatású, kipufogóból származó szennyezőnek. Fontos megjegyeznünk, hogy a jármű üzemanyag-fogyasztása és CO₂-kibocsátása között lineáris függvénykapcsolat áll fenn [5]: a belső égésű motorban zajló égésből reakcióegyenletének sztöchiometriája alapján fennáll:

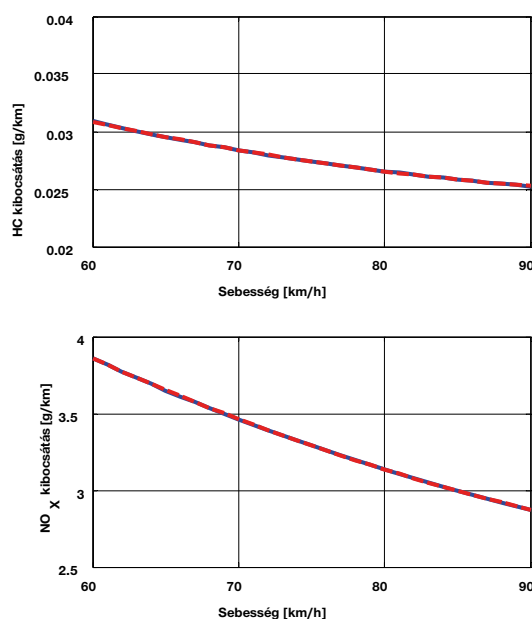
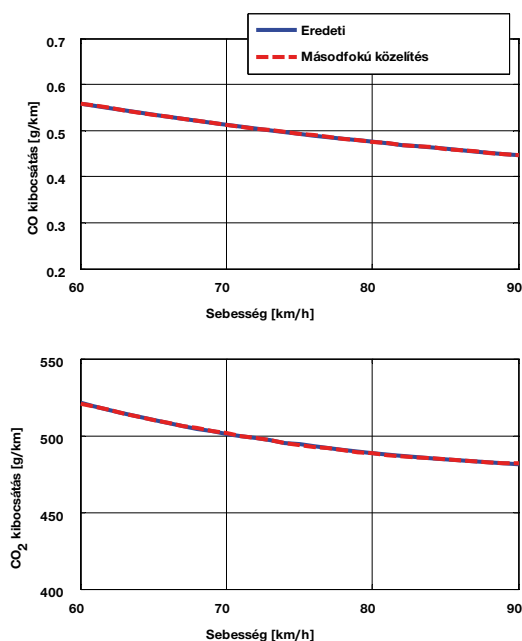
$$e_d = f_d \cdot \kappa \quad (4)$$

ahol $[f_d]=l/100 \text{ km}$ a járműtávolság fajlagos üzemanyag-fogyasztása. (Dízel üzemanyag esetén $\kappa=26,29$). Az egyszerűbb számítás érdekében a (3) függvényt 60 km/h felett (mely az autópályán érvényes sebességtartomány) másodfokú polinomiális függvénnyel közelítjük. A szimuláció során használt járműtípus kibocsátásfüggvényeit és közelítésüket a **2. ábra** szemlélteti.

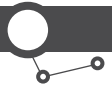
EMISSZIÓ MINIMALIZÁLÁSA

A tehergépjármű emissziómodelljének meghatározása után lehetőség nyílik az emisszió minimalizálására. Ennek módja a gépjárműre ható menetellenállások és az emisszió modellezése közötti analógia. A gépjárműre ható menetellenállások (légellenállás, gördülési ellenállás) a sebességtől lineáris, illetve négyzetes módon függenek, azaz $F_{d1,0} = A_0 + A_1 \xi_0 + A_2 \xi_0^2$, ahol A_0 , A_1 és A_2 a gépjárműre és az útviszonyokra jellemző paraméterek. A gépjármű emissziója, miképpen az előző fejezetben részletezésre került, úgyszintén egy hasonló összefüggéssel közelíthető: $e_d = \alpha_0 + \alpha_1 \xi_0 + \alpha_2 \xi_0^2$, ahol α_0 , α_1 és α_2 emissziós paraméterek. Ennek megfelelően a menetellenállások és az emisszió közötti formális kapcsolat:

$$F_{d1,0} = \left(A_0 - \frac{A_1 \alpha_0}{\alpha_1} \right) + \left(A_2 - \frac{A_1 \alpha_2}{\alpha_1} \right) \xi_0^2 + \frac{A_1}{\alpha_1} e_d \quad (5)$$



2. ábra: A szimulált jármű kibocsátása és közelítése



Az emisszió és a domborzati viszonyok, sebességkorlátozások (1) és (2) felhasználásával egymással kapcsolatba hozhatók. Ebből kifolyólag rögzített sebesség, hosszirányú erő és gépjármű-paraméterek mellett az emisszió $Q, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ a tervezési súlyok függvénye: $ed = ed(Q, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$ Az emisszió minimalizálásának célja:

$$|e_d(Q, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)| \rightarrow 0 \quad (6)$$

Ez a függvényminimalizálási feladat F_{II} minimalizálásához hasonlóan egy optimalizálási feladatra vezet, melynek megoldása az emisszió szempontjából optimális $Q, \gamma_{e,i}$ tervezési súlyok.

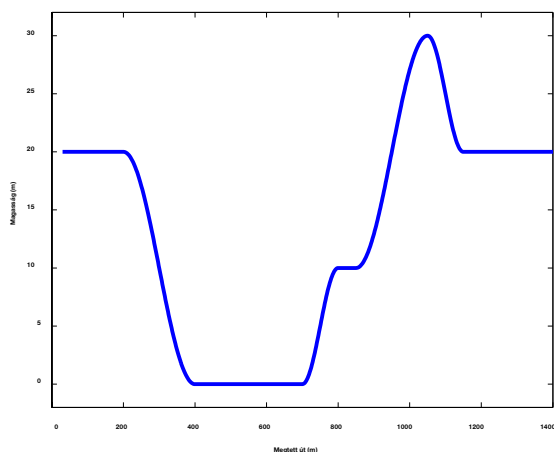
A tehergépjármű sebességprofilja megtervezésének alapja az előbb bemutatott három kritérium, az eljutási idő, a hosszirányú erő és az emissziócsökkentések együttes figyelembevétele. A három minőségi tulajdonság három, különböző szempontok szerinti optimális megoldást eredményez. A tehergépjármű üzemeltetőjének, vezetőjének feladata eldönteni, hogy a három minőségi tulajdonság milyen fontosságú. Ennek megfelelően a pillanatnyi ξ_0 járműsebesség meghatározásához szükséges $Q; \gamma_i; i \in [1, n]$ súlyok a három optimális megoldás súlyozott átlagaként kerülnek kiszámításra.

Tehergépjármű-oszlop irányítása esetén minden egyes tehergépjárműnél szükséges kiszámítani a hozzá tartozó $Q; \gamma_i; i \in [1, n]$ tervezési súlyokat, illetve ξ_0 pillanatnyi sebességeket. Ezek után a járműoszlop és az egyes tehergépjárművek tényleges sebességének meghatározása egy újabb optimalizálási lépés keretében történik [1,2].

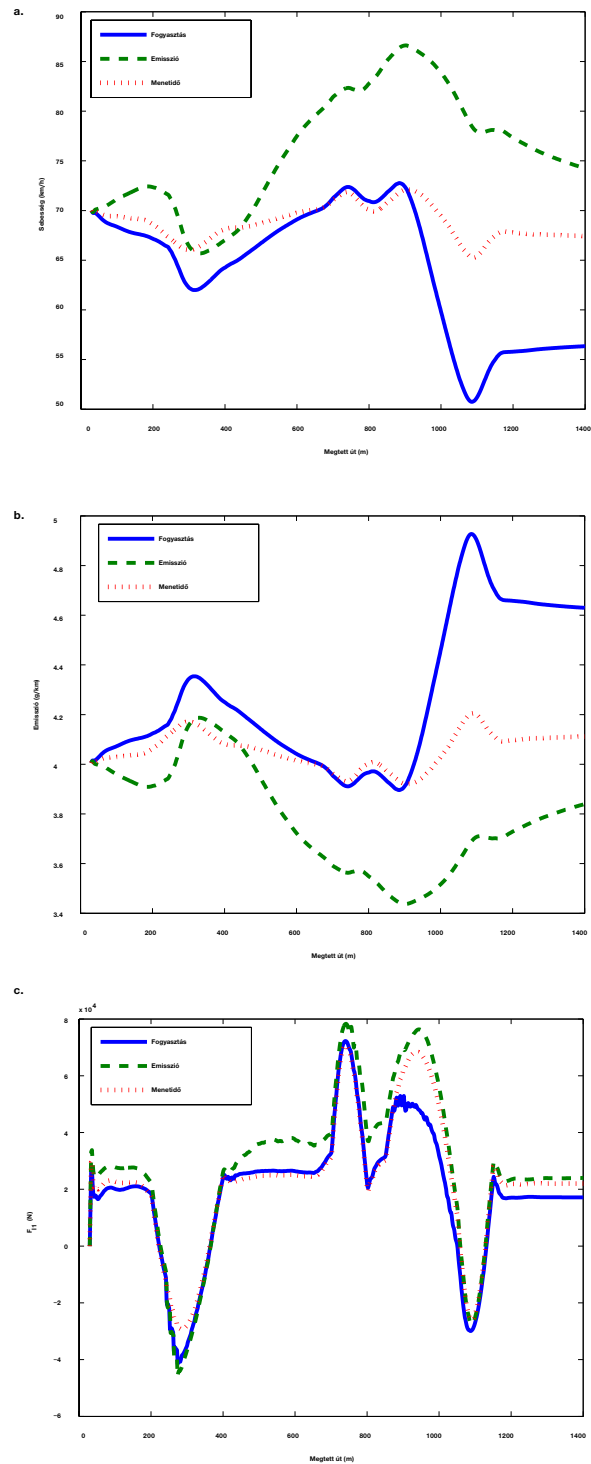
SZIMULÁCIÓS PÉLDA

A bemutatott szimulációs példákban Euro5 besorolású EGR-rendszerű dízelmotorral szerelt, 14–20 t teherbírású nyerges vontatókból álló négyelemű járműoszlop került vizsgálat alá. A járművek a **3. ábrán** látható útvonalon haladtak végig, sebesség mellett.

Az első szimulációs példában a bemutatott többkritériumos optimalizáláson alapuló eljárás során három eset került vizsgálat alá. A **4. ábrákon** a járműoszlop első járművének eredményei láthatóak. Első esetben a beavatkozóerő, azaz a fogyasztás, második esetben a HC-, CO-, NO_x-emisszió, míg harmadiknál a menetidő került kiemelten minimalizálásra. A **4. a ábrán** láthatók az optimális sebességek a három esetben. Látható, hogy minimális emisszió esetében a sebességek növelése történt meg, ugyanis a **2. ábra** szerint az emisszió a növekvő sebességek

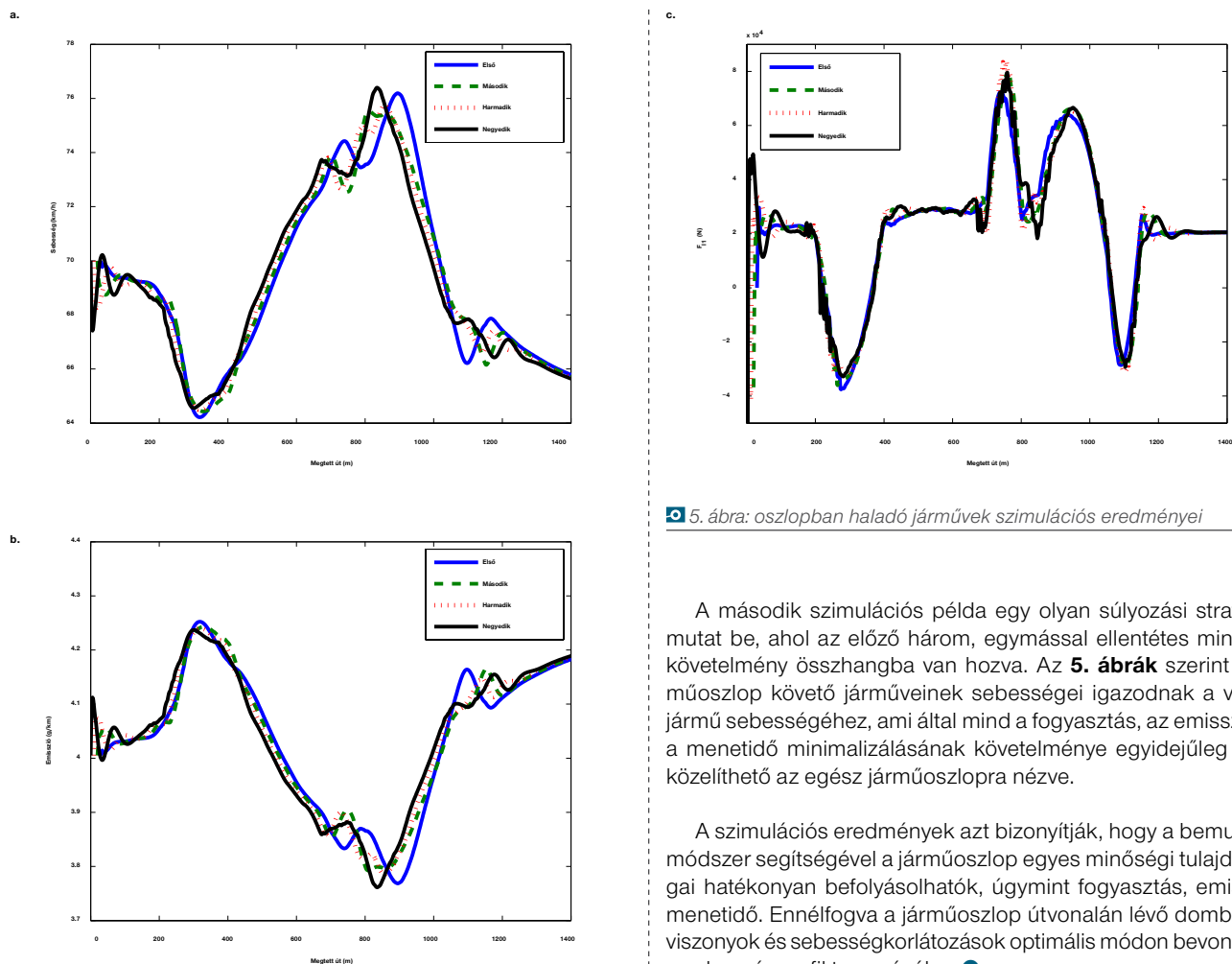


3. ábra: járműoszlop útvonalának domborzati viszonyai



4. ábra: minőségi tulajdonságok összehasonlítása

irányában csökken. Ennek eredménye látható a **4. b ábrán**. Minimális fogyasztás esetében a sebességek csökkenése a jellemző (**4. c ábra**), ami emissziónövekedést okoz, viszontértékei jelentősen csökkennek. Minimális menetidő esetében a jármű sebessége a sebesség körül ingadozik, ami egy hagyományos sebességtartó szabályozónak felel meg. A szimulációs eredmények tehát azt mutatják, hogy a bemutatott módszerrel elérhetők az egyes minőségi tulajdonságok, a fogyasztás, az emisszió és a menetidő minimalizálása. Viszont ezek a minőségi tulajdonságok egymással ellentétes járműsebességeket kívánnak.



5. ábra: oszlopban haladó járművek szimulációs eredményei

A második szimulációs példa egy olyan súlyozási stratégiát mutat be, ahol az előző három, egymással ellentétes minőségi követelmény összhangba van hozva. Az **5. ábrák** szerint a járműoszlop követő járműveinek sebességei igazodnak a vezető jármű sebességéhez, ami által mind a fogyasztás, az emisszió és a menetidő minimalizálásának követelménye egyidejűleg megközelíthető az egész járműoszlopra nézve.

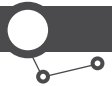
A szimulációs eredmények azt bizonyítják, hogy a bemutatott módszer segítségével a járműoszlop egyes minőségi tulajdonságai hatékonyan befolyásolhatók, úgymint fogyasztás, emisszió, menetidő. Ennélfogva a járműoszlop útvonalán lévő domborzati viszonyok és sebességkorlátozások optimális módon bevonhatók a sebességprofil tervezésébe.

IRODALOM

- [1] Gáspár P., Németh B., Bokor J.: Oszlopban haladó járművek irányítása a környezeti tényezők figyelembevételével. A Jövő Járműve, 3–4., 2010.
- [2] Németh, B. and Gáspár, P. (2011). LPV-based control design of vehicle platoon considering road inclinations. In.: 18th IFAC World Congress.
- [3] R. Smit, L. Ntziachristos, P. Boulter: Validation of road vehicle and traffic emission models – a review and meta-analysis. Atmospheric Environment 44 (2010), 2943-2953.
- [4] Ntziachristos, L., Samaras, Z., Eggleston, S., Gorissen, N., Hassel, D., Hickman, A.-J., Joumard, R., Rijkeboer, R., White, L., Zierock: COPERT IV Computer Programme to Calculate Emissions From Road Transport – Methodology and Emissions Factors (Version 2.1). November 2000, Technical Report No. 49. European Environment Agency, Copenhagen.
- [5] Abhishek Tiwary, Jeremy Colls: Air Pollution. Measurement, modelling and mitigation. Third edition. Routledge, Taylor and Francis Group, 2010.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKTH TECH-08-2/2-2008-0088 pályázat finanszírozásával valósult meg. A kutatást részben az OTKA (OTKA CNK 78168) támogatta.



Járműoszlop irányítási algoritmusainak kísérleti igazolása

HANKOVSKI ZOLTÁN
BME EJT

ARADI SZILÁRD
BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

RÖDÖNYI GÁBOR
DR. GÁSPÁR PÉTER
MTA SZTAKI

KOVÁCS ROLAND
Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.

Régi törekvés a járművek oszlopba történő szervezése olyan módon, hogy a vezető járművet leszámítva minden oszloptag teljesen autonóm módon legyen vezérelt. Ez többek közt tüzelőanyag, járművezetői munkaidő- vagy útterheltség-csökkenést hozhat magával pozitív járadékként. A járművek aktív vezérlőrendszereinek fejlődése egyre több funkció megvalósítását teszi lehetővé, és a fenti együttműködés a járművek között is egyre reálisabb célkitűzés. Szándékunk megmutatni, hogy ma már járműspecifikus szoftverek és célhardverek nélkül is megvalósítható mindez.

It is an old ambition to group vehicles in a platoon in such a way that, except the leading vehicle, each platoon member can be autonomously controlled. Among others this results in a decrease of fuel consumption, driver's work time and an increase in a better use of road capacity. The development active control systems for vehicle makes it possible to realize more and more functions and the above defined cooperation between vehicles seems to be more and more feasible. Our aim is to show that today it is possible to reach this goal without vehicle specific software and hardware.

BEVEZETÉS

Egy automatizált járműoszlop minden járművében, kivéve esetleg a felvezető járművet, a gázt és a fékezést a fedélzeti számítógép szabályozza. Az irányítási cél a minél kisebb követési távolságok biztonságos tartása költségmegtakarítás vagy a forgalomsűrűség növelése érdekében.

A 90-es évektől aktívan kutatott terület ismertebb projektjei többek között a kaliforniai PATH program és a MOC-ITS Japánban, melyek keretében automatizált autópályák, intelligens út-infrastruktúrák kiépítése volt a cél. Az Európai Unió által támogatott SARTRE projektben a meglévő úthálózatra csak a járművek fejlesztésével dolgoztak ki megoldásokat.

A Knorr-Bremse által vezetett TruckDAS projektben annak lehetőségét mértük fel, hogy alacsony költséggel, néhány kísérellettel és egy alkalmas szabályozószoftverrel megvalósítható-e egy néhány járműből álló automatizált járműoszlop. Három különböző típusú és adottságú járművel végzett kísérleteink tapasztalata szerint, néhány méteres (<3 m) távolság tartható, amennyiben a felvezető jármű nem lassul 2 m/s^2 -nél erősebben, valamint meg-

felelő időt hagy az intenzív gyorsítás és az erős fékezés között. Ez azt feltételezi, hogy a vezető megfelelő követési távolságot tart a forgalomban és tudatában van a járműoszlop nagyobb tehetetlenségének.

Itt kell megjegyeznünk, hogy az irodalomban beszámoltak jóval pontosabb szabályozást megvalósító megoldásokról is (lásd például [2-4]), de minden esetben a hajtáslánc és a fékrendszer részletes és megbízható modelljének ismeretére és a fékrendszer programjának módosítására volt szükség. A TruckDAS projekt kifejezett célkitűzése volt, hogy ne használjunk ilyen nehezen beszerezhető, bizonytalan és a jármű műszaki állapotától függő változó modelleket, hanem építsünk olyan szabványosított és általános funkciókra, melyek egységesen elérhetőek minden járműben – ilyenek például a haszonjárművek elektronikus fékrendszere (EBS) által kínált lehetőségek.

KÍSÉRLETI KÖRNYEZET

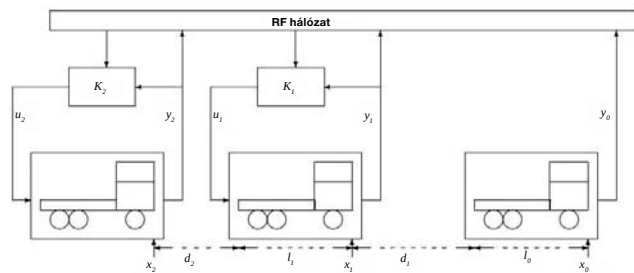
A megtervezett szabályozókat három nehéz tehergépjárművön teszteltük egy 3 km-es útszakaszon. Az első, sofőr által vezetett autó egy kéttengelyes, 18 tonnás MAN TGA nyerges vontató műterheléssel, a második egy háromtengelyes 24 tonnás Volvo FH teherautó, a harmadik pedig egy szintén kéttengelyes, 18 tonnás Renault Magnum nyergesvontató félpótkocsival (**1. ábra**). Fontos, hogy mindhárom jármű automata váltóval felszerelt – így módon a járművek gyorsítása történhet teljesen szoftveres módon.

Kommunikációs hálózat

A kommunikációs hálózat a nyílt, 868 MHz-es ISM sávban működő keskenysávú rádió adó-vevőkből állt. Ebben a frekvenciasávban (továbbá 433 MHz-en), bizonyos korlátok között, szabadon működtethetők rádiós eszközök. A hálózati modellt tekintve, a fizikai rétegben GFSK modulációval és manchester kódolással működtek az eszközök, míg az adatkapcsolati réteg egy 4 bájtos eszközcímzést, valamint egy CRC-alapú adatvédelmet biztosított. A hálózati és adatátviteli rétegekben „broadcast” üzenetküldést használtunk. Ez azt jelenti, hogy nem alakult ki viszonylat, azaz



1. ábra: kísérleti környezet: MAN TGA, Volvo FH, Renault Magnum



2. ábra: járműoszlopszabályozás blokkvázlata

klasszikus értelemben vett hálózat az eszközök között, hanem megfelelő időzítéssel, minden fél elküldte az adatát egyazon címre, amelyet így minden további eszköz megkapott. A közegehozzáérés időosztásos módon oldottuk meg, azaz a vezérműben lévő eszköz kezdte az adatküldést, amelyet fogadott a másik két jármű. Miután a csatorna felszabadult, azaz a teljes csomag megérkezett a fogadó felekhez, a második jármű is elküldte az adatait, majd a periódus előlről kezdődött.

A legfelső rétegekben egy saját, rendkívül tömör adatleírást alakítottunk ki, amelyben az adatokat a CAN hálózati reprezentációhoz hasonló formában továbbítottuk. Ennek megfelelően a szükséges adatok mindössze egy 30 bájtos csomagot igényeltek, amely további védelemként még egy egyedi csomagsorszámot is tartalmazott. A keskenysávú rádióknak köszönhetően, a megfelelő csatornára történő kapcsolással, a kommunikációs rendszer hibátlanul, csomagvesztés nélkül volt képes az adatokat továbbítani. A központi mikrokontrollerrel aszinkron, soros porton (UART) keresztül kommunikáltak a rádiós modulok. A késleltetéseket az itt elérhető maximális adatátviteli sebesség, valamint a rádiós interfész sebessége befolyásolta. Ezek alapján a 30 bájtos csomagok kb. 25 ms késleltetéssel kerültek átvitelre, az adatküldési periódus 50 ms volt. A késleltetés aránylag nagy, azonban cserébe robusztus és megbízható kommunikációs csatornát kaptunk, amely kb. 300 méteres hatótávra képes a veszteség nélküli, hibátlan átvitelre, továbbá az egyszerű hálózati modelljének köszönhetően nem rendelkezik hálózathatárátelérési idővel.

A járműoszlop felépítése

A szabályozás elvi rajza a 2. ábrán látható. Az első járművet egy sofőr vezeti, a többiben a hajtást és a fékezést szabályozók oldják meg. A követő járművek radarral vannak felszerelve, melyek mérik az előttük haladó távolságát és relatív sebességét. A minél gyorsabb beavatkozás érdekében egy kommunikációs hálózaton keresztül minden követő jármű megkapja az előtte haladó gyorsulás/lassulás parancsait, sebességét és az első jármű pedáljeleit, sebességét, GPS pozícióját. A K_i -vel jelölt szabályozók gyorsulás-alapjelet számolnak, melyek egy biztonsági logikán keresztül az EBS-nek szánt külső lassulásigénnyé, illetve a motorvezérlőnek küldendő nyomatékigénnyé alakulnak.

JÁRMŰOSZLOP SZABÁLYOZÁSA

A szabályozás célja a járművek közötti távolság egy előírt értéken tartása, függetlenül az első jármű manőverétől. Gyorsításkor vagy lassításkor az oszlopban előírt követési távolságtól való eltérés, röviden a követés hibája várhatóan nem nulla. Fontos, hogy ez a hiba ne növekedjen járműről járműre a járműoszlop mentén. Ezt a tulajdonságot a járműoszlop stabilitásának nevezzük.

A járműoszlop stabilitása (string stability)

Tegyük fel, hogy a járműoszlop hosszirányú mozgása lineáris idő-invariáns (LTI) rendszerrel írható le. Jelölje e_i az i . követő jármű követési hibáját ($i=0$ az első, nem szabályozott járműnél),

$$H_i(s) = \frac{e_i(s)}{e_{i-1}(s)} \quad \text{a követési hiba továbbterjedését leíró átviteli}$$

függvényt és $h_i(t)$ ennek impulzusválaszát. Három jármű esetén ($i=2$) járműoszlop stabil, ha $\|H_i(s)\|_\infty \leq 1$. Ekkor ugyanis $\|h_i(t)\|_1 \leq 1$, azaz a követési hiba amplitúdója nem nő ($\|e_i\|_\infty \leq \|e_{i-1}\|_\infty$). Biztonságot növelő tényező, ha előírjuk a stabilitáson felül, hogy a hibák állandósult állapotbeli értékei azonos előjelűek legyenek. Ehhez szükséges, hogy $h_i(t) > 0$ legyen. Ekkor még az is fennáll, hogy H_i minden normája egyenlő, tehát $\|H_i(s)\|_\infty$ a maximális hiba, $\|e_i\|_\infty$, csökkenésének mértékét is megadja.

Több járműből álló járműoszlop esetén, ha a szabályozás csak a sorban előrébb haladó r db járműtől függ, akkor általában (pl. különböző járműdinamikák esetén) a hiba az előző r hibától függ:

$$e_i(s) = \sum_{j=1}^i H_j(s) e_{i-j}(s). \quad \text{Ebből, bevezetve az } \alpha_j := \|h_j\|_1 \text{ és}$$

$$\text{a } z^i e := \|e_i\|_\infty \text{ jelöléseket, a } z^i e = \sum_{j=1}^i \alpha_j z^{i-j} e \text{ diszkrét rendszerhez}$$

$$\text{jutunk, amely stabil, ha a } z^i - \sum_{j=1}^i \alpha_j z^{i-j} = 0 \text{ egyenlet gyökei}$$

az egységkörön belül vannak. Részletesebben lásd [1]-ben.

Csúszó szabályozás

A szabályozás alapelveinek bemutatásához tételezzünk fel ideális járműdinamikát

$$\dot{x}_i = v_i, \quad \dot{v}_i = a_i, \quad a_i = u_i$$

ahol x_i , v_i , a_i és u_i az i . követő pozícióját, sebességét, gyorsulását és szabályozójának gyorsulásparancsát jelöli. Jelölje L_j a j -edik jármű számára előírt követési távolságot és definiáljuk az alábbi csúszófüggvényt

$$S_i := \dot{e}_i + q_1 e_i + q_3 (v_i - v_0) + q_4 (x_i - x_0) + \sum_{j=1}^i L_j$$

q_1 , q_3 , q_4 paraméterekkel. Ha $S_i \rightarrow 0$, akkor $e_i \rightarrow 0$. Laplace-transzformáció segítségével belátható, hogy az i -edik jármű követési hibájának maximuma felülről korlátos

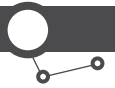
$$\|e_i\|_\infty \leq \frac{q_1}{q_1 + q_4} \|e_{i-1}\|_\infty + \frac{1}{q_1 + q_4} \|S_i - S_{i-1}\|_\infty + \frac{(2 + q_3) \|e_i(0)\|}{q_1 + q_4}$$

A szabályozót úgy választjuk meg, hogy S_i tartson nullához. Ehhez választunk egy $\lambda > 0$ paramétert, és az $\dot{S}_i + \lambda S_i = 0$ feltételből adódik a kívánt gyorsulásra, hogy

$$u_i = \frac{1}{1 + q_3} \left[a_{i-1} + q_3 a_0 - (q_1 + \lambda) \dot{e}_i - q_1 \lambda e_i - (q_4 + \lambda q_3) (v_i - v_0) - \lambda q_4 (x_i - x_0) + \sum_{j=1}^i L_j \right], \quad (1)$$

ha $i > 1$, és

$$u_1 = a_0 - \frac{1}{1 + q_3} \left[(q_1 + q_4 + \lambda + \lambda q_3) \dot{e}_1 + \lambda (q_1 + q_4) e_1 \right]. \quad (2)$$



Robusztusság

A fenti szabályozó robusztusságát vizsgálhatjuk a

$$\dot{x}_i = v_i, \quad \dot{v}_i = a_i, \quad a_i = P_i u_i$$

járműmodellek segítségével, ahol P_i a hajtáslánc és a fékrendszer egyszerűsített modellje az i -edik járműben. Kiszámolva a $H_i(s)$ átviteli függvényeket a járműoszlop stabilitása ellenőrizhető.

A JÁRMŰ HOSSZIRÁNYÚ MOZGÁSÁNAK MODELLJE

Autópályán szokásos manővereknél feltételezhetjük, hogy nincs csúszás sem a kerekek és az út között, sem a jármű nyomaték-váltójában [2,3]. A jármű gyorsulására (a) az alábbi egyenlet írható fel

$$a = \frac{1}{m} \left[F_a + F_g + \frac{1}{h} (M_{rr} + \tau_e + \tau_b) \right],$$

ahol m a jármű tömege, M_{rr} a gördülési ellenállás, τ_e és τ_b jelölik a hajtó és fékező nyomatékokat, F_a és F_g a légellenállási és az út emelkedéséből származó erők és h a kerék effektív sugara.

Hajtáslánc

A hajtásláncban a motorfordulatszámától függő nyomatékkarakterisztika, a fokozattól függő áttétel, és a váltás mechanizmusa teszik nemlineáris, hibrid és időben változó jellegűvé a jármű hosszirányú dinamikáját. Ehhez adódnak még az automata váltó és a motor véges állapotú automatával leírható vezérlőszoftverei, melyekről kevés információ áll rendelkezésre. Szoftveres beavatkozási lehetőség a jármű CAN-hálózatán keresztül kiadható nyomatékigény, melyet a motorvezérlő feladata teljesíteni.

Fékrendszer

Egy előírt féknyomás esetén a pneumatikus fékrendszerben a kamranyomás kiépüléséhez szükséges időkésettetéssel kell számolni, mely után a fékerő dinamikája már lineárisnak tekinthető. Adott lassulásból kerekenként szükséges féknyomás kiszámításához ismerni kellene a jármű tömegét, az ellenállásokat és az emelkedés szögét. A szükséges becslési feladatokat a kerékebbességek alapján az EBS elvégzi, melynek megadható egy előírt lassulás is. Ennek végrehajtása, a hajtáshoz hasonlóan, egy véges állapotú automatán keresztül történik.

A hosszirányú dinamika egyszerűsített modellje

A fentiek alapján a hosszirányú dinamika gyakorlatilag ismeretlennek tekintendő, viszont közelíthető a következő LTI modellel

$$P_i(s) = e^{T_d s} \frac{k_i s + 1}{s^2 + 2\xi_i \omega_{i0} s + \omega_{i0}^2} c_i^{d/b} \quad (3)$$

melyben T_d a késleltetés, k_i, ξ_i, ω_{i0} és $c_i^{d/b}$ azonosítható paraméterek, $c_i^{d/b} = c_i^d$ hajtáskor és $c_i^{d/b} = c_i^b$ fékezéskor. A szabályozás adaptívva tehető a terhelés, légellenállás és a gördülési ellenállás változásaira, ha (1) és (2) szerinti beavatkozó jeleket az alábbi szabály szerint módosítjuk

$$u_i := \hat{M}_{rr,i} + h \hat{c}_{a,i} v_i^2 + \hat{m}_i u_i$$

ahol $\hat{M}_{rr,i}$, $\hat{c}_{a,i}$ (légellenállási együttható) és $\hat{m}_i$ (jármű tömege) paramétereket [1,4] referenciákban részletezett módon becsüljük.

A SZABÁLYOZÓ TERVEZÉSE MÉRÉSEK ALAPJÁN

Annak érdekében, hogy szinte bármilyen automata váltóval rendelkező járművet oszlopba lehessen állítani, a járműoszlop stabilitását biztosító szabályozásnak függetlennek kell lennie az egyes járművek adottságaitól és az aktuális terhelésüktől. Az (1,2) egyenletekkel megadott szabályozó paramétereit egy közös, névleges járműmodell alapján határozzuk meg. Egyrészt az eltéréseket minden járművön külön kell kezelni (paraméterbecslés, lásd (4)), és motorkarakterisztika, lásd (5)), másrészt a szabályozásnak robusztusnak kell lennie a járművek közötti eltérésekkel szemben.

Járműszintű tervezés

A fékezett jármű, de még inkább a hajtáslánc dinamikája jelentősen eltér az identifikált modelltől. Az előbbi esetében a modellhiba nagy része az EBS szoftverének nemlineáris és hibrid viselkedéséből adódik. E hibával szemben a szabályozónak robusztusnak kell lennie. A hajtáslánc esetében a nemlineáris motorkarakterisztika, a fokozatváltás, a motor- és a váltóvezérlő szoftverek okoznak jelentős eltéréseket. A szoftverek okozta hibákra a szabályozónak robusztusnak kell lennie. A motorkarakterisztika nemlineáris hatását pedig úgy kompenzáljuk, hogy az $u_i \rightarrow a_i$ átvitel állandósult állapotban 1 legyen:

$$u_i := c u_i \quad (5)$$

ahol c egy – esetleg fokozatfüggő – állandó. Ezzel, a gyorsulási igény az adott jármű motorkarakteristikájához igazítható.

Nagyobb gondot okozhat a váltás folyamata. A példa kedvéért, képzeljük el, hogy a járműoszlop vezető jármű gyorsít. Váltáskor a mért gyorsulása (a_0) megszűnik, sőt az ellenállások miatt negatív lesz. Ennek hatására a követő járművek abbahagyják a gyorsítást (mindegyikben szerepel egy a_0 -tól függő tag.). Váltás után a vezető jármű tovább gyorsít. Az a követő jármű, amelynek ekkor kell váltania, lemarad, majd jóval erősebben gyorsít, hogy hátrányát behozza. Ez a jelenség kiküszöbölhető, ha (1) és (2)-ben a_{i-1} helyett u_{i-1} -t a kívánt gyorsulás szerepel és a_0 helyett a vezető jármű pedáljeleiből képzett gyorsulási igény. Ezek a jelek nem szűnnek meg a váltási folyamat idején, így minden jármű a saját ütemében válthat.

Szabályozó paraméterek hangolása

Az egyszerűsített modell identifikációja után, a modellel végzett szimulációk és numerikus számítások alapján megválaszthatjuk a szabályozó q_1, q_3, q_4 és λ paramétereit.

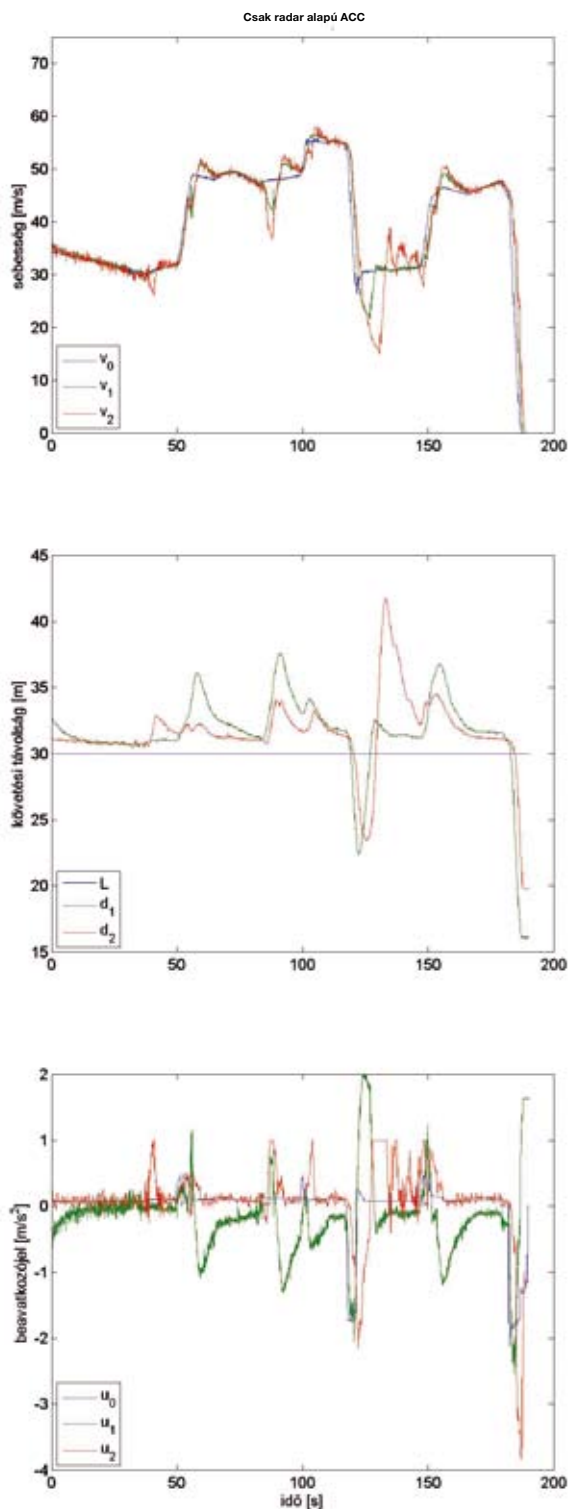
Egy lehetséges eljárás az lehetne, hogy néhány jellemző manőverrel szimulációkat végezve célfüggvényt választunk, melyben a követési hibák és beavatkozójelek szerepelnek, korlátozásként pedig előírhatjuk a járműoszlop stabilitását és a beavatkozójelek maximumát. A paraméterekben nemlineáris célfüggvényt minimalizáljuk a korlátozások mellett. Eredményül egy lokális optimumot kaphatunk.

A módszer hátránya, hogy valódi tesztekkel szükség lehet a paraméterek további, közvetlen hangolására, amelyre az optimalizáláson alapuló eljárás nem ad útmutatást, a paraméterek hatására nincsen rálátásunk. Ezért a feladatot két független hangolási feladatra bontjuk, mindegyikben két paramétert kell csak változtatni.

Stabil járműoszlop esetén az első követő jármű hibája a legnagyobb. Szabályozója – (2)-es egyenlet – két konstanstól függ:

$$k_1 := q_1 + q_4 + \lambda + \lambda q_3, \quad k_2 := \lambda(q_1 + q_4)$$

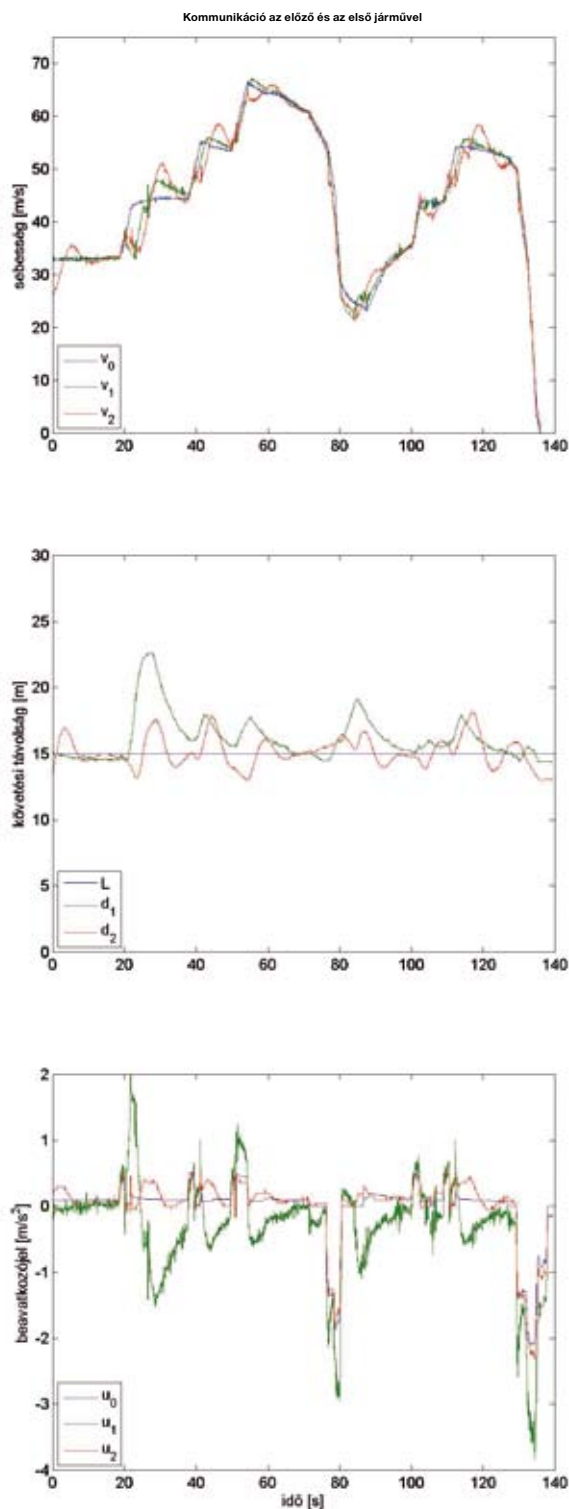
Az első feladatban e két paraméter függvényében meghatározható az $a_0 \rightarrow e_i$ átvitel dinamikája, a csillapítás, a maximális követési hiba és a maximális beavatkozájel. A második feladatban q_i és q_4 hatását vizsgáljuk a járműoszlop stabilitására, azaz $H_i(s)$ impulzusválaszára.



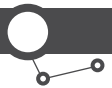
3. ábra: adaptív távolságvételezés (Adaptive Cruise Control, ACC) csak a radartávolság és relatív sebesség jelei alapján. Az előírt követési távolság $L=30$ m. A szabályozót jelöli

KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Az 1. ábrán látható három járművel kísérleteket végeztünk. Az oszlopot vezető jármű elhalad a többi mellett. A követő járművek egymás után egy csatlakozási manőver segítségével megközelítik



4. ábra: járműoszlop szabályozása (1) és (2) szerint, kommunikációval. Az előírt követési távolság $L=15$ m. A szabályozót jelöli.



az oszlop utolsó járművét, majd a vezérlést átveszi a bemutatott szabályozó algoritmus. A járművek sebességprofiljai a következő ábrák felső diagramjain láthatók.

A járművek közötti kommunikáció hasznosságát lemérhetjük, ha a járműoszlop szabályozásának (jelölje a szabályozót) pontosságát összehasonlítjuk egy csak radart használó szabályozással (3. ábra),

$$K_1: \quad u_i = -\frac{1}{1+q_3} [k_1 \dot{e}_1 + k_2 e_1], \quad i=1,2$$

ahol k_1 és k_2 megegyezik a járműoszlop szabályozójának (4. ábra) megfelelő paramétereivel.

Az ábrákból leolvasható közel azonos manővereknél a kommunikációt használó k_2 szabályozó követő járművei jóval előbb reagálnak a változásokra (lásd az alsó diagramokat) és a követési hiba jóval kisebb (középső ábrák). Mindkét szabályozóval 4-4 kísérletet végezve a követési hibákra az alábbi táblázat eredményeit kaptuk. A követési hibák alapján megadható a minimálisan szükséges követési távolság.

MAXIMÁLIS KÖVETÉSI HIBA	FÉKEZÉSKOR	GYORSÍTÁSKOR
K_1 szabályozó (kommunikáció nélkül)	< 15 m	< 13 m
K_2 szabályozó (1) és (2) szerint	< 3 m	< 8 m

1. táblázat: maximális követési hibák 4-4 kísérlet alapján, a csatlakozási manőverek hibáit nem számítva

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérletekkel igazolható, hogy néhány méteres követési távolsággal megvalósítható egy automatizált járműoszlop, melyben a szabályozószoftver a radar, GPS és egy járműközi kommunikációs eszközön felül csak a mai, korszerű járműveken már elérhető szabványos szolgáltatásokra épít.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKTH TECH-08-2/2-2008-0088 pályázat finanszírozásával valósult meg. ●

IRODALOM

- [1] D.V.A.H.G. Swaroop. String Stability of Interconnected Systems: An Application to Platooning in Automated Highway Systems. PhD thesis, University of California at Berkeley, 1994.
- [2] L. Nouveliere, S. Mammar. Experimental vehicle longitudinal control using a second order sliding mode technique. Control Engineering Practice 15 (2007) 943–954.
- [3] J.C. Gerdes, J.K. Hedrick. Vehicle speed and spacing control via coordinated throttle and brake actuation. Control Engineering Practice 5 (1997) 1607–1614.
- [4] R. Rajamani. Vehicle dynamics and control. Springer, Mechanical Engineering Series. 2006.

Eltérő dinamikájú járművek oszlopban való irányítása zavarások és késések figyelembevételével

MIHÁLY ANDRÁS

BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

DR. GÁSPÁR PÉTER
MTA-SZTAKI

A cikk egy heterogén összetételű járműoszlop irányítástervezési módszerét ismerteti. A járműmodell és a szabályozási kritériumok rövid áttekintése után a megvalósítás során jelentkező késedelmek és környezeti zavarások által okozott hosszirányú dinamikai lengések kiküszöbölése kerül bemutatásra. Ennek kivitelezésére többféle irányítási stratégia kerül alkalmazásra és értékelésre. Az egyes irányítási eljárások szemléltetése TruckSim szimulációs környezetben történik.

The paper focuses on the design of a platoon control system with diverse vehicle formation. After a brief summary of the vehicle model and the control criteria, the paper demonstrates methods for eliminating the longitudinal oscillations caused by the communication and actuator delays and environmental disturbances. The realization and evaluation will be done with divers control strategies. These control methods are demonstrated in TruckSim simulation environment.

BEVEZETÉS

Az oszlopban haladó járművek irányítása azt a jellegzetes forgalmi szituációt kísérli meg automatizálás által biztonságosabbá és költséghatékonyabbá tenni, amikor több jármű, hosszú távon, azonos útszakaszon halad. Az oszlopban haladó járművek esetén a cél a minél kisebb követési távolság megvalósítása. A járművek közötti kommunikáció, így az egyidejű fékezés és gyorsítás lehetőségének kihasználásával a követési távolság akár 0,5–5 méter közöttre választható. A követő járművek számára ez kisebb torlónyomást jelent, ami a fogyasztás csökkenéséhez és ezzel összefüggésben a károsanyag- valamint CO₂-kibocsátás visszaszorításához vezet. A kisebb követési távolságok és egyenletesebb sebességtrajektóriák további pozitív hozadéka az akár két-háromszor nagyobb forgalmi kapacitás adott útszakaszon, így a torlódások elkerülésével a közlekedés externális költségei is csökkennek. Az automatizálás által tehermentesíthetők a vezetők és elkerülhetők az emberi hibák okozta balesetek, de az egyenletesebb haladás a kényelemre is pozitív hatással van. A biztonság növelésére a felvezető járművet speciálisan képzett sofőrök vezetik a rendelkezésre álló összes passzív és aktív biztonsági technológia segítségével [1,3].

A konvoj irányításával szembeni követelmények közül a legfontosabb a biztonság garantálása. A járműoszlop haladása során az egyes járművek hatékony és megbízható üzemét, valamint a járműoszlop és környezetének biztonságát a teljes futás során garantálni kell. Nagyszámú és különböző jellegű szituáció veszélyeztetheti a konvoj biztonságát [2].

Normál üzemi körülmények között is adódhatnak kritikus forgalmi szituációk. A konvojhoz való csatlakozás vagy kilépés, egy sávváltás kivitelezése vagy akár a vezető jármű hirtelen fékezése is balesetveszélyes lehet, így ezeknek az elemzésre létfontosságú a tervezés során. Az útpálya felületének változása eltérő tapadást eredményezhet a konvojban részt vevő járművek számára, ami különösen fékezés során okozhat instabilitásokat.

A konvojnak robusztusnak kell lennie a különböző jellegű meghibásodásokra is. Ez lehet egy kerék defektje vagy más mechanikai elem meghibásodása, ami hirtelen megállásra kény-

szerítheti a konvoj valamelyik tagját. A szenzorok és aktuátorok hibás működéséből származó téves adatokat és beavatkozásokat redundancia alkalmazásával lehet kiküszöbölni. Azoknál az irányítási stratégiáknál, ahol járművek közötti kommunikáció szükséges, a kommunikáció késedelmek és az esetleges adatvesztés okozhat romlást a konvoj teljesítményében.

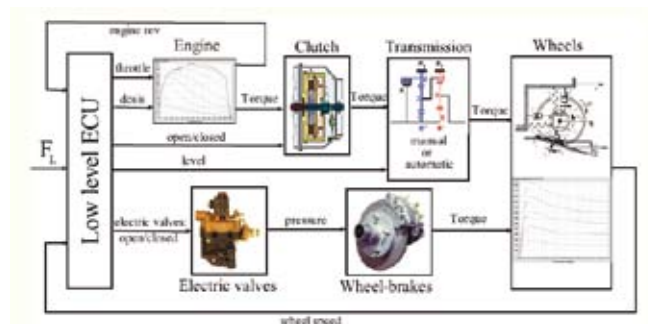
Nagyon fontos követelmény a már bekövetkezett balesetek megfelelő kezelése, különösen a vezető jármű hirtelen lassulását eredményező baleset lehet kritikus.

Azoknál az irányítási stratégiáknál, ahol a megelőző jármű adatai mellett a vezető jármű vagy „r” számú megelőző jármű adatai is a szabályozó bemeneteit alkotják, a szaturáció jelensége is balesetveszélyes lehet. Ennek illusztrálására alábbiakban ennek a kritikus baleseti forrásnak az elemzésével foglalkozunk.

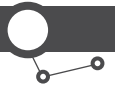
OSZLOPBAN HALADÓ JÁRMŰVEK IRÁNYÍTÁSA

Járműmodell

A járművek hosszirányú irányítására egy egyszerűsített járműmodellt célszerű bevezetni. Tekintve, hogy a szabályozó algoritmus kimenete a konvojban irányított jármű számára előírt gyorsulás, az alsó szintű irányítás során ennek megfelelő fizikai beavatkozókat kell vezérelni (lásd **1. ábra**). A jármű gyorsulásának beállítására a



1. ábra: a szabályozó által kivezért erő megvalósítása



motor pillangószelep-állását és a féknyomást használjuk. Az egyszerűsített járműmodell megfelelő elhanyagolásokkal, linearizálásokkal pontosan meghatározhatóvá teszi az előírt gyorsuláshoz szükséges beavatkozó állapotokat.

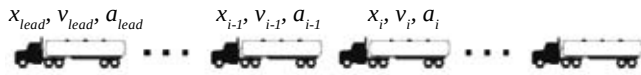
Megfelelő paraméterezéssel különböző jellemzőkkel bíró járművekre is érvényes a modell, így a konvoj stabilitását biztosító szabályozó az egyes járművek dinamikájától függetlenül tervezhető.

Irányítás

A konvoj szabályozása során kétféle stabilitási feladatot szükséges megoldani. Ennek meghatározására először definiáljuk a járművek közötti követési hibát a következőképpen:

$$e_i = x_i - x_{i-1} + L_{des} \quad (1)$$

ahol x_i az aktuális, x_{i-1} a megelőző jármű pozíciója, L_{des} pedig az előírt követési távolság (lásd **2. ábra**).



2. ábra: járműoszlop indexelése

Az egyedi járműstabilitás szerint a konvojban haladó járműveknek képesnek kell lenniük a megelőző jármű bármilyen korláts gyorsulás- és sebességprofilját követni korláts követési és sebességhibával. A megelőző jármű állandó sebességű haladása esetén a követési hibának nullához kell konvergálnia.

A teljes járműoszlop stabilitására az úgynevezett string stabilitási feladatot kell megoldani. Ekkor a konvoj elején keletkező követési hiba – például a vezető jármű hirtelen fékezése miatt – nem növekszik a járműoszlop mentén a később érkező járművek irányában. Ezzel elkerülhető a konvojon belüli ráfutásos ütközés, de a menetkényelem is javul. A string stabilitás norma feltétele:

$$\|e_i\|_{\infty} \leq \|e_{i-1}\|_{\infty} \quad (2)$$

A követési hiba terjedésére vonatkozó átviteli függvény:

$$H(s) = \frac{e_i}{e_{i-1}} \quad (3)$$

Ezzel a string stabilitás teljesül, amennyiben a következő két feltétel fennáll az átviteli függvényre és a hozzá tartozó súlyfüggvényre:

$$\|H(s)\|_{\infty} \leq 1 \quad h(t) > 0 \quad \forall t > 0 \quad (4)$$

Egy lehetséges irányítási stratégia

A konvoj irányítása eltérő stratégiák mentén történhet. A két fő módszer az állandó távolságok és az állandó követési idők módszere. Előbbinél a járművek közötti megkívánt követési távolság független a járműoszlop sebességétől. Utóbbinál a követési idő állandó, így a sebesség függvényében változik a követési távolság.

Az irányítási stratégia a szabályozó bemeneteit is meghatározza. Az itt vizsgált szabályozó a vezető jármű és a megelőző jármű pozíció-, sebesség- és gyorsulásadatait használja fel konstans

távolság tartására [1]. A fedélzeti érzékelők így ehhez az irányítási stratégiához nem elegendőek, a járművek közötti kommunikációra is szükség van. A szabályozó algoritmus:

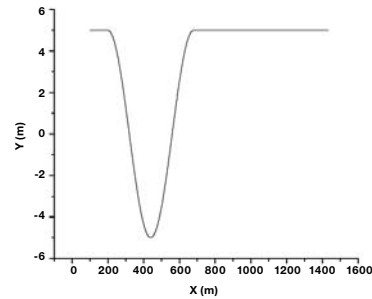
$$u_{isl} = \frac{1}{1+q_3} [\ddot{x}_{i-1} + q_3 \ddot{x}_i - (q_1 + \lambda) \dot{e}_i - q_1 \lambda e_i - (q_4 + \lambda q_3)(\dot{x}_i - \dot{x}_1) - \lambda q_4 (x_i - x_1 + \sum_{j=1}^i L_j)] \quad (5)$$

ahol u_{isl} a szabályozott jármű előírt gyorsulása, x_1 , $\dot{x}_1$, $\ddot{x}_1$ a vezető jármű pozíciója, sebessége és gyorsulása. A súlyozó tényezőket a string stabilitás biztosítására például a következőképpen választhatjuk: $q_1=0.8$, $q_3=0.5$, $q_4=0.38$, $\lambda=1$.

KÖRNYEZETI ZAVARÁSOK ÉS KÉSÉSEK FIGYELEMBEVÉTELE A TERVEZÉSBEN

A bemutatásra kerülő 60 másodperces szimulációban a járművek közötti kommunikáció során a mintavételezési idő 100 ms, így a jelátvitel késedelmé jelentősnek mondható. Lassítás esetén a járművek fékrendszerének 30 ms-os késésével kell számolni, míg gyorsításnál a váltások átlagosan 20–30 ms-os lefutása és a szabályozó által előírt gyorsulás eléréséhez megkívánt fordulatszám felépítésének késése okozhat lengéseket a konvojban.

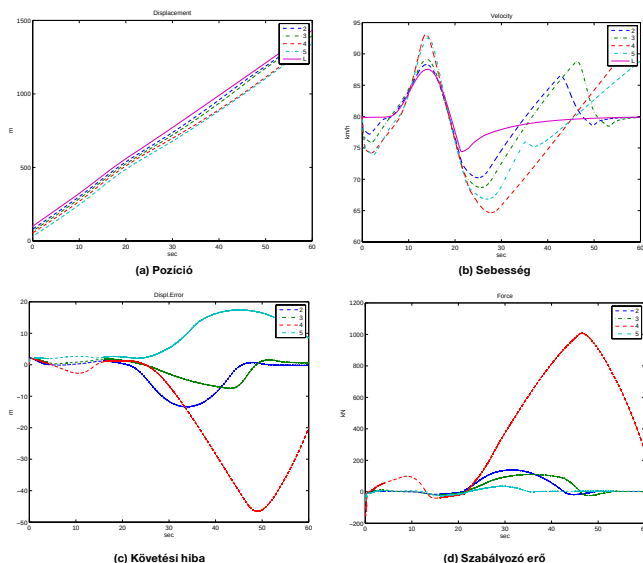
A konvoj stabilitását szintén károsan befolyásolja az útpálya emelkedése és lejtése (lásd **3. ábra**). Az emelkedési szög a szimulációban meghaladja a 4%-ot, ami nehézgépjárművek számára komoly ellenállást jelent.



3. ábra: az útpálya lejtése és emelkedése

A szimulációs példában a konvojban részt vevő járművek eltérő méret-, tömeg- és teljesítményjellemzőkkel bírnak. A vezető jármű tömege 13 332 kg, hossza 12,1 m, motorjának teljesítménye 330 kW, míg a nyomatékokot hétfokozatú nyomatékváltó fix 6. fokozata juttatja a kerekekhez. A 2. és a 3. jármű tömege 12 551 kg, hosszuk 5 m és motorjuk teljesítménye 175 kW, az erőátvitelről hétfokozatú automata váltó gondoskodik. A 4. jármű tömege 26 019 kg, hossza 15,356 m, motorjának teljesítménye 300 kW, ami hétfokozatú automata váltóhoz csatlakozik. Az 5. jármű tömege 10 690 kg, hossza 4,49 m, motorjának teljesítménye 175 kW, a nyomatékváltó típusa hétfokozatú automatikus. A konvoj járművei közötti megkívánt követési távolság a szimulációban 7,9 m.

A különböző dinamikai jellemzőkkel bíró nehézgépjárművekből szervezett konvoj esetén a jelátvitel és az aktuátorok késése mellett szaturáció lépett fel a követő járműveknél, miközben a vezető jármű sebességtartó automatika segítségével igyekezett a beállított 80 km/h-s sebesség tartásában. A rosszabb tömeg/teljesítmény aránnyal rendelkező járművek az emelkedőn vagy a gyorsítások során nem képesek a szabályozó által kivezért gyors-



4. ábra: szimulációs eredmények heterogén konvojra

sulást elérni, így a megkívánt követési távolságot sem képesek tartani. A leszakadás miatt a követő jármű szabályozója a vezető járműtől való távolodás miatt a kelleténél nagyobb gyorsulást ír elő, így a követő jármű nagymértékű leszakadás esetén ráfut a leszakadó járműre. A 4/d ábrán jól látható, hogy jelentős tömege miatt a 4. jármű számára túl nagy az előírt gyorsulás tartásához szükséges erő. Ezért ennél a járműnél szaturáció lép fel, vagyis nem képes az előírt gyorsulást tartani, ezért leszakad a konvojtól. A jelentősen megnőtt negatív előjelű követési hiba (lásd 4/c) mutat rá a leszakadásra, ami miatt az 5. jármű szabályozója a kelleténél nagyobb gyorsulási értéket ír elő, így ráfut a 4. járműre.

2.1. Ráfutás megelőzése a járművek sorba rendezésével

Mint láttuk, a string stabilitást biztosító szabályozó sem képes a jelátviteli és aktuátor késések, valamint az inhomogén járműpark és útpálya emelkedése miatt fellépő szaturáció jelenségét kezelni. A szaturáció és az emiatt szükségszerűen fellépő leszakadás kezelésének egyik triviális módja a járművek dinamikai képességeik szerinti sorba rendezése. Ha a szimulációban felcseréljük a jelentős tömege miatt az emelkedőn leszakadó 4. járművet az 5. járművel, akkor abban az esetben a vezető járműtől való leszakadás esetén sem történik ráfutás. Az 5. ábra diagramjairól leolvasható, hogy az utolsó helyre sorolt, legrosszabb dinamikai jellemzőkkel rendelkező jármű leszakadása továbbra is jelentős, ám követő jármű híján nem okoz ráfutásos balesetet. Ennek a módszernek a hátránya, hogy a járművek megfelelő sorba rendezése nem mindig kivitelezhető. A szállítmány függvényében ugyanis jelentősen módosulhat a járművek dinamikája, de az útpálya geometriája és a vezető jármű sebessége is befolyásolhatja a járművek aktuális dinamikai jellemzőit. Ugyancsak hátrányos, hogy a módszer alkalmazása nem biztosítja a konvoj egyben maradását, ami balesetveszélyes forgalmi szituációkat idézhet elő és a járműcsoport ismert előnyeit is degradálja. A módszer előnyeként könyvelhetjük el, hogy a szabályozó algoritmus módosítása nélkül előzhetjük meg a ráfutásos baleset kialakulását.

2.2. Ráfutás megelőzése a vezető jármű sebességének módosításával

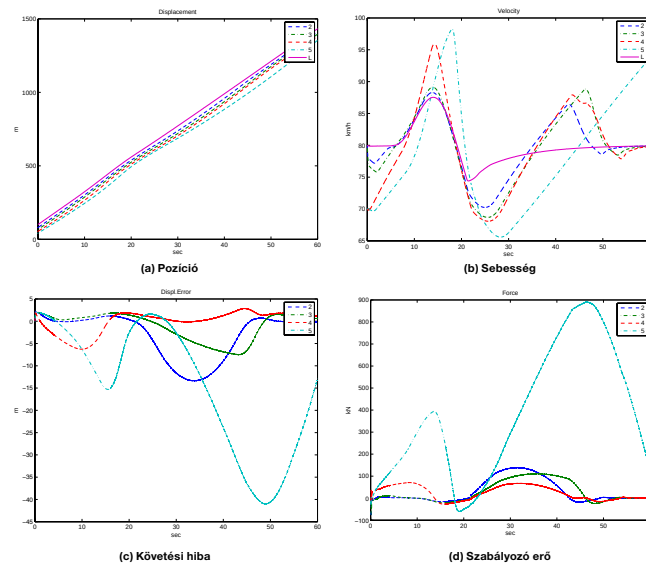
Az irányítási feladatban alapvető szerepet játszanak a járművek közötti kommunikációs módszerek. Az információ gyűjtésére GPS-vevő, WiFi-modul és CAN járműkommunikációs csatorna szolgál. A járműoszlop irányítástervezése során figyelembe kell

venni a kommunikációs hálózat késleltetéseit és a lehetséges adatvesztéseket. Minél nagyobb a kommunikációs csatorna mintávelezési ideje (jelen esetben 100 ms), annál nagyobbra kell választani a konvoj járművei között a követési távolságot.

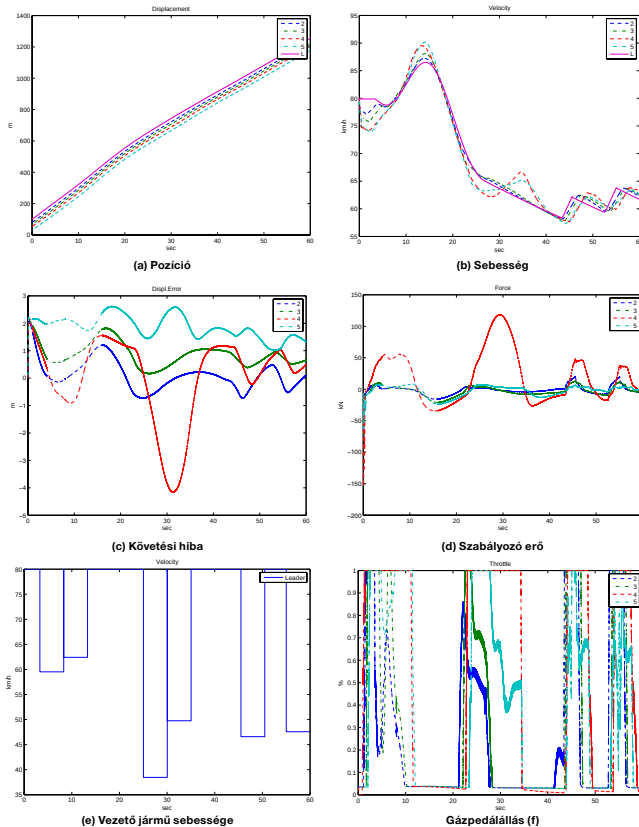
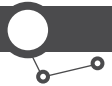
A következő stratégia alkalmazásakor a vezető járművel való kommunikáció kétirányú, így a pozíció, sebesség és gyorsulás-adatok megbízhatósága és pontossága kiemelten fontos. A követő járművek szaturáció miatt bekövetkező leszakadását a vezető jármű sebességének mérséklésével akadályozzuk meg. A szimulációs példában a gázpedálállás (pillangószelep nyitási szöge) szolgál a szaturáció detektálására. Amennyiben valamelyik követő jármű teljesen nyitott pillangószeleppel halad több mint két másodpercen keresztül, abban az esetben automatikusan üzenetet küld a vezető járműnek a sebesség mérséklésére. A vezető jármű újonnan beállított sebességét tehát az éppen szaturáló jármű határozza meg aktuális sebességi és gyorsulási állapotának megfelelő súlyozásával (lásd 6/e diagram). A vezető jármű a módosított sebességet öt másodpercig követi, majd amennyiben a követő járművek között megszűnik a szaturáció, úgy visszaáll a sebességtartó automatikával eredetileg beállított sebesség tartására.

Mint a 6/d ábráról leolvasható, a vezető jármű sebességének megfelelő korrigálásával a szaturáló 4. jármű számára kivezérelt maximális erő közel egy nagyságrenddel kisebb, így a szaturáció ideje és mértéke is jelentősen csökken. Ennek köszönhetően a leszakadás nagysága is egy nagyságrenddel kisebb lesz, így az 5. jármű nem fut rá az előtte lévőre. A 6/c ábrán jól látható, hogy a 4. jármű maximális leszakadása körülbelül 4 m, miközben az 5. jármű az előírtnál közelebb kerül hozzá. Mindeközben a konvoj sebessége az eredeti 80 km/h-ról 60 km/h alá csökken az emelkedőn, és a vízszintes szakaszon való intenzív gyorsítás is többször megszakad a követő járművek szaturációja miatt.

Ennek a stratégiának egyik legnagyobb előnye, hogy a konvoj feloszlata nélkül sikerül kiküszöbölni a ráfutásos balesetet előidéző leszakadást. Emiatt a konvojba rendezés összes előnye megmarad az emelkedőn, és a feloszlata elkerülésével a konvoj újraegyesítésének nehézségeitől is el lehet tekinteni. A módszer hátránya a kétirányú kommunikáció alkalmazásának szükségessége, ami valamelyest megbonyolítja az irányítás kivitelezését. További nehézséget jelenthet a vezető jármű sebességének külső korrigálása, ami a sofőrben bizonytalanságot kelthet.



5. ábra: szimulációs eredmények járművek sorba rendezésével

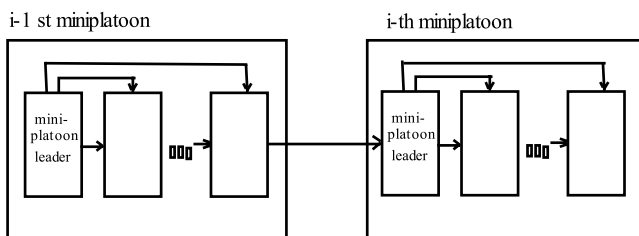


6. ábra: eredmények a vezető jármű sebességének módosításával

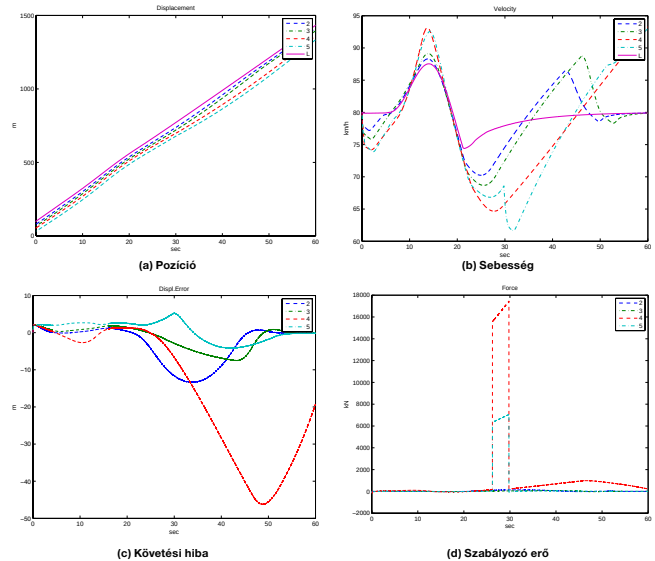
2.3. Ráfutás megelőzése a járműoszlop felosztatásával

A következő irányítási stratégia az úgynevezett mini-platoon struktúrán alapszik [1]. Ebben az elrendezésben a járműoszlop több egymást követő szakaszra oszlik, ahol a megelőző szakasz utolsó járműve lesz a referenciájárműve a következő szakasznak (lásd 7. ábra).

Ebben a szimulációs feladatban a szaturáció detektálására a követési hiba nagysága szolgál. Amennyiben a leszakadás az előírt követési távolságtól meghaladja a három métert legalább két másodpercen keresztül, abban az esetben kerül detektálásra szaturáció. A szaturáló és a konvojtól leszakadó jármű leválik a megelőző járművektől és új konvojt alakít.



7. ábra: mini-platoon irányítási struktúra



8. ábra: szimulációs eredmények a járműoszlop felosztatásával

Ebben az esetben a fent leírt mini-platoon stratégia szerint a szaturáló jármű a közvetlenül előtte haladót tekinti vezető járműnek, míg a sorban mögötte lévőknak új vezető járművévé válik. A szimulációfeladatban először a 2. jármű szaturál és alakít új konvojt a 27,4-edik másodpercben. Nem sokkal később, a 31,1-edik másodpercben a 4. jármű is leválik és új konvojt alakít, így az emelkedő végén már három szakaszra oszlik az eredeti járműoszlop. Mint a 8. ábrán jól látható, az eredeti konvojfelállítás szerinti követési hibák (vagyis leszakadások) jelentősek, ám a mini-platoon stratégia alkalmazásával a ráfutások elkerülhetők. A módszer hátránya az eredeti konvoj felosztatása, ám előnyként könyvelhető el az egyszerű megvalósíthatóság.

ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben a konvoj káros és balesetveszélyes hosszirányú lengéseinek kiküszöbölésére három irányítási stratégia került bemutatásra. A járművek dinamikai képességük szerinti sorba rendezésével és a járműoszlop mini-platoon stratégia alapján való felosztatásával a szaturáció miatti leszakadás ellenére a ráfutásos baleset kiküszöbölhető, de a konvoj szétválása számtalan újabb biztonsági problémát vet fel, ahogy a konvoj újraegyesítése is kihívást jelenthet. A konvoj járműveinek szaturációját és az ebből következő ráfutásos balesetek kialakulását a legbiztonságosabb módon a vezető jármű sebességének korrigálásával akadályozhatjuk meg.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKTH TECH-08-2/2-2008-0088 pályázat finanszírozásával valósult meg. ●

HIVATKOZÁSOK

- [1] Swaroop, D. and J. Hedrick (1996). String stability of interconnected systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 41, 349–357.
- [2] Rajamani, R., H.S. Tan, B.K. Law and W.B. Zhang (2000). Demonstration of integrated longitudinal and lateral control for the operation of automated vehicles in platoons, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 8, 695-708.
- [3] Passenberg, B., P. Kock and O. Stursberg (2009). Combined time and fuel optimal driving of trucks based on a hybrid model, European Control Conference, Budapest.

Gépjárművezetők, kamionok és utak egymásra hatása a járműbiztonsági rendszerek által detektált kritikus helyzetek tükrében

**FAZEKAS ZOLTÁN
BIRÓ ZSOLT
DR. GÁSPÁR PÉTER**

MTA SZTAI

Rendszer- és Irányításméleti
Kutatólaboratórium

KOVÁCS ROLAND

Knorr-Bremse
Fékrendszerek Kft.

A járműbiztonsági rendszerek által detektált kritikus helyzetek a közlekedési események fontos részét képezik. Az ilyen rendszerekkel felszerelt járművek forgalomban mozgó mérőszondaként is felfoghatók. A belőlük nyert adatok betekintést nyújtanak a vizsgálatba bevont útvonalak és környékük forgalmi, valamint forgalombiztonsági állapotába. Az adatok alkalmasak a közlekedési incidenseken alapuló úgynevezett másodlagos biztonsági kiértékelési módszertan (SSAM) szerinti feldolgozásra is. Jelen cikkben a járműbiztonsági adatokat statisztikai és szintaktikus módszerekkel is vizsgáltuk.

Vehicular emergencies constitute an important slice of road transport events. Trucks equipped with on-board vehicular safety systems can be seen as probes moving in the road traffic. Data received from these trucks provide useful insight into the traffic and traffic safety situation of the area. The data is well-suited for the surrogate safety assessment methodology (SSAM). In the paper, some statistical and syntactic methods are used and some more interesting findings are reported.

BEVEZETÉS

Gyakorlatilag azóta, hogy a gépjárművek átvették a közúti szállítási feladatokat az emberi, illetve állati erővel hajtott közúti szállítóeszközöktől, a közlekedésbiztonság egyre súlyosabb problémát jelent. Egyre súlyosabb problémát jelent elsősorban is maguknak a közlekedőknek (köztük a gépjárművezetőknek), a közlekedési és szállítmányozási cégeknek, járműgyártóknak (köztük a kamionok gyártóinak), az országos, illetve helyi közlekedési szerveknek, valamint a közlekedésbiztonsággal foglalkozó nemzetközi szervezeteknek. Ismert, hogy számos körülmény alakítja a forgalom térbeli-időbeli viszonyait. E körülmények túlnyomórészt a közúti balesetek létrejöttének valószínűségét is befolyásolják; ilyen befolyásoló tényező például az adott évszak, a napszak, az aktuális időjárási viszonyok, valamint, hogy az adott nap munkanap, pihenőnap, vasárnap vagy ünnepnap. Lényeges befolyásoló tényező továbbá az adott út jellege, karbantartottsága. A közutak biztonságát, pontosabban éppen annak hiányát, az ott adott idő alatt bekövetkező balesetek számával szokták jellemezni; innen adódnak a „halálút”, „halálkanyar” és más hasonló elnevezések, amelyek mindenki számára szomorúan ismerősek. A már bekövetkezett balesetekre vonatkozó adatok statisztikai elemzése mellett a közlekedésbiztonsággal foglalkozó szakemberek számos más modellezési technikát is használnak az egyes útszakaszok, csomópontok veszélyességének becslésére, valamint a baleseti számok előrejelzésére. Gyakran használják például az ismertnek tekintett forgalomsűrűségi adatokból számított baleseti valószínűségi becslőket. E becslők alternatívájaként jöttek létre és kerültek használatba a detektált közlekedésbiztonsági incidensekből, konfliktushelyzetekből számított közlekedésbiztonsági jellemzők. E jellemzőket tehát akár mérési adatokra, akár forgalomszimulációs futtatási eredményekre vonatkozóan ki lehet számítani.

KAMIONTRAJEKTÓRIÁK, VALAMINT JÁRMŰDINAMIKAI ADATOK GYŰJTÉSE

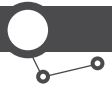
Valamely cég kamionflottájának gépjárműveit – a rajtuk elhelyezett GPS és inerciális érzékelőkkel egyetemben – tekinthetjük a forgalomban mozgó mérőszondáknak, melyekkel a forgalomra, illetve a forgalom biztonságára vonatkozó méréseket végezhetünk. E szondák értékes mérési adatokkal szolgálhatnak a bejárt útvonal és környezetének forgalmi, forgalombiztonsági helyzetéről. A járművezetők észlelve a veszélyesnek tűnő forgalmi helyzetet valamilyen kormány, fék stb. beavatkozással próbálják elkerülni az ütközést, a balesetet. E beavatkozásuk esetenként a jármű irányíthatósága, stabilitása szempontjából hátrányos következménnyel jár; e helyzeteket detektálják a fedélzeti biztonsági rendszerek, s szükség esetén beavatkoznak. Konkrét példaként a kamionok gépjárművezetői által kezdeményezett vészfékezés említhető. A fékrendszerre kerülő beavatkozási jelet az ABS-rendszer módosítja, kivédve ezzel a kamion megcsúszását. Az ABS-események nagy száma a bejárt útvonal, az adott kereszteződés, útszakasz, ill. ezek



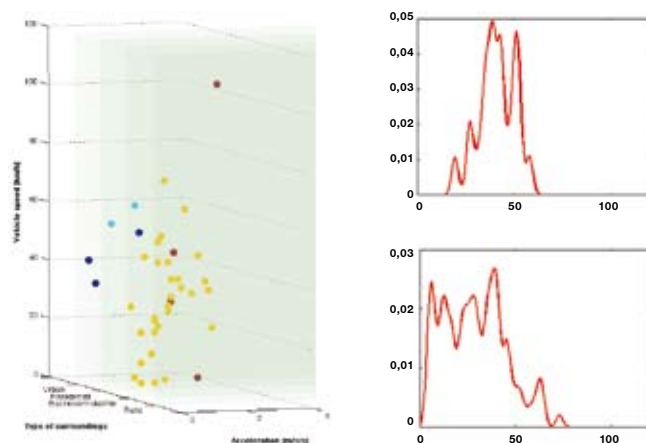
a. Kamiontrajektória-részlet, rajta egy detektált vészfékezéssel

b. Egy kamionra vonatkozó napi szállítási címek

1. ábra: egy szállítmányozási cég egyik kamionjának elemzése



környezetének közlekedésbiztonsági problémáira utalhatnak. Megjegyzendő, hogy a közúti baleseteket nem minden esetben előzi meg vészfékezés, sőt esetenként egyetlen járműbiztonsági rendszer sem jelzi előre az ütközést vagy a balesetet, egyetlen rendszer sem észlel a mechanikai értelemben vett kritikus szituációt. Ennek dacára úgy véljük, hogy a vészfékezések, ill. a járműbiztonsági rendszerek által detektált további kritikus helyzetek igen is szolgálhatnak közúti biztonsági felmérések, ellenőrzések, illetve baleseti előrejelzések kiinduló adataiként. Az **1. a ábrán** egy kamion útvonalának egy rövid szakasza látható a Google Earth számítógépes alkalmazással megjelenítve. A megjelenített útvonalon egy, a kamion egyik fedélzeti elektronikus gépjármű-biztonsági rendszere által detektált veszélyhelyzetet is megjelöltük.



a. Kamionok városi, ipari és egyéb környezetekben

b-c. ABS események sebesség függvényében

2. ábra: kamionok vészfékezés kezdetekor mért járműsebessége különböző szociokulturális környezetekben

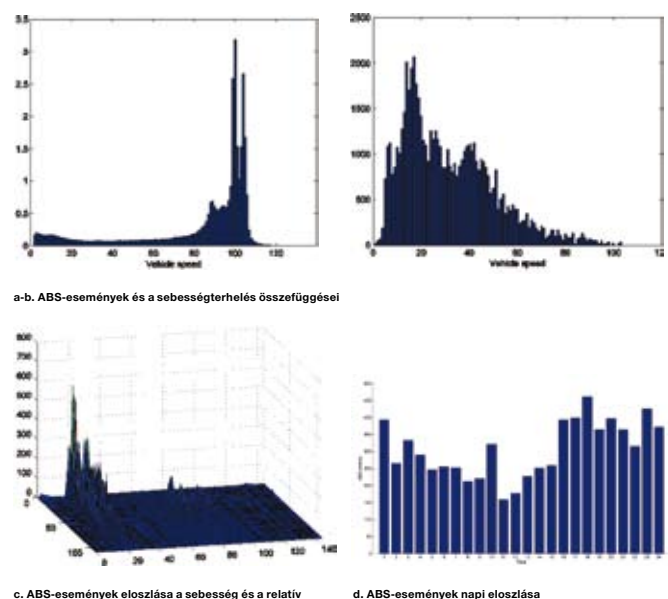
Az **1. b ábra** illusztratív példát mutat egy szállítványozási cég egyik kamionja által egy nap alatt megtett útra, konkrétan az érintett szállítási címekre.

Más vonatkozásban is fontosak és hasznosak lehetnek a járműbiztonsági rendszerek által szolgáltatott adatok. Ismert ugyanis a közúti teherfuvarozó cégek azon szándéka, hogy ellenőrizzék a gépjárműflottájukhoz tartozó járművek menetlevél szerinti, a cég számára nyereséges, előnyös felhasználását. Ennek kapcsán meg szokták vizsgálni a kamionok aktuális vagy valamilyen módon rögzített térbeli, időbeli trajektóriáit. A befutott útvonalak ellenőrzésének fontos lépése a trajektóriaadatok képi megjelenítése pl. a Google Earth alkalmazással, vagy más konkrétan erre a célra fejlesztett számítógépes alkalmazással. Az ismert korszerű útvonal-ellenőrző számítógépes rendszerek, ill. számítógépes alkalmazások elsősorban a nagyobb cégek számára hozzáférhetőek; kisebb cégek esetében a gépi, vagy géppel segített útvonal-ellenőrzés többnyire még nem teljesen megoldott. Figyelembe véve a már említett közlekedésbiztonsági, ill. a kamionútvonal-ellenőrzési feladatok adatigényeit, az adatgyűjtésre kiválasztott kamionflotta járműveinek trajektóriaadatai mellett több más, a megfigyelt járművek mozgására vonatkozó adat mérését és begyűjtését is elvégeztük. A méréshez a kamionok inerciális szenzorait, az adatgyűjtéshez pedig a fedélzeti elektronikus gépjárműbiztonsági rendszereket, valamint a járművek CAN-hálózatára csatlakozó adatgyűjtőt használtuk. E biztonsági rendszerek észlelik a gépjármű mechanikai értelemben vett veszélyhelyzetét, pl. a megcsúszással fenyegető hirtelen fékezést, vagy a jármű felborulását okozó hirtelen kormányzást, vagyis azon helyzeteket, amelyben a jármű kormányozhatósága, stabilitása kritikus helyzetbe kerül.

A mérési adatok kétféle üzemmódban kerültek rögzítésre és összegyűjtésre: egyrészt egy állandó, viszonylag alacsony mintavételezési frekvenciával normál üzemi helyzetben, valamint a gépjármű-biztonsági rendszerek (ABS, ESP és RSP rendszerek) által detektált kritikus mozgási, mechanikai helyzetekben, vagyis vészhelyzetekben [2]. Normál üzemmódban rögzítésre került egyebek közt a kamion aktuális földrajzi pozíciója, sebessége, valamint aktuális tömege (rakománnyal együtt). A vészhelyzeti mintavételezés esetében a rögzített adatok köre bővebb, az előbbieken felül rögzítésre kerülnek pl. a szándékolt és a tényleges féknyomások, valamint az oldalgyorsulás. A gyűjtött mérési adatokat egy ún. trajektória- és fékezési adatbázisba (TFAB) szerveztük. A TFAB-ban tárolt adatokon különféle utólagos feldolgozási lépéseket végeztünk. Így pl. virtuális módon megneveztük és kategorizáltuk a detektált vészhelyzetek helyszíneit. A TFAB-ban tárolt adatok felhasználhatók a járművezetők, a járművek, valamint az utak közötti statisztikai kapcsolatok, összefüggések detektálására és jellemzésére. E kapcsolatok, összefüggések mind a közlekedésbiztonsági, mind az útvonal-ellenőrzési kontextusban fontosak.

TRAJEKTÓRIA ÉS FÉKEZÉSI ADATOK ELEMZÉSE MATEMATIKAI STATISZTIKAI, VALAMINT FORMÁLIS NYELVI MÓDSZEREKKEL

Számos statisztikai elemzést végeztünk a járművezetők, a kamionok, az utak, valamint ezen entitások egymásra hatásának vizsgálata során. Elemzéseink egy része matematikai értelemben egyszerűbb, másik része pedig matematikailag igényesebb módszerekre alapult. Ez utóbbiak közé sorolhatók pl. a többdimenziós eloszlások meghatározása, valamint a klaszteranalízis. A vizsgálatok alapjául a TFAB-ban tárolt adatok szolgáltak. A **2. ábra** a járműsebesség és az ABS-események közötti összefüggések vizsgálatára mutat példát. A **2. a ábra** az ABS-eseményt jellemző kezdeti sebesség, az elért lassulás, valamint a városi és kereskedelmi/ipari környezet összefüggését mutatja. A **2. b** és **2. c** ábrák a városi, illetve az ipari/kereskedelmi övezetekre jellemző sebességeloszlást illusztrálják.



c. ABS-események eloszlása a sebesség és a relatív terhelés függvényében

d. ABS-események napi eloszlása

3. ábra: kamionok ABS-eseményeinek tapasztalati eloszlása a járműsebesség és relatív terhelési állapotának függvényében

A vizsgált flotta járműveinek mechanikai paraméterei az időben változnak. Erősen ingadozik pl. a szállított áruk mennyisége, tömege. A **3. ábrán** az ABS-események tapasztalati eloszlását jelenítettük meg a járműsebesség (0–140 km/s), valamint a kamionok relatív terhelési állapotának (0–100%) függvényében. Az ABS-események napi ingadozását a **3. d ábra** érzékelteti. A vizsgálati eredményekre mutat további példákat a [1] publikáció.

Az utak vonatkozásában részint az út geometriájára (enyhén/erősen kanyarodó, ill. egyenes útszakasz), a detektált eseményhez (pl. vészfékezéshez) közeli közlekedési szempontból releváns helyek, műtárgyak (pl. parkoló, kereszteződés) meglétére, ill. típusára, valamint az utat körülvevő szociokulturális (városi, parkvárosi, ipari stb.) környezetre vonatkozó vizsgálatokat is végeztünk. Vizsgáltuk mennyire általánosíthatóak a detektált trendek, egymásra hatások.



a-b. Trajektóriarészlet a detektált mozgásszakaszokkal



c. A trajektóriarészlet környezete



d. Az üzemanyag-töltő állomás Google StreetView képe

4. ábra: kamion mozgásszakaszai egy üzemanyag-töltő állomásra történő beállás során

A kamiontrajektóriák térbeli, időbeli jellemzőinek figyelembevételével detektálhatók a jármű- és szállítmánybiztonsági szempontból kritikus álló, ill. kis sebességű trajektóriaszakaszok. E szakaszok többnyire olyan manőverekhez kapcsolódnak, mint parkolás, beállítás szűk parkoló/rakodó helyre, be-, ill. kirakodás, benzinkútnál történő üzemanyag-tankolás. A **4. ábra** egy kamion mozgásszakaszait mutatja egy üzemanyag-töltő állomásra történő beállítás során. A jármű mozgásainak jellemzésére egy leíró nyelvet javasoltunk [3].

A TRAJEKTÓRIA ÉS FÉKEZÉSI ADATOK KOMPLEX INFORMÁCIÓS RENDSZEREKBE TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSA

A TFAB-ban tárolt közlekedési, ill. közlekedésbiztonsági szempontból releváns adatok teljesebb felhasználásához célszerű az adatbázist szélesebb kontextusba helyezni, például szállítási információs rendszerbe, vagy akár a teljes üzleti vertikumot lefedő, azt kezelő rendszerbe integrálni. Az ilyen szélesebb adat-környezetbe integrált TFAB például olyan adatlekérdezésre adhat választ, mint hogy mekkora az átlagos szállított hasznos tömeg egy adott kamionon azon manőverek (pl. sávváltás, kanyarodás, körforgalomban való mozgás) esetén, amelyek valamilyen, a járműbiztonsági rendszerek által detektált kritikus helyzetet (pl. a jármű felborulásával fenyegető mozgási helyzetet) eredményeztek.

AZ EREDMÉNYEK FELHASZNÁLÁSA

A fedélzeti gépjármű-biztonsági rendszerek szolgáltatott adataiból kibontakozó statisztikai eredmények felhasználhatóak útszakaszok, csomópontok, körforgalmú csomópontok, valamint autópályára bevezető, ill. onnan kivezető útszakaszok, forgalmi, ill. forgalombiztonsági egymásra hatásának vizsgálatára. A TFAB adatainak statisztikai elemzése hozzájárulhat közlekedésbiztonsági szempontból veszélyeztetett útszakaszok, keresztezések felderítéséhez, s az ezekre vonatkozó információknak a kamion-gépjárművezetők, valamint a forgalom más résztvevőkhöz való eljuttatásához (pl. az elterjedt navigációs eszközök, ill. programok segítségével). A forgalmi adatok által érintett cégek számára a TFAB lehetőséget nyújt az útvonalak számítógéppel segített ellenőrzésére. A cégek továbbá az adatokból levont következtetéseket alternatív, ill. preferált útvonalak kiválasztásához is felhasználhatják, sőt a flotta gépjárműveire vonatkozó belső utasításokkal sebességkorlátozásokra szoríthatják a gépjármű-vezetőket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKTH TECH-08-2/2-2008-0088 pályázat finanszírozásával valósult meg. ●

IRODALOM

- [1] Biró, Zs., Z. Fazekas, P. Gáspár, R. Kovács: Trichotomy of Drivers, Vehicles and Roads in View of Vehicular Emergencies and Corrective Actions, Modern Safety Technologies in Transportation, Zlatka Idka, 2011.
- [2] Fazekas, Z., P. Gáspár, R. Kovács, Statistical analysis of detected vehicular emergencies in various road environments, Modern Safety Technologies in Transportation, Zlatka Idka, 2011.
- [3] Fazekas, Z., P. Gáspár, R. Kovács, Visualisation and evaluation of truck brakings and their surroundings, 14th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Poznan, 2011.

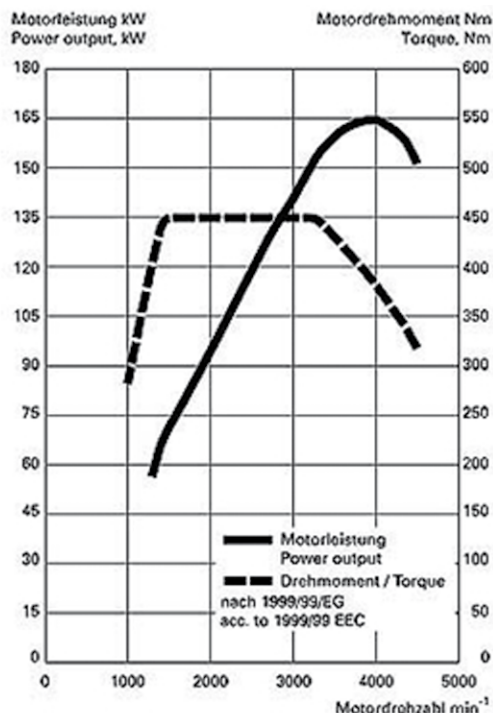
Gépjármű-sebességváltók várható fejlesztési trendje

DR. SIMONYI SÁNDOR
ügyvezető igazgató
TRIGON Electronica Kft.

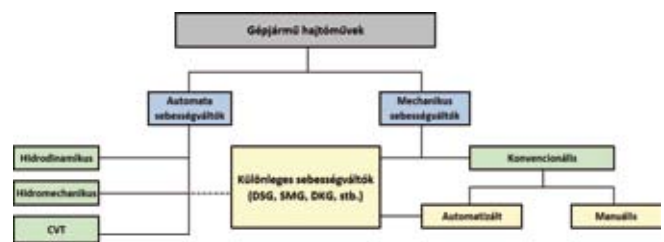
A sebességváltó a gépjárművek hajtásláncának egyik fontos egysége, melynek feladata a motor nyomatékának és fordulatszámának a jármű hajtásához való illesztése. Alapvetően mechanikus és automata sebességváltókat alkalmaznak, de kb. egy évtizede megjelentek olyan „köztes” megoldások, amelyek egyesítik a különféle ismert lehetőségek előnyeit és mérséklék azok hátrányait. A jövő korszerű „energiatakarékosságra hangolt” világából pedig már látszanak olyan komplex megoldások, ahol a gépjárműhajtás hatásfokának javítása, a hibrid hajtás lehetősége, a veszteségi (pl. fékezési vagy tolóüzemi) energiák visszanyerése és hasznosítása jelenik meg. A TRUCKDAS projekt keretén belül ennek az elképzelt és feltételezett innovációs ívnek egy fontos elemét hoztuk létre, amely a mechanikus sebességváltó mechatronikus, részben automatizált kivitelének kutatásában és fejlesztésében öltött testet.

The transmission is one of the most important units in a motor vehicle drivetrain. Its task is to fit the engine's torque and revolution to the drive demands. In general mechanic and automatic transmissions are used. Such "intermediate" solutions that combine the advantages of different known technologies and reduce their disadvantages, appeared approximately a decade ago on the market. The future is focused on the energy efficiency. New technologies to improve vehicle efficiency, like hybrid-electric drives, energy recuperation and reduced energy losses demand complex developments. In the frame of TRUCKDAS project we achieved an important milestone of this advanced innovation process with the development of a partly automated version of a mechatronic controlled mechanic transmission.

A közúti gépjárművekben legtöbbször belső égésű motorokat alkalmaznak, melyeknek sajátossága, hogy csak egy viszonylag szűk fordulatszám-tartományban tudnak hatékonyan működni (1. ábra). Ezzel a tartománnyal nem lehet lefedni azt a sebesség-tartományt és nyomatékigényt, mellyel a járműnek közlekednie kell. Ezért szükség van sebességváltóra, mely illeszti a motor hajtási képességeit a hajtási igényekhez. Elkerülhetetlen továbbá egy oldható, szabályozott nyomatékátviteli tengelykapcsoló alkalmazása is.



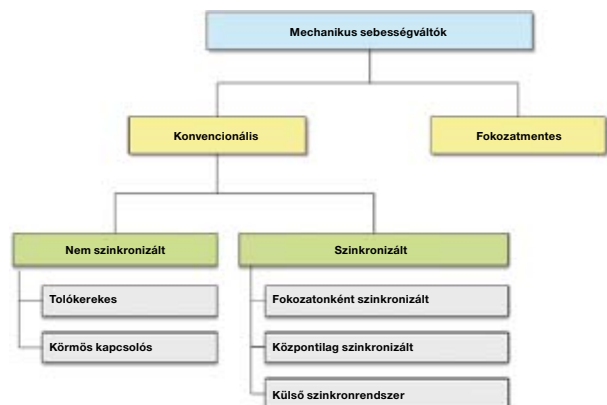
1. ábra: egy korszerű dízelmotor nyomaték- és teljesítménydiagramja



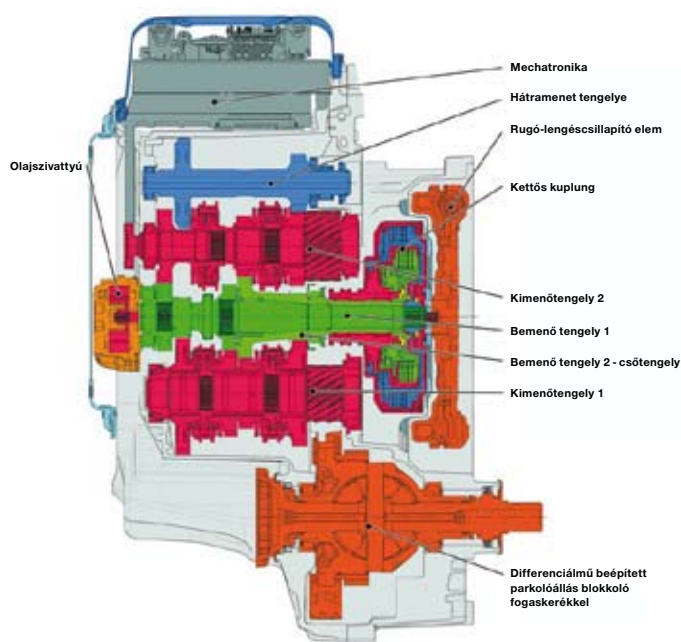
2. ábra: a gépjárműhajtóművek csoportosítása

A közúti gépjárművek sebességváltói alapvetően vagy automatikusak, vagy mechanikusak lehetnek (2. ábra). Az automatikus váltók egy hidrodinamikus tengelykapcsoló segítségével viszik át a motor teljesítményét, a mechanikusak pedig általában súrlódós lemezes jellegűek.

Az automatikus váltók előnye, hogy a nyomatékfolyam nem szakad meg váltáskor, így szinte észrevétlen a használatuk,



3. ábra: a kapcsolási folyamat lefolyását meghatározó technikai megoldások



4. ábra: a dupla kuplungos sebességváltó elvi elrendezése

nem vonják el a vezető figyelmét a forgalomról. Hátrányuk, hogy előállításuk drágább, alkalmazásuk növelheti a jármű fogyasztását, rosszabb a hatásfokuk és nagyobb a súlyuk. A fogyasztást a fokozatok számának növelésével próbálják ellensúlyozni.

A mechanikus váltók ezzel szemben viszonylag egyszerű felépítésűek, ezért jobb a hatásfokuk, kisebb a tömegük, így a velük felszerelt jármű kevesebbet fogyaszt. Használatuk gyakorlatot igényel, a tengelykapcsoló kezeléséhez fokozott figyelem szükséges. A vezető által helytelenül megválasztott fokozat növeli a fogyasztást, szélsőséges esetben a jármű igénybevételét. Tervezéskor figyelembe kell venni, hogy az emberi tényezők is



5. ábra: TRIGON EGS rendszer váltóra szerelve (bemutató példány)

közbejársanak az alkatrészek elhasználódásában, például a durva elindulás hatványozottan koptatja a kuplungot, a tartósan kiemelt tengelykapcsoló pedig a kinyomócsapágy élettartamát csökkenti. Számos előnye miatt a mechanikus váltók fejlesztése ma reneszánszát éli **(3. ábra)**.

A manuális váltóknál személygépkocsikban jellemzően öt- és hatfokozatú kialakításokkal találkozhatunk, míg teherautóknál a 16 fokozatú váltó sem ritka. Ezek azonban felezőből, alapváltóból és bolygóműves tartományváltóból épülnek fel. A magas fokozatszám oka, hogy a közúti közlekedés résztvevői közül a nagy haszonjárművek a leginkább alulmotorizáltak, illetve szélsőséges terhelésük, tömegük között arányaiban a legnagyobb a különbség, ezért széles és soklépcsős áttételi tartományra van szükség.

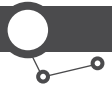


6. ábra: a TRUCKDAS projekt keretében fejlesztett mechatronikus aktuátor

Tehergépjárműveknél és buszoknál alapesetben viszonylag nagy kézi erő kell kifejteni a sebességváltáshoz, buszoknál a sebességváltó a váltókartól nagy távolságra van elhelyezve, ezért az összekötő hosszú bowden (vagy rudazat) súrlódási vesztesége többlet erőszükségletet jelent. Itt elsődlegesen a vezető terhelésének, erőkifejtésének csökkentése érdekében van szükség a sebességváltó valamilyen távműködtetésére, esetlegesen automatizálva.

Személygépkocsiknál a komfort növelését célzó automatizálás az elsődleges cél.

Léteznek olyan korszerű mechanikus váltók, melyek beépített (integrált) intelligens irányítási rendszert tartalmaznak. Ezek a váltók automatizáltak (de nem automatikusak). Főleg kis darabszám esetén nem ritka a pótlólagosan automatizált megoldás sem.



Fejlesztési mérföldkövet jelent a dupla kuplungos sebességváltók megjelenése **(4. ábra)**. Ezekben kvázi két sebességváltó szerkezet kerül egy házba, természetesen a kihajtó főtengely közös. Előnyeik kihasználása érdekében kapcsolóaktuátorok alkalmazása szükséges. Jó hatásfokú, korszerű váltótípus, melyhez száraz vagy olajban futó lemezes tengelykapcsolót építenek.

A dupla kuplungos sebességváltók jellemzője, hogy a páratlan fokozatok az egyik, a páros fokozatok a másik előtétengelyen hajtanak. Az előtétengelyek külön-külön tengelykapcsolón keresztül csatlakoznak a motorhoz. Sebességváltáskor az aktuális sebességfokozat tengelykapcsolója old, az előválasztott fokozat tengelykapcsolója pedig vele egyidejűleg zár. A váltás időszükséglete majdnem nulla. Így gyakorlatilag a nyomatékfolyam nem szakad meg, a váltás pedig alig észrevehetővé válik.

Ez az utazási komfortot növeli. A dupla kuplungos sebességváltó a konvencionális hatásfokával azonos, de az automatikus váltók komfortját biztosítja.

A működtető aktuátorok itt lényegében nem különböznek az egyszerű, fokozatonként szinkronizált automatizált mechanikus váltóknál alkalmazottaktól, de ezeket a váltókat már az automatizálás szempontjai szerint tervezik, így nagyobb fokú integráltság érhető el.

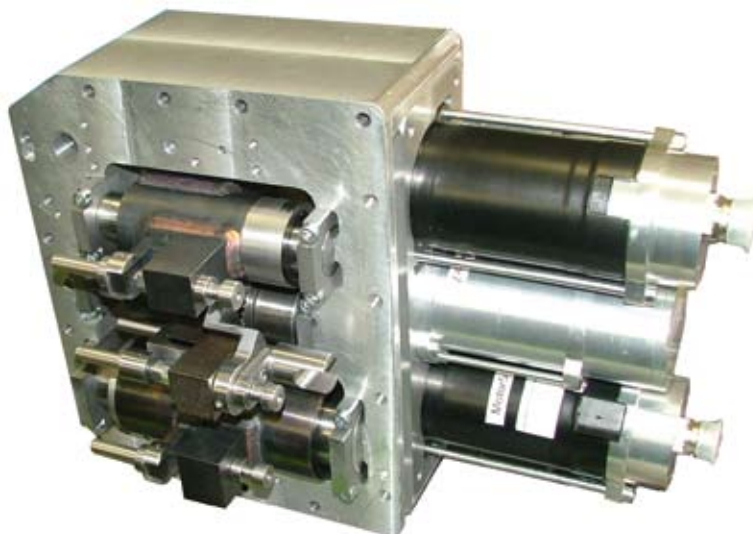
A mechanikus váltók automatizálása a működtető közeg szempontjából az alábbiak lehetnek.

PNEUMATIKUS MŰKÖDTETÉS

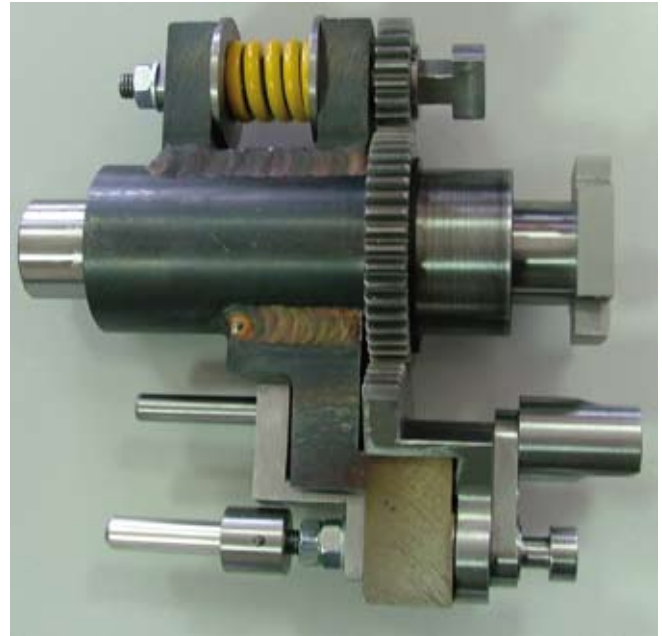
A nagyméretű haszongépjárművek rendelkeznek sűrített levegős hálózattal, ennek felhasználásával, egyszerű szerkezetekkel megvalósítható a sebességváltó táv- vagy automatizált működtetése.

Ezeknél a váltóknál gyakran egy kapcsolótengely elfordításával történik a fokozatváltás, tengely irányú elmozdításával pedig az megfelelő „utca” kiválasztása történik.

Az alábbiakban egy TRIGON rendszert mutatunk be **(5. ábra)**, mely joystickkal vezérelt távműködtető rendszer. Építőelemei: kapcsolóaktuátor, válogatóaktuátor, szeleptömb, mely az előbbi kettőt a vezérlőegység utasításainak megfelelően látja el levegővel, kijelző és természetesen a joystick.



7. ábra: a mechatronikus aktuátor váltóhoz kapcsolódó oldala



8. ábra: a mechatronikus aktuátor alapváltót működtető mechanizmusa

A kapcsolóaktuátor analóg útméréssel és nyomásméréssel rendelkezik. Folyamatos szabályozású, de három diszkrét állapota van (neutrális, illetve a két kapcsolt pozíció végállása).

A válogatóaktuátor az utcák számának megfelelő számú fix pozícióval rendelkezik.

HIDRAULIKUS (VAGY ELEKTROHIDRAULIKUS) MŰKÖDTETÉS

A rendszert működtető szivattyú a váltóba van integrálva. Ezek a konstrukciók pótlólagos beépítésre nem alkalmasak, gyárilag automatizált kivitelben kerülnek forgalomba.

ELEKTROMOS MŰKÖDTETÉS

Az elektromos működtetés hatékonyabbnak, környezetbarátnak ígérkezik a pneumatikus működtetéssel szemben.

A TRUCKDAS projekt keretén belül egy korszerű, 16 fokozatú váltónak pneumatikus működtetőrendszerét kívántuk elektromosra váltani. Feladatunk az volt, hogy a villanymotorokat és a sebességváltót összekötő mechanizmust megtervezzük és elkészítsük **(6–7. ábra)**.

Az alapváltó kettős mozgású kapcsolótengelyét két, egy házba épített villanymotor mozgatja. A motorok forgásirányának függvényében a tengely forog vagy axiálisan mozog valamelyik irányba.

A felezőt és a tartományváltót két azonos motor működteti, a motorok kivezetett tengelyén már lineáris mozgás jelenik meg.

A kapcsolótengelyeket a motorok tengelyeivel rugalmasan kötöttük össze **(8. ábra)**.

A motorokat az AMK szállította, kifejezetten a projekt igényeinek megfelelően.

A tervezés során felhasználtuk a már létező elemeket. Ezek a különböző tengelyek elmozdulását és a váltó fordulatszámát mérő eszközök. A kiválasztott sebességváltó nem rendelkezik fokozatonkénti szinkronszerkezettel, hanem a szinkronizálást előtétengelyfékkel valósítják meg. Ezt a féket egy pneumatikus



munkahenger működteti, amit az átalakítás során megtartottunk. Ezért szükség volt egy-egy EP 2/2-es töltő- és ürítőszelep alkalmazására.

A motorokat a váltó fölé helyeztük el, tengelyeik párhuzamosak a kapcsolótengelyekkel. Számítások alapján arra jutottunk, hogy az erő himbás vagy csúszkás közvetítése közül a csúszkás a hatékonyabb.

A TRUCKDAS projektben vállaltuk, hogy az itt ismertetett rendszert teherautóba építjük, így valós körülmények között vizsgálatokat és méréseket végezhattünk el.

A fejlesztés járulékos eredménye a rendkívül sok ismeretanyag megszerzése, amelyet a TRIGON következő fejlesztéseiben felhasználhat.

A teljes automatizáláshoz szükség van egy kuplungműködtető aktuátorra is.

Léteznek olyan automatizált sebességváltók, melyek kuplungműködtetést nem tartalmaznak, azonban a vezetőnek a

pedált csak elinduláskor és megálláskor kell kezelnie. Példaként megemlíjtük, hogy a közelmúltban a Scania elkészítette az Opticruise újabb változatát, melyben elektromechanikus kuplungműködtetést **(9. ábra)** alkalmaz, hidraulikus munkaközeget felhasználva, ezáltal megvalósítva a teljesen automatikus működést.

A fentieket összefoglalva a jövő egyik fontos váltófejlesztési iránya a mechanikus sebességváltók és azokba integrált irányítási rendszere képezi. Napjainkban tanúi lehetünk egy teljesen új generációs gondolkodás megjelenésének, melyben az energiahatékonyság, a veszteségi energiák visszanyerése és hasznosítása központi helyet foglal el. Ezen gondolatok valóságban való megjelenése új típusú sebességváltó-konstrukciók létrejöttét jelenti, melyben megtalálható a mechanikus hajtásátvitel mellett a hibrid, illetve a kinetikus energia tárolására és hasznosítására (KERS) létrehozott rendszerek alkalmazása is. ●

IRODALOM:

- [1] Részletek dr. Simonyi Sándornak a Miskolci Egyetemen tartott előadásából (2010–2011)
- [2] 4. ábra: Volkswagen Media Service

Torziós lengéscsillapító szilárdságtani végeselemes szimulációja

TÓTH BALÁZS
DR. AILER PIROSKA
DR. VERESS ÁRPÁD

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.
Kutatási és Fejlesztési Központ

Nagy teljesítményű belső égésű motorok esetén a főtengelyre szerelt torziós lengéscsillapítók feladata a főtengely torziós lengéseinek csökkentése. Alkalmazásuk jelentősen hozzájárul a biztonságos üzemeltetéshez és megnöveli a motorok élettartamát. A torziós lengéscsillapítók tervezése során a cél a megfelelő üzemi paraméterek biztosítása a legkisebb tömeg mellett. Ennek eléréséhez nyújtanak jelentős segítséget a végeselemes szimulációk. Az igénybevételek pontos feltárását és peremfeltételként való megadását követően iterációs számítási folyamatokon keresztül alakul ki az a geometria, amely a statikus igénybevételek elviselése mellett a megfelelő élettartam biztosításával járul hozzá a meghibásodásmentes és hosszú élettartamú üzemeltetéshez. Az alkalmazott végeselemes szoftverek azonban nem minden esetben nyújtanak önmagától értetődő és elegendően sok információt az eredményekről. Ezért egy új, Matlab alapú szoftvert dolgoztunk ki, hogy a vizsgált alkatrész teljes térfogatában rendelkezésünkre álljon az adott terhelés hatására kialakult feszültségállapot.

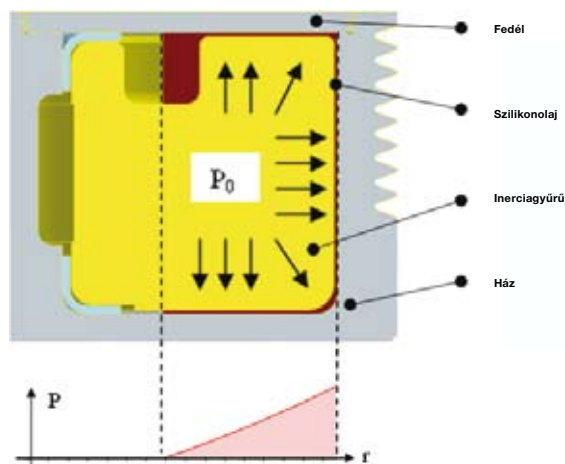
The main goal of the torsional viscodampers is to achieve the efficient reduction of the torsional vibrations, which are caused in the crankshaft of the high performance engines. The application of the torsional viscodampers contributes significantly to reach long lifetime beside the reliable and safety operation of piston engines. The main goal during the design process of viscodampers is to ensure the suitable operational conditions besides the minimization of mass. Finite element method can help to achieve the design specifications through the number of iterations of an efficient and accurate calculation. The final geometry is the outcome of the static structural and lifetime analyses, for which the correct determination and implementation of the boundary conditions are indispensable to have. The applied finite element software may not be suitable for generating comprehensive results, therefore new Matlab based evaluation software is developed to investigate the stress and fatigue condition in arbitrary points of the geometry

BEVEZETÉS

Napjainkban a használatban lévő nagy teljesítményű belső égésű dugattyús motorok tömegeerőinek és egyenlőtlen járásának köszönhetően nagymértékű, változó terhelések érik a főtengelyt. Az egyenlőtlen igénybevételek lengéseket okozhatnak. Amennyiben a lengések frekvenciái a főtengely sajátfrekvenciáinak tartományában vannak, akkor annak fáradásos törését okozhatják. Ennek elkerülésére, a lengések amplitúdójának csökkentésére, torziós lengéscsillapítókat használnak. A torziós lengéscsillapítókkal szemben támasztott követelmények igen magasak, ezért tervezésük során a végeselemes szimulációk alkalmazása igen fontos szerepet játszik. A számítások legfőbb célja egy átfogó kép alkotása a változó terhelések következtében kialakuló igénybevételek kifáradásra gyakorolt hatásairól.



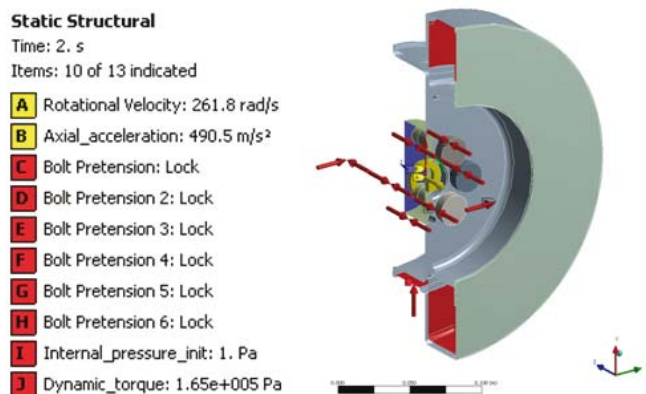
1. ábra: a viszkózus lengéscsillapító felépítése



2. ábra: a szilikonolaj hatása a kamra belső falára

VISZKÓZUS LENGÉSCSILLAPÍTÓ

A vizsgált torziós lengéscsillapítóknál (1. ábra) a csillapítást egy gyűrű alakú, vékony szilikonolaj réteggel körülvett tömeg valósítja meg. Az állandónak feltételezett fordulatszámra superponálódó lengéseket az inerciagyűrű tehetetlensége csillapítja a nem newtoni olajfilmmel való kölcsönhatása következtében, melynek során a relatív mozgásból származó súrlódási energia hővé alakul át. A belső égésű motor gyújtási sorrendjének és a főtengelyének dinamikus jellemzői alapján meghatározhatók a lengéscsillapító alapfunkcióját kielégítő főbb geometriai méretek. A lengéscsillapítóval szerelt motor főtengelyének lengési amplitúdójának a teljes frekvenciatartományban az előírásoknak megfelelő értékek alatt kell maradnia.

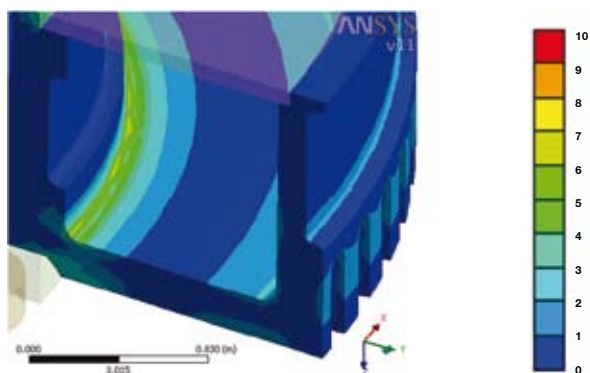


3. ábra: a lengéscsillapító terhelései és peremfeltételei

A feladat nehézségei közé tartozik az üzem során disszipált teljesítmény következtében történő hőmérséklet-növekedés, mely hatást gyakorol a szilikonolaj viszkozitására. A költség-hatékony gyártás és a megbízható üzemeltetés további feladatokat állít a konstruktőrök elé. A meghatározott csillapítási karakterisztika mellett a megfelelő szerkezeti méret és a minimális térfogat meghatározása jelentős részét teszi ki a tervezési fázisnak. Ezért a jelen kutatási jelentés témája egy olyan számítási folyamat kidolgozása és bemutatása, amely egyaránt tartalmaz kereskedelmi és saját fejlesztésű szoftvert abból a célból, hogy a teljes geometriában meghatározhatók, bemutathatók és ezáltal javíthatók legyenek a lengéscsillapító szilárdságtani és kifáradási tulajdonságai.

SZIMULÁCIÓ

A lengéscsillapító vizsgálata statikus, véges elemes szimulációkon keresztül valósul meg. A szimulációban bilineáris anyagmodelleket használunk, illetve figyelembe vesszük a csavarelőfeszítésből származó feszültségeket is. A valós, dinamikus folyamatok statikus szimuláción keresztül történő modellezése számos egyszerűsítést, valamint elméleti megfontolást tesz szükségessé. A számítások során az inerciagyűrű, a csapágycsukló és a szilikonolaj nem kerül modellezésre, valós hatásait peremfeltételek és terhelések segítségével közelítjük, melyek egyaránt statikusak. A kifáradásra vonatkozó számítások a dinamikus terhelések előjelének megváltoztatásával, a két szélső eset figyelembevételén keresztül történik. Ezek a terhelések úgy lettek definiálva, hogy a lengéscsillapítók valós körülményeit a lehető



4. ábra: alternáló feszültség a kamra belső felületein

legjobban közelítsék, és a következőket foglalják magukba: az axiális, illetve radiális irányban történő gyorsulások, a viszkozus közeg által a kamra belső falára kifejtett nyomaték, továbbá azon lengéscsillapítók esetén, melyeknél a szíjtárcsa is a lengéscsillapító része, a szíj által kifejtett radiális irányú erő, illetve axiális irányú nyomaték. Fontos azonban megjegyezni, hogy az inerciagyűrű tehetetlenségéből adódó erők és nyomatékok a radiális gyorsuláskor fellépő erők kivételével minden esetben a kamra belső, olajjal nedvesített felületein kerülnek definiálásra. Ennek oka az, hogy a gyorsulások igen nagyok, ezért a szilikonolaj gyors alakváltozáson megy át, melynek köszönhetően az inerciagyűrű tehetetlenségéből származó erőket képes a kamra belső falának átadni. A statikus terhelések közé tartozik a lengéscsillapító forgásából származó terhelése, amelynek hatását két, egymástól független terhelésként modellezzük. Az egyik terhelés a forgás következtében kialakuló erőter, a másik pedig a kamra külső részébe, a centrifugális erőter következtében kiszoruló olaj nyomása. Az olaj nyomását a kamra belsejében az alábbi képlettel normális irányban definiáljuk a belső felületekre. Az olaj helyzetét és a nyomáeloszlást mutatja a 2. ábra.

$$P(r) = \frac{1}{2} \cdot \rho_{olaj} \cdot \omega^2 \cdot (r^2 - r_{olaj}^2) \quad (1)$$

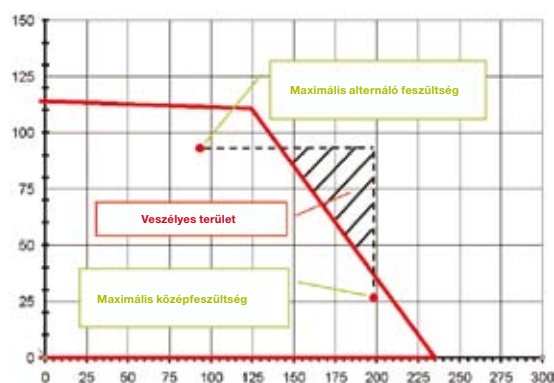
ahol:

ω : szögsebesség [rad/s]

ρ_{olaj} : szilikonolaj sűrűsége [kg/m³]

r_{olaj} : az olaj felszínének sugara [m]

r : független változó [m]



5. ábra: korábbi kiértékelési eljárás hibája Haigh-diagramon

A hegesztések kivételével minden kontaktfelületet súrlódásos kapcsolatként modellezzük.

A végeselemes háló minőségére vonatkozó irányelvek szerint a kamra (ház és fedél) falvastagsága mentén minden esetben legalább három elemet hozunk létre, az eredmények elfogadható pontossága érdekében. A háló elemszáma jelentősen befolyásolja a számítási időt, ezért az elemszám maximális értékét 500 000-re korlátoztuk. A lengéscsillapító peremfeltételeit és terheléseit a 3. ábra mutatja.

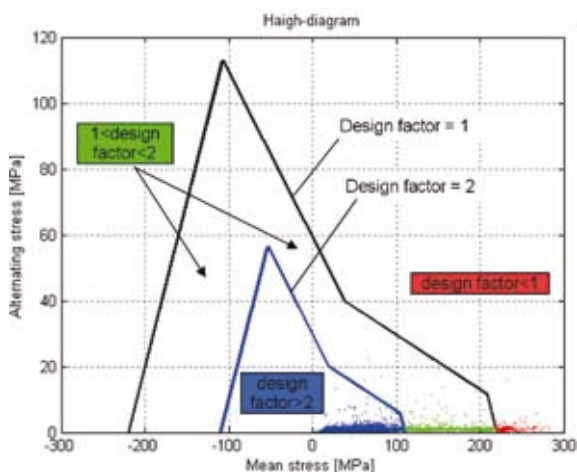
A peremfeltételek beállítását és a végeselemes háló létrehozását követően a szimuláció lefuttatható, amely az említett elemszám esetén közel 60 órát vesz igénybe. Ez a számítási idő tartalmazza a csavarok előfeszítését, a statikus, illetve pozitív előjelű dinamikus, végül pedig a statikus és negatív előjelű dinamikus terhelésekre vonatkozó számításokat is.

EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

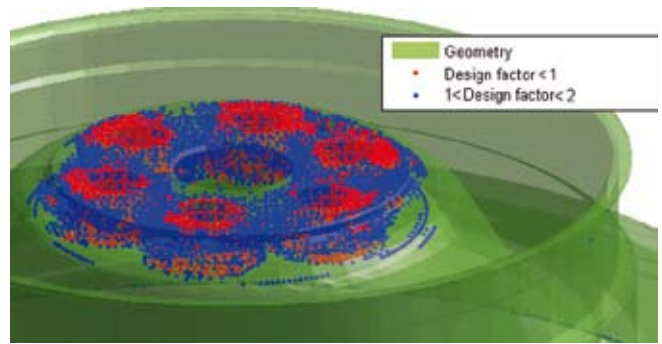
A szimuláció végeztével az eredmények kiértékelése Workbenchben, illetve az általunk Matlabban készített „Fatigue Tool” segítségével történik. A kiértékelés során az ANSYS-ban előre definiált függvényeket használjuk, melyek segítségével vizualizálható a kialakult feszültségeloszlás, illetve részletesen vizsgálhatók a kritikus területek. A kiértékelés során minden esetben egyenértékű feszültséget vizsgálunk, ezért a feszültségértékek ennek megfelelően pozitív előjelűek, a nyomó és a húzó igénybevétel esetén is egyaránt. A beépített „Solution Combination” segítségével létrehozhatók a terhelések hatására bekövetkező lengő és lüktető igénybevételek következtében kialakuló közép-, és alternáló feszültségek eloszlásai. A **4. ábrán** látható feszültségeloszlás mutatja a kialakult alternáló feszültség normalizált eloszlását.

A lengéscsillapítóban ébredő feszültségek alapján megvizsgálhatók a lengéscsillapító élettartamára vonatkozó tulajdonságok. Ha a lengéscsillapítóban ébredő maximális egyenértékű feszültség magasabb, mint az adott alkatrész anyagához tartozó folyáshatár, a lengéscsillapítóra vonatkozó kifaradási számításokat természetesen szükségtelen elvégezni, élettartama véges lesz. Amennyiben a lengéscsillapítóban ébredő feszültségek nagysága folyáshatár alatti, úgy a kifaradásra vonatkozó számításokat a „Fatigue Tool” segítségével elvégezhetjük. A kifaradási elméletek közül a Haigh diagramon történő kiértékelést használjuk [1]. Korábbi számításaink során a kifaradásra történő ellenőrzést úgy végeztük, hogy az egyes alkatrészekhez tartozó maximális közép-feszültséget, a hozzá tartozó alternáló feszültséggel, illetve a maximális alternáló feszültséghez tartozó közép-feszültséget ábrázoltuk. Ez az eljárás azonban az **5. ábrán** szemléltetett lehetséges hibát hordozza magában. A sraffozott terület tartalmazhat olyan veszélyes pontokat, melyek nem értékelhetők ezen eljárás segítségével.

Az átfogóbb és részletesebb kiértékelés érdekében hoztuk létre a „Fatigue Tool” nevű programot, melynek segítségével a képen látható probléma orvosolható. A program használatához szükséges közép- és alternálófeszültség-értékeket Workbenchből exportáljuk. A „Fatigue Tool” a beolvasott eredmények és anyag-tulajdonságok felhasználásával Haigh-diagramon láthatóvá teszi az alkatrészeire vonatkozó kifaradási jellemzőket (**6. ábra**).



6. ábra: a lengéscsillapító terhelései és peremfeltételei



7. ábra: Haigh-diagram segítségével meghatározott pontok

A diagramon megjelenített pontok a végeselemes háló csomópontjaiban kialakuló feszültségértékekre vonatkoznak. Tekintettel az elemszáma, a megjelenítés során csak minden tizedik pontot vesszük figyelembe. Ahogy említettük, a vizsgált értékek egyenértékű feszültségek, ezért a diagramon a negatív tartományban nem szerepelnek pontok. A program általános szilárdságtani feladatok megoldása során történő használatát továbbfejlesztettük azáltal, hogy a diagramon biztonsági tényezővel („Design factor”) ábrázolt Haigh-diagram is megjeleníthető. A bemutatott kiértékelési mód lehetőséget ad arra, hogy átfogó képet alkossunk a vizsgált alkatrész szilárdságtani tulajdonságairól, azonban a diagram nem nyújt információt arról, hogy a veszélyes tartományban lévő pontok a lengéscsillapító mely területeihez tartoznak. Ehhez szükséges a lengéscsillapító alkatrészeinek ábrázolása a diagramon látható pontok figyelembevételével. Mivel az ANSYS-ből exportált feszültségértékek tartalmazzák az adott elem koordinátáit, ezért a háromdimenziós térben elhelyezhetők, a diagramon elfoglalt helyük alapján pedig a színük definiálható. Ilyen háromdimenziós kiértékelést mutat a **7. ábra**.

Ahogy az ábrán látható, a csavarkötések környezetében a Haigh-diagramon történő kiértékelés szerint veszélyes pontok vannak, aminek oka a magas közép-feszültség.

ÖSSZEGZÉS

A bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy a lengéscsillapítók és más alkatrészek szilárdságtani végeselemes szimulációja nagy segítséget nyújt a tervezés folyamán, ezért a számítások pontosságának javítása és az eredmények vizuálisan megjelenítése elsődleges szempont. Ezért a kidolgozott és bemutatott „Fatigue Tool” továbbfejlesztése újabb kifaradási elméletek megismerésével, főfeszültségek figyelembevételével folytatódhat, általános célú felhasználásának lehetőségét szem előtt tartva. A főteigely lengéseinek és a lengésekből származó terhelések pontosabb modellezésére tranziens szimulációk is szükségessé válhatnak. ●

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.akos.hu
100-000-0000
NEMZETI INNOVÁCIÓS ALAP
A projekt a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatásával valósul meg.

IRODALOM

- [1] Analytical strength assessment – FKM guideline, ISBN3-8163-0425-7, 2003

EGR Support Investigation on a Diesel Engine

ÁDÁM BÁRDOS

BME, Dept. of Automobiles

DR. HUBA NÉMETH

BME, Dept. of Automobiles

Next generation emission standards (Euro 6 and US EPA 10) include significant limitations, especially in NO_x and soot concentration of the exhaust gases. These cannot be fulfilled without exhaust gas recirculation (EGR). In several operation points of the engine, the naturally developed EGR-rate with the fully opened EGR valve cannot reduce the NO_x emission to meet the requirements. In these cases the rate can be further increased with additional measures at special locations of intake or exhaust system. In this paper, these various EGR support possibilities will be investigated with through validated engine simulation model. The effect on the soot formation was taken into consideration as well.

A legújabb emissziós törvényi előírások (Euro 6 és US EPA 10) jelentős szigorításokat tartalmaznak, különösen a kipufogógázok NO_x és koromtartalmára vonatkozóan. Ezek az előírások nem teljesíthetők kipufogógáz-visszavezetés nélkül (EGR). A motor számos munkapontjában, az EGR-szelep teljes nyitása esetén kialakuló EGR-arány nem elegendő a nitrogén-oxid-kibocsátás határérték alatt tartásához. Ilyen esetekben a kipufogógázok aránya a töltetben tovább növelhető a szívó- és kipufogórendszer megfelelő helyein elhelyezett beavatkozókkal. Ezen cikkben a különböző EGR-arány-növelési lehetőségeket vizsgáljuk meg validált motor-szimulációs modell segítségével, a koromkibocsátásra gyakorolt hatásuk figyelembevételével.

INTRODUCTION

Legal framework for internal combustion engines are getting more and more rigorous and it is not different in case of commercial vehicle diesel engines. The Euro III (approved in October 2000) emission standards allowed 5 g/kWh maximum NO_x production. From January of 2013 in the Euro VI it will be reduced to 0,4 g/kWh (measured in both cases during the European Stationary Cycle, ESC) [1]. It is less than ten times it was ten years ago. The NO_x specification is the most challenging limitation in the new directives. These requirements can not be fulfilled only with additional set of equipments which engine manufacturers could to install in their ex-haust path.

There are basically two ways to reduce nitrogen-oxides. The first one is the exhaust gas aftertreatment. In this case the formation of raw nitrogen oxides are not prevented along the combustion process but it is eliminated using catalytic reductions (e.g.: selective catalytic reduction – SCR, or storage catalytic converter).

The other way is the raw nitrogen-oxide formation reduction during the combustion process. There are five main ways of NO_x production during the combustion: the thermal or Zeldovich-mechanism, prompt or Fenimore-mechanism, NO_x via N₂O, NO_x via NNH and by the fuel-bounded nitrogen [2]. The largest amount of nitrogen oxides in diesel engines is produced along the Zeldovich mechanism, which needs the following conditions: high temperature ($T > 1900$ K, the activation energy of its first reaction is very high) and high oxygen concentration (that is why it forms in the post-flame region). So arrangements for lower cylinder temperature and lower oxygen concentration are effective in the NO_x concentration reduction. For instance these arrangements can be lower compression ratio, retarded fuel injection, boost pressure reduction and exhaust gas recirculation (EGR) etc. In this paper this last, in the future indispensable solution will be investigated with help of an engine simulation model. The exhaust gases will be recirculated into the intake system, mixed with the fresh air in a specially designed EGR-mixer. After this the engine cycle takes place with this more or less homogenous exhaust gas and fresh air mixture. The exhaust gases are inert thus the burning phase will be extended, the heat releases slower. Moreover the

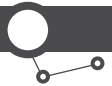
inert 3-atomic gas in the exhaust gas increases the heat capacity and all this indicates lower peak temperatures in the cylinder. The oxygen concentration of the mixture is less than in the fresh air, so the thermal-NO_x production will be decreased. Moreover the EGR have some additional effect for turbocharged engines: the exhaust gas is by-passed upstream to the turbine, the turbine pressure ratio decreases, therefore the turbine shaft power also decreased. It means lower charger speed and boost pressure.

In this paper the setup of a detailed diesel engine simulation model will be described with cooled high pressure EGR-system. For the validation of the model measurements were performed on an engine test bench. The measurement system and data used for model validation also will be introduced. These above mentioned interventions for combustion temperature reduction are generally increasing the fuel consumption but there are special conditions and engine operations where the brake specific fuel consumption (BSFC) could also be improved, especially in case of a turbocharged diesel engine with EGR. There are engine operation points where the attainable EGR-rate with a fully opened EGR-valve is not high enough. Here alternative options are investigated to the further increase EGR rate with measures at special locations of the exhaust or intake system.

ENGINE SIMULATION MODEL

Bore [mm]	102
Stroke [mm]	120
Number of cylinders	4
Engine displacement [cm ³]	3922
Number of valves	4/cyl.
Compression ratio	17,3:1
Rated effective torque [Nm]	600 (1200 to 1600 RPM)
Rated effective power [kW]	123 at 2500 RPM

Table 1. Engine parameters



The engine simulated and used for the validation measurements, is a medium duty turbocharged and intercooled, commercial vehicle, common rail diesel engine. The main parameters are given in Tab.1.

In this section the engine model implemented in GT-Suite environment [3] will be described. The accuracy of a wave action engine model depends heavily on the discretization of the intake and exhaust domains. To achieve high accuracy level, the complete intake and exhaust system (pipes, intercooler, manifolds, ports etc.) were modeled in three-dimensional CAD software and then the 3D CAD model was transformed to 1D GT-Power flow objects by the GEM3D tool of GT-Suite. In this way the intake and exhaust system could be transformed to one-dimensional form as accurate as possible. The 3D geometry of the intake manifold and its intake ports are depicted in Fig.1.



Figure 1. 3D CAD model of the intake manifold and ports

The 1D flow domain discretization length was chosen to the recommended $0.4 \times \text{bore diameter}$, namely 40 mm at the intake side, and $tp\ 0.55 \times \text{bore diameter}$, namely 55 mm at the exhaust side. The difference is due to the higher speed of sound in the exhaust system [3]. The intercooler was decomposed at the end as straight parallel pipes. The outlet air temperature and the pressure drop were adjusted to the measurements. It has essential influence to the volumetric efficiency (by intake air temperature) and also to the transients (by its volume). In the EGR loop a check valve were applied downstream the EGR cooler. The above described method of the one-dimensional intake and exhaust system modeling provides realistic flow system volumes, cross-sectional areas and pipe lengths.

- The compressor and the turbine of the turbocharger were modelled with performance maps. The compressor performance map can be seen in Fig.2.

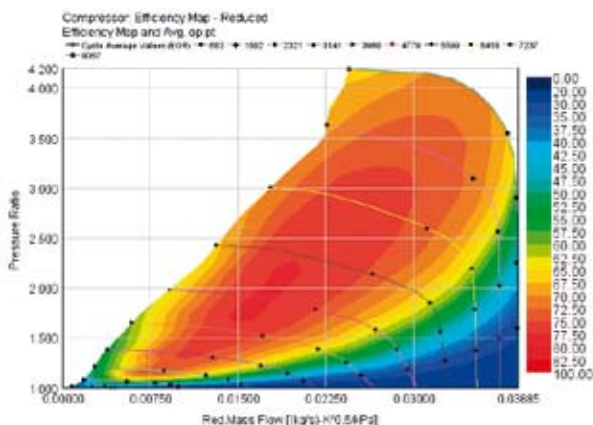


Figure 2. Compressor performance map

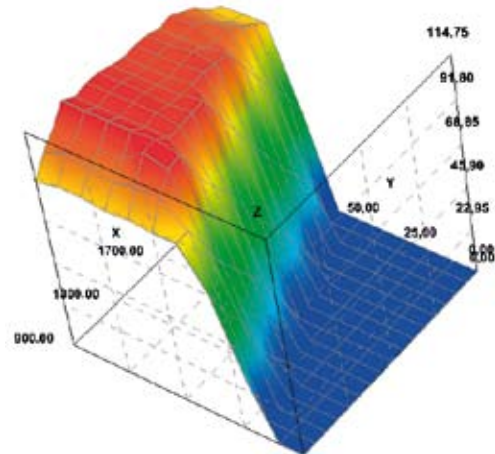


Figure 3. Fuel rate as function of the accelerator pedal position

The turbocharger is wastegate controlled actuated by a membrane chamber. In case of higher engine speeds the boost pressure does not exceed a desired value (the turbine will be bypassed). This boost pressure limitation was implemented in the model as a boost pressure sensor and a PID controller.

After completing the intake and exhaust system, and turbocharger modelling the appropriate air pressure and temperature in the intake manifold, and the exhaust back pressure were calibrated. Since the cylinder volumetric efficiency depends only on the intake and exhaust valve parameters, the valve lift curves were measured. Discharge coefficients were enrolled based on typical values and tuned taking into account the measured mass flow rates.

Injection modelling started with the fuel rate map definition. Map values come from fuel consumption measurements. The fuel rate map as a function of the accelerator pedal position can be seen in Fig.3.

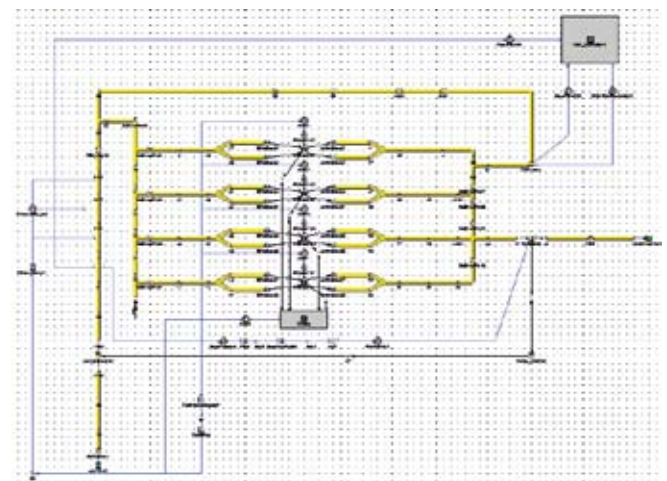


Figure 4. Simulation model layout with EGR loop

The injection process can be specified by the injector geometry, rail pressure, injection timing and duration. The rail pressure map was measured with the pressure sensor of the engine controller unit (EDC). The injector geometry was measured by a measurement microscope. The injection duration and timing was measured with a current clamp installed on the solenoid controller wire. This way the pilot injections could be measured as well.

- Since the main goal was to predict emissions and cylinder pressures even at high EGR rates, a quasi-dimensional DI-Jet combustion model was chosen [4, 5]. It was calibrated to measured in-cylinder pressure and heat release curves.

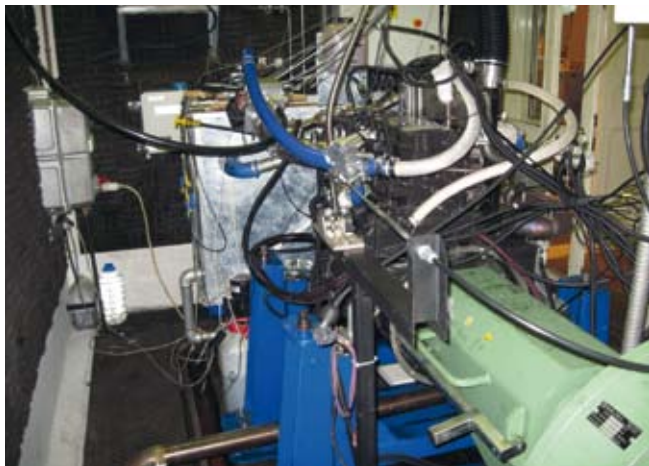


Figure 5. Engine test cell

- Then the friction mean effective pressure (FMEP) values were the only missing data to reach accurate effective brake torques. FMEP values were measured in the whole engine map with cylinder pressure indication.

ENGINE TEST CELL AND MEASUREMENT SYSTEM DESCRIPTION

The engine bench is based on an eddy current brake dynamometer. The torque is measured by the load cell of the brake. The accelerator pedal position is actuated and measured by a linear motor. The fuel consumption is metered based on the gravimetric fuel mass.

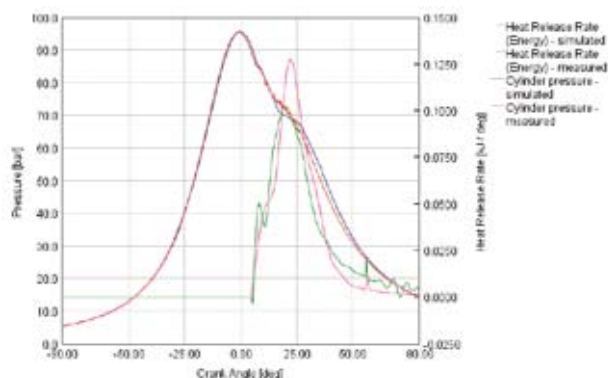


Figure 6. Cylinder pressure and heat release rate validation

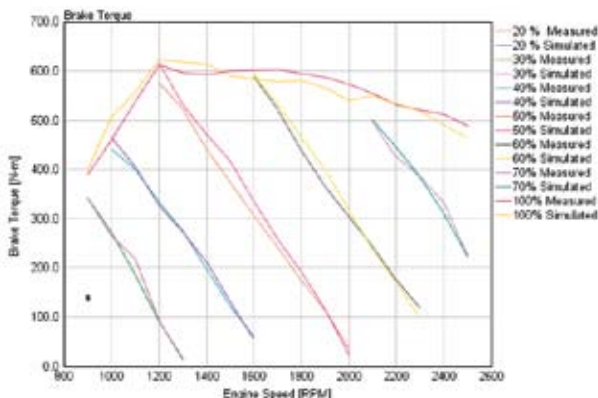


Figure 7. Effective engine torque validation

To validate the flow conditions pressure and temperature sensors were used in pairs at different locations of the intake and exhaust system.

In the intake system:

- upstream to the compressor
- between compressor and intercooler
- downstream to the intercooler, at the intake manifold inlet

In the exhaust system:

- upstream to the turbine, at the exhaust manifold outlet
- downstream the turbine, before the electro-mechanic exhaust brake
- downstream the exhaust brake

A cylinder pressure indicating system was installed in each cylinder. Low pressure indicating sensors are installed in the intake and exhaust manifold. The crankshaft angle is measured by an optoelectronic angle encoder.

MODEL VALIDATION

The pressures and temperatures in the intake and exhaust system were verified at the above mentioned locations and their deviations were below 5% to between calculated and measured values.

The injection and combustion model was validated based on indicated cylinder pressure curves and heat release rates. The fit of the measurements and the simulation can be seen in Fig.6.

Finally, the validation of the effective engine torques was performed. The simulation results are depicted along the measurements in the Fig. 7. The difference here is also below 5%, so the model can be accepted for the control investigations.

EGR SYSTEM INVESTIGATION

For emission certification of medium-duty diesel engines in stationary mode the ESC (European Stationary Cycle) test is used. In this paper three operation points were isolated in which the various support measures of exhaust gas recirculation were investigated. The engine speed and load diagram of the ESC test are seen in Fig. 8.

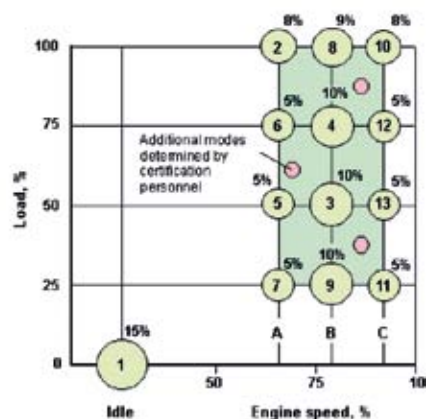


Figure 8. European Stationary Cycle (ESC) [1]

The selected operation points are: the 'A' speed at 25% load, the 'B' speed at 50% load and the 'C' speed at 75% load.

For the particular engine, the speeds and the effective torques are: A25=1500 RPM and 150 Nm, B50=1900 RPM and 290 Nm, C75=2300 RPM and 375 Nm.

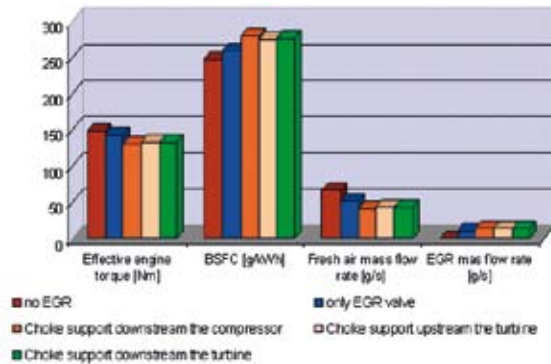
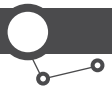


Figure 9. Torque, brake specific fuel consumption, gas mass flow rates in the A25 operation point

To satisfy the low NO_x production limitation of the Euro VI emission norm (0,4 g/kWh in ESC or ETC test) without exhaust gas after treatment it is essential to reach high EGR-rates. For these high rates in several engine operation mode it is not enough to fully open the EGR valve. To increase the EGR rate additional interventions are needed. These can be carried out with flaps at different locations of the intake and exhaust system. The investigated placements are the following:

- downstream the compressor
- upstream the turbine
- downstream the turbine

At each operation point the different EGR supports were investigated. First, as reference, the EGR valve was fully closed. In a second simulation the EGR valve was fully opened and no other support was used. In a third case the support downstream to the compressor was applied and increased the EGR rate to higher level. In fourth and fifth cases the same EGR rate was target like in the third case but with supports at upstream and downstream locations to the turbine respectively. The injected fuel rate, injection timing, duration and pressure profiles are identical to the initial no EGR case in each operation point. The goal is to compare the different exhaust gas re-circulation choices.

RESULTS IN A25 OPERATION POINT

In the initial case the EGR valve was closed. It was depicted with brown colour in the diagrams. In the second case only the EGR valve was opened (the choke flaps were fully opened), which is illustrated with blue colour. It resulted in 16.4 % EGR rate, which is the maximum achievable without any support. The EGR rate can be calculated with the following equation:

$$EGR_{rate} = \frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_{EGR} + \dot{m}_{AIR}} \rightarrow (1)$$

In the last three cases the desired EGR rate was increased to 25 % by the support measures. The throttle position was set by a controller to achieve the desired 25 % EGR rate.

The effective torque is maximal at the no EGR case and decreases with higher EGR rates. Higher EGR rates result prolonged heat release and hence less gross indicated mean effective pressure (IMEP360). The turbine power depends strongly on the mass flow rate, so it correlates to the fresh air mass flow rate.

Pumping mean effective pressures (PMEP) are relative low values since the intake and exhaust pressure is nearly identical to the initial case (positive PMEP represents losses).

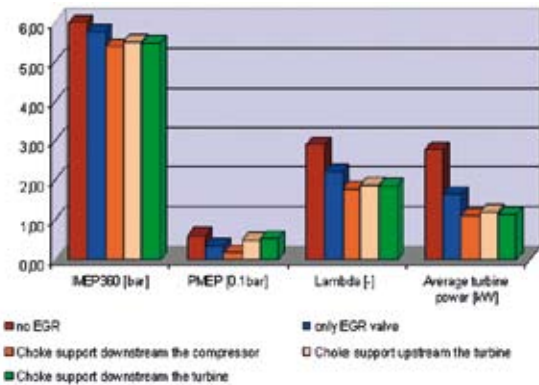


Figure 10. IMEP360, PMEP, lambda and turbine power in the A25 operation point

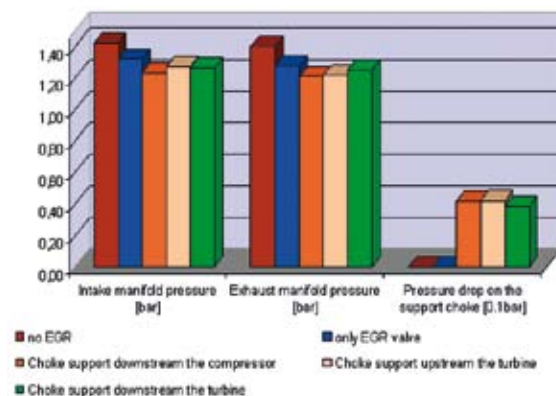


Figure 11. Manifold pressures and pressure drop values on the chokes in the A25 operation point

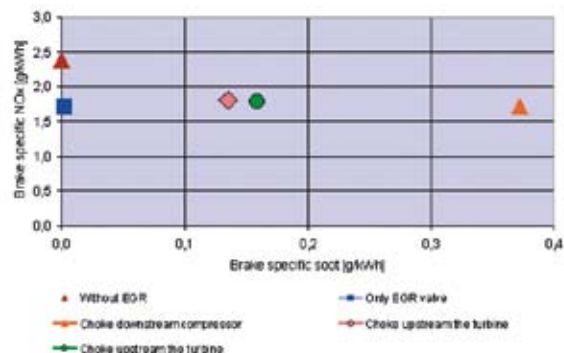


Figure 12. NO_x-soot trade-off in the A25 operation point

The pressure drops on the chokes are similar values in each case. The maximal intake manifold pressure with the 25% EGR rate was found when the pressure drop was applied upstream the turbine.

In the initial case the amount of the soot is minimal due to high air-fuel ratio. Applying 16.4 % EGR rate the NO_x reduced by 38%. The further 10 % EGR-rate increase could not decrease the NO_x production but promoted the soot formation.

RESULT IN B50 OPERATION POINT

With fully open EGR valve 14.5% EGR-rate was developed. It was increased to 25 % in the last three cases with support. The torque and fuel consumption shape shows a similar trend to the A25 case:

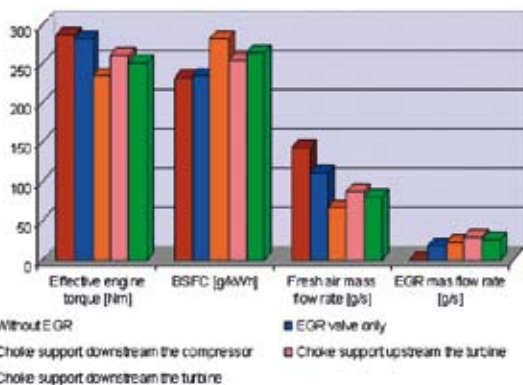


Figure 13. Torque, fuel consumption, gas mass flow rates in the B50 operation point

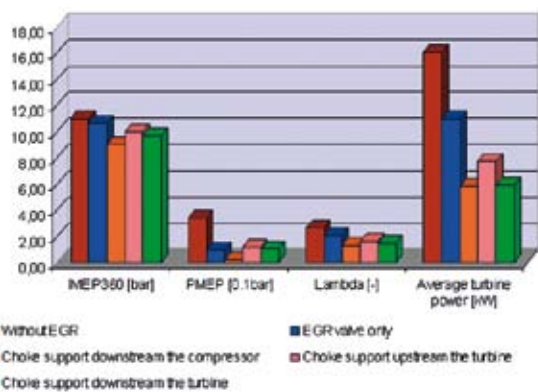


Figure 14. IMEP360, PMEP, lambda and turbine power in the B50 operation point

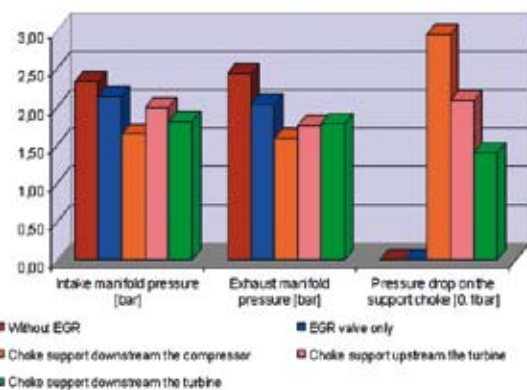


Figure 15. Manifold pressures and pressure drop values on the chokes in the B50 operation point

the initial torque is the highest and the support downstream to the compressor results the least effective support.

The highest overall intake mass flow rate of the 25 % EGR cases is when the support is applied upstream to the turbine. The highest lambda and with this the maximum indicated mean pressure is developed here from the last three high EGR cases.

The difference between the intake and exhaust manifold pressure is maximal in the first case without EGR. If the EGR valve is open, the pressure will be equalized through the EGR system. It means less charge exchange losses and less fuel consumption.

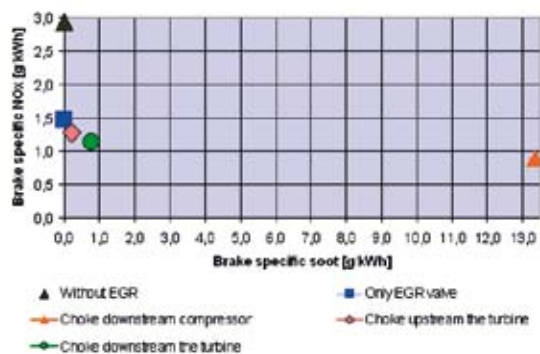


Figure 16. NO_x-soot trade-off in the B50 case operation point

The NO_x concentration decreases significantly (by 70%) in the higher EGR cases. The minimum value results with the intake support but due to low oxygen concentration the soot emission is high.

RESULTS IN THE C75 OPERATION POINT

The attainable EGR rate without any support was 19.9 %. The performance results are shown in Fig.17.

The brake torque values are here the most balanced. With fully open EGR valve but no support (blue case) the simulation results higher brake power.

As seen in Fig. 18. the indicated mean pressure is less in the second case than the initial was due to the recirculated inert gases. Despite this fact the net power can be increased due to the minimized charge ex-change losses (PMEP).

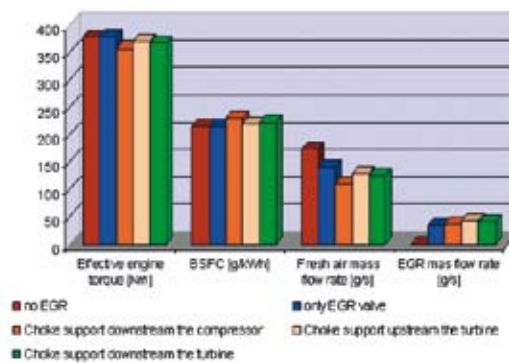


Figure 17. Torque, fuel consumption, gas mass flow rates in the C75 operation point

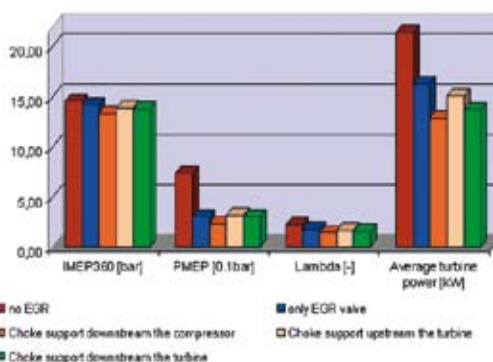


Figure 18. IMEP360, PMEP, lambda and turbine power in the C75 operation point

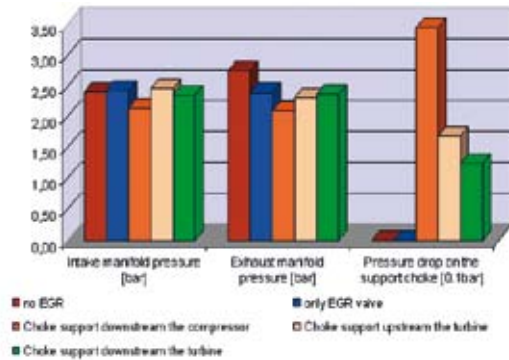
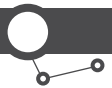


Figure 19. Manifold pressures and pressure drop values on the chokes in the C75 operation point

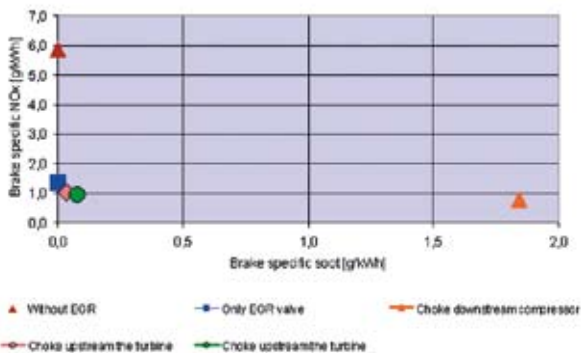


Figure 20. NO_x-soot trade-off in the C75 operation point

The reason for the lower PMEP values in EGR cases can be traced in the Figure 19. With opening the EGR valve the intake and exhaust manifold will be connected to each other and the pressures can be balanced through the EGR loop.

The NO_x-soot trade-off shaped similarly as in the previous simulations. The NO_x reduction is even more pronounced with EGR.

CONCLUSIONS

This paper investigated the EGR rate support alternatives in terms of engine performance specific fuel consumption and NO_x and soot emission levels in selected operation points of the ESC map.

In A25 operation point the NO_x formation was moderately reduced by the exhaust gases and a further EGR-rate increase was not effective: only soot emission increased. The lowest nitrogen-oxide concentration resulted with the support downstream the compressor but with an increased PM emission. Turbine up and downstream support was similarly effective, but with much lower PM. It was interesting to see that an EGR rate increase is how far not the only factor for low NO_x emission. On the other hand other effects of higher EGR rate realization makes severe consequences to the engine performance and soot emission!

The B50 operation point results show similar effects, but the EGR-rate increase with the support continued to decline the nitrogen-oxides. The best value occurred again with the flap in the intake system but the soot is unacceptable. Turbine supports are the same way preferred with low PM emissions and similar NO_x.

In C75 operation point an improvement of the effective torque can be noticed with the fully open EGR valve! It is caused by the balanced intake and exhaust manifold pressure. The pumping losses are minimized this way. The NO_x-soot trade-off diagram looks similar to the previous cases.

As summarization it can be assessed that the support downstream to the compressor is the best EGR-rate increase measure if the goal were only to minimize the nitrogen-oxide emissions. However it is disappointing in PM emission and fuel consumption. In perspective of the fuel consumption, particulate matter and NO_x the best support option could be upstream to the turbine. A drawback of this solution at the realisation is the hard environment due to the high exhaust gas temperatures. Considering the design difficulties a reasonable compromise could be achieved with controlled flap downstream the turbine.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work is connected to the scientific program of the "Development of quality-oriented and harmonized R+D+I strategy and functional model at BME" project. This project is supported by the New Széchenyi Plan (Project ID: TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002).

REFERENCES

- [1] www.dieselnet.com
- [2] J. Warnatz, U. Maas, R.W. Dibble: Combustion, Springer-Verlag 2006
- [3] GT-Suite 7.2 User's Manual, Gamma Technologies Inc., 2011
- [4] Yoshizaki, T., Nishida, K., and Hiroyasu, H., "Approach to Low NO_x and Smoke Emission Engines by Using Phenomenological Simulation," SAE Paper 930612.
- [5] Morel, T. and Wahiduzzaman, S., "Modeling of Diesel Combustion and Emissions," FISITA 1996.

M&A – A vállalati felvásárlás előkészítése

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
BME EJTT

HARALD SCHNEIDER
Knorr Bremse München

STUKOVSKY TAMÁS
Budapesti Corvinus Egyetem

A multinacionális és transznacionális vállalatok megkerülhetetlenek a 21. század modern világgazdaságában. Nem egy közülük jelentősebb gazdasági hatással, illetve befolyással rendelkezik, mint több önálló állam a világban. A vállalat növekedése folyamán elérhet egy olyan pontot, amikor saját erejéből nem képes új technológiát kifejleszteni, vagy új piacokat, esetleg nagyobb piaci részesedést elérni, vagy komparatív előnyöket kihasználni, vagy egyszerűen a költségeit hatékonyan racionalizálni. Ezekre a problémákra is megoldást jelenthet a vállalati bővítés felvásárlással történő megoldása. A cikkünk bemutatja, miként történhet egy vállalati felvásárlás előkészítése.

In the globalised world economy of the 21st century the importance of transnational and multinational companies are increasing rapidly. Some of them were growing so constantly in the past decades that their effect on the world economy became more powerful or important than lots of the existing countries in such indicators like GDP, employment, lobby power, etc. The process itself is very interesting how a company can develop from the beginnings to become a TNC or MNC. In case of development, M&A processes are a good opportunity to get the needed technologies, reach new markets, increase market share, gain advantages or to reduce different costs in order to reach the aimed potential goals of the company. This article is about how to build up and prepare a M&A project.

BEVEZETÉS:

Napjaink globalizált világgazdaságában napról napra fontosabb szerepet játszanak a multinacionális, illetve transznacionális vállalatok. Nem egy közülük az elmúlt évtizedek során oly mértékben növekedett, hogy a világgazdaságra gyakorolt hatása (előállított GDP, foglalkoztatottság, befolyás stb.) több önálló államnál jelentősebb és komoly fejlődő és/vagy fejlett országnál is komolyabb gazdasági erőt képviselnek. Például a 2010-es naptári év legnagyobb árbevételével rendelkező vállalata a Wal Mart Stores éves árbevétele (421 850 millió US \$) meghaladja Norvégia egész éves GDP-jét (412 990 millió US \$). Ezzel az összeggel a norvégok 25. helyen végeztek a világ minden országát tartalmazó IMF-listán. Hazánk 55. ugyanezen a listán, 130 421 millió US \$-nyi GDP-vel, ami megfeleltethető a mindenki által ismert Daimler cégcsoport 2010-es árbevételének (129 481 millió US \$), amivel 24. helyen végzett.

Tanulságos, hogy miként juthat el egy induló vállalkozás – növekedése és fejlődése során – addig a pontig, hogy gazdasági jelentősége önálló nemzetgazdaságokkal versenyezzen. Ahány vállalat, annyiféle növekedési ütemről beszélhetünk. Ennek a fejlődési pályának lehetnek olyan kulcsfontosságú döntési gócpontjai, amikor új dimenzióba helyezheti a tulajdonos vállalatát. A nemzetközi piacokra való kilépés történhet önerőből, összefonódással vagy felvásárlás útján. A cikk azzal a szűkebb kérdéskörrel foglalkozik, hogy miként történhet egy TNC vagy MNC „Merger and Acquisition” (továbbiakban M&A) projektjének előkészítése, azon belül is egy felvásárlási folyamat részállomásai, valamint az

a speciális mérlegelési és döntési folyamat, aminek az eredménye maga a jövőbeni felvásárlás lesz.

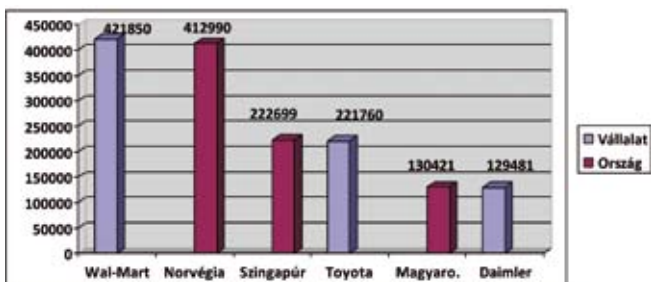
Vállalatok terjeszkedése – Miért terjeszkedik egy vállalat?

Ha pusztán közgazdasági szempontból nézzük, akkor egyszerűen megfogalmazhatjuk minden üzleti alapú vállalat legfontosabb céljával, ami nem más, mint a profitmaximalizáció. Kis túlzással minden előremutató vállalati cselekvést vissza lehet vezetni a jövőbeni profit Pareto-optimalis maximalizálására. Hiszen például új munkaerő felvételével nagyobb volumenű vagy jobb minőségű lehet a termelés (szakképzettség függvényében), ami a későbbiekben a profit növekedésével járhat. Ugyanez igaz lehet minden további a vállalat vagy vállalkozás fejlesztését célzó beruházásokra. Fontos megjegyezni, hogy minden szándék ellenére közel sem rentábilis vagy profitábilis minden befektetés, sőt! Elengedhetetlen az üzleti célok korrekt és reális felmérése, valamint a precíz üzleti terv készítése, különben könnyen veszteséges lehet a beruházás.

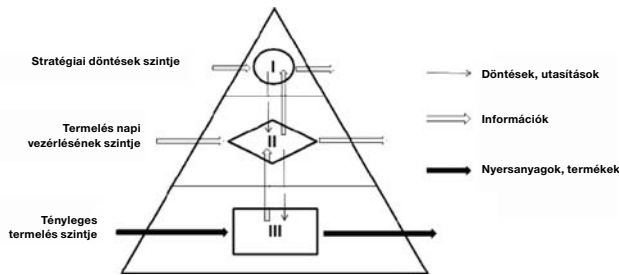
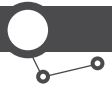
Törnvist finn közgazdász a precíz és praktikus tervezéssel, illetve a költségek racionális csökkentésével indokolja Hymarral közös modelljében, hogy a termelés miért és miként disztributálódik a globális gazdaságban, illetve a TNC-ken belül.

Napjaink modern nagyvállalatai szigorú szervezési és döntési hierarchia szerint épülnek fel, egyes divíziók feladatainak többfésülésén is jól látható, többek között ez az, amivel az információs aszimmetria és az ebből fakadó költségvesztés is kiküszöbölhető, viszont átlátható rendszert kapunk, ami képes a növekedésre. Felső hierarchia szinten stratégiai és hosszú távú döntésekkel, középső hierarchia szinten mindennapi rutinszerű igazgatással, irányítással és kontrollal, valamint alsóbb szinteken pedig magával a tényleges termeléssel foglalkoznak.

Ha egy vállalat a hazai piacokon már stabil lábakon áll, érdemes mérlegelni a nemzetközi piacra lépést, ami számára rengeteg új lehetőséggel járhat. Olcsóbb munkaerőhöz juthat, könnyebben és/vagy olcsóbban juthat a számára nélkülözhetetlen nyersanyagokhoz (erőforrás-kereső beruházás), a világ több pontján lesz elérhető (piackereső beruházás) termékdifferenciációból származó előnyöket és technológiai – innovációs lehetőségeket, illetve különböző komparatív előnyöket használhat ki (hatékonyagszínvonal és stratégiai beruházások). A nemzetek feletti vállalatok a globalizáció nyújtotta lehetőségeket kihasználva előszeretettel helyezik ki termelésüket olyan (fejlődő) országokba, ahol alacsonyabb szintű környezetvédelmi, munkajogi szabályozások vannak, sőt, ha egyes országok ilyen jellegű intézkedéseket kívánnak hozni, szélsőséges esetben



1. ábra: vállalati árbevételek és országok éves GDP-je. Az adatok millió US dollárban értendők és 2010-ben készültek



2. ábra: Törnvist modellje

akár zsarolhatják is a kormányokat, hogy amennyiben a termelési feltételek számukra kedvezőtlenül alakulnak, kiviszik a gyáraikat az országból. Szintén fontos cél a vállalatok ilyen döntéseinél az egyes országok közötti adószabályokból eredő előnyök kihasználása.

A belső tényezők a vállalat saját, döntő többségében önmaga által szabályozható, befolyásolható tényezőket jelentik. Ide tartoznak például: a vállalat (fő)tevékenysége, technológiai rendszere, kulcstényezők, ezek jellege és a hozzájuk való viszonyulás, vállalati forráshelyzet, árak és jövedelmezőség relációja. A külső tényezők a vállalatától leginkább független hatásokat és hatásmechanizmusokat foglalják össze. Remek példa ezekre a nemzeti és nemzetközi gazdaságpolitikai döntések, illetve feltételrendszerek; a versenytársak és az aktuális piac versenyviszonyai (horizontális és vertikális követő hatások). A „kvázi” objektív környezeti adottságok alatt értjük a földrajzi (például szállítási, logisztikai) tulajdonságokat, továbbá a meglévő infrastrukturális kereteket és ezek jellemzőit.

A vállalatok nemzetköziesedését meghatározó tényezőket három kategóriába lehet sorolni a vállalat nézőpontjából:

- Belső tényezők
- Külső tényezők
- „Kvázi” objektív környezeti adottságok.

A LEHETSÉGES BŐVÍTÉSI IRÁNYVONALAK

Amennyiben a bővítés mellett döntenek, jellemzően három fő irányvonal szerint tehetik mindezt. A legelső – és talán a legnehezebb – lehetőség, ha a teljes folyamatot vállalaton belül kívánjuk megvalósítani, azaz saját erőből valami teljesen újat létrehozni! Egy ilyen döntés rengeteg buktatót hordoz magában: szükség van jó ötletre, az esetleges új technológia kialakítása, bevezetése, karbantartása, továbbfejlesztése mind-mind hatalmas költségekkel jár, nem is beszélve arról, hogy a mindenkori (új) piacra lépésnek is komoly pénzügyi vonzatai vannak (lásd: adminisztrációs, marketing stb. költségek). De mindezek felül a legfrusztrálóbb probléma a kockázat. Annak a kockázata, hogy mindaz a teljesen új irányvonal, amibe a vállalkozás belefogott sikeres, illetve hosszú távon jövedelmező lesz-e? Ezt nagyban elősegítheti, valamint akár a belépési költségeket is jelentősen csökkentheti, ha a bővítések irányvonalát a vállalati profilban vagy erősen ahhoz kötődően hajtják végre.

Ez így leírva szinte kézenfekvőnek, már-már banálisnak tűnhet, mégis rengeteg elrettentő példa bizonyítja, hogy sokan túl merészen vagy a kellő tudáskapacitás nélkül fogtak profiltól eltérő bővítésbe. Ellenben, ha az új termék és/vagy szolgáltatás érezhetően köthető az eddigi tevékenységhez, akkor a már birtokolt szellemi tőkét is jobban, illetve sokkal nagyobb hatékonysági fokkal lehet kihasználni, valamint külső szemlélő által tekintve is következetesnek tűnik majd a vállalat potenciális bővülési pályája! A sok felmerülő nehézség ellenére, ha sikeres a projekt, amibe saját erőből vág

bele a vállalat, akkor hosszú távon a 3 lehetséges megoldás közül a legnagyobb hozzáadott értéket produkálhatja!

A második lehetőség egy másik vállalat felvásárlása. Ez az opció első ránézésre sokkal kevesebb nehézséget ró a felvásárló nyakába, mint amikor kis túlzással egy új vállalkozásba kezd, viszont a rövid távú költségvonzata sokkal magasabb az első változattal szemben. Pozitívuma, hogy a felvásárlással teljes technológia szerezhető, ami akár már önmagában is működőképes, és egyszerűbb egy már kész és produktív mechanizmust javítani és tovább fejleszteni, mint kis túlzással a semmiből indulva felvenni a konkurenciával a harcot. Szintén előny, hogy jóval gyorsabb lefolyású, mint az első lehetőség, viszont itt a legnehezebb kérdés a potenciális célvállalat megfelelő kiválasztása. Ezzel a témával a későbbiekben részletesen foglalkozom.

A harmadik járható út az előző két lehetőség keverékeként fogható fel. Ebben az esetben nem egy vállalatot vásárolunk fel, hanem magáért a know-how-ért fizetünk, és az alapján bővítünk saját elképzeléseink szerint. Ez is lehet követendő irányvonal, amennyiben van konkrét és reális elképzelés, hogy a potenciális változtatásokkal milyen piaci réseket lehetne lefedni vagy a konkurenciától piacot szerezni.

A FELVÁSÁRLÁS VAGY FÚZIÓ FORMÁI

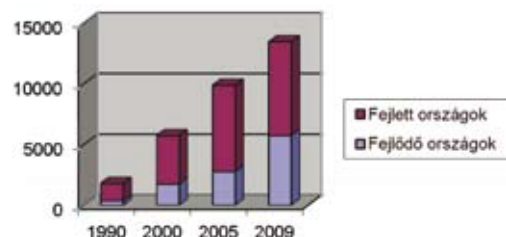
A felvásárlással vagy hasonló méretű cégek esetén fúzióval többféle előny megszerzésére nyílik lehetőség a versenytársakkal szemben. Ezek alapján 4 kategóriát különböztetünk meg:

- horizontális
- vertikális (előre- és hátrafelé irányuló)
- konglomeráció
- diverzifikáció.

Horizontális esetben a célvállalatok a felvásárlás vagy fúzió horizontális esetében ugyanabban a szektorban működnek, tevékenységük nagyon hasonlít, nagyrészt ugyanazt a funkciót látják el a piacon, ez megnyilvánulhat akár megegyező termékekben és/vagy szolgáltatásokban. Ez a megfogalmazás gyakorlatilag konkurens vállalatokat takar. A felvásárlás vagy fúzió oka általában inkább a komolyabb piaci szerep elérését célozza, mintsem a technológiai újdonságok.

Vertikális esetben ugyanazon piacról származnak a vállalatok, viszont a tevékenységi körük különbözik. Ezért érdemes lehet a vertikális felvásárlást kétfelé bontani: előre- és hátrafelé irányuló felvásárlásra. Az szállítási folyamat egyik „láncszemének” beolvasztása a vállalatba előre felé irányuló integrációs folyamatot jelent. Jó példa lehet erre, amikor egy gyár megvesz egy nagykereskedéssel foglalkozó céget.

Konglomeráció és diverzifikáció esetében nem közvetlen versenytársak fúziójáról, hanem eltérő tevékenységű vállalatok különbözőféle összevonásáról beszélünk, ezekben az esetekben kiemelkedően fontos az a stratégia, ami alapján történik majd az együttműködés.



3. ábra: az FDI állomány régiókénti beáramlása

A KIVÁLASZTÁS

A feladat nem más, mint hogy a már kiválasztott célterületről miképpen határozzuk meg a leendő célvállalatot vagy célvállalatokat. Fontos még egyszer alaposan átgondolni, hogy pontosan mik az elérendő célok, és ezek szerint megvizsgálni a piacot. Mindenképpen javasolt a piac átfogó elemzése, ezt a feladatot három fő szempont alapján további részfeladatokra oszthatjuk fel:

- Piaci szereplők tulajdonságai
- A kívánt termék tulajdonságai
- Várható trendek, növekedési pályák, esetleges externáliák.

Első ránézésre a piaci szereplők tulajdonságait összegyűjteni nem tűnik túl nehéz feladatnak, de ahogy mondani szokták, az ördög a részletekben rejlik. Kezdjük azzal, hogy a teljes piacot felmérni nem is olyan könnyű, mert a legnagyobb cégeket valóban relatíve egyszerűbben meg lehet találni, de a legkisebb vállalkozások felkutatása már okozhat nehézségeket. Ezen cégek dokumentálása is elengedhetetlen, ha szeretnénk teljes képet kapni a piacról, mert megeshet, hogy például termékeik jobbakként, de nincs megfelelő kapacitásuk vagy technológiájuk az előállításához, vagy éppen hogy költséghatékonyabb megoldásokat találtak, de termékeik még nincsenek az általunk vagy a piac által elvárt színvonalon.

Miután felmértük, hogy kik is vannak a célpiacon, és ezen belül ki milyen piaci részesedéssel, érdemes görcső alá venni az egymáshoz való viszonyukat. Azaz, kik a közvetlen konkurenciák, hol lehet esetleg valamilyen jellegű piaci kooperációt feltételezni (pl.: kartell), és felmérni, hogy a későbbiekben milyen pozícióelérését lehet kitűzni a piacon hosszú távon. Ha már a piaci szereplőket vizsgáljuk, nem árt, ha a térképre is vetünk egy pillantást, azaz megvizsgáljuk, hogy melyik vállalat hol található meg a világban. Itt is találhatunk olyan területeket, amelyek a későbbiekben penetrálandó célterületként fogalmazhatóak meg, hiszen egyik jelentős piaci szereplő sem vetette még ott meg a lábát. Szintén érdekes lehet megvizsgálni, hogy a különböző vállalati folyamatokat hol helyezik el a földtekén, ugyanis a legjellemzőbb, hogy a központot egy világvárosba helyezik (vagy anno ott jött létre), ez praktikus, mert a fejlett infrastruktúrának köszönhetően minden egy helyre fut be. A regionális központok a célország egy jelentős városában találhatóak meg, innen koordinálva a Hymmar által csak félperifériának nevezett kategóriát, aminek első számú feladata a termelés lebonyolítása. Az A-B-C átlóban az ábrán az egyesített Trönqvist–Hymar modellt láthatjuk a vállalati – globális hierarchia földrajzi megvalósításában.

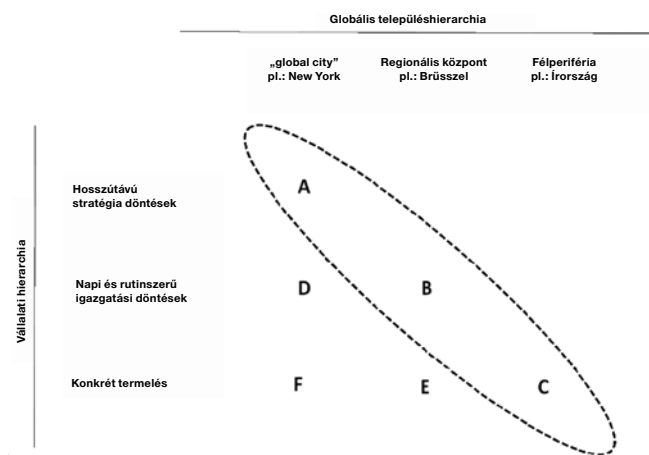
A termékek vagy termékcsoporthoz tartozó tulajdonságait vizsgálva rengeteg lehetőség vetődhet fel. Mindenekelőtt a rendelkezés-

re álló adatok alapján az ismert termékeket célszerű egy közös rendszerbe foglalni, amely segít abban, hogy az egységes szempontok alapján könnyen összehasonlíthatóak legyenek. A fizikai paraméterek összehasonlítása azonos minőségű termékeknel lehet érdekes, kiváltképp a járműiparban. Hiszen mondjuk 2 azonos teljesítményű és minőségű légkondicionáló berendezés közül inkább a könnyebb berendezést választja a vásárló, mert az csökkenti a fogyasztást, és kevesebb helyet is foglal nagy valószínűség szerint. A termék minőségére sok visszajelzést találhatunk az interneten és a szaklapokban, sőt bizonyos terméktípusokat rendszeresen összehasonlítanak minősítő szervezetek, az ő bírálatuk is hasznos tapasztalatokkal szolgálhat. A termék piacon betöltött szerepe is árulkodó lehet (piaci részesedés – piaci növekedés BCG mátrixa), illetve ehhez kapcsolódóan a különböző alternatív helyettesítő és kiegészítő termékei mennyisége és minősége. A legtöbbet talán mégis az anyagiak nyomják a latba, azaz mennyibe kerül a termék, és – bár erre természetesen minimális a rálátás – milyen mértékben nyereséges, érdemes-e rá üzletet építeni, vagy ha a számmal valami nem stimmel, akkor vajon mi ki tudnánk-e hozni belőle többet.

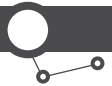
A mai kiszámíthatatlan gazdasági környezetben nehezebb globális és lokális trendekről beszélni, mégis egy olyan vállalat, amelyik ekkora beruházásra készül, szükséges, hogy tájékozódjon és alkalmazkodjon a gazdasági környezet lehetőségeihez és kihívásaihoz. Erre remek példa volt a 2008-as világgazdasági válság, ahol szempillantás alatt kellett átállni az új „játékszabályokra”, és a jelenlegi piaci viszonyok is alapos feltérképezést követelnek meg. A trendeknél az egyértelmű folyamatok mellett, mint például a BRIC-országok egyre komolyabb térhódítása, érdemes olyan „apróságokra” is időt fordítani, mint a legkomolyabb sportesemények. 2014-ben Brazília ad otthont a labdarúgó-világbajnokságnak, és 2016-ban Rio de Janeiróban lesznek a Nyári Olimpiai Játékok, így csak új buszokból több mint 10 000 új darabot rendeltek már most, és további rendelések várhatóak. Szintén érdekes lehet az eddig elmaradottabb területek (Afrika és Ázsia bizonyos részei) növekvő igényei, amire keresleti oldalon szintén bőven lehet építeni (tömegközlekedés, légkondicionálás, légi közlekedés). A lokális trendek közül oda kell figyelni a helyi környezetvédelmi előírásokra, a helyi változó igényekre (kisebbségi városi járművek, alacsonyabb fogyasztással például Európában), de az infrastruktúra alakulására, illetve ha lehetőség nyílik rá, akkor keresni kell az összefogás lehetőségét, „win-win” szituációkat kialakítva (például a kecskeméti Mercedes gyár és a környéki bicikliút-hálózat kiépítése).

HA MÁR VÁLASZTOTTUNK, HOGYAN TOVÁBB?

Ha megvan a végső jelölt, akkor az elemzést még inkább el kell mélyíteni, minden lehetséges információt megszerelve, ami segíthet alátámasztani döntésünk helyességét, illetve ami megkönnyíti a konkrét ajánlattételt a vállalatra. Mindenekelőtt a legfontosabb a vállalati honlap mindenre kiterjedő áttekintése. A honlapon az általános információkon kívül (termékkatalógus, vállalati információk, partnerek stb.) lehetőséget ad arra, hogy egy átfogó képet adjon a vállalatról magáról. Hiszen sokat elárul valakiről, hogy milyen honlapot készít, milyen a design, mennyire részletesek az információk, mennyire átlátható és kezelhető a webes felület. Az internet szerepének rohamos növekedésével már-már szinte alapvetően elvárható a legtöbb vállalatnál egy valamire való webshop vagy egy előzetes webes rendelési lehetőség, hogy akár a világ másik feléről is gond nélkül megrendelhetőek legyenek a termékek. Gyakori hiba, hogy nincs gondosan frissítve a honlap, akár több hónappal régebbi, azóta megváltozott adatokkal van tele. Zavaró lehet, ha a termékleírások nem egységesek vagy ha hiányosak, vagy csak



4. ábra: egyesített Trönqvist–Hymar modell



	GYÁRTÓ VEZÉRELTE ÁRULÁNC	FOGYASZTÓ VEZÉRELTE ÁRULÁNC
Irányítás	Nagy TNC-k	Nagy áruházlancok, márkaértékesítők
Szerveződés	Centralizált, vertikális hierarchia	Decentralizált, horizontális hierarchia (gyakran harmadik világbeli beszállítók)
Iparágak	Tőke- és technológiaigény (autógyártás, számítógépek stb.)	Munkaerő-igényes fogyasztási cikkek (ruházat, cipőgyártás, háztartási cikkek, játékgártás)
Termelés	Nagyméretű sorozatgyártás, méretgazdaságosság	Rugalmas, változatos termelés, tevékenységkör-gazdaságosság
Domináns hozamtípus	Technológiai hozam, vállalaton belüli szerveződésből eredő hozam, vállalatok közötti kapcsolatok felépítéséből származó hozam	Vállalatok közötti kapcsolatok felépítéséből származó hozam, kereskedelempolitikai hozam, a márkanév hozama

1. táblázat: Gereffi: „A globális áruházlanc modellje és a hálózatok”

nehezen értelmezhetőek. Összességében elmondhatjuk, hogy egy vállalati honlap igencsak áruházlanc lehet a vizsgált cég/cégcsoport vállalati attitűdjéről. Egy gondos, naprakész, könnyen kezelhető, többnyelvű weblap kulturált designnal megkönnyíti az odalátogató dolgát, és bizalmat kelthet; míg a felületesen kezelt, hiányos honlap, túlcicomázott vagy már zavaróan minimalista kialakítással taszító hatást válthat ki.

A haszonjármű-iparra is hatványozottan igaz, hogy többségben már nem az egy-egy telephellyel rendelkező nagyvállalatok, hanem a sok országra és (beszállító) vállalatok sokaságára építkező – akár többféle típusú termék előállítására szakosodott – termelési láncok és hálózatok versenyeznek egymással. Ezek alapján érdemes megvizsgálni a célvállalatot Gereffi: „A globális áruházlanc modellje és a hálózatok” című munkája alapján. Áruházlancnak nevezzük az egy termék tervezéséhez, gyártásához, marketingjéhez és árusításához kapcsolódó tevékenységek összességét. Két típusát különböztetjük meg, a gyártó és a fogyasztó vezérelte áruházlancot.

A járműiparra jellemzően a gyártó vezérelte áruházlanc a tipikus, hiszen a piacon a hatalmas TNC-k a meghatározóak, erős centrális irányítással. A fogyasztói igényeknek természetesen ebben az esetben is meg kívánnak felelni, de a gyártó szabadon dönthet a különböző igények közül, kereslet mindenképpen lesz rá. A termelésre is a precíz sorozatgyártás a jellemző, és az abból fakadó méretgazdaságosság. Járműipari beruházás esetén érdemes lehet a gyártó vezérelte áruházlanc fenti pontjait is áttekinteni a célvállalatnál.

A választott céget vessük alá egy nagyon alapos SWOT-elemzésnek, ami lehetőleg minden további kétségünket eloszlatja (az erősségek és lehetőségek bőségesen ellensúlyozzák a veszélyeket és gyengeségeket), és képesek leszünk a célvállalat teljes érintett rendszerét felvázolni. Amennyiben továbbra is vásárolni kívánunk, és minden számunkra érdemleges információval rendelkezünk, eljött a pillanat, hogy felvegyük a kapcsolatot a vállalattal, és tőlük is egy részletes jelentést kérjünk a cég helyzetéről. Ilyenkor ezt a feladatot egy független könyvvizsgáló cég szokta ellátni, de az általuk kapott adatokat mindenképpen vessük össze a saját kutatásaink eredményeivel, mert elképzelhető, hogy komoly meglepetésekben lehet részünk! Nem áll szándékomban bárkiről is rögtön a legrosszabbat feltételezni, de többször előfor-

dult már, hogy a vállalati tájékoztató anyag a valóságnál kissé szebb képet mutatott, ezzel is vásárlásra ösztönözve a leendő vevőket, de annál nagyobb volt a meglepetésük, amikor saját adataikat felhasználva rájöttek a nyilvánvaló eltérésekre, és így a tárgyalóasztalnál is jobb pozícióból indíthattak. Ha a felek még mindig úgy érzik, hogy szeretnének belevágni a kalandba, megkezdődik a tárgyalási sorozat a részletekről, illetve a vállalat tulajdonosaival és/vagy részvényeseivel, de ez a típusú tárgyalási folyamat egy másik cikk témája lehet majd a későbbiekben.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 21. század globalizálódó világában a felvásárlások és a fúziók jelentik a stratégiai hálózatok kiépítésének legjobb eszközét. A vállalatok a nemzetközi piacra kilépve szeretnék lehetőségeiket növelni, termelésüket optimalizálni és főképp profitjukat hizlalni. Ezt többféleképpen megtehetik, de ebben az írásban a felvásárlás esetével foglalkoztunk behatóbban. Összességében elmondható, hogy a leghatékonyabb, ha a vállalat a saját profiljához kötődően kíván fejleszteni, így is felhasználva a már meglévő tudásbázisát, és nem a semmiből kell létrehozni valami teljesen újat, ahol semmi garancia nincs arra, hogy mindez működni is fog. Alaposan fel kell mérni először is a célpiacot, különös tekintettel a piaci szereplőkre, a termékek tulajdonságaira és nem szabad figyelmen kívül hagyni a globális, valamint lokális trendeket, a piacvezérlő mechanizmusokat és az esetleges externáliákat sem! Egyesek szerint a vállalati teljesítményszámok és pénzügyi mutatószámok elárulnak mindent, de szeretném hangsúlyozni az emberi tényező hangsúlyosságát egy ilyen vállalati integrációs projekt megvalósítása során. A felkészültség és az intuíciónak értékes párosítás lehet a projektvezető személyénél. Ha kitisztult a kép, a projektvezető döntése után nagy valószínűséggel marad egy kiválasztott, akit még jobban meg kell vizsgálni, formálisan és informálisan is fel kell vele venni a kapcsolatot, a tárgyalásoknál pedig „észnel kell lenni”. Ha kellőképpen felkészültünk, akkor a vállalattól kapott tájékoztató anyagban nem lesz túl sok újdonság, és akár a turpisságokra is fényt deríthetünk, hiszen ki ne szeretne jószágáért – még ha ez jelen esetben egy vállalat – lehetőleg minél többet kapni?! ●

IRODALOM:

- Gereffi, Gary (2001) – Shifting Governance Structures in Global Commodity Chains
 Törnqvist, Gunnar (1968) – Flows of Information and the Location of Economic Activities
 IMF - GDP Ranking (2010)
 UNCTAD – World Investment Report 2011

Eco-driving méréstechnika fejlesztése az új common rail motoros VW Crafterre

KÁNYA ZOLTÁN

Inventure Autóelektronika

DR. SZALAY ZSOLT

BME Gépjárművek Tanszék

LIMP ANDRÁS

Inventure Autóelektronika

A Porsche Hungária és az Inventure Autóelektronika közös fejlesztése keretében kísérleti jelleggel felszerelt három haszongépjárművet a legújabb CAN-busz technológián alapuló eco-driving (takarékos vezetést támogató) mérőrendszerrel. A 2011 őszén megjelent, dupla turbóval felszerelt common rail dízel motoros VW Crafter – a gyári tesztek szerint – személygépkocsi nagyságrendű üzemanyag-fogyasztással is beéri. Ennek igazolására került a mérőrendszer beépítésre, mely alapján október eleje óta napi szinten kiértékelésre kerül – a különböző potenciális vevőkhöz kölcsönadott – járművek üzemanyag-felhasználása és a járművezető vezetési stílusa.

In the framework of development cooperation, Porsche Hungaria and Inventure Automotive Electronics installed an eco-driving measurement device in 3 VW Crafter vehicles, launched in autumn, 2011. The device - representing the latest CAN bus technology - supports the economical behavior of the drivers. According to the manufacturer tests the fuel consumption of the VW Crafter - installed with bi-turbo, common rail diesel engine - might be barely equal to that of a passenger car. The eco-driving device was installed to prove the testing results. The vehicles are provided to Porsche Hungaria's potential customers and starting from October fuel consumption and driver's behavior is evaluated on a daily basis.

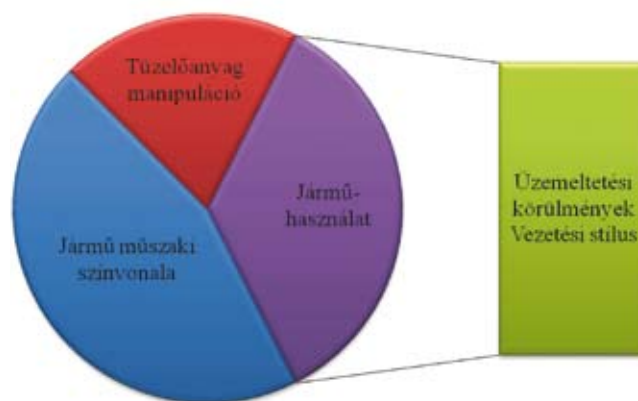
BEVEZETŐ

Napjainkban különösen előtérbe került a hatékony energiagazdálkodásra való törekvés, nincs ez másképp a közlekedés és az áruszállítás területein sem. A vezető autógyárak a legújabb modelljeik fejlesztésénél egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetkímélő technológiák alkalmazására. Az egyik legfőbb cél a járművek fogyasztásának és a károsanyag-kibocsátás mértékének csökkentése. Mindezt úgy próbálják elérni, hogy a korábbi modelleknél megszokott teljesítményt és vezetési élményt ne kelljen feláldozni a környezetvédelem oltárán. Ezen törekvéseket a legmodernebb műszaki megoldások együttes alkalmazásával lehet hatékonyan elérni. Az egyik jellemző trend a motorok méretének csökkentése, az úgynevezett „downsizing”. A motor lökettérfogatának csökkentésével és egyúttal a hatásfokának növelésével úgy csökkenthető a tüzelőanyag-felhasználás, hogy eközben a hasznos teljesítmény nem változik. Ezt a hajtáslánc különböző veszteségeinek minimalizálásával, továbbá többlépcsős turbófeltöltő rendszer alkalmazásával lehet elérni. További fogyasztáscsökkentésre alkalmas megoldás a kisebb gördülési ellenállású gumik és a start/stop rendszerek széles körű alkalmazása. Mindezen megoldásokat tartalmazza a cikkben szereplő új VW Crafter, melynek eredményeként a gyár ígérete szerint személyautó szintűre csökkenthető a fogyasztása [1]. A műszaki fejlesztések mellett igen komoly tartalékok rejlenek azonban a járművezetők gazdaságos vezetésre való nevelésében (eco-driving) is. Méréseink alapján kimutatható, hogy a gazdaságos és a pazarló vezetési stílus között akár 40%-os különbség is adódhat városi forgalmi viszonyok mellett [2]. A mai üzemanyagárak figyelembevételével ez könnyen számszerűsíthető költségmegtakarítási potenciált jelent.

A TÜZELŐANYAG-KÖLTSÉGEK ÖSSZETÉTELE

A magyar (és közép-európai) gyakorlati tapasztalatokra alapozva bátran kijelenthetjük, hogy a járműflották üzemeltetése során jelentkező tüzelőanyag-költségek 3 fő összetevője a hatásosan felhasznált, az ellopott és az elpocsékolott üzemanyag.

A jármű műszaki színvonala a legmeghatározóbb az üzemeltetési költségek alakulásában. Elég csak arra gondolnunk, hogy nem mindegy, hogy egy mai modern pl. common rail dízel motoros világmárkával vagy egy 25 éves technikával szeretnénk fuvarfeladatot vállalni. Azonban még a legmodernebb technológiájú hajtásláncsal ellátott jármű sem képes tartósan alacsony üzemeltetési költségekkel működni megfelelő karbantartás nélkül.



1. ábra: a tüzelőanyag-költségek összetétele

Az üzemanyag-manipuláció problémakörét egy mai flottát üzemeltetőnek nem kell különösebben bemutatni. Minden oldalról igyekeznek fellépni ellene: mechanikus, plombált védelmek, tüzelőanyag-tankszint figyelése, átfolyásmérésen vagy CAN-busz technológián alapuló motor által effektíve felhasznált tüzelőanyag-mennyiség mérése stb. Hiba azonban megelégedni, ha mérhető a motor által elfogyasztott tüzelőanyag mennyisége. Tudniillik nem mindegy, hogy a motor által elfogyasztott tüzelőanyag-mennyiség indokolt volt-e vagy csak szimplán pazarlás. Ne legyenek kétségeink: ha a járművezető

előtt bezárulnak a manipulációs csatornák, akkor komoly havi jövedelemtől esik el. Ezek után anyagi ösztönzőrendszer híján egyáltalán nem lesz érdekelt abban, hogy a jármű minél kevesebbet fogyasszon. A hatékony ösztönzőrendszer alapja pedig az eco-driving méréstechnika, mivel a nemzetközi fuvarozást leszámítva nem könnyű a járművek fogyasztási normájának korrekt megállapítása.

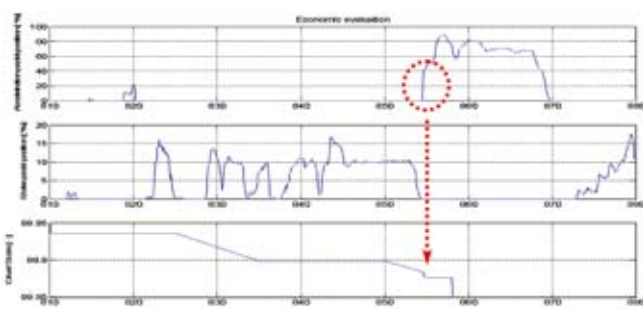
Több korábbi publikációkban kimutattuk azt is, hogy a járműhasználatnak mekkora hatása van a járműkarbantartásra is [2]. Elég csak arra gondolni, hogy annak, aki sportosan vezet az autóját, hamarabb kell gumibroncsot és fékbetétet (általában: kopó alkatrészeket) cserélnie.

A járművezetési stílus (eco-driving) szűkebb, illetve tágabb értelmezése alapján megállapíthatjuk, hogy a járművezetés több területre is jelentős hatást gyakorol, mely alapján a járművezető viselkedésének monitorozásával jelentős előnyökre tehetünk szert az alábbi területeken:

- Közlekedésbiztonság növelése (baleseti kockázat csökkentése) az agresszív vezetői magatartás felismerésével és az agresszív járművezetők kiszűrésével.
- Üzemeltetési költségek (karbantartás, tüzelőanyag és kopó alkatrészek) csökkentése a kíméletesebb használat által.
- Környezetvédelem a kevesebb tüzelőanyag-felhasználás és kisebb CO₂-kibocsátás miatt.

A vezetők monitorozása – vagyis a vezetői stílusbecslés – a fenti szempontok alapján értékelendő tényező. A vezető viselkedése kihat a közlekedés biztonságára; a vezetési morál befolyásolja a szállítási költség nagyságát [3].

A veszélyesáru-szállító járművek (ADR) üzemeltetése során elsőrendű szempont a biztonság, ezért külön projekt keretében vizsgáltuk Magyarország legnagyobb ásványolaj-szállító flottáján a gépjárművezetők vezetési stílusát baleset-megelőzési szempontból [4].



2. ábra: energiatakarékossági értékelés

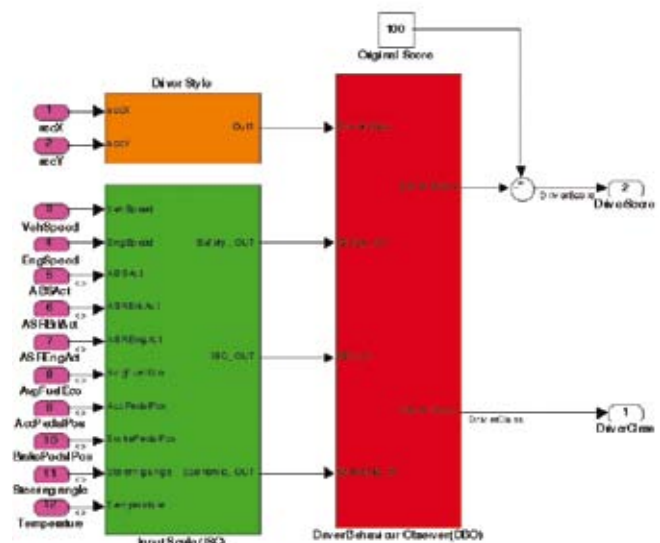
Vezetésmód-mérési lehetőségek:

- Gázpedálhasználat alapján
- Fékhasználat alapján
- Gyorsulásszenzorok alapján
- Fordulatszám- és nyomatékatadatok alapján
- Összetett algoritmus segítségével.

Kutatásaink során olyan összetett algoritmus került kifejlesztésre, mely alkalmas a járművezetők vezetői stílusának mérésére és ez alapján a járművezetők rangsorolására baleset-veszélyesség, tüzelőanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás alapján. Az algoritmus egy részének blokkvázlatát a **3. ábra** szemlélteti. Az eco-driving alkalmazási profil fő kérdései a szállítási feladat és a szállítási teljesítmény, melyekre alapozva a mérési eredmények érté-

kelésére vonatkozóan jósági tényezők meghatározása szükséges. Nem elhanyagolható továbbá a járművezetés során alkalmazott előrelátó gondolkodásmód vagy a biztonságra való törekvés. Tapasztalt járművezetők esetén okozhat gondot a modern motortechnológiához történő alkalmazkodás is, mivel az általuk alkalmazott és évek alatt kifinomult vezetési stílus nehezen változtatható.

Kiemelten fontosnak tartjuk a járművezetők részére történő visszacsatolást. A járművezetői stílusok rangsorolása egyfajta egészséges versenyt is kialakíthat a gépjárművezetők között, főleg akkor, ha a kevésbé jól teljesítőknek lehetőségük van a felzárkózásra különböző képzéseken keresztül.



3. ábra: vezetéstílus-becslő algoritmus [3]

Mindezzel együtt a legfontosabbnak az anyagi ösztönzőrendszer kialakítását tartjuk, véleményünk szerint hosszú távon nem lehet sikeres egy energiahatékonyság-növelő program, ha a járművezetők anyagi érdeklősége nincs szabályozva.

FOGYASZTÁSMÉRÉSI TECHNOLÓGIÁK

A járműtulajdonosok, flottaüzemeltetők egyre inkább kontroll alatt szeretnék tartani a haszongépjárművek tüzelőanyag-felhasználásának teljes folyamatát. Mindezt az emelkedő gázolajárak és ezért az önköltségben egyre dominánsabb üzemanyag-költségek indokolják, továbbá az is, hogy főleg a kelet-európai régióban a fuvarozási üzletben mindennapos probléma az üzemanyag-manipuláció.

A technológia fejlődése a különböző AVL (Automatic Vehicle Locator) rendszerek elterjedésével lehetővé tette a járművek folyamatos nyomkövetését. Az első fogyasztást monitorozó rendszerek a jármű üzemanyagtankjába szerelt gyári szenzor által szolgáltatott tankszint-információt integrálták az AVL-rendszerbe, s az üzemanyagszint-csökkenésből következtettek a jármű fogyasztására [5].

Ennek a módszernek egy továbbfejlesztett változata, amikor a szolgáltató egy saját – a gyárinál pontosabb – üzemanyagszint-mérő szenzort szerel be a jármű üzemanyagtankjába. A pontosabb szenzor tankszintadatait felhasználva az elfogyasztott üzemanyag-mennyiség is pontosabban származtatható.

A tankszint szenzorjelét felhasználó rendszereknél jóval pontosabb megoldás, amikor a jármű motorvezérlője által bebecskendezett üzemanyag-mennyiség a fogyasztásmérés alapja, azonban a '90-es évek végén ezen információk még nem voltak elérhetőek,



4. ábra: gyári tankszint szenzorjele

csupán a műszerfalról lehetett leolvasni néhány modellen. Az ezredforduló környékén a piac részéről kezdett megfogalmazódni az igény, hogy a haszongépjárművek elektronikus rendszeréből ki lehessen nyerni a fogyasztással és a jármű futásteljesítményével kapcsolatos információkat. Ez a CAN (Controller Area Network) busz – szinte minden járműgyártó által használt – kommunikációs rendszer fokozatos elterjedésével műszakilag megvalósíthatóvá vált. Hat vezető járműgyártó (DaimlerChrysler, MAN, Scania, Volvo, Iveco, DAF) 2002-ben a nyílt FMS-szabványban rögzítette a harmadik fél részére átadandó járműves adatok tartalmát és annak módját. Néhány éven belül a 6,5 tonna feletti járműkategóriában szinte minden járműgyártónál elkezdtek megjelenni a telematikai rendszerekhez illeszthető FMS interfészek. Ezeket általában opcionálisan, a vevő kifejezett kérésére szerelték az új járművekbe, mely segítségével a különböző telematikai rendszereken keresztül nyomon követhetővé vált a járművek futásteljesítménye, a pontos tüzelőanyag-felhasználása és a szabványban rögzített további járműves adatok. Manapság szinte már az összes haszongépjármű-típushoz elérhető a piacon nyomkövető rendszerekhez csatlakoztatható FMS interfész. Az Inventure Autóelektronika már 2003-ban megjelent a piacon az FMS-alapú adatgyűjtő fekete dobozával (FMS-CDR), mely a piaci igények alapján elsősorban a üzemanyag-fogyasztás kontrollját tette lehetővé. 2010 augusztusa óta pedig számos járműtípushoz kínál utólag beszerelhető FMS interfészt (FMS Gateway).

Az FMS-szabvány által szolgáltatott legfontosabb járműves adatok:

- járműsebesség
- elfogyasztott üzemanyag
- üzemanyagtank-szint
- gázpedál-pozíció
- motorfordulatszám
- motorüzemóra
- motorhűtővíz-hőmérséklet
- tengelyterhelés
- megtett út
- gépkocsivezető munkaállapotai.

A legújabb – már a jármű fogyasztását is mérő – nyomkövető rendszerek nemcsak a motorvezérlő által mért pontos mennyiségeket mérik, hanem lehetőséget adnak a tulajdonosnak, hogy a jármű által mért, ténylegesen felhasznált tüzelőanyag-mennyiségeket összeesse a tankolási listákkal, számlákkal, így kiszűrve az esetleges anomáliákat [6]. Ezen túlmenően a fejlesztések abban

az irányban haladnak, hogy a tulajdonos meg tudja állapítani, hogy a jármű által ténylegesen elfogyasztott üzemanyag-mennyiség az adott feladat megvalósítása érdekében mennyire volt indokolt. Erre a járművezetési stílus becslési algoritmusok fejlődésével nyílik lehetőség. Ilyenkor tehát már egy komplex rendszert kap a flottaüzemeltető, mely segítségével már nemcsak az esetlegesen eltulajdonított üzemanyag mértéke, hanem a jármű vezetője által feleslegesen elégetett üzemanyag mennyisége is nyomon követhető és költségként kimutatható. Tapasztalataink szerint a nem megfelelő járműkezelésből, vezetési stílusból adódó veszteségek – főleg a városi forgalomban használt járműveknél – elérhetik akár az üzemanyagköltség 40%-át is. Az elmúlt évek tapasztalatai alapján azt gondoljuk, hogy a fent vázolt műszaki megoldások csupán akkor tudnak hatékonyan működni, amennyiben a flotta üzemeltetője a rendszerből kinyert információk alapján egy járművezetőt ösztönző rendszert is működtet. Csak akkor lehet komoly költségcsökkenést elvárni egy ilyen monitoringrendszerrel, ha ez a járművezető jutalmazásával megtakarításra ösztönöz. További járulékos pozitív hatása lehet egy ilyen rendszer bevezetésének, hogy a járművel való kíméletesebb bánásmód nem csupán a fogyasztásra van jótékony hatással, hanem a karbantartási intervallumok is növekedhetnek, az ezzel kapcsolatos alkatrész költségek pedig csökkennek [2].

A FOGYASZTÁSMÉRÉS KALIBRÁCIÓJA

A Volkswagen Crafter járművek kísérleti rendszerrel való felszerelését megelőzően az Inventure Autóelektronika fogyasztásmérő technológiájának adaptálására került sor a VW-konzern legkorábbi dízelmotorjához (Common Rail BiTDI). Az elsődleges járműves mérések során a jármű pontos fogyasztásának megállapítása és a mérési adatokkal való összevetése volt a feladat, melyet különböző vezetési stílusok mellett és eltérő járműterheléseknél vizsgáltunk.

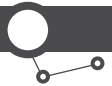
A különböző vezetési stílusok mérésénél az alábbi kategóriákat különböztettük meg:

- Óvatos járműkezelés: A mérésnél a sofőr nem veszi figyelembe a körülötte lévő forgalmat, nem halad tempósan a többi járművel, csupán egy célt tart szem előtt, hogy a lehető legkisebb fogyasztást érje el.
- Normál járműkezelés: A sofőr felveszi a közlekedés ritmusát, de alapvetően tartózkodik a felesleges kigyorsításoktól, visszafogottan vezet.
- Agresszív járműkezelés: Ebben az esetben a járművezető igyekszik kihasználni a jármű motorteljesítményében rejlő lehetőségeket, indokolatlanul dinamikusabban vezet.

A rendszer kalibrálása során városi, országúti és vegyes szakaszokon is történtek mérések. A jármű adatlapjában megadott és a valós körülmények között mért üzemanyag-fogyasztási értékek időnként jelentősen eltérhetnek bizonyos fogyasztást befolyásoló tényezők miatt, melyeket érdemes a mérés kiértékelésekor figyelembe venni:

- A tankolt üzemanyag minősége
- A motor kopottsága (bejáratottsága)
- A jármű össz tömege (terhelés)
- A jármű légellenállása (homlokfelületének nagysága)
- A jármű gördülési ellenállása (gumi minősége, nyomása)
- Vezetői stílus
- Forgalmi helyzet.

A jármű műszaki adottságai miatt (légellenállási tényező, különböző súrlódási veszteségek) a fenti, fogyasztást károsan



befolyásoló tényezők nem szűrhetők ki teljesen, azonban káros hatásuk optimalizálható. Megfelelő minőségű és adalékokkal ellátott üzemanyag tankolása esetén az átlagfogyasztás némileg csökkenthető. Az útvonal megtervezése, bizonyos forgalmi szituációk (forgalmas utak, baleseti gócpontok) tudatos kerülése és a nyugodt vezetői stílus is jelentősen csökkentheti az átlagfogyasztást. Az említett irányelvek mellett fontos lehet még a rakomány megfelelő elhelyezése is, mivel a jármű tömegközéppontjának helyes megválasztása esetén a kerekek és a gumiabroncsok terhelése kiegyensúlyozott marad.

A tankolt mennyiség alapján ellenőrzött fogyasztásmérés pontosságát az alábbi tényezők befolyásolják:

A tankolás pontossága:

- Ugyanarra a szintre való tankolás
- Kútfej mérési pontossága
- Üzemanyag térfogatának hőmérsékletfüggése.

A jármű által szolgáltatott adatok:

- Mintavételi hiba
- Felbontási hiba.

Amennyiben a jármű adatai több tankolási cikluson keresztül rendelkezésre állnak, a fent említett hibák kezelhető mértékűek.

SZAKASZOK	A JÁRMŰ ÁLTAL SZOLGÁLTATOTT ADATOK			MÉRT ADATOK		
	Megtett út	Tankolás	Átlag-fogyasztás	Megtett út	Üzemanyag	Átlag-fogyasztás
Városi normál	214,5	20,5	9,56	214,5	20	9,32
Országúti normál	795	65,19	8,2	793,98	65,94	8,3
Városi agresszív	134	17,06	12,73	134,31	17,04	12,69

1. táblázat: mérési adatok

A mérések alapján megállapítható, hogy a tesztben szereplő jármű legalacsonyabb átlagfogyasztása 8,2 l/100 km, a legmagasabb átlagfogyasztása pedig 12,7 l/100 km-re adódott. A mérés pontossága nem függ a forgalmi helyzetektől, nem érzékeny arra, hogy éppen városi vagy országúti viszonyok között használják a járművet. A teszt folyamán a mérési pontosságban a különböző vezetői stílusok váltakozása sem okozott eltérést.

A mérések alapján az Inventure fogyasztásmérő rendszer mérési pontossága:

- Megtett út: $\pm 0,5\%$
- Elfogyasztott üzemanyag: $\pm 2,5\%$

VEZETŐI STÍLUSBECSLÉS

A vezetői stílusok osztályozása összetett feladat, amelyben a járművezető tevékenységét egy matematikai modellel kell jellemezni. A modell adatbemenetként megkapja a járműben lévő kezelőszervek adatait, továbbá járműdinamikai adatokat, majd ezekből a modell egy a vezetőre jellemző számmal értékeli a vezetői stílust.

Az Inventure Autóelektronika által kifejlesztett járművezető értékelő rendszerének főbb jellemzői:

- 0-tól 250-ig terjedő osztályozóskála felállítása (0 – legjobb, 250 – legrosszabb)
- Többtényezős matematikai algoritmus felhasználása
- Kalibrálhatóság.

Az aktuális járműkezelést a pillanatnyi járműdinamikai és a vezetési paramétereket értékelő komplex algoritmus alapján 0 és 250 közötti számmal jellemezzük (pontozzuk). Büntetőpontokat lehet szerezni például indokolatlan gyorsítás, vagy túlzottan dinamikus fékezés eredményeképpen, vagy akár rosszul megválasztott sebességfokozat esetén is.



5. ábra: vezetői stílus napi diagramja

Amennyiben a járművezető hosszabb ideig optimális viszonyok között tartja a járművet, a korábban elért minősítésen tud javítani,

A NAGY CRAFTER-TESZT

A haszonjárművek fogyasztása minden üzemeltető legfőbb kérdése. Az autó technikai paraméterei, gyári fogyasztási értékei iránymutatást adnak, ám a valódi fogyasztás az üzemeltetési feltételektől és a gépjárművezetők vezetési stílusától is nagyban függ. Nemzetközi és gyártói tapasztalatok alapján a vezetési stílus 15–25%-ban befolyásolja a fogyasztást. Míg a gyári fejlesztések 8–10%-os üzemanyag-fogyasztási és károsanyag-kibocsátási érték javulást óriási eredménynek könyvelnek el, a vezetési stílus változtatása jelentősen nagyobb tartalékokat nyújt.

Hogyan tudunk egy ilyen – emberi és nehezen mérhető – értéket mégis mérhetővé tenni?

Ezt a mérést végezte el a Volkswagen Craftereken az Inventure Autóelektronika. A folyamat végén az üzemeltető – és egyébként az érdeklődők is – a gazdasagosauto.hu honlapon elemezhetik a napi, heti fogyasztási adatokat a vezetési stílussal együtt.

Így válik mérhetővé és a felhasználók által értékesítő a mérhetetlenül sok adat, valamint így számszerűsödik az emberi tényező a járművekben.

A Volkswagen haszonjárművek márká, az eddigi tapasztalatok alapján lehetőséget lát a működő modell üzleti alkalmazására. A flottákat üzemeltető cégeknek és finanszírozóknak ezzel olyan lényeges információkat biztosíthat, mellyel a haszonjárművek üzemeltetési költségei jelentősen javulnak. Következő lépésként egy tréninget is kínálunk a járművekhez, ahol is a járművezetők vezetési stílusának elemzése után lehetőséget biztosítunk a hibák korrigálására.

A nagy Crafter-projekt, egy azon fejlesztések közül, ahol a mérnöki módszerek alkalmazása és az üzleti elképzelések viszonylag rövid távon eredményt hozhatnak.

Kövi Róbert

Porsche Hungaria Kereskedelmi Kft.
Volkswagen Haszonjárművek
értékesítési vezető

mégpedig úgy, hogy az eddig elért pontszámához nem adódnak újabb büntetőpontok, így ezek értéke idővel csökkenni fog. Az 5. ábrán megfigyelhetjük, hogy a vezetési stílust jellemző mutatószám egy konkrét mérés esetén folyamatosan változik. Az aktuális pontszámok menet közben folyamatosan romolhatnak vagy javulhatnak a pillanatnyi járműkezelések, a forgalmi viszonyok vagy akár a terepviszonyok függvényében. A rövid szakaszokon elért értékelések átlaga adja a teljes útra vonatkoztatott összpontszámot, így egy egyszerű mutatószámmal tudjuk értékelni egy sofőr napi teljesítményét.

A vezetői stílusbecsléshez az algoritmus kialakítása során az alábbi paramétereket használtuk fel:

- Motorfordulatszám-eloszlás
- Fékpedál-kezelés
- Gázpedál-kezelés
- Járműdinamikai adatok
- Fogyasztási adatok.

A kísérleti rendszerrel felszerelt járművek fogyasztási és menetteljesítmény-adatai folyamatosan nyomon követhetők a www.gazdasagosauto.hu honlapon. Összesítő táblázatokban megkapjuk a járművek napi megtett távolságát, a hozzá tartozó menetidőt, átlagsebességet, továbbá az adott napra vonatkozó átlagfogyasztást. Ezen felül értékelhető az egyes járművek sofőrjeinek napi vezetési stílusa, melyet egy lineáris skálán olvashatunk le, ahol az angyal szimbólum jelenti a takarékos, az ördög szimbólum pedig a pazarló vezetői stílust. ●



6. ábra: a tesztjárművek napi összesített adatai

ÖSSZEFOGLALÁS

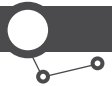
A fogyasztásmérési tesztek eredményeként elmondható, hogy az Inventure Autóelektronika által kifejlesztett rendszer nagy pontossággal képes mérni az elfogyasztott üzemanyag mennyiségét, függetlenül a vezetői stílustól és a terheltség mértékétől. A mérési pontosság egyrészt a rendszer által detektált elfogyasztott üzemanyag és a tankolt mennyiség közötti csekély eltérésben, másrészt a mért mennyiség milliliteres felbontásában mutatkozik meg. A gyári FMS-rendszerek 0,5 literes mérési felbontásával ellentétben az Inventure Autóelektronika által fejlesztett rendszer milliliteres felbontása az üzemanyag-felhasználás tevékenységenkénti felbontását is lehetővé teszi.

Az eco-driving mérés technikai megoldások különböző járművekbe integrálása a nagyon magas üzemanyagárak és a környezetvédelmi normák szigorítása miatt napjainkban újra és újra előtérbe kerül. Használatának legnagyobb előnye, hogy takarékos vezetésre ösztönzi a vezetőt, amely az üzemanyag- és a karbantartási költségekre egyaránt jótékony hatással van.

A Projekt a Nemzeti Technológiai Program támogatásával valósult meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] „Az új Crafter – műszaki adatok” 015.1196.11.16 Volkswagen AG 2011. szeptember
- [2] Szalay, Zs., Kánya, Z., „Practical experiences of an on-board technical inspection support system for commercial vehicles” FISITA 2010 World Automotive Congress, 30 May – 4 June, Budapest, Hungary F2010-E-067
- [3] Gubovits Attila, dr. Szalay Zsolt, Balogh Levente, Klug Dávid, „Járművezetői stílusbecslés gyakorlati alkalmazásának tapasztalatai” A Jövő Járműve 2008/1–2 pp. 27–33.
- [4] Szalay, Zs. et al., „MOLTrans Flottamenedzsment rendszer” Kutatás-fejlesztési jelentés, Budapest, 2006. október 31.
- [5] Szalay, Zs., Kánya, Z., „A fogyasztáskontroll bevezetésének műszaki és gazdasági kérdései”, II. Gépjármű-flottamenedzsment konferencia, Budapest, 2007. szeptember 11–12.
- [6] Kánya, Z., Szalay, Zs., „Haszongépjárművek hatékony üzemanyag-menedzsmentje”, MMA konferencia, Budapest, 2007. szeptember 4–6.



AEBS, avagy radaralapú baleset-megelőzés haszongépjárműveknél

DÓCZY CSABA

Knorr-Bremse
Fékkendzerek Kft.

KOLESZÁR PÉTER

Knorr-Bremse
Fékkendzerek Kft.

A radaralapú balesetmérslklő, illetve -megelőző rendszerek a radar- és fékkendzerek fejlődésével előtérbe kerültek, olyannyira, hogy kötelező előírás is vonatkozik már rájuk. A modern vezetőtámogató rendszerek ezen új válfaját, múltját, jelenét és jövőjét mutatjuk be a jelen cikkünkben.

Radar based collision mitigation and avoidance systems are quickly emerging because of the evolution of radar and brake systems. Furthermore there is a regulation available demanding mandatory fitment of these systems. In this article we present you the past, present and the future of this kind of driver-assistance-system.

BEVEZETÉS

Európai baleseti statisztikák szerint a halálos vagy súlyos kimenetelű balesetek 69%-a vezetőtámogató rendszerek használatával elkerülhető lett volna. Ezen balesetek egy jelentős része az ún. ráfutásos balesetek, melyeknek több mint fele a vezető kimerültségére vagy egyéb okok miatti figyelmetlenségére vezethető vissza. Bizonyos esetekben a kialakuló baleseti szituáció csak késve ismerhető fel, így az már nem elkerülhető. Megfelelő beavatkozással azonban a baleset következményeinek súlyossága csökkenthető. Ilyen beavatkozás lehet a vészfékezés, mely jelentősen csökkentheti a jármű kinetikus energiáját az ütközést megelőzően. Különösen fontos lenne ez a haszongépjárművek esetében, amik aránytalanul nagy arányban okoznak halálos vagy súlyos kimenetelű baleseteket, épp a méreteik és tulajdonságaik révén.

AEBS

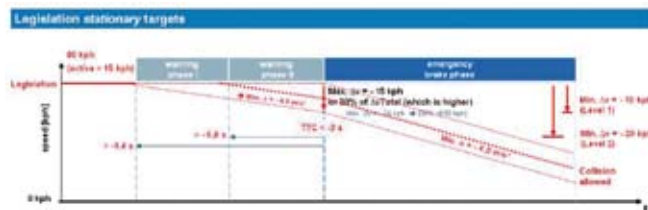
Út az AEBS-hez

Az ütközésmérslklő – vagyis az ütközést megelőző, illetve a baleset súlyosságát mérslklő – rendszerek (angolul Collision Mitigation, CM) alapját nyilvánvalóan a radaralapú adaptív sebességtartó automatika szolgáltatathatja. (Adaptive Cruise Control, ACC) Az ACC egy eredetileg tisztán kényelmi funkciónak – tempomat – a továbbfejlesztése, mely képes a jármű hosszdinamikájába beavatkozni. Az ACC működése a következő: a vezető beállítja a kívánt sebességet, melyet a rendszer automatikusan tart (tempomat funkció). Egy radarszenzor segítségével érzékeli a rendszer, ha jármű előtt a járműnél lassabban halad egy másik jármű (céljármű, célobjektum). Ekkor az ACC automatikusan csökkenti a motor hajtónyomatékát, ha kell lefékezi a járművet, és felveszi a jármű előtt haladó céljármű sebességét. Ha a céljármű felgyorsul vagy lekanyarodik, az ACC felgyorsítja a járművet az előzőleg beállított sebességre, anélkül, hogy a vezetőnek saját magának gyorsítania kellene. Az ACC tehát komfortosabb vezetési feltételeket biztosít, csökkenti a tüzelőanyag-fogyasztást és növeli az úthálózat kihasználását. Fontos megjegyezni, hogy az ACC egy komfortfunkció. A vezető külön kezelőszerveken keresztül bekapcsolja, beállítja a kívánt sebességet és a követési távolságot/

időt, és a rendszer megpróbálja ezen beállított értékeket tartani. Az ACC fő bemenete egy akár 200 méteres hatótávolságú radar, kimenetein pedig a motort, retardert és üzemi fékeket vezérli, továbbá működéséről, a beállított sebességről és távolságról informálja a vezetőt. Az ACC – mint komfortfunkció – csak egy bizonyos szintű lassulást tud kivezérelni (általában maximum 2 vagy 3 m/s²), ennél nagyobb vagy akár vészfékezést nem! Abban az esetben, ha ennél az előre beállított értéknél nagyobb kellene fékezni ahhoz, hogy a jármű biztonságosan le tudjon fékezni a céljármű mögött, az ACC figyelmezteti a vezetőt és felszólítja (ún. Take-Over Request, TOR), hogy saját maga vegye kezébe az irányítást és szükség esetén fékezze az autót, vagy kerülje ki a célt. A vezető és a rendszer közötti kommunikációt – kezelőszervek, vezető tájékoztatása, műszerfali visszajelzések, TOR – egy ún. HMI végzi és koordinálja (HMI – Human-Machine Interface, Ember-gép kapcsolat). A HMI szerves részét képezi az ACC-rendszernek, mert ergonómikusként kell lennie, könnyen kezelhetőnek, az általa adott riasztásnak egyértelműnek és jól érzékelhetőnek.

Adott tehát egy rendszer, amely autonóm módon tud fékezni (és gyorsítani), és érzékeli a jármű előtti forgalmat. Kézenfekvő tehát, hogy az ACC alapjaira építkezve lehet létrehozni egy ráfutásos balesetek elkerülésére vagy mérslklésére alkalmas immár biztonsági rendszert.

A CM alapja tehát egy radar. Sajnos a radar mérési elvéből fakadóan nem „látja” a járműveket, tárgyakat, csak a visszaverődések alapján (leginkább fémtárgyakról), azok helyéből, teljesítményszintjéből tud következtetni arra, hogy a jármű előtt mozgó vagy álló objektumok vannak. A mozgó objektumok – céljárművek – detektálása nyilvánvalóan könnyebb (ACC-nél is használt), az álló objektumok – például egy kanyarban az álló kocsisor vége vagy a ködfátyolban megbúvó jármű – érzékelése viszont komoly kihívás. Így a CM-rendszer legfontosabb eleme az a radar, ami mind az álló, mind a mozgó objektumokat olyan megbízhatóan kell hogy érzékelje, hogy az alapján a rendszer akár vészfékezést is tudjon indítani. További különbség az ACC és a CM-között, hogy míg az előbbi komfortfunkció, amit a vezető külön bekapcsol, beállít, és tudja, hogy az egy bizonyos szintig segítségére lesz, addig az utóbbi egy biztonsági rendszer, amit a vezető nem kapcsol be, hanem az mindig aktív, a háttérben figyel és szükség esetén beavatkozik, és talán életet is ment.



1. ábra: AEBS beavatkozási „kaskád” álló járműre

Törvényi előírások

A vezetőtámogató rendszerek (Driver Assistance Systems, DAS) segítségével csökkenthető balesetek legalább egyharmadát az ACC- és CM-rendszereknek hála lehet megakadályozni. Ezek a rendszerek gyorsan terjednek a személygépkocsik között – ahol a vásárlók hajlandók megvenni a kényelmet és biztonságot egyértelműen és bizonyítottan növelő funkciókat. Az európai haszongépjármű-piacon azonban, ahol teljesen más a hozzáállás és gazdasági modell – mint pl. az USA-ban – a vezetőtámogató rendszerek (pl. ESP) elterjedése sajnos lassú.

Ezen összefüggéseket felismerve a hatóságok kötelezően előírják (EU, ENSZ EGB) a radaralapú vészfékrendszerek felszerelését a haszongépjárművek bizonyos kategóriáira 2013-tól. Ezzel el is érkezünk a címben szereplő mozaikszó értelmezéséhez, ugyanis az AEBS nem más, mint a haszongépjárművekre vonatkozó szabályzásban leírt ütközésmérséklő rendszer, az Advanced Emergency Braking System, vagyis fejlett vészfékező rendszer.

A rendelkezés főbb pontjai:

- A jármű, melyen AEBS van felszerelve, kötelezően felszerelendő ABS-szel is.
- Az AEBS riasztást ad abban az esetben, ha egy ütközés fenyeget egy olyan céljárművel, amely a saját sávjában a járműnél lassabban halad, megállt vagy álló.
- A riasztást követően egy automatikus vészfékezést kell indítsón, melynek célja a jármű sebességének jelentős csökkentése. Ebben a vészfékezési fázisban a jármű üzemi fékrendszerén keresztül legalább 4 m/s^2 lassulást kell megvalósítani.
- A riasztási stratégiát úgy kell meghatározni, hogy az tényleg a vezetőt segítse, a figyelmét a lehetséges ütközésre felhívja, és hagyjon a vezetőnek elég időt arra, hogy az automatikus vészfékezés előtt a forgalmi szituációra reagálni tudjon.
- A riasztás két lépcsőben és megfelelő időzítéssel érkezik: első lépcsőben legalább egyféle módon kell riasztani (akusztikus vagy heptikus riasztás), a második lépcsőben legalább kétféle módon kell riasztani (akusztikus, vizuális és heptikus).
- Heptikus riasztás (érintési/tapintási) lehet akár az övfeszítő meghúzása, a vezető ülésének rezgetése stb., de akár egy vészfékezés erősségét el nem érő autonóm fékezés (általában $2\text{-}3 \text{ m/s}^2$).
- A rendszernek aktívnek kell lenni min. 15 km/h felett egészen a jármű maximális sebességéig.
- Az AEBS minden gyújtásráadásakor aktiválja magát, a vezető ezt követően a rendszert kikapcsolhatja.
- Meg kell teremteni a lehetőséget, hogy a vezető az AEBS-beavatkozást (riasztás, fékezés) bármikor felülbírálja (pl. indexléssel, kikerüléssel, gázpedál lenyomásával).

A fentiekből látszik, hogy a törvényalkotó kifejezett szándéka egy fejlett, vezetőt ténylegesen támogató rendszer előírása a ráfutásos balesetek hatásainak csökkentésére. Ezt külön ki kell emelni, hiszen a vezető mint legfontosabb „érzékelő” a járműben mindenkor a legfontosabb végrehajtó is, akinek mindig az irányítási hurokban kell maradnia, jó esetben csak ő tudja optimálisan megítélni az adott forgalmi szituációt. Így egy eszményi AEBS-rendszer az utolsó pillanatig megpróbálja felhívni a vezető

figyelmét a lehetséges veszélyre, és csak akkor indítani az automatikus vészfékezést, ha a baleset már a vezető beavatkozása által nem elkerülhető.

A tervezet tartalmaz több tesztleírást is, amivel az AEBS-rendszer működését kell a hatóságoknak a homologációnál ellenőrizni. A tesztek tartalmaznak funkcionális követelményeket is, továbbá téves riasztást ellenőrző követelményeket is. A törvényalkotó – nyilván a rendszer- és járműgyártók közreműködése lévén – tisztában van a radarok jelenlegi teljesítményével, az érzékelés jóságával és határaival, így különböző előírásokat alkotott az álló, illetve mozgó járművekkel szemben:

- Álló objektum esetén csak ütközésmérséklés a cél; a jármű sebességét a becsapódáskor az eredetihez képest 10 km/h -val (illetve 20 km/h , 2016 után) kell csökkenteni.
- Mozgó járművek esetén a cél az ütközés megelőzése, vagyis a rendszer a járművet a céljármű sebességére kell fékezze anélkül, hogy ütközés történne.

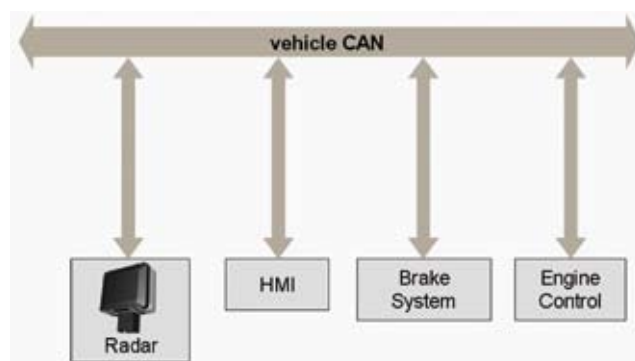
Említést érdemel az álló objektumokra elvégzendő vizsgálat vázlata, mely alább látható:

- Az álló személyautót a vizsgált jármű 80 km/h -val közelíti meg.
- A riasztásnak (mindkét fázis), illetve a vészfékezésnek a becsapódás számított értékéhez képest (TTC, time-to-collision) a megfelelő időben kell kezdődnie.
- Az AEBS által elért teljes sebességszökkenés minimum értéke adott, melynek max. 30% , avagy 15 km/h (amelyik nagyobb) lehet a heptikus riasztás során bekövetkező sebességszökkenés.

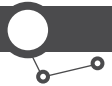
Indokolt megemlíteni itt is a helyes riasztási kaskád kialakításának fontosságát. Az ábrán ugyanis látható, hogy akár a riasztás első fázisában is történhet autonóm fékezés (heptikus riasztás), ebben az esetben már a riasztás során csökkentjük a jármű sebességét, így egy későbbi esetleges ütközés energiáját is. De ebben az esetben a vezető helyes és időszerű informálása csorbul, hiszen azt érzékeli, hogy a jármű egyszer csak magától fékez, úgymond minden figyelmeztetés nélkül. A másik véglet, ha a riasztás egyik fázisa során sem történik fékezés, így a vészfékezés kezdetekor a jármű még az eredeti – nagy – sebességgel robog, ebben az esetben viszont a vezetőt a riasztás hatására és időtartama alatt háborítatlanul kormányozhat, fékezhets, reagálhat a kialakult komplex forgalmi szituációra. Mint látható, a riasztás stratégiájának megfelelő megválasztása egy optimalizálási feladat, és valószínűleg a vevő igényei, ízlése fogja meghatározni.

A hamis riasztás teszt pedig a következőképpen épül fel:

- Két személyautó áll egymás mellett, közöttük $4,5 \text{ m}$ távolság van, ugyanarra néznek amerre a vizsgált jármű halad
- A vizsgált jármű 50 km/h -val elhalad centrálisan közöttük
- Az AEBS-rendszer semmilyen riasztást vagy fékezést nem generálhat.



2. ábra: az AEBS-rendszer felépítése



A hamis riasztási teszt a törvényalkotó egyértelmű törekvését szemlélteti arra vonatkozólag, hogy jó, a vezető által elfogadható és a vezetőt tényleg támogató rendszert fogad csak el, mely csak indokolt esetben riaszt, és ezáltal nem ösztönzi a vezetőt arra, hogy a rendszert a gyújtás ráadását követően kikapcsolja.

Az fent összefoglalt AEBS-t több lépcsőben és több teljesítményszinttel kötelezően 2013 és 2016 között kell bevezetni bizonyos N2, M2, N3 és M3 kategóriájú járműveken (tehergépkocsik és buszok).

AEBS-rendszer felépítése, működése

Az AEBS-rendszer egy integrált vezérlőegységben kerül megvalósításra, amely magában foglalja a radarszenzort, a jelfeldolgozáshoz szükséges speciális célelektronikát, valamint egy általános célú mikroprocesszort is, amiben a funkciót megvalósító algoritmusok és a CAN kommunikáció kezelése fut. Ezekon kívül a rendszer része még az általában a műszerfalba, heptikus riasztás esetén az ülésbe, biztonsági övbe szervesen integrált HMI is, ami a riasztásokat, illetve az esetleges hibákat közvetíti a járművezetőnek. Ezeket és a fék, illetve a motor vezérléséhez szükséges információkat a rendszer a haszongépjárműveken elterjedt szabványos SAE-J1939-es CAN-kommunikáció segítségével közvetíti, illetve ezen a csatornán keresztül gyűjti be a működéshez szükséges járműadatokat is.

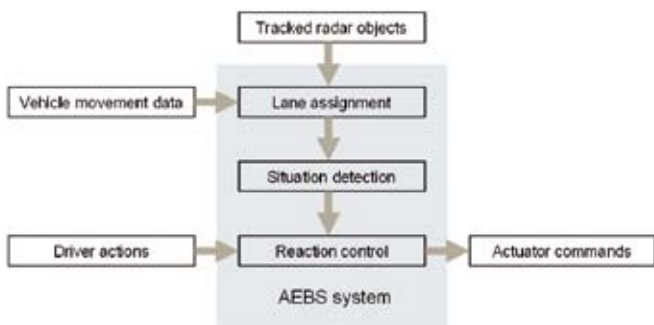
AEBS-rendszer működése

Az AEBS-funkció sematikus felépítését a **3. ábra** szemlélteti, amelyen láthatóak a rendszer ki- és bemenetei, illetve a belső építőelemei is.

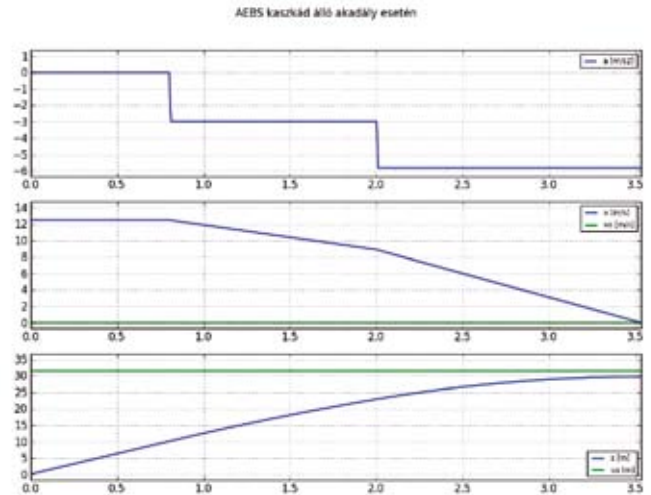
A rendszer elsődleges bemenete a radarszenzorok által feldolgozott, követett és múlttal rendelkező objektumok listája. Az objektumok járműhöz viszonyított koordinátái és relatív sebességei mellett fontos adat még az előfeldolgozás alatt kapott különböző címkék – mint például álló vagy mozgó – és a mérés jóságát, megbízhatóságát leíró statisztikai jellemzők, mint például a mért hossz- és keresztirányú távolság szórása. Ezek az adatok szükségesek ahhoz, hogy az AEBS-funkció számára releváns objektumok kiválaszthatóak legyenek.

A következő fontos bemeneti jelcsoport a jármű mozgását leíró jellemzők, elsősorban a jármű keréke sebességei és a legyezési szögsebesség értéke, amelyek együtt már alkalmasak a jármű állapotának modellezésére és haladási pályájának előrejelzésére. Ezek az adatok szerencsére a mai modern elektronikus fékrendszerrel és menetstabilizáló rendszerrel ellátott haszongépjárműveken a CAN-buszon elérhetőek, bár a megfelelő minőségüket további jelfeldolgozással biztosítani kell. A menetstabilizáló rendszer nélküli járművek esetén egy a legyezési szögsebesség értékét mérő további szenzorra lehet szükség.

Ezen adatok alapján először meghatározható egy út- vagy sávmodell, amely analitikusan leírható görbékkel írja le a jármű előtti útszakaszt. A következő lépésben az objektumokat a megfelelő



3. ábra: az AEBS-rendszer működése



4. ábra: AEBS fékezési kaszkád elméleti lefolyása

sávokhoz kell rendelni, annak érdekében, hogy eldönthető legyen, melyik objektum jelent tényleges veszélyt. Az előbbieken leírt követelmények alapján látható, hogy a riasztási kaszkád megvalósításához az objektumokat már közel 70 méteres távolságból is pontosan azonosítani, és lehetőleg megszakítás nélkül követni kell, ugyanakkor a bevágási és hirtelen irányváltoztatási manőverek miatt nagy dinamikára is szükség van. Ez a radar és a jármű mozgásának mérési bizonytalanságai miatt nem egyszerű feladat. Ezért az egyszerű geometria elhelyezés helyett a sávhozrendeléshez szükség van az objektum előző állapotait és a járművek valós „szokásait” figyelembe vevő valószínűségi modell használatára.

A következő lépés a forgalmi szituáció helyes felismerése, és a számunkra valóban releváns objektum kiválasztása. Az igazán veszélyes szituációt a saját sávunkban közvetlenül előttünk, nálunk kisebb sebességgel haladó vagy álló objektum jelent, ugyanakkor a komplex forgalmi helyzetek elemzése érdekében figyelembe kell venni a saját sávunkban második legközelebbi járművet, amelynek hirtelen lassulása előre jelezhet egy rövidesen eszkalálódó szituációt, illetve a szomszédos sávokban hozzánk legközelebb haladókat is, akik elénk bevágva okozhatnak hirtelen veszélyt. Itt nyílik lehetőség olyan szituációk felismerésére is, amelyek tipikusan hamis riasztást okozhatnak, mint például egy autópálya-kihajtón előttünk lévő tábla.

Ha megvan a veszélyt jelentő jármű és szituáció, akkor következik a helyes reakció megválasztása, és a riasztási, beavatkozási kaszkád végrehajtása. Itt a legfontosabb dolog az, hogy a teljes folyamat alatt biztosítani kell, hogy a járművezető a riasztást vagy a beavatkozást megszakíthassa, vagy a helyzet enyhülése vagy megszűnése esetén magától megszakadjon, ha például az előttünk lévő jármű gyorsítani kezd. Ehhez szükség van a járművezető tevékenységét mutató jelek vételére, amelyek a CAN-buszon a fék (fékpedálállás, kormánysszög), motorvezérlő (gázpedálállás) és egyéb fedélzeti elektronikák (irányjelző) felől szabványos vagy gyártóspecifikus üzenetekben rendelkezésre kell álljanak. A feladat megvalósítását egy összetett állapotgép végzi, amelyben a kaszkádnak megfelelő viselkedést megfelelő időzítők, a felülbírlást a sofőrreakció által vagy a szituációs bementek által kiváltott állapotátmenetek biztosítják. A kimenetek pedig a jármű aktuátorait vezérlő CAN-üzenetek, az akusztikus és/vagy optikai riasztást biztosító HMI, a lassulási igényt megvalósító fékrendszervezérlő egység és az ezzel párhuzamosan szükséges hajtónyomaték-limitálást megvalósító motorvezérlő felé.

A követelmények vizsgálata és alkalmazása valós szituációban

Az előbbieken leírt hatósági előírások a minimálisan teljesítendő kritériumokat specifikálják, a gyártók és a megrendelők ezeknél szigorúbb követelményeket is megfogalmazhatnak, aminek elsősorban a technikai korlátok szabnak határt. A jelenlegi radartechnológiák egyik legnagyobb kihívása az álló objektumok osztályozása. Amennyiben ugyanis egy követett objektum mozog, vagy a követés kezdete óta mozgott, akkor arról elég nagy biztonsággal állítható, hogy egy figyelembe veendő akadály. Ha azonban csak állóként érzékeljük, akkor ez a döntés sokkal nehezebb. A radar működési elvéből következően ugyanis egy aknafedél, egy út felett átívelő híd vagy egy jármű között nem könnyű különbséget tenni, márpedig egy híd előtt az üres úton vészfékezéssel megállni nemcsak zavaró, hanem a mögöttünk jövőkre és az esetleges stabilitásvesztés miatt a saját járművünkre is nagyon veszélyes manőver. Lehetséges ugyan, hogy közelebb érve a rendszer már észreveszi a saját hibáját és megszakítja a riasztást vagy a már elkezdett beavatkozást, de a rendszer szempontjából ez sem megfelelő, a hamis riasztások ugyanis nagymértékben csökkentik a rendszer elfogadottságát, főleg mivel haszongépjárművekről és az azokat vezető hivatásos sofőrökről van szó. Így a követelmény kettős:

- elkerülni vagy az előírt mértékben csökkenteni a balesetet, és
- minimalizálni a hamis riasztások számát.

A következőkben megvizsgáljuk, hogy milyen távorról kell egy járműről eldönteni, hogy veszélyt jelent-e. A számításához a jelenleg még előkészítés alatt lévő előírásban szereplő számokat használjuk és a következő kaszkádot alkalmazzuk a beavatkozásra:

- 1. fázis:** akusztikus és/vagy optikai riasztás 0,6 másodpercig, autonóm fékezés nincs.
- 2. fázis:** részfékezés, mint heptikus riasztás folyamatos 3 m/s² lassulással 0,8 másodpercig, és közben akusztikus/optikai riasztás.
- 3. fázis:** vészfékezés, itt 5,8 m/s² lassulással számolunk, mivel nehézhaszongépjárművekre ezzel a lassulással lehet számolni még maximális terhelés mellett is.

Ezenkívül a manőver végén szeretnénk egy biztonsági távolságot megtartani, aminek értéke 1,0 m.

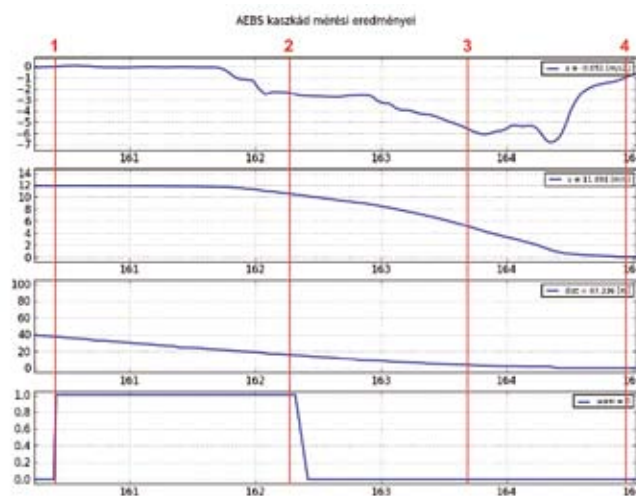
Az **1. táblázatban** feltüntettük néhány tipikus manőver főbb paramétereit, úgy mint a riasztás megkezdésekor szükséges, az akadály és a saját járműnk közötti távolság, a részfékezés alatti sebességcsökkenés és a vészfékezés kezdetekor értelmezett TTC értékét. Az előírások az utóbbi két értékre vonatkozóan is tartalmaznak határértékeket. A TTC mindig az adott pillanatban a relatív sebesség és a távolság alapján számolt idő. Látható, hogy 80 km/h-ról fékezve egy álló akadály előtt már 65 m-rel megszólal a riasztás és 1,76 másodperccel a várható becsapódás előtt kezdődik a vészfékezés.

Az **4. ábrán** látható grafikonon a táblázat utolsó sorában leírt AEBS-beavatkozás időbeni lefolyása figyelhető meg a riasztás kezdetétől a megállásig, míg az **5. ábrán** egy az adott kaszkáddal végrehajtott tényleges fékezés mérési adatai láthatóak. Az itt számokkal bejelölt időpontokban a **6. ábrán** a saját készítésű méréskiértékelő rendszer segítségével készült képek láthatóak, ahol a videóra rajzolt és a felülnézeti képen látható radarobjektumok, az útmodell és a radar látószöge is megfigyelhető.

Az 1-essel jelölt időpontban szólal meg az akusztikus riasztás, amit az ábra negyedik tengelyén lévő jel mutat. A 2-es pillanatban már megkezdődött a részfékezés, a sofőr itt már ténylegesen érzi, hogy a helyzet fokozódik, de még mindig közbe is léphet, akár el is kerülhetné az akadályt. A 3. momentum már a vészfékezés szakaszában van, az ütközés már elkerülhetetlen lenne, és végül az utolsó, 4-es időpont a biztonságos megállás után mutatja a távolságot.

Természetesen a manőver sikeréhez kellett a jó tapadású aszfalt, hogy az akár 6 m/s² feletti lassulások is realizálhatók legyenek. A mérésen jól látható, hogy az elmélethez képest a gyakorlatban a lassulás a féknyomás felépülésének és a tapadási viszonyoknak megfelelően késleltetéssel épül fel, és az ezeknek a hatásoknak a kompenzálására készült zárt szabályozókörfolyamatosan, akár a tervezettnél nagyobb lassulással kompenzálja ezeket a bizonytalanságokat.

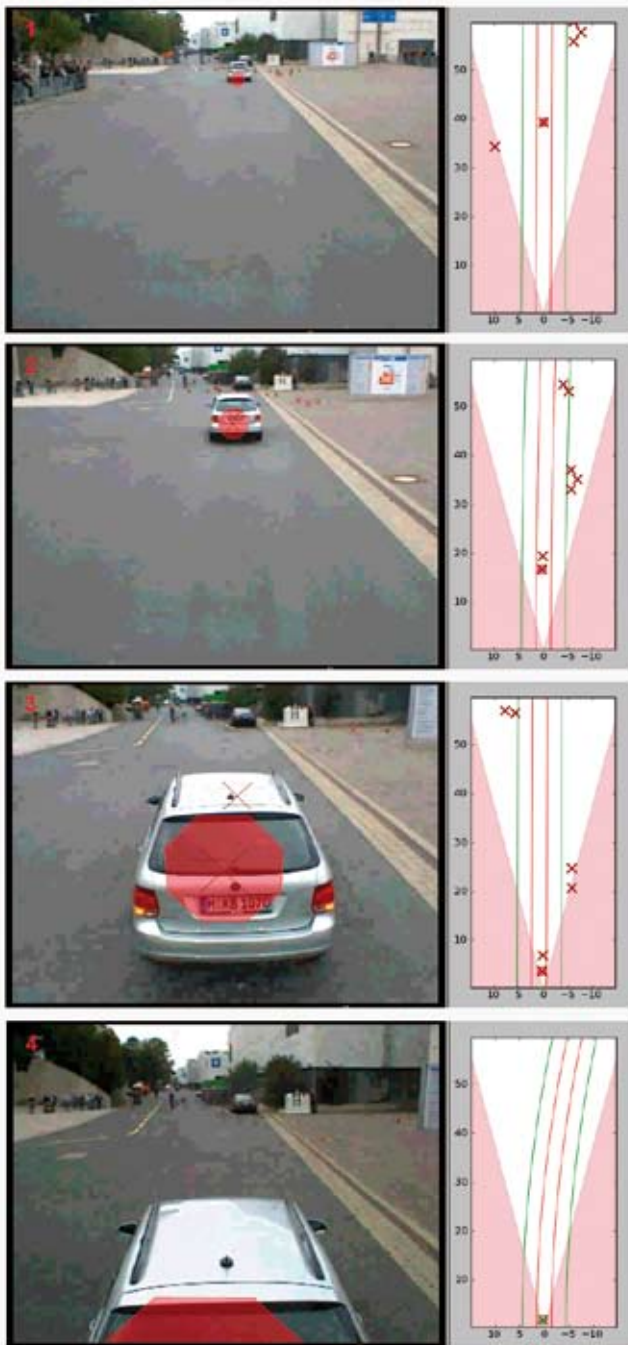
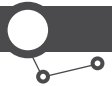
A bemutatott példán jól látható, hogy a rendszer 45 km/h sebességről biztonságosan képes elkerülni az ütközést egy álló személyautóval.



5. ábra: AEBS-fékezési kaszkád a gyakorlatban

A SAJÁT JÁRMŰ SEBESSÉGE [KM/H]	AKADÁLY SEBESSÉGE [KM/H]	1. FÁZIS HOSSZA [S]	2. FÁZIS HOSSZA [S]	TÁVOLSÁG A RIASZTÁS KEZDETEKOR [M]	SEBESSÉGCSÖKKENÉS A RÉSZFÉKEZÉS ALATT [KM/H]	TTC A VÉSZFÉKEZÉS KEZDETEKOR [S]
80.00	32.00	0.60	0.80	29.01	8.64	0.57
80.00	12.00	0.60	0.80	49.92	8.64	1.23
80.00	0.00	0.60	0.80	65.02	8.64	1.76
45.00	0.00	0.60	0.80	26.33	8.64	0.97
45.00	0.00	0.80	1.20	31.67	12.96	0.99

1. táblázat: AEBS-manőverek főbb paramétereit



6. ábra: AEBS-fékezés álló személyautóra

Ez tehát a jövő (és kicsit a jelen is): autonóm módon fékező 40 tonnás szerelvények a biztonságosabb közlekedés érdekében.

AZ AEBS-RENDSZER FEJLESZTÉSEINEK LEHETŐSÉGEI

Hogy mit hozhat a jövő az ütközésmérséklő rendszerek terén? Ehhez vegyük alapul azokat a jelenlegi tulajdonságokat, amik a mai CM-rendszer teljesítményét korlátozzák:

1. Objektumok – főleg az álló – helyes és megbízható felismerése.
2. A remélhetőleg helyesen felismert objektumok helyes és a valóságnak megfelelő sávhoz rendelése.

3. A riasztás és vészfékezés stratégiájának menet közbeni, a vezetőnek és az útviszonyoknak megfelelően testreszabott változtatása.

A felsorolás az ütközésmérséklő rendszer architektúrájának blokk-sémája alapján sorolható (a radarbemenettől a riasztás felé haladva), és ez az adott esetben nagyjából megegyezik a jelenlegi teljesítményt leginkább korlátozó tényezőkkel, illetve azaz, hogy milyen potenciálok rejlenek az adott területen történő fejlesztésekben.

Az első pont képezi tehát a jelenlegi rendszerek talán legnagyobb problémáját, az álló objektumok érzékelését. A radar működési elvéből származó probléma: a visszaverődéseket ugyan pontosan méri, távolságát, elhelyezkedését (x-y síkban) pontosan tudja meghatározni, de egy erősen visszaverő objektumról – akár aknafedél – nem mindig tudja megmondani, hogy az releváns, az AEBS számára fontos objektum vagy nem, egyszerűen áthajthat felette a jármű. A sávelhagyásra figyelmeztető rendszerek (LDW, Lane Departure Warning) és az ACC-alapú ütközésmérséklő rendszerek együttműködése során az álló/haladó objektumok felismerése sokkal pontosabbá és gyorsabbá tehető, így a lehetséges ütközés számítása is javítható. Az extra információ a radar, illetve a kamera által szállított jelek összesítésével (SDF, Sensor Data Fusion) – **8. ábra** – nyerhető ki, így a hagyományos radar-alapú ütközésmérséklő rendszerek további biztonsági tartalékokat mozgósíthatnak. A kamera által szállított információ segítségével a radar által érzékelt akadályok akár olyan biztonsággal is érzékelhetők lesznek a jövőben, hogy elképzelhető álló akadály esetén is az ütközés teljes elkerülése, és nem csak mérséklése.

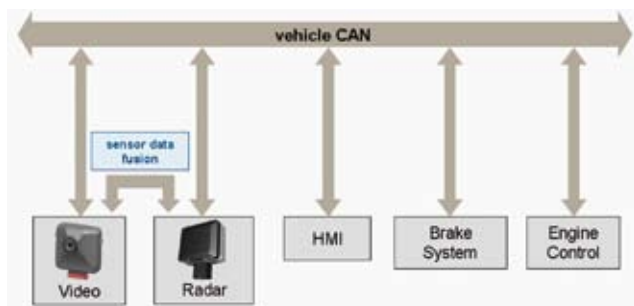
A második pont által felvetett probléma szintén nem triviális. Könnyen belátható ugyanis, hogy a radar által megfelelően érzékelt objektumot, melynek ismert és a járműhöz képesti helye, nem olyan egyszerű sávhoz rendelni. A probléma ugyanis az, hogy jelenleg általában a jármű pillanatnyi mozgása – sebessége, legyezési szögsebessége – alapján becsült sávokhoz rendeljük a célobjektumokat, noha az út vonalvezetése, és így a jármű jövőbeni mozgása sem ismert az adott pillanatban. Ha egy valóságnak nem megfelelő sávhoz rendelés történik egy előttünk 60, 80 vagy akár 100 méterre lévő objektum esetében, az nyilvánvalóan hamis riasztást (esetleg fékezést) vagy fordított esetben épp kimaradt riasztást és fékezést okozhat. A helyes sávhoz rendelés teljesítményének javítására a következő lehetőségek állhatnak rendelkezésre:

- SDF, ismét. A kamera segítséget nyújthat a sáv megfelelő modellezéséhez azáltal, hogy a sávtartó algoritmusok meg tudják határozni a sávot leíró görbéket, azok polinomjait.
- Fejlettebb sávleíró modellek alkalmazása, amely nemcsak a vizsgált jármű mozgása alapján határozza meg a sávmodell, hanem egyéb érzékelt, mozgó vagy álló objektumok segítségével, vagy az infrastruktúrával történő kommunikáció segítségével, vagy GPS segítségével.

A harmadik pontban említett fejlesztési lehetőség abban rejlik, hogy az ütközésmérséklő (vagy megelőző) rendszer paraméterei,



7. ábra: AEBS-fékezés álló személyautóra



8. ábra: radar és kamera szenzorfüziója

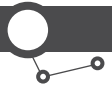
riasztási és fékezési stratégiája a fejlesztés során kikristályosodnak és azt követően már nem változnak. Ugyanúgy fog tehát riasztani télen és nyáron, jó látási és tapadási viszonyok között is, mint éjszaka jeges úton. Nem is beszélve arról, ha a rendszer tudná, hogy milyen egészségi/éberségi állapotban van a vezető, akkor az adott szituációra indított riasztást is ennek megfelelően állítaná be, hisz

nyilván egy alvó sofőr figyelmét más módon, hosszabb időtartam alatt lehet felhívni, mint egy éber, de a ködben az akadályt nem érzékelő járművezetőét. A lehetőséget tehát:

- SDF, immár harmadszor. A sávelhagyás-detektálás, a sávban tartózkodás pillanatnyi helyének információja segíthet abban, hogy a vezető éberségére, állapotára utalhassunk. Akár össze is lehet hangolni egyéb, pl. sávelhagyásra figyelmeztető rendszerek riasztásaival.
- Tapadási együttható mérésével vagy becslésével a figyelmeztetési és fékezési beavatkozások idejét, mértékét lehet menetközben változtatni, hiszen ha a rendszer tudja, hogy nem áll rendelkezésre $5\text{--}6 \text{ m/s}^2$ lassuláshoz szükséges tapadás (pl. jeges úton, $\mu=0,2$) akkor előbb riaszthat, előbb fékezhethet.
- Járművek közötti, avagy jármű-infrastruktúra közötti kommunikáció (akár platooning) is értékes bemenetekkel szolgálhat a riasztási kaszkád testre szabásában. A jövőben olyan alkalmazások is elképzelhetők, amik a fenti bemenetek elemzése révén akár úgy is dönthetnek, hogy az adott esetben a fékezés többet árthat, és pl. a kikerülésre szólítja fel a vezetőt, ha az az optimális az adott forgalmi szituációban. ●

IRODALOM

- [1] S. Blackman and R Popoli, „Design and Analysis of Modern Tracking Systems”, Artec House, 1999
- [2] Y. Bar-Shalom, „Multi-Target Multi-Sensor Tracking 1-2”, Artec House, 1990
- [3] Y. Bar-Shalom and T.E. Fortmann, „Tracking and Data Association”, Academic Press, 1988
- [4] H. Winner, S. Hakuli, G. Wolf, „Handbuch Fahrerassistentensysteme Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort”, ATZ/MTZ Fachbuch
- [5] H. Durrant-White, “Multi Sensor Data Fusion”, Australian Centre for Field Robotics, The University of Sydney, Australia, 2001
- [6] G. Renner and S. Mehring, “Lane departure and drowsiness - two major accident causes - one safety system”, in 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, 1997, CD-Rom
- [7] P.H.Batavia, D.A Pomerlau, and C.E.thorpe, “Predictig lane position for roadway departure prevention”, in Intelligent Vehicles '98 Symposium, Octobre 28-30, 1998 Stuttgart, Germany, pp.5-10
- [8] G. Kovács, J. Bokor, L. Palkovics, L. Gianone, Á. Semsey and P. Széll, “lane departure detection and control system for commercial vehicles”, in IEE International Conference on Intelligent Vehicles, Octobre 28-30, 1998 Stuttgart, Germany, pp.5-10
- [9] G.P. Siegmund, D.J.King and D.K.Mumford, “Correlation of steering behaviour with heavy-truck driver fatigue”, Sensor, Safety Systems and Human Factors, pp.17-38, 1996
- [10] M. Baret, S. Baillarin, C. Calesse and L. Martin, “Sensor Fusion: lane Marking Detection and Autonomous Cruise Control System”, Collision Avoidance and Automated Traffic management (Proc. SPIE vol 2592), pp150-162, 1995



Járműipari fejlesztések támogatása koncentrált paraméterű modellezéssel

RÁKOS ROLAND

Széchenyi István Egyetem

DR. VERESS ÁRPÁD

Széchenyi István Egyetem

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

BME EJJT

Napjaink fejlesztési trendjeiben igen hangsúlyos szerepet kapnak a különféle költséghatékony megoldások. Ezek közé sorolható minden olyan numerikus számítás, illetve szimuláció is, amellyel valós tesztek nélkül megvizsgálható egy alkatrész vagy alrendszer funkcionalitása, robusztussága. Ha nagyon összetett rendszerről van szó, a koncentrált paraméterű modellezés igen hatékony alternatíva lehet más, például végelemes vizsgálatokkal szemben, mert az egymástól eltérő fizikai folyamatok, valamint ezek egymásra hatása is jól modellezhető.

Today's development trends in the automotive industry are showing an increased demand on cost effective solutions. Numerical calculation or simulation is one of these because the functionality and robustness of components can be analyzed without any physical tests. If the system is quite complex then concentrated parameter models come handy compared to other methods for example FEM because different physical processes and their interaction can be modeled altogether with ease.

BEVEZETŐ

Napjaink járműipari fejlesztéseiben vitathatatlan a numerikus szimuláció szerepe. Legyen szó akár véges elemes számításról vagy áramlástan szimulációról, ezek a vizsgálati módszerek végigkísérik egy termék teljes útját az előfejlesztéstől a gyártásig. Segítségükkel jelentősen csökkenthető az adott fejlesztési projekt költségigénye, és nem utolsósorban lerövidíthető a fejlesztési idő is.

Míg egyetlen alkatrész esetében jól alkalmazhatók a különböző véges elemes eljárások, ezen részegységekből felépülő összetett rendszerek szimulációja nehézkes és bonyolult. Ha egyáltalán lehetséges, akkor is csak kapcsolt szimulációval.

Ilyen esetekben érdemes megfontolni a koncentrált paraméterű modellezés nyújtotta lehetőségeket, mert ez az eljárás igen jól alkalmazható és a járműipari fejlesztéseknél elvárható pontosságú eredményt képes szolgáltatni. A módszer nem új keletű, számos ipari projektben sikerrel alkalmazták már [1,2].

KONCENTRÁLT PARAMÉTERŰ MODELLEZÉS

Első lépésként fel kell bontanunk összetett rendszerünket egymástól elkülöníthető alrendszerekre, melyeket nem kívánunk nagyobb részletességgel kezelni. Itt elsősorban pl. tartályokra, fojtásokra, vagy mozgó alkatrészekre kell gondolni, melyeknek viselkedése jól leírható egy termodinamikai, mechanikai vagy áramlástechnikai egyenlettel vagy egyenletrendszerrel. Ezekbe az egyenletekbe kell koncentrálnunk azokat a paramétereket, melyek az alrendszerünket jellemzik. Egy légtartály esetében például a térfogat, hőátadási felület, hőátadási tényező, valamint a közeg néhány termikus paramétere már elég lehet, hogy a tartályban végbemenő nyomásváltozást leírassuk. Jóllehet ez a fajta modellezés lényegesen leegyszerűsíti a tartályban lezajló áramlástechnikai folyamatokat, ezeket azonban a rendszer egésze szempontjából nem is feltétlenül fontos részletesen ismernünk. Sokszor a tartályban lévő közeg nyomása és hőmérséklete elegendő adat lehet. Már itt, az első lépésben nagyon fontos, hogy a rendszer elég részletes legyen ahhoz, hogy a számunkra szükséges mennyiségeket számolni lehessen, ne legyen azonban túlságosan részletes, hiszen a hosszú

számítási idő és az ismeretlen paraméterek nagy száma mind hátráltató tényező.

A második lépésben meg kell határoznunk az egyes alrendszerek közti kapcsolódási pontokat. Ezek az interfészek tulajdonképpen az egyes alrendszerek által számolt mennyiségek, melyek egy másik alrendszernek bemenetei. Korábbi példánkat felhasználva, ahhoz, hogy egy fojtás a rajta átáramló tömegáramot számolni tudja, szükség van az előtte és mögötte elhelyezett tartályok (térfogatok) nyomására. A tartálynyomások számításához viszont szükséges a be- és kiáramló tömegáramok ismerete.

Amikor előző megfontolásaink alapján rendszerünk modellje felépült, harmadik lépésként be kell állítanunk annak minden paraméterét. Alapvetően kétfajta paramétertípusra gondolhatunk: geometriai értékekre és anyagjellemzőkre, melyeket ismerünk, vagy egyéb megfontolások alapján (pl. beépíthetőség) megválasztunk, valamint a matematikai modell által megkívánt jellemzőkre (pl. áramlási kontrakciós vagy hőátadási tényezők), melyeket be kell hangolnunk. Ha teljesen új eszköz fejlesztésén dolgozunk, akkor ezeket a paramétereket úgy kell beállítanunk, hogy rendszerünk a kívánt módon működjön. Amennyiben már rendelkezésünkre áll egy kész prototípus, netán egy már létező rendszert modellezünk, úgy a szükséges adatok meghatározhatók identifikáció útján is, azaz a paraméterek úgy állítandók, hogy az eredmények a lehető legjobban visszaadják a mért értékeket.

A munka utolsó fázisa a megfelelően működő modell felhasználása a termékfejlesztés céljaira. Ez jelentheti például a majdani rendszertől megkívánt funkciók tesztelését, de jelentheti különböző lehetséges meghibásodási esetek vizsgálatát, vagy néhány konkrétan fennálló probléma szimulációját. Akkor is alkalmazható a módszer, ha egy már meglévő rendszert szeretnénk továbbfejlesztetni, optimalizálni.

ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

A röviden bemutatott eljárás számos előnnyel kecsegtet, de természetesen, mint mindennek megvannak a hátrányai is.

Vitathatatlan érv a módszer mellett, hogy olykor igen nagymértetű, komplikált berendezések, illetve belőlük összeállított rendszerek is sikerrel vizsgálhatók, csekély anyagi és időráfordítással.

Napjainkban, mikor a költséghatékonyság az egyik legfontosabb tervezési szempont, ez egyáltalán nem hanyagolható el.

Nem jelent gondot továbbá, ha a modellezendő rendszerben egymástól eltérő fizikai jelenségek fordulnak elő, hiszen ezeket alkalmazástól függően külön-külön figyelembe lehet venni különböző egyenleteikkel. Ez egy véges elemes eljárás alapján eszközölhető csak nagyon kevés esetben, és ott is igen körülményesen valósítható meg.

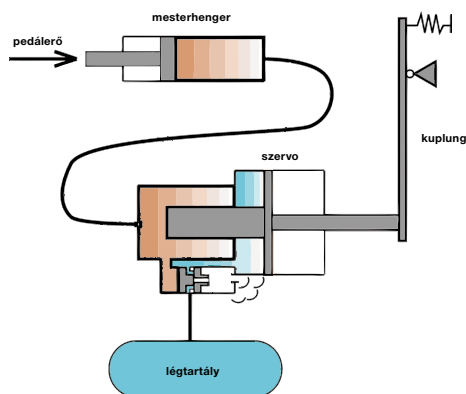
Hátránya ugyanakkor a koncentrált paraméterű modellezésnek, hogy néha azonos hatásmechanizmusokat egyetlen közös paraméterrel tudunk csak leírni, és így azok hatása külön-külön nem vizsgálható (például két fojtás egymás után nem köthető, közöttük kell lennie egy térfogatnak. Ennél fogva a két fojtás egyként modellezendő).

Léteznek célszoftverek koncentrált paraméterű modellezésre, melyek segítségével a különböző munkafázisok nagymértékben megkönnyíthetők.

Jelen esetben sokrétű alkalmazhatósága és autóipari fejlesztőeszközökkel való jó kompatibilitása miatt a Matlab-Simulink termékcsaládra esett a választás.

EGY KONKRÉT PÉLDA

A továbbiakban egy pneumatikus tehergépjármű-kuplungrássegítő példáján szeretnénk bemutatni a modellezés főbb lépéseit.



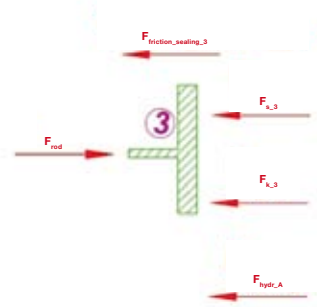
1. ábra: kuplungszervo-rendszer felépítése

A rásegítő modellel szemben támasztott követelmény, hogy meg tudja valósítani a létező szerkezet minden funkcióját, de legfőképpen a tengelykapcsoló oldását és zárását, valamint legyenek vizsgálhatók a transziens dinamikus jelenségek is.

Az 1. ábrán látható tengelykapcsoló alapvetően három alrendszerből áll: a mesterhenger (1) a kuplungpedállal áll közvetlen kapcsolatban és hidraulikusan működteti magát a kuplungszervót (2), amely pneumatikus rásegítéssel oldja a tengelykapcsoló-szerkezetet (3). A három részegység maga is tovább bontható hidraulikus, pneumatikus terekre, fojtásokra, illetve mozgó szelepkatrészekre, melyek az egész rendszer elemi építőkövei.

MECHANIKAI JELENSÉGEK

A mozgó alkatrészek dinamikus viselkedését azok mozgásegyenletének segítségével vesszük figyelembe.



2. ábra: mesterhenger-dugattyú szabadtestábrája

A mesterhenger dugattyújára például számos erő hat, részben a pedál felől (sofőr által kifejtett pedálerő – F_{rod}), részben a hengerben növekvő olaj nyomása (F_{hydr_A}) és más jelenségek (súrlódás – $F_{friction_sealing_3}$, F_{k_3} , visszatérítő rugó hatása – F_{s_3}) miatt (2. ábra). Ezekkel az (1) egyenlet formájában felírható a mozgásegyenlet, amely ezután „leprogramozható” a választott modellező szoftverkörnyezetünkben. A „programozás” itt grafikus reprezentált építőkövek „huzalokkal” való összekötését jelenti, így nincs vagy csak ritkán van szükség valóságos kód megírására.

$$m_3 \ddot{x}_3 = F_{rod} - F_{hydr_A} - F_{s_3} - F_{k_3} - F_{friction_sealing_3} \quad (1)$$

A modellező szoftver elemtára lehetővé teszi olyan durva nemlinearitások modellezését is, mint az alkatrész felütkezése, véghelyzetben való megállása, amely jelenség miatt a mozgásegyenlet önmagában való integrálása nem lenne lehetséges a korrekt szimulációhoz.

ÁRAMLÁSTECHNIKAI JELENSÉGEK

A modellben kétféle, egymástól lényegesen eltérő közeget kell kezelünk: a mesterhenger és a rásegítő közt hidraulikaolaj a munkaközeg, míg a szervóban megjelenik a levegő is. Ráadásul a két közeg hatását együttesen fejti ki a szervóban.

A hidraulikaolaj barotróp közegként modellezhető, azaz sűrűsége csak nyomásától függ. Ezt felhasználva [3] szerint a kontinuitási egyenlet a következő alakban írható:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{d\rho}{dt} V + \rho \frac{dV}{dt} = \frac{d\rho}{dp} \frac{dp}{dt} V + \rho \frac{dV}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \rho(Q_{in} - Q_{out}) \quad (2)$$

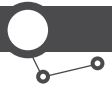
ahol p a közeg nyomása, ρ a sűrűsége, V a tartály térfogata, K a térfogati modulus, m a tömegáram, Q pedig a térfogatáram.

A hullámterjedés sebessége a folyadékban a , melyre a következő írható:

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{K}{\rho} = a^2 \quad (3)$$

Ezzel előállíthatjuk egy olajjal feltöltött térfogat nyomásváltozását a (2) egyenlet szerint.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{K}{V} \left(Q_{in} - Q_{out} - \frac{dV}{dt} \right) \quad (4)$$



Két térfogat közt a tömegáram Bernoulli-egyenletének segítségével már könnyen megkapható, ezt az egyenletet implementáljuk hidraulikus fojtásként:

$$\dot{m} = A\alpha\rho\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho} \frac{1}{1+\lambda L/D}} \quad (5)$$

ahol A az átáramlási keresztmetszet, α a kontrakciós tényező, λ a csőszúrlódási tényező, amennyiben a terek hosszabb hidraulikacsövekkel vannak összekötve (esetünkben ezt figyelembe kell venni). A cső hossza L , átmérője D .

PNEUMATIKUS ÉS TERMODINAMIKUS JELENSÉGEK

Noha még a legegyszerűbb esetet, egy rugó ellenében dugattyúval elzárt teret sem írhatunk le politropikus állapotváltozás nélkül (lásd [4]), a tapasztalat mégis azt mutatja, hogy teherautók pneumatikus rendszerében fennálló körülmények közt az adiabatikus megközelítés is megállja a helyét. Ezt a közelítést felhasználva egy pneumatikus fojtáson egységnyi idő alatt átáramló tömeg [5] alapján a következőképpen írható:

$$\dot{m} = A\alpha\rho_{act}\sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1}RT_s\left(1-\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)} \quad (6)$$

ahol κ az adiabatikus kitevő, R a levegő specifikus gázállandója, T_s a forrásoldali hőmérséklet, π pedig a nyomásviszony, ami az áramlást létrehozza. A pneumatikus fojtás mint építőelem implementálásakor ismét segítségünkre van a modellező környezet, hiszen nem lévén Laval-fúvóka a rendszerben, nem engedhetünk meg a helyi hangsebességnél nagyobb áramlási sebességet. Az eszköztár révén a kritikus nyomásviszonyt könnyen detektálhatjuk és korlátozhatjuk a sebességet. Ez egy újabb nemlinearitás.

A tartálynyomást a tartályhőmérsékletből, a hőmérsékletet pedig a tartályra felírt nyitott és átáramlott rendszerekre érvényes energiaegyenletből kapjuk. Ebben figyelembe kell vennünk a be- és kilépő, a közeggel érkező/távozó entalpiaáramokat, valamint esetlegesen a gáz munkavégzéséből adódó belső-energia-változást.

A komponensek közti kapcsolatok definiálásánál figyelniünk kell arra, hogy a nyomás és tömegáram mint állapotváltozók mellett szükség lesz a hőmérsékletre is.

EREDMÉNYEK

A kuplungrásegítő példájánál egy már meglévő rendszer modellezése volt a feladat, így rendelkezésre állt egy tesztpad mérések elvégzésére. A **3. ábra** szemlélteti a paraméter-identifikált modell viselkedését a kísérleti berendezéssel összevetve. Az ábrán pirossal jelöltük azokat a jeleket, melyek a modell számára bemenetként szolgáltak. Ez a két mért jel a táplevegő nyomása, valamint a kuplungpedál elmozdulása. A kék görbék a modell bemenetekre adott válaszát mutatják, a hidraulika- és pneumatikanyomást, a kinyomó rúd elmozdulását, valamint a kinyomóerőt. A **4. ábrán** a kísérleti tesztpad pedálegysége látható erőmérő cellával és elmozdulás-távadóval felszerelve (lásd nyílak).

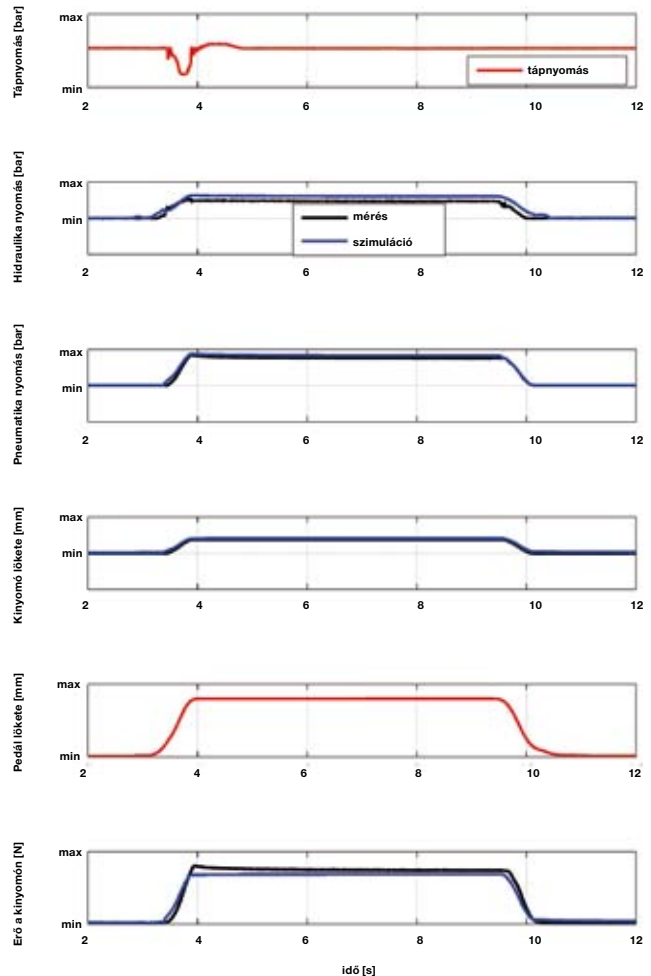
A **3. ábrán** látható, hogy nagyobb eltérés az olajnyomásban tapasztalható. Ennek oka az összekötő hidraulikacső lehet, itt ugyanis figyelembe kellett venni a cső tágulását is, ehhez pedig a lehető legegyszerűbb modellt használtuk. A cső anyagára lineárisan rugalmas tulajdonságot írtunk elő, ezzel kifejezhetővé vált egységnyi csőhossz átmérőváltozása pusztán a nyomás függvényében az alábbi módon:

$$d(p) = D + \Delta D = D + \frac{pD^2}{2\delta E} \quad (7)$$

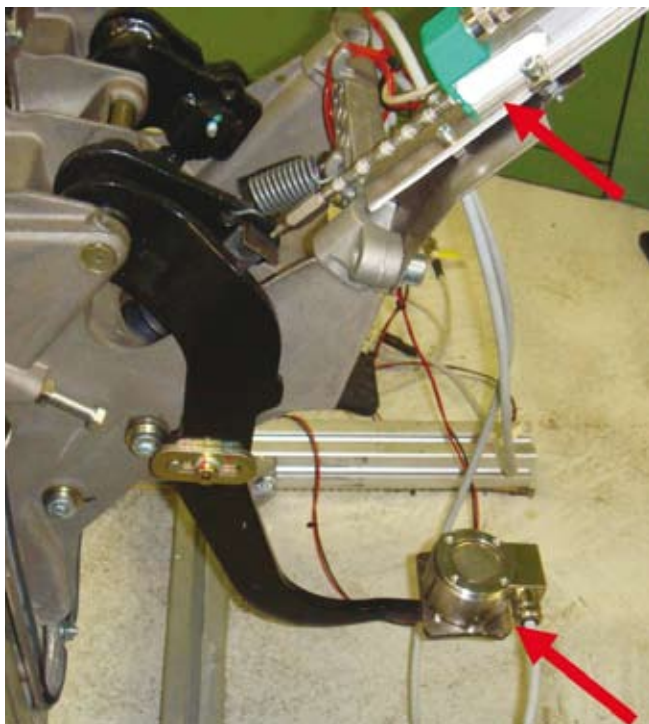
Ahol D az eredeti átmérő, δ a cső falvastagsága, E pedig a rugalmassági modulus. Ehhez felhasználtuk, hogy fajlagos kerületi nyúlás, illetve fajlagos átmérőváltozás következőképpen írható:

$$\epsilon_t = \epsilon_d = \frac{\Delta D}{D} = \frac{pD}{2\delta E} \quad (8)$$

Ez a közelítés az eredmények tükrében pontosításra szorul, hiszen a felhasznált hidraulikatömlő anyaga polimer, melynek rugalmas viselkedése erősen nemlineáris lehet. Ezzel együtt a modell bemenetre adott válasza elfogadható egyezést mutat a méréssel.



3. ábra: kuplungaktuálás tesztpadi és szimulációs eredményei



4. ábra: pedálegység felműszerezve a tesztpadon

KONKLÚZIÓ

A megszerzett gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a koncentrált paraméterű modellezés egy rendkívül produktív eljárás, mely nagyban megkönnyíti mind az új termékek kifejlesztését, mind a meglévő rendszerek vizsgálatát és optimalizálását. Jelentősen lerövidíti a fejlesztésre szánt időt és költségeket takaríthat meg. Segítségével igen nagyméretű, összetett rendszerek is sikerrel modellezhetők, az elkészült modellek pedig szükség esetén autóiipari céleszközökkel is összekapcsolhatók, és így komplett HIL/SIL tesztkörnyezetek részévé válnak. Választott példánk identifikált modellje felhasználható további vizsgálatokra, és igény esetén kiegészíthető egy kezelőfelülettel, amely interaktív módon segíti a tervezőmérnököt, segítségével könnyen megadhatók és megváltoztathatók a főbb paraméterek, majd lefuttatható a számítás, továbbá a futtatások automatizált kiértékelésére is lehetőség nyílik.

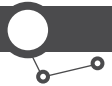
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-dunántúli régióban

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. ●

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Youhong Yu, Lingen Chen, Fengrui Sun, Chih Wu: Matlab/Simulink-based simulation for digital-control system of marine three-shaft gas-turbine, Applied energy 80 (1), p.1-10, 2005
- [2] M. Taghizadeh, A. Ghaffari, F. Najafi: Modeling and identification of a solenoid valve for PWM control applications, Comptes Rendus Mécanique, 337 (3), p.131-140, 2009
- [3] Halász Gábor, Kristóf Gergely, Kullmann László: Áramlás csőhálózatokban, Műegyetemi Kiadó, 2002.
- [4] Környey Tamás: Termodinamika, Műegyetemi Kiadó, 2005.
- [5] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetemi Kiadó, 2004.



Korszerű végeselemes optimalizálási eljárások összehasonlítása különböző gyártástechnológia segítségével előállított alkatrészek esetén

HOLLER GUSZTÁV

Széchenyi István Egyetem

DR. VERESS ÁRPÁD

Széchenyi István Egyetem

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

BME EJT

Az ipar minden területén, így a járműiparban is, a nagyobb piaci részesedésért folyó küzdelem egyik legjelentősebb eszköze a költséghatékony tervezés és gyártás. A számítástechnika gyors fejlődésének köszönhetően egyre szélesebb körben alkalmazzák a korszerű végeselemes, illetve végestérfogat elvén működő – és a multi fizikai folyamatok modellezésére alkalmas – szoftvereket, amelyekkel jelentős költség, kapacitás és idő takarítható meg. Továbbá, ha összekapcsoljuk az előzőekben említett analíziseket tervezésre alkalmas optimalizációs eljárásokkal, akkor további pénzügyi és gazdasági eredmény érhető el. Ezért, ennek a munkának az elsődleges célja, hogy gyakorlati oldalról vizsgálja meg a topológia és a parametrikus elven működő optimalizációs eljárások alkalmazhatóságát és hatékonyságát – valós ipari szilárdságtani problémákon keresztül – egy kuplungpedálkar és egy tárcsafék-nyomóelem esetében.

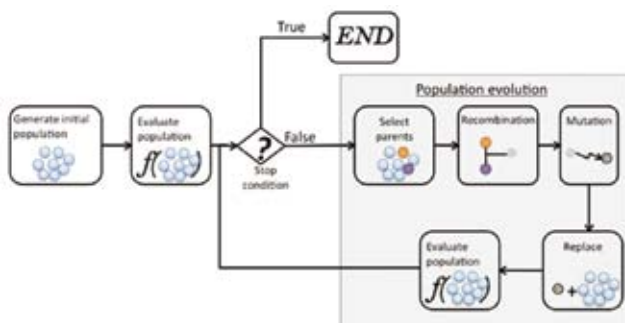
In the field of industrial activities, especially in vehicle industry, the one of the most powerful tool of increasing market sharing is the cost efficient R&D and production. Due to the rapidly increasing computer technology, the modern multiphysical software are widely spread all over the world, because significant amount of cost, capacity and time can be saved by them. Furthermore, the financial and economical achievements can be increased more, if the mentioned analyses-based simulation tools are coupled with optimization techniques. Hence, the main goal of the presented study is to investigate the applicability and effectivity of the topological and parametrical optimization by means of real industrial parts as clutch pedal arm and disc brake bridge in structural mechanics point of view.

BEVEZETÉS

A járművekben található alkatrészek üzemi funkciójának ki-elégítése mellett kiemelt figyelmet kell fordítani a megbízható működésre és a hosszú élettartamra. A tervezési specifikációk biztosítása mellett azonban törekedni kell a fejlesztési és gyártási költségek minimalizálására is, ami például kisebb térfogat, illetve kevesebb anyagfelhasználással jár. A fejlesztés során tehát egy olyan kompromisszum kialakítása a cél, hogy az alkatrész lehetőleg a legkevesebb anyagfelhasználással legyen képes ellátni a feladatát az előírt üzemidőn keresztül. A tervezési és gyártási specifikációkat figyelembe vevő optimalizációs eljárások jelentős segítséget nyújthatnak ezen a területen. A módszerek alkalmazhatóságának és hatékonyságának vizsgálatára két, a járműgyártás területén előforduló alkatrészt választottunk ki; egy kuplungpedálkart és egy féknyeregben

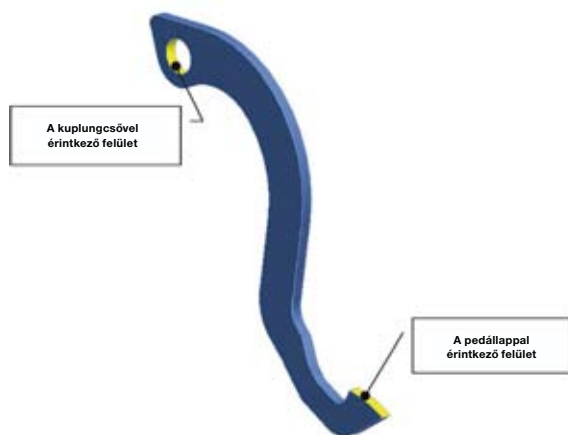


2. ábra: a nyomóelem geometriai modellje



1. ábra: genetikai algoritmus folyamata [3]

alkalmazott nyomóelemet. A pedálkar feladata egy pneumatikus dugattyú működtetése, miközben az emberi izomerőt továbbítja. A nyomóelem két menetes orsón keresztül valósítja meg a fékbetétek féktárcsára való rázorítását. Az optimalizálás fő célja az alkatrészek térfogatának csökkentése, miközben a bennük kialakult feszültség nem haladhatja meg a megadott értéket. Az alkalmazott optimalizálási eljárások a parametrikus és a topológiai optimalizálás. A parametrikus optimalizálás elvégzésére az ANSYS Workbenchet alkalmaztuk mind a két alkatrész esetén. Ehhez szükséges két parametrikus CAD-modell elkészítése is, melyeket Pro/ENGINEER CAD szoftver segítségével állítottuk elő. A topológiaoportimalizálást a HyperWorks programcsalád Optistruct nevű moduljával végeztük el mind a két említett alkatrész esetén.

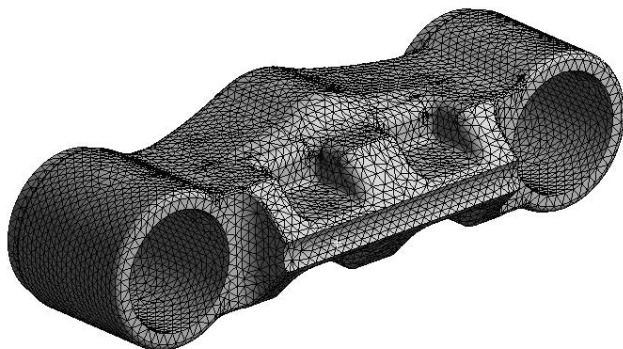


3. ábra: a kuplungpedálkar geometriai modellje

PARAMETRIKUS OPTIMALIZÁLÁS

A paraméterek számának növelésével az optimalizálási feladat igen összetetté válik. Például, egy optimalizálandó alkatrész esetében nincs olyan végleges geometria, ami egyaránt minimális térfogatú és igénybevételű, tehát kompromisszumot kell kötni az igényeknek megfelelően. Ilyen esetben lesz egy darab minimális térfogatú és egy darab minimális igénybevételű egyed, közöttük pedig végtelen sok különböző, melyek a térfogat és a merevség között kompromitálnak. Ez a geometriasereg, a Pareto-sorozat. A görbét, melyet a térfogat-merevség diagramon kapunk, Pareto-határnak nevezzük. Ez az optimalizálási eljárás genetikai algoritmusok segítségével keresi meg a paraméterek optimális értékeit [1].

A genetikai algoritmus egy széles körben alkalmazott matematikai apparátus [2]. Az alapötlet a természetes szelekcióra, az evolúcióra épül. A genetikai algoritmus futásának kezdetén definiálnunk kell egy kezdeti populációt, melynek minden egyede különböző paraméterekkel rendelkezik. Ez az esetek többségében kielégítő, ha véletlenszám-generálással történik. Ezt követően kerülnék definiálásra az öröklés szabályai, majd a következő generáció létrehozása. Az öröklési szabályok mellett szükség van általában a mutációra is minden generáció létrehozásakor. Ennek segítségével elkerülhető a ciklikus populáció generálása. Az iterációs folyamat végén az utolsó generációból jósági tényező segítségével kiválasztható a legalkalmasabb egyed. Az evolúció modellezésére számos elmélet született. Ezt az elméletet napjainkban is fejlesztik. A módszer előnye, hogy a megoldás nem differenciálható függvények esetén is található, valamint sok esetben a lokális szélsőértékek mellett a globális szélsőérték is elérhető. Az 1. ábra mutatja a genetikai algoritmus folyamatát.



4. ábra: a nyomóelem végelemekhálójája

TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁLÁS

A topológiai optimalizálás szintén a végelelemes szimulációkra épülő optimalizálási eljárás. A módszer segítségével numerikusan közelíthető egy alkatrész optimális geometriája egy adott térfogaton (design space) belül előre definiált peremfeltételekkel és terhelésekkel. Topológiai optimalizálás során a gyártási kritériumok nem hagyhatók figyelmen kívül, mert az alkatrész topológiájának megváltozása előidézhet alámetszéseket, helytelen gyártási eljárásokat. Például, ha egy adott geometriát érdemes lemezalkatrészként előállítani, akkor az optimalizálás során nem szabad ezt figyelmen kívül hagyni, mert egy másik (pl. csak öntéssel előállítható) geometria gyártása nagyobb költséget jelent, mint amennyi az anyagsökkenésből származó költségcsökkenés.

Topológiai optimalizálás során a következő definíciókat szükséges megismerni [4]:

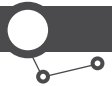
1. Modellter (Design space): A modellter az a megengedhető térrész, amely tartalmazza a végleges geometriát. Ez a térfogat például a beszerelési környezettől, a használat vagy szállítás során felmerülő korlátok, hozzáférhetőségek alapján definiálható. A modellter tartalmazza a konstans és változó térfogakat is.
2. Modellkényszerek (Design constraints): Ide tartoznak azok a kényszerek, melyek megsértése geometriai problémákat idézhet elő.

Force Time: 1, s Force: 1,5e+005 N Components: 1,5e+005, 0,, 0, N	
Compression Only Support Time: 1, s Compression Only Support: 0, mm	
Cylindrical Support Time: 1, s Cylindrical Support: 0, mm	

5. ábra: a nyomóelem kényszerei és peremfeltételei

3. Célfüggvény (Objective function): Ez az optimalizálás során elérendő cél. Ezt általában egy függvény minimuma vagy maximuma definiálja. Célfüggvényként megadható egy függvény minimumának maximalizálása vagy maximumának minimalizálása. Egyes esetekben az optimalizálás folyamatának végeredménye lehet költségesen, nehezen, vagy egyáltalán nem gyártható. Ennek elkerülésére alkalmazhatók a gyártási kényszerek. Ezek alkalmazása olyan alkatrészeket eredményez, melyek kielégíthetik a szükséges gyártási kritériumokat. Az optimalizálás előkészítése során szükséges egy igen egyszerű CAD-modell létrehozása az előre definiált felületekkel (pl. furatok, felfekvőfelületek stb.). Az optimalizálás egy statikus mechanikai szimulációra épül.

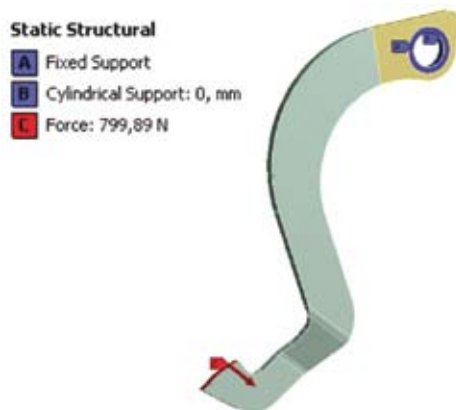
Az általunk használt végelelemes optimalizációs szoftver a Hyperworks V10, amely tartalmazza az Optistruct nevű optimalizáló modult. Az optimalizálás során az Optistruct megoldója meghatározza a kezdeti geometria igénybevételeit, majd iterációs lépéseken keresztül fokozatosan távolítja el az alacsony feszültségű elemeket a modellből.



6. ábra: a pedálkar végelemekhálójá

A VIZSGÁLT ALKATRÉSZEK

A vizsgált alkatrészek közül az első a **2. ábrán** látható. Ez egy tehergépkocsi féknyergében található nyomóelem, amely homoköntéssel készül. A másik alkatrész pedig egy lemezből kivágással előállított kuplungpedálkar (**3. ábra**). A nyomóelem az egyik legkritikusabb alkatrész a féknyeregben, ennek segítségével feszülnek rá a fékbetétek a féktárcsára. A féknyereg szintén öntéssel előállított alkatrész és az ebben kialakított szélső hengeres felületeken fekszik fel a nyomóelem. A hosszú keskeny hengeres felületen adódik rá a terhelés a nyomóelemre.



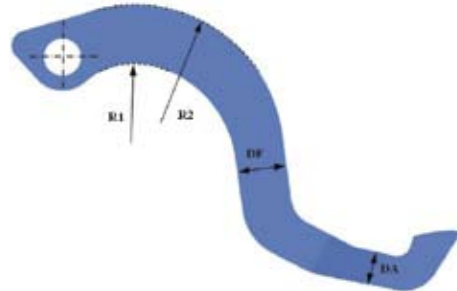
7. ábra: a pedálkar kényszerei és terhelései

A pedálkar a **3. ábrán** sárgával jelölt felületeken kapcsolódik a pedállaphoz és a kuplungcsőhöz. A két alkatrész eltérő gyártástechnológiával készült, homoköntéssel, illetve lemezgyártással. A számítások során a parametrikus optimalizálás esetében bilineáris, a topológiai esetében pedig lineáris anyagtulajdonságokat alkalmaztunk. Ennek oka, hogy a topológiai optimalizálást végző szoftver az optimalizálás során csak lineáris anyagmodellt támogat.

OPTIMALIZÁCIÓK

A peremfeltételek és terhelések helyes definiálása igen fontos, de általában nem magától értetődő. A nemlineáris kapcsolatok

kiküszöbölése érdekében a más alkatrészekkel fellépő kapcsolatokat peremfeltételként definiáltuk. Ilyen esetben azonban a többi alkatrészt helyettesítő peremfeltételt igen körültekintően kell meghatározni. A nyomóelem modelljének egyszerűsége végett teljes modellt használtunk, melynek végelemek hálóját a **4. ábrán** látható.



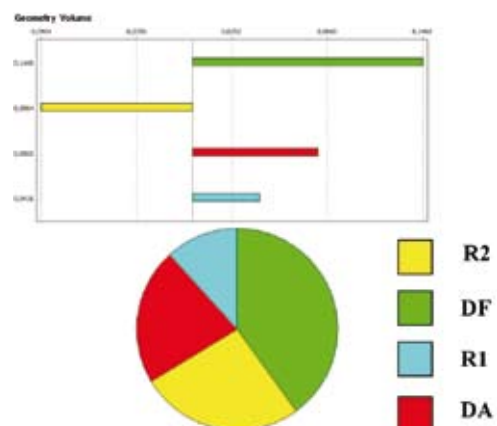
8. ábra: a kuplungpedálkar bemeneti paramétereinek parametrikus optimalizáció esetén

A szimuláció során alkalmazott peremfeltételeket az **5. ábrán** foglaltuk össze.

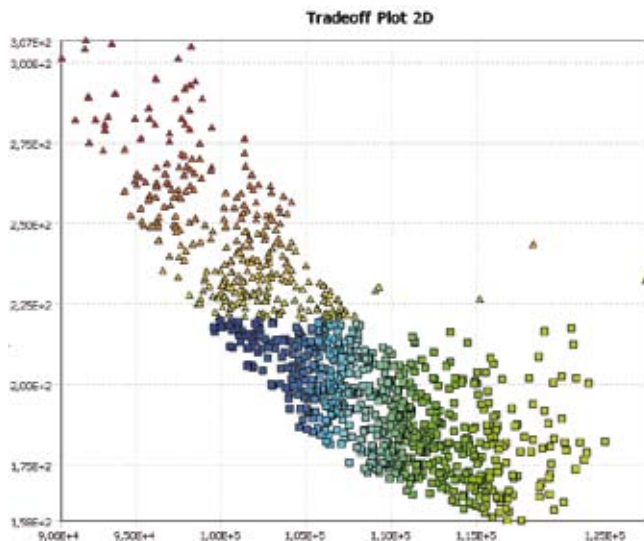
A pedálkar végelemekhálóját a **6. ábrán** látható. A pedálkar terheléseit és peremfeltételeit a **7. ábra** mutatja. A furat körüli hegesztési varrat környezetében az alkalmazott peremfeltételek miatt magas feszültségcsúcsok alakulnak ki, emiatt az optimalizálás során az itt kialakult feszültségeket nem vettük figyelembe.

A parametrikus optimalizálás során az ANSYS Workbench DesignExplorer nevű modulja a definiált paraméterek (**8. ábra**) alapján elvégzi az érzékenységi vizsgálatot, ami jól reprezentálja az alkatrész térfogatának vagy a kialakult maximális feszültség értékének az egyes bemeneti paraméterekre vonatkoztatott érzékenységét (**9. ábra**). A bemeneti paraméterekhez szükséges definiálni kezdeti, felső, illetve alsó határt.

Az optimalizálási folyamat kezdetén a program a meghatározott érzékenységek alapján genetikusan algoritmus segítségével keresi az optimumot. Az optimum definiálása a célfüggvény alapján történik, például minimális térfogathoz tartozó paraméterek meghatározása. Mivel ez nem biztos, hogy szilárdságtanilag megfelelő, ezért kritériumként, a minimális térfogat mellett, definiálnunk kell az általunk megengedett maximális feszültséget. A **10. ábrán** látható a pedálkar esetében a genetikusan végző populációja. A függőleges tengelyen a maximális



9. ábra: a pedálkar térfogatának érzékenysége a bemeneti paraméterekre parametrikus optimalizáció esetén

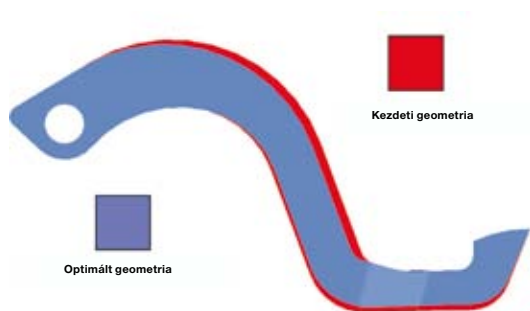


10. ábra: a genetikus algoritmus végső populációja parametrikus optimalizáció esetén

egyenértékű feszültség, a vízszintes tengelyen pedig a térfogat látható. Az egyedek színe és formája az egyedek minőségére utal. Piros szín mutatja a legrosszabb, kék a legjobb egyedet, a háromszög alakúak pedig nem felelnek meg a maximális feszültségkritériumnak.

A végső populáció legjobb egyedéhez tartozó paraméterekből generált modell látható a **11. ábrán**. Az összehasonlítás megkönnyítése miatt a kezdeti és végső geometriát egy ábrán ábrázoltuk. A kialakult feszültségértékek normált értékekben a **12. ábrán** láthatók. A kezdeti és az optimalizált geometria paramétereit az **1. táblázat** tartalmazza.

A fent említettekhez hasonlóan a nyomóelem esetében is elvégezhető a parametrikus optimalizálás. Ebben az esetben a bemeneti paraméterek a **13. ábrán** láthatók.



11. ábra: a pedálkar parametrikusan optimalizált geometriája

A parametrikus optimalizálás számítási igénye miatt, figyelembe véve, hogy a geometria szimmetrikus, negyedmodellt alkalmaztunk a számítási idő csökkentése érdekében. A nyomóelem térfogatának a bemeneti paraméterekre vett érzékenységet a **14. ábra** mutatja. Az optimalizálás végeredménye a **2. táblázatban** került összefoglalásra.

A következő módszer a topológiai optimalizálás, amelynek futtatásához szükség van egy túlméretezett geometriára, amely magába foglalja a végleges modellt. A modell a megengedhető maximális méretű beépítési környezetnek megfelelően hozható létre. A pedálkar környezete nagymértékben korlátozza a geometriát, ezért az optimalizálása nem egyszerű. A létrehozott

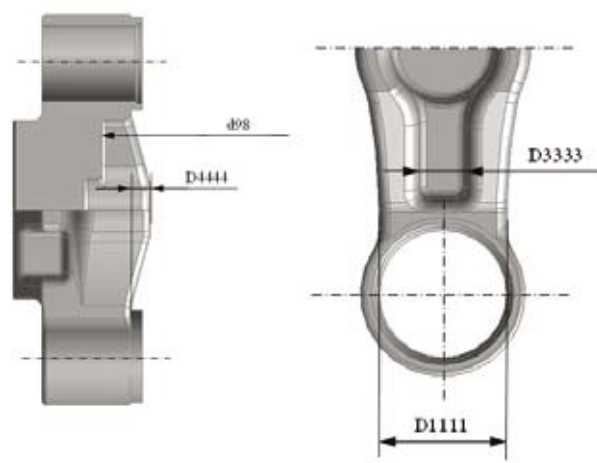
PARAMÉTEREK	KEZDETI	OPTIMALIZÁLT	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	118 000	99479	-15,70
von-Mises fesz. [MPa]	16,84	215,53	35,33
Tömeg [kg]	0,93	0,78	-15,70
R1 [mm]	70,00	74,73	6,76
R2 [mm]	100,00	700,32	0,32
DF [mm]	35,00	27,35	-21,86
DA [mm]	25,00	21,30	-14,80

1. táblázat: a pedálkar parametrikus optimalizálásának eredményei



12. ábra: a pedálkar parametrikusan optimalizált modelljének egyenértékű feszültségeloszlása

geometria tartalmazza a végső geometriát. A **15. ábrán** látható a kezdeti geometria és az ehhez tartozó végelelemháló. A kék térfogatok az optimalizálás során változhatnak, a sárgával jelöltek pedig állandóak maradnak. Topológiai optimalizálás során a gyártási kritériumok figyelembevétele igen fontos. Jelen esetben lemezalkatrészről van szó, melynél definiálni lehet az állandó falvastagság megtartását az optimalizálási folyamat során. Mivel a programban lemezalakítási kritérium nincs, ezért kihúzást írtunk elő x irányban, melynek segítségével elérhető, hogy a pedál geometriája lemezszerű maradjon. A kezdeti, túlméretezett geometria és annak végelelemhálóját a **15. ábrán** látható.



13. ábra: a nyomóelem bemeneti paraméterei parametrikus optimalizáció esetén

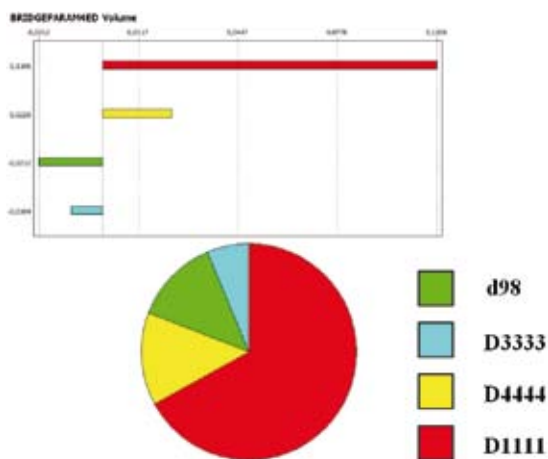


PARAMÉTEREK	KEZDETI	OPTIMALIZÁLT	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	195 098	176 344	-9,6
von-Mises fesz. [MPa]	330,8	334	0,9
Tömeg [kg]	1,53	1,38	-9,6
D1111 [mm]	35	32,74	-6,4
D98 [mm]	71	74,5	4,9
D3333 [mm]	12	13,55	12,9
D4444 [mm]	12	8,57	-28,5

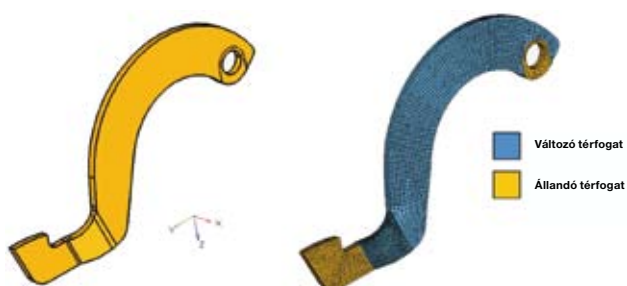
2. táblázat: a nyomóelem optimalizálásának eredményei parametrikus optimalizáció esetén

Az optimalizálási folyamat végeztével egy nyers geometriát kapunk (**16. ábra**), ami iránymutatást ad a geometria optimális kialakítására vonatkozóan. A végső modellt manuálisan kell elkészíteni, melynek eredménye a **17. ábrán** látható.

Megfigyelhető, hogy a végleges modellen a pedálpár környezetében további anyageltávolítást hajtottunk végre. Ennek oka, hogy ebben a térfogatban az igénybevétel igen alacsony, így iterációs lépéseken keresztül az anyag eltávolítása tovább javítja a felhasznált anyag kihasználtságát. A topológiai optimalizálás során hatékonyan közelíthető az egyenfeszültségű állapot. A gyártási kritériumok felhasználása nélkül az optimalizált geometria a definiált terhelések esetén egyenfeszültségű eloszlást mutat, azonban a kritériumok megadásával ettől eltérő eredményt kapunk. Ez a gyártási kritériumok teljesülése esetén nem kerülhető el.



14. ábra: a nyomóelem térfogatának érzékenysége a bemeneti paraméterekre parametrikus optimalizáció esetén



15. ábra: a pedálpár kezdeti geometriája topológiai optimalizálás esetén



16. ábra: a pedálpár topológiai optimalizálásának eredménye a végelelemes hálózattal

A **18. ábrán** látható az optimált modellben a terhelések hatására kialakult feszültségeloszlás. Az optimalizálás végeredményét a **3. táblázatban** foglaltuk össze.

Az pedálpárhoz hasonlóan a nyomóelem esetén is egy túlméretezett geometriára (**19. ábra**) van szükség a topológiai optimalizálás elvégzéséhez. Ez a geometria itt is magában foglalja a végleges alkatrészt.



17. ábra: a pedálpár topológiai optimalizálásának eredménye

A nyomóelem esetében definiált gyártási kritérium lehetővé teszi, hogy az optimált geometria megfeleljen az öntési eljárás kritériumainak. Ennek köszönhetően, az öntési síkra merőlegesen megszüntethetők az alámetszések. Az optimális geometria ebben az esetben is egy nyers geometria (**20. ábra**), melynek segítségével a végső modell a pedálpárhoz hasonló módon készíthető el (lásd **21. ábra**).

A **22. ábrán** látható a nyomóelem topológiai optimalizált modelljében a terhelések hatására kialakult feszültségeloszlás. Az optimalizálás végeredményét a **4. táblázatban** foglaltuk össze.

A két alkatrész esetében vizsgált parametrikus és topológiai optimalizálás eredményeinek összehasonlítása az **5. táblázatban**

PARAMÉTEREK	KEZDETI	OPTIMALIZÁLT	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	118 000	97447	-17,42
Tömeg [kg]	0,926	0,765	-17,42
von-Mises fesz. [MPa]	160,84	213,16	32,53

3. táblázat: a pedálpár topológiai optimalizálásának eredményei

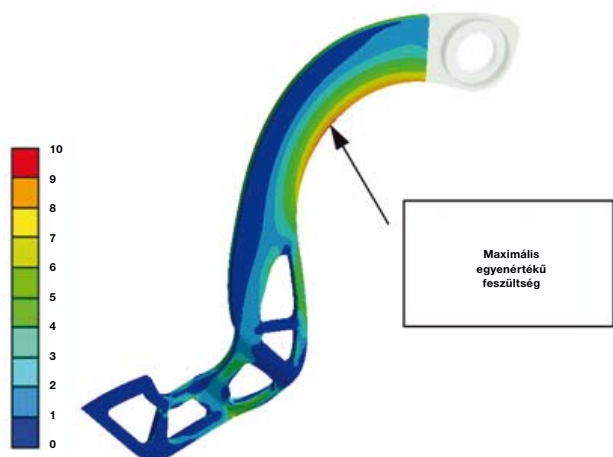
PARAMÉTEREK	KEZDETI	OPTIMALIZÁLT	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	195 098	183 481	-5,95
Tömeg [kg]	1,53	1,44	-5,95
Maximális egyenértékű feszültség [MPa]	330,85	326,22	-1,4

4. táblázat: a topológiai optimalizálás végeredménye

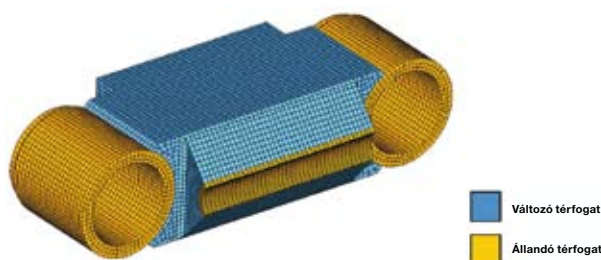
látható. Az eredmények azt mutatják, hogy elhanyagolható a különbség a két módszer között mindkét modell esetén.

ÖSSZEFOGLALÁS

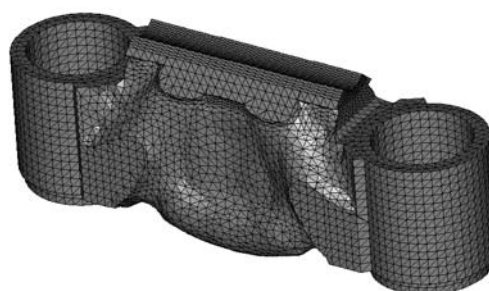
A bemutatott projektben két alkatrész; egy kuplungpedálkar és egy tárcsafék-nyomóelem optimalizációját végeztük el kétféle módszerrel abból a célból, hogy összehasonlíthatók legyenek egymással a vizsgált eljárások. A célfüggvény mindkét esetben a térfogat minimalizálása volt – a gyártási költségek csökkentése érdekében – miközben előírtuk a megengedhető maximális feszültségek értékét. Az **5. táblázatban** található adatokból megállapítható, hogy az alkalmazott beállítások esetén nincs jelentős eltérés a módszerek hatékonysága között. Érdekes azonban azt megjegyezni, hogy az optimalizálási eljárások különféle gyártástechnológiájú alkatrészek esetén eltérő hatékonyságuk is lehetnek. A parametrikus optimalizálási módszer rugalmatlan optimalizálási módszer, a paraméterek határainak megválasztásakor nagyon körültekintően kell eljárunk. A para-



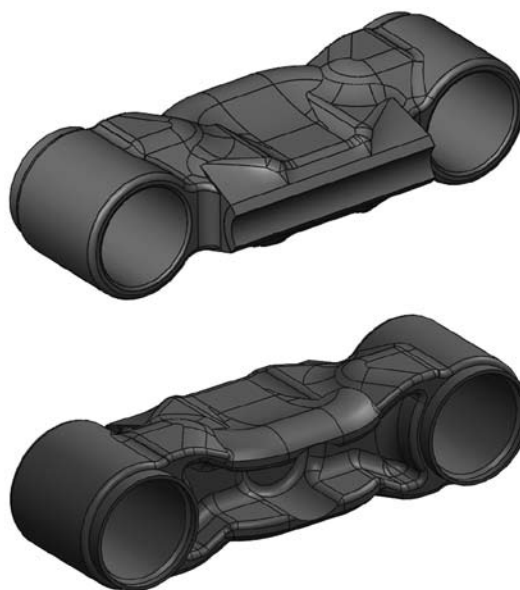
18. ábra: a pedálkar topológiaiilag optimált modelljének egyenértékű feszültségeloszlása



19. ábra: a nyomóelem kezdeti modellje topológiai optimalizálás esetén



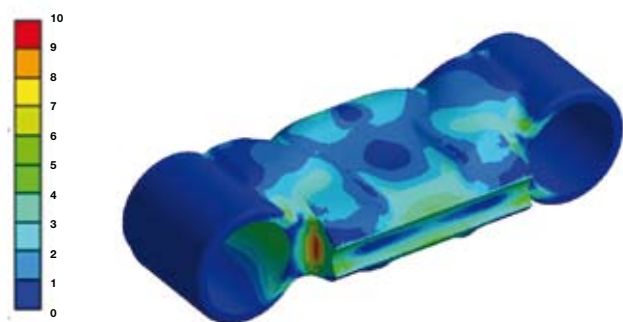
20. ábra: a nyomóelem topológiai optimalizálásának eredménye



21. ábra: a nyomóelem optimalizált geometriájának újramodellezése

KUPLUNGPEDÁLKAR	PARAMETRIKUS	TOPOLÓGIAI	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	99 479	97 447	2,09
Tömeg [kg]	0,78	0,76	2,09
Maximális egyenértékű feszültség [MPa]	217,67	213,16	2,12
NYOMÓELEM	PARAMETRIKUS	TOPOLÓGIAI	KÜLÖNBSÉG [%]
Térfogat [mm ³]	176 344	183 481	4,05
Tömeg [kg]	1,38	1,44	4,05
Maximális egyenértékű feszültség [MPa]	334,00	326,22	2,33

5. táblázat: a parametrikus és a topológiai optimalizálási eljárások összehasonlítása a két vizsgált alkatrész esetén (a térfogat mm³-ben értendő)



22. ábra: az optimált nyomóelem egyenértékű feszültségeloszlása

méterek bármely olyan kombinációja esetén, amikor nem létezik a geometria, a szimuláció leállását okozza. Elvi korlát emiatt, hogy a paraméterek határai erősen korlátozottak. Például, ha két paraméter értéke 50 és 100, illetve 10 és 30 között változhat, és a geometria létezik 50 és 10, illetve 100 és 30 esetén is, előfordulhat, hogy nem létezik 50 és 30, illetve 100 és 10 esetén. Ebből kifolyólag az optimalizálás hibával végződik annak ellenére, hogy az optimális érték a megadott határok

között megtalálható lenne. Ez 5 paraméter esetén már komoly problémát okoz. Ennek kiküszöbölése után elképzelhető, hogy az optimális paraméterkombinációt is kizártuk. Például, ha az említett esetben a határokat 50 és 80, illetve 10 és 30 közé állítjuk, hogy a geometria minden esetben létrehozható legyen, azonban előfordulhat, hogy az optimális értékek például 90 és 25. Ezért a parametrikus optimalizálás csak nagyon egyszerű alkatrészek esetén ajánlott, például lemezalkatrészek esetében. A topológiai optimalizálás a rugalmassága miatt viszont alkalmas bonyolult öntvények optimalizálására is. Fontos jellemző tulajdonság az eljárásokat illetően, hogy míg a parametrikus optimalizálás már létező alkatrészek optimalizálása esetén, addig a topológiai optimalizálás egy új alkatrész megtervezésekor nyújt értékes segítséget.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-dunántúli Régióban.

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. ●

IRODALOM

- [1]: http://en.wikipedia.org/wiki/Optimization_%28mathematics%29
- [2]: http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm
- [3]: <http://neo.lcc.uma.es/staff/jamal/portal/?q=content/genetic-algorithm-ga>
- [4]: http://en.wikipedia.org/wiki/Topology_optimization

Várható-e ismét egy komolyabb válság a járműiparban?

STUKOVSKY TAMÁS

Budapesti Corvinus Egyetem

KOVÁCS IMRE

Rail Cargo

A 2008-as válság a pénzpiacokon és a járműiparban is komoly károkat okozott. A krízis évei után a piacok végre stabilizálódni és megnyugodni látszódtak. A lassú növekedés még el sem érte a válság előtti szintet, amikor újabb visszaesés jelei jelentek meg, amit ma az eurózóna válságaként ismerünk. Cikkünkben visszatekintünk a 2008 és 2011 közötti válságos időszakra és a konszolidáció időszakára is, illetve megvizsgáljuk, hogy a járműiparban várható-e hasonló méretű és hatású válság a közeljövőben, mint a 2008-as volt.

The crisis of 2008 affected the automotive industry as well not just the financial markets. Lots of companies went bankrupt, and millions of workers lost their jobs. After the years of crisis the world seemed to be recovering just after a hard period and the goals were about of growing potentials not about surviving the recession. Unfortunately the global trends are changing to negative expectations because of the Euro zone's crisis. This article is about to look after whether a new crisis in the automotive industry is expectable and what were the differences between the market situations between 2008 and 2011.

BEVEZETÉS

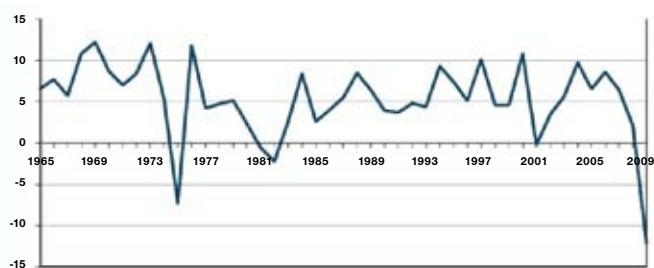
A 2008-as válság nemcsak a pénzpiacokra, hanem a járműiparra is erősen rányomta bélyegét. Rengeteg vállalkozás jutott csődbe, emberek milliói veszítették el állásaikat, de úgy tűnt, a világ rendezte sorait, és végül, ha nehezen is, de legyőzte a válságot, és ismét megindult a fejlődés útján. A piaci szereplők – a bankoktól a gyártókig szinte mindenki – fogadkozott, hogy legközelebb jobban odafigyelnek az intő jelekre. Ennek ellenére nem egy helyről hallani a mai napig, hogy a 2008-as válság egyszer csak „kitört”, nem lehetett előre látni, hogy lehetett volna ellene védekezni?! Azóta a BME Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpontjával folyamatosan követjük a válság alakulását és hatásait a járműiparra, kutattuk a válság előzményeit és azokat az indikátorokat, amelyek utaltak rá, hogy komoly visszaesés várható; illetve próbáltunk olyan javaslatokat megfogalmazni, amelyek segíthettek a válság kezelésében, és az abból való kilábalásból. Ebben a cikkben azt kívánjuk megvizsgálni, hogy várható-e a közeljövőben egy újabb válság, illetve, hogy egyáltalán lehet-e a 2011-es állapotokat és a közeljövő történéseit a 2008-as válságtól függetleníteni!

A 2008-AS VÁLSÁG

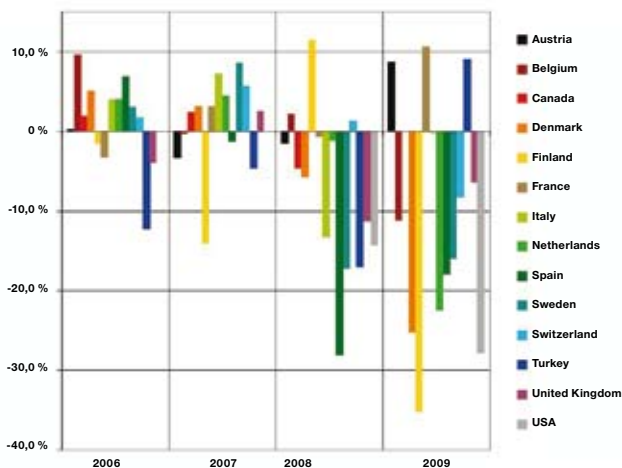
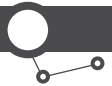
A legelső tünetek az Egyesült Államokból érkeztek 2007 augusztusából. A jelzáloghitel-válság alapjaiban rengette meg az amerikai ingatlanpiacot. Az Egyesült Államokban 2002-ben az ingatlanvásárlás mint befektetési forma egyre inkább elterjedt,

hiszen körülbelül évi 10–15%-os értéknövekedéssel lehetett akkoriban kalkulálni. Ezt jelentősen elősegítette a likviditási bőség az USA-ban – többek között az igencsak alacsony kamatszint miatt – aminek következtében egy komoly hitelezési buborékot figyelhattunk meg 2002 és 2008 között. Az amerikai hitelpiac fenti folyamatait követve a pénzintézetek Európában és Magyarországon is olyan ügyfelek felé nyitottak, akiknek a korábbi hitelezési rendszerben nem adtak volna hitelt. Ezt itt is egy olyan hitelezési verseny generálta, amelyben a cél az előző évi növekedés és a konkurencia növekedésének felülmúlása volt, így a bankok egyre kevésbé „megbízható” ügyfeleknek folyósítottak hitelt, ami olcsó volt. Sokan költenek hitelek terhére, aminek fedezetéül lakóingatlanuk, járműveik szolgálnak. Viszont az első komolyabb pénzpiaci megingásra megugrottak a törlesztőrészek, amit így már nem voltak képesek törleszteni. A bebukott hitelek nemcsak a pénzpiac szereplőit, hanem az ingatlanpiacot is magukkal rántották, hiszen fedezet gyanánt sokszor magát a hitel céljául szolgáló ingatlant tették, ami viszont nem fedezte a költségeket, mert a kedvezőtlenül változó piaci viszonyok miatt a fedezet értéke egyre több esetben jelentősen csökkent, illetve már a hitel nyújtásakor sem volt reális. A hitelválság különösen azokon a területeken igen erőteljes, ahol nagyon gyakori a hitelre történő vásárlás. Erre a legjellemzőbb példa az építőipar és a járműipar. Ezen két ágazat összetettsége és sokrétű beszállítói rendszerei azt jelentették, hogy sorban szinte kivétel nélkül minden iparágban és szektorban felütötte a fejét a válság. A következő grafikon, az egész világ áruexportjának százalékos változását mutatja be 1965-től 2009-ig!

Az **1. ábrából** jól látható, hogy évtizedek óta nem volt ilyen komoly visszaesés az áruexport százalékos változásaiban! A 2008-as válságot leszámítva 3 időszakban fordult elő, hogy az előző évhez képest az áruexport mennyisége nem növekedett, hanem csökkent, azaz zsugorodott. A legrégebbi az 1973-as első olajválság utáni időszakhoz kötődik, akkor a visszaesés mértéke 6,5%-os volt az előző évi növekedéshez képest, és hirtelen erős bicsaklás érezhető 1979-ben a második, de már enyhébb olajválság után, de ekkor nem fordult negatív irányba az áruexport növekedése. A 2001-es 0,3%-os zsugorodás a dot.com lufi kipukkanásának köszönhető. Az grafikon jól szemlélteti a 2008-as válság komolyságát, a 12,4%-os áruexport-csökkenés évekkel visszavetette az országokat a fejlődési pályájukon.



1. ábra: a világ áruexportjának százalékos változása 1965–2009-ig

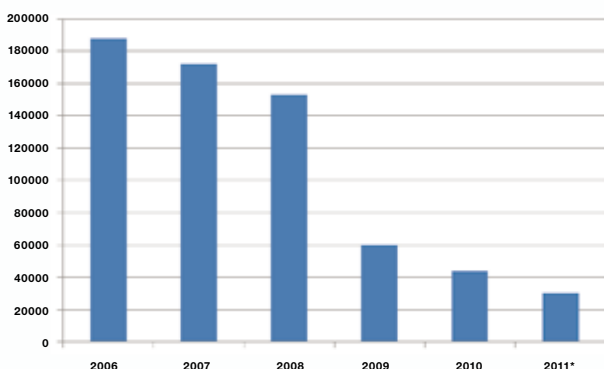


2. ábra: összesített járműregisztráció éves százalékos változása

VÁLTOZÁSOK 2008-TÓL 2011-IG

A 2008-as válság nemcsak a pénzpiacokban, hanem a járműiparban is nagyon komoly nyomokat hagyott. Ennek egyik fő oka, hogy az autóiipari termékek nagyon összetettek (vegyi anyagok, gumiipar, kohászat, elektronikai termékek stb.), és ezen beszállítói hálózat majd minden ágát elérte a válság. Így nemcsak a személyautó-eladások, hanem a haszonjármű-ipari eladások mértéke is jelentős mértékben visszaesett.

Az ábrán néhány jelentősebb ország összesített járműregisztrációjának alakulása látható, az előző évi regisztrációk függvényében. Jól követhető, hogy 2006–2007-ben átlagosan 4–5%-os növekedés volt a jellemző, kiugróan alacsony eredményt csak Törökország és Finnország produkált, míg a belgák, majd a svédek jártak az élen a járműregisztrációk számának növekedésében. A válság évében és 2009-ben is erőteljes visszaesés történt a piacon. Ennek egyik fő magyarázata, hogy több vállalat úgy döntött, hogy költségein akképp farag, hogy járműparkjának tervezett cseréjét átütemezi. Míg korábban például a szállítójárművek átlagos cserélési ideje 5 év volt, ezt kitolták 7 évre, így az új járművek regisztrációja hihetetlen mértékben megcsappant. A legnagyobb vesztesek közé tartoztak a teljesség igénye nélkül a spanyolok, a finnek (akik pozitív 2008-as eredményeiket az év eleji óriási felfutásnak köszönhetők), az egyesült államokbeliek és a dánok. Talán a



3. ábra: a magyarországi új járműregisztrációk száma 2006-tól 2011 augusztusáig

legjobban a svájciak vészték át a krízisnek ezt a szakaszát, de ebben közrejátszik az is, hogy rengeteg cégautót regisztráltak be az országban.

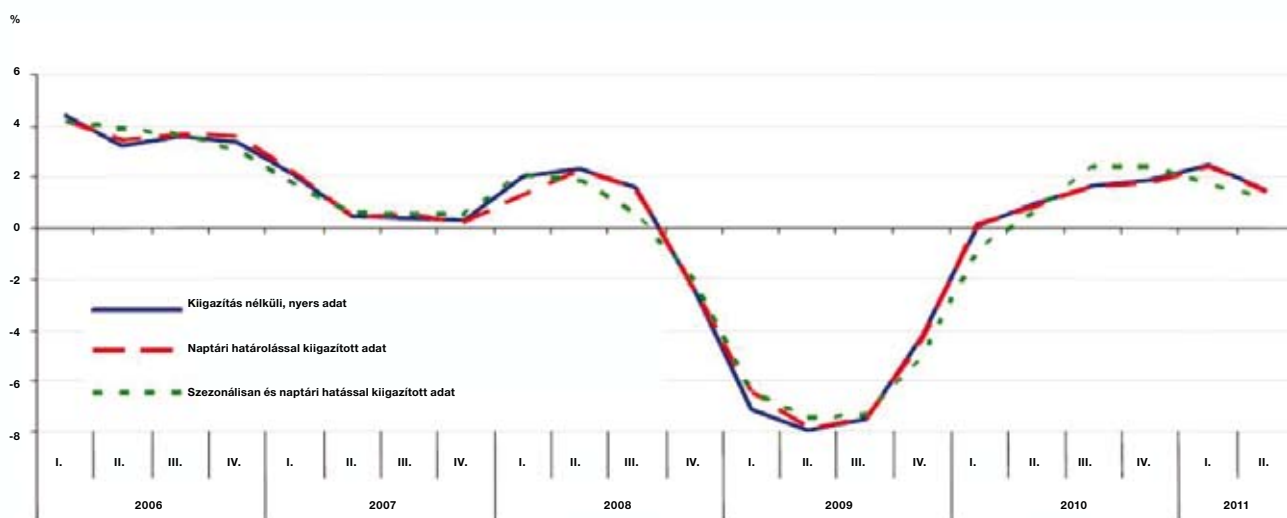
A külföldi országok után Magyarország új járműregisztrációinak számát vizsgálva drasztikus csökkenés látható. A 2006-ról 2007-re 10%-os, illetve 2007-ről 2008-ra 15%-os csökkenés mellett sem lehet elmenni szó nélkül, de a válság időszakában 2008-ról 2009-re 61%-os volt a visszaesés a regisztrációk számában! A helyzet folyamatosan tovább romlott, 2010-re további 27%-os esés következett be, ami a 2006-os adatoknak mindössze a 23,2%-a. 2011-ben mindössze augusztusig állnak rendelkezésre adatok, de ezek alapján valamivel a 2010-es szint alatt várható idén év végén az új járműregisztrációk száma.

2009-től 2011-ig a sok feldolgozása után a vállalatok és az országok célja nem lehetett más, mint visszatérni a növekedési pályára. A feladat nehézségéről árulkodik, hogy a legtöbb szegmensben még 2011 harmadik negyedévéig sem sikerült elérni a válság előtti kibocsátási szintet. A válságra adott válaszok között változatos kormányzati segítségük szerepeltek a járműiparral kapcsolatban világszerte. Ezen akciók és támogatások célja kettős volt. Egyrészt az akut válságkezelésben kívántak segíteni, másfelől igyekeztek olyan módon támogatni, hogy az egy későbbi válság megelőzését is szolgálja, és egyéb jelenkori problémákra is (pl.: környezetszennyezés) válaszul szolgálhasson. Az **1. táblázatban** néhány kiválasztott ország kormányának beavatkozásait gyűjtöttük össze a járműipar megsegítése érdekében.

ORSZÁG	A BEAVATKOZÁS TULAJDONSÁGAI ÉS ESETLEGES FELTÉTELEI
Ausztria	Roncsautó-program: legalább 13 éves jármű cseréje legalább Euro-4-es kibocsátási feltételeknek megfelelő járműre.
Franciaország	10 évnél idősebb járművek cseréje maximum 160 g/km CO
Olaszország	Motorbicikli-program: Euro 3-as kibocsátási szinttel rendelkező új motorbicikli vásárolható.
USA	CARS program: személyautók cseréje

1. táblázat: nemzeti kormányok „roncsautó” támogató programjai 2009-ben

A magyarországi helyzet ezen a területen pozitívnak egyáltalán nem nevezhető, az eladásban érdekelt szervezetek, prominens képviselői több javaslatot is készítettek a kormányok számára, de gyakorlatilag eredmény nélkül. Magyarországon ilyen, ebbe a kategóriába tartozó keresletélénkítő program nem indult. A fenti táblázatból jól látható, hogy miként kötötték össze a járműipar megmentését szolgáló keresletélénkítő lépéseket a környezetünket szennyező anyagok kibocsátási szintjének csökkentésével. Az igencsak jellemző roncsautó-programon kívül többféle adókedvezménnyel próbáltak segíteni a kormányok, Németországból indult ki a Magyarországon is bevezetett, úgynevezett „Kurzarbeit” program, amiben a heti 5 munkanapból 4-et dolgoztak az alkalmazottak, az 5. napon általában oktatást kaptak, amely napra a kormány nyújtott pályázati úton támogatást. A program segítségével a válság utáni kilábaláshoz fontos, értékes munkaerőt sikerült megőrizni. Ilyen és ehhez hasonló összefogás eredménye, hogy a piacok lassan stabilizálódtak 2009 év végére, 2010 év elejére. Ezt a folyamatot a **4. ábrán** szemléletesen láthatjuk a magyarországi GDP volumenváltozásából is.



4. ábra: a magyarországi GDP volumenváltozása az előző év azonos negyedéhez képest

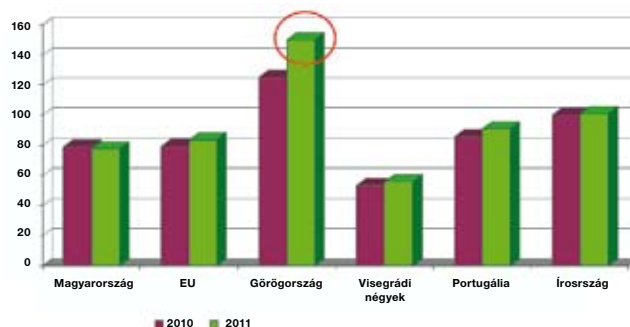
Az 4. ábrán a 2006-os években még látszik a folyamatos növekedés, majd a csökkenés után a 2008 év eleji felfutás. A válság kitörése után, az előző év negyedéveihez képest 7-8%-kal csökkent a GDP volumene! Ez a korábbi növekedések mellett is hihetetlen visszaesés. Ebben az általános válságon kívül az is szerepet játszik, hogy hazánk tipikusan kis, nyitott gazdaság, és ebből fakadóan nagyon rá van szorulva az exportra. A válság bekövetkeztével a nemzetközi kereskedelem szinte soha nem látott mértékben visszaesett, így – az amúgy jelentős külkereskedelmi többlettel rendelkező – hazánkban még erőteljesebben érezhető volt a válság. Magyarországot jól jellemzi, hogy a járműipar aránya a GDP-ben a válság mélypontján 10%-kal csökkent, az időszakot összességében a 10-11%-os arány jellemzi. Az exportunk a válság mélypontján 20% körüli, amely emelkedett a későbbiekben 22%-ra! 2009 harmadik-negyedik negyedévében láthatóak először a stabilizálódás nyomai, míg az igazi trendforduló 2010 februárja köré tehető, ekkor lépett hazánk ismét a növekedés útjára. Az EU 27-ek ugyanez idő alatt hasonló utat jártak be, mint a magyarok, szintén a 2009-es év 7-8 hónapjában kezdődött meg a konszolidáció, viszont az üteme valamivel gyorsabb volt. Például a 2010 második negyedétől 2011 második negyedéig tartó időszakában az EU 27-ek GDP növekedésének az átlaga 2,3% volt, míg Magyarország 1,7%-ot produkált. Bőven az uniós átlag alatt produkált Görögország, akit csak az európai összefogás tart még életben.

A 2011-ES VÁLSÁG

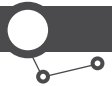
Érzékelhető, hogy ismét válságos időszak felé tart a világ gazdasága. Jól jellemzi ezt az úgynevezett „Gazdasági Hangulat Index” (A müncheni IFO gazdaságkutató intézet és a párizsi Nemzetközi Kereskedelmi Kamara (ICC) által végzett felmérés), 2010 negyedik negyedév adatainak összehasonlítása a naprakész adatokkal. 2010 utolsó 3 hónapjában a 106,8 pontos érték még pozitív várakozásokat fogalmazott meg, addig 2011. 3. negyedévében a 93,9-es nagyságú index borúsabb képet fest, még a 2011. 4. negyedévére ez a mutató 78,7-re esett vissza, ami már egyenesen ijesztő. De tulajdonképpen mi is ad okot az ijedtségre? Sajnos ide hétről hétre új opciók kerülnek be a felsorolásba. Az egyik legégetőbb kérdés az euró zóna jövője. A 2008-as válság legkomolyabb kárvallottjai közül talán az írek voltak egyedül képesek

rendezni soraikat, míg a görögöket szinte napról napra sokkolja az államcsőd lehetősége és reális veszélye. Magyarországot és Portugáliát is a bővli kategóriába sorolták vissza néhányan a legnagyobb hitelminősítők közül, és további országok felett is ott lebeg Damoklész kardja. A probléma 2008-cal szemben inkább Európa-központú, igaz, ha nem képes saját keretein belül kordában tartani és kezelni a válságot, akkor a világméretű következményei még 2008-on is túlmutathatnak. A válság alapja az egész világot, (de főleg Európát) keresztülhalló adósságszpirál. Sokkoló adat, hogy az EU27-ek több mint felénél az államadósság mértéke az éves GDP 80%-át eléri vagy meghaladja!

Az 5. ábra, amin az EU-tagországok államadósságának viszonya látható az éves GDP-hez, azt is megmutatja, hogy az EU27-ek átlagos államadóssága körülbelül a tagországok GDP-jének 80%-os szintjén mozog. Ennél a magyarországi adatok jelenleg jobbakk, de a 2012-es prognózis várhatóan nem tartható, hiszen az a kalkuláció még 1,5-2%-os GDP-növekedéssel számolt, míg a legfrissebb adatok alapján a legoptimistábbak is maximum fél százalékos növekedéssel számolnak, de akár negatív irányt is vehet a gazdaság. 2011. 2-3. negyedévében az ismételt piaci meg-ingások miatt Európa-szerte visszaestek a növekedési ütemek, és napi szinten zajlanak csatározások az euró zóna, illetve az európai integráció jövőjéről. A megmentő szerepet ezúttal is a stabil és tőkeerős Németország játssza, kiegészítve Franciaországgal és az Egyesült Királysággal.



5. ábra: EU-tagországok államadósságának viszonya az éves GDP-hez, százalékban



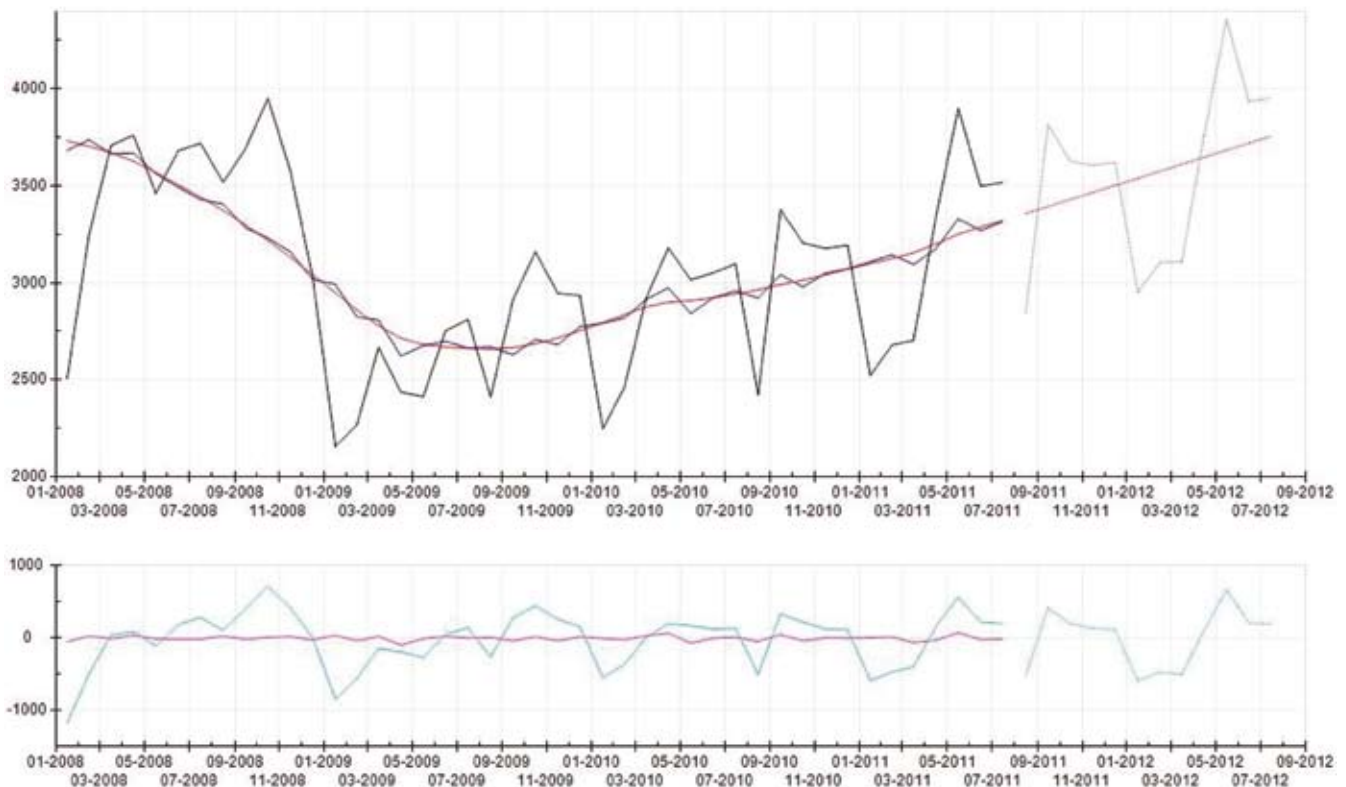
A hazai autóipari gyártás főleg a nyugati piacokhoz kötődik, így az euró- és a frankválság közvetlenül is érinti a szereplőket. Viszont a nagyobb gyártók többsége német tulajdonban van, akik a válság után még inkább átálltak a konzervatív befektetési politikákra, így ezt a mostani válságot talán még kevésbé érzik meg. Ezzel szemben a haszonjármű-iparban inkább érezhetőek a negatív hatások, főleg a több hazai (főleg hitel által sújtott) beszállító miatt.

Mivel az iparágnak sajátossága, hogy a termékek előállítási és összeszerelési ideje hosszabb, így a megrendelések csökkenése is csak később várható. Ebben az esetben is az történhet, mint 2008-ban, hogy hirtelen mondják vissza a megrendeléseket, és ott maradnak a gyárak, tele raktárakkal, kereslet nélkül. Viszont a szállítmányozóvállalatoknál már akár azonnal jelentkezhetnek a változó igények, ezért nézzük meg egy szállítmányozási vállalat forgalmi adatait 2008 januárjától 2011 szeptemberéig!

A **6. ábra**, amelyen egy vasúti szállítmányozási vállalat hazai és külföldi forgalma látható, igencsak összetett. Fekete vonallal látjuk a konkrét adatokat a fenti részen, kékkel és pirossal a tisztított trendvonalakat. Az Y tengelyen szerepel a szállítmányozás mennyisége, míg az X tengelyen havi bontás segíti az időbeni eligazodást. A felső ábrán megtaláljuk a 2008-as válságot megelőző haszonjármű-ipari boom nyomait, a szállítások mennyisége egyenletesen magas. A vasúti szállítmányozásban szezonális jelleg a téli időszakban történő visszaesés, de 2008 decemberében majdnem 50%-os visszaesés következett, ami példa nélküli volt a cég történetében, és komoly nehézségeket okozott! A „téli álomból” való ébredést normál esetben egy körülbelül 20–25%-os növekedés követ az iparági szezonális szerint, de a válság miatt alig több mint 12%-os volt a növekedés. Látható, hogy a későbbiekben is kiegyensúlyozott növekedést mutató szállítmányozóvállalat 2009 első kilenc hónapjában – érthető módon – nagyon hektikus módon kapott megrendeléseket.

A válság miatt 10 százalékponttal nőtt az üresen megtett utak aránya, ami egyértelműen komoly bevételkiesést okoz. 2010 év elejére a téli megrendelésállomány majdnem a válság szintjére süllyedt vissza, viszont utána majdnem 30%-os növekedést produkált, ami a piacok konszolidációját jelentette. Ezután a szállítmányozás – mint a trendvonal is mutatja – lassan, de körülbelül az EU-s GDP növekedési ütemével megegyező mértékben (talán kicsit jobb ütemben is) növekedési pályára állt. A szakadási pont után a meglévő adatok alapján várható trend látható, de ebbe a modellbe nem került beépítésre a válság. Egyelőre a megrendelésekben nincs egyértelmű nyoma a válságnak, mégis vannak rá utaló jelek! Több mint 5 százalékponttal nőtt az üresen megtett fuvarok aránya, ami aggodalomra ad okot, csakúgy, mint az előzetes megrendelések számának csökkenése. Ez egyelőre nem drasztikus, hazai szinten 4–6% iparág függvényében, míg nemzetközi szinten 1–3% közé tehető. Ezeket nem tekinthetjük végleges adatnak, hiszen még nem realizálódtak, elmozdulhat pozitív és negatív irányban is, de mutatja a várható trendet! Egyesek mindezt annak tudják be, hogy mindenki módosította az európai helyzetre való tekintettel a várakozásait, így ha mégis jobban teljesítenek, akkor jobb színben tünteti fel őket, ha pedig tényleg rosszabbul, akkor ők ezzel kalkuláltak. Sajnos a piacot az ilyen mechanizmusok is alakítják, és ezek most nem a pozitív várakozásokra építenek.

A 2011 őszen jelentkező válság azon szakértőket igazolta, akik már korábban a „V” jellegű válság helyett egy „W” jelleget prognosztizáltak. A két visszaesési folyamat eltérő bázisról indult. Míg 2008-ban egy eufórikus fejlődési szakaszban és hangulatban volt a világ gazdasága, addig a 2011-es évben már erősen racionalizált struktúrájú, óvatosabb gondolkodású ipari cégek néznek szembe a változásokkal. A 2008-tól számított időszakban markáns változások álltak be az európai ipari, befektetési, támogatási rendszerekben. Míg korábban a „virágzás” alatt „megnyúltak” a logisztikai



6. ábra: egy szállítmányozási vállalat hazai és külföldi összesített forgalma



láncok, nagy fuvarozási erőforrást lekötve, addig a válság hatására ez a távolságban kifejezhető logisztikai rugó összehúzódott. Ezt támogatta az autóiparban is rögtön megjelenő protekcionista hullám. Számos nyugati állam csak az otthoni gyárakat támogatta, azoknak a külföldi terjeszkedését nem. A fajlagosan egyre dráguló logisztikai költségek is rákényszerítették a cégeket, hogy a termelési, beszállítói kapcsolataikat távolságban rövidítsék.

Bár a „W” második szárában vagyunk, azt nem lehet megmondani, hogy a második mélypont, az első alatt vagy felett lesz majd. Örömteli, hogy a nyugati kormányok ipartámogatási lépései a gépjárműipart, főleg a személyközlekedés tekintetében, szinten tartják. Ennek is köszönhető, hogy a 2008-ashoz hasonlóan most még nem jelentkeznek Nyugat-Európában, és nálunk sem, az acéliparban és a vegyiparban negatív folyamatok. Érdekes jelenség, hogy a lengyel Mittal és a szlovák US Steel viszont már leállított kapacitásukat. Nem tudni, hogy ez csak az ő gyengébb piaci pozícióinak vagy a globálisabb válság előjelének tudható be.

ÖSSZEFOGLALÁS:

Immáron történelmi tény, hogy 2011-ben is válság jelei mutatkoznak Magyarországon és az Európai Unió gazdaságában, de ennek a mértéke még egyelőre meg sem közelíti a 2008-as válság méreteit. Igaz, a további fejlemények nagyban függenek az európai döntéshozóktól, és ha kedvezőtlen fordulatot vesznek a történések, akkor viszont a

2008-as válságnál is drasztikusabb lehet a visszaesés. Mégis, ez a válság merőben más, mint a 3 évvel ezelőtti volt. Akkor az Egyesült Államokból indult ki, és egy felülről lefelé építkező válságról beszélhetünk, mert a bankoktól haladt az emberek felé a krízis, míg most pont fordított előjelű a folyamat. A hitelválság következményeit az állampolgárok szenvedik el közvetlenül, és tőlük terjed – többek között – a pénzpiacok felé is. A hitelválság további következménye a fizetőképes kereslet egyre több területen jelentkező, egyes területeken (pl.: építőipar, személygépjármű-kereskedelem stb.) igen jelentős és már tartósan minősíthető csökkenése. A másik különbség, hogy összefogással ez a válság talán még megfogható, hatása csökkenthető, van lehetőség a közbeavatkozásra! A teljes járműipar, és azon belül is a haszonjárműipar kockázatos helyzetben van. Kiemelt ipari jelentősége miatt a válságok minden következménye az elsők között jelentkezik nála. A szállítmányozóknál már látszódik, hogy gyűlnek a felhők, és félő, hogy hosszú távon a kereslet ismét komoly mértékben csökkenni fog. Az ágazat szerencséje, hogy közlekedésre, szállítmányozásra mindig szükség lesz, így az igazán minőségi termékek mindig meg fogják találni a piacukat, ezért sem szabad egy ilyen technológiaigényes iparágnál még válság esetén sem komolyan megvonni a kutatás-fejlesztési költségeket. Ha az euró-zóna képes lesz megoldani belső problémáit időben, és ezzel egyúttal újra stabil növekedési pályára állítani Európát, úgy nem reménytelen a helyzet, de a stagnáló vagy zsugorodó gazdasági környezet nem fenntartható, és pillanatok alatt begyűrűzhet a következő világméretű gazdasági válság! ●

IRODALOM:

UNCTAD – World Investment Report 2011
KSH – Az ipar teljesítménye 2008–2011
KSH – Járműregisztrációs adatbázis 2006–2011

CFD Analysis of EGR Mixers

BALÁZS KERESZTY

BME,
Dept. of Automobiles

MARCELL KISZELY

Széchenyi University,
JRET

DR. HUBA NÉMETH

BME,
Dept. of Automobiles

Scope of this paper is investigating different exhaust gas recirculation (EGR) mixers for achieving short route mixed exhaust gas with the intake air for cooled EGR, for turbocharged, intercooled heavy-duty diesel engines. The exhaust gas was carried off upstream the turbine, cooled down and mixed with the intake air upstream the intake manifold. Upstream to the mixer a throttle valve was positioned to provide a positive pressure difference for the EGR circuit.

The mixed exhaust gas fluctuation, the EGR rate at the outlet of the mixer and the pressure drop on the mixer were investigated at several engine operation points. The results were evaluated considering the optimum solution of the three criteria.

A cikk témája hűtött kipufogógáz-visszavezetéssel (EGR), turbófeltöltővel és töltőlevegő-visszahűtővel felszerelt tehergépjármű dízelüzemű motor részére kialakított, különböző kivitelű kipufogógáz-keverők vizsgálata. A kipufogógáz még a turbófeltöltő turbínája előtt, hűtést követően kerül visszavezetésre, a kompresszor, a töltőlevegő visszahűtője, illetve egy fojtószelep után keveredik össze a beszívott friss levegővel. A fojtószelep szerepe a szívócsőben a pozitív nyomáskülönbség biztosítása a kipufogógáz-visszavezetés részére. A keverő kivezetésén az elkeveredett kipufogógáz eloszlása, a kialakuló EGR-arány, illetve a keverő ki- és belépése között létrejövő nyomáskülönbség került több motormunkapontban vizsgálatra. Az eredmények három alapvető kritérium optimális együttese alapján kerülnek értékelésre.

INTRODUCTION

Over the past 15 to 20 years emissions legislations have continuously severed across the world. The primary target of this legislation for compression ignition engines has been the reduction of the emission of nitrogen-oxides (NOx) and of particulate matter (PM).

Initial engine development efforts aiming for reduced emissions focused on reducing NOx emissions by retarding the fuel injection process. At the end of this development it resulted in an increased PM emission and/or brake specific fuel consumption (BSFC). To avoid this symptom the manufacturers of heavy duty (HD) commercial vehicle diesel engines have introduced increasingly advanced features such as low swirl cylinder heads with 4 valves per cylinder and vertically positioned central injector, shallow centrally located piston bowls, speed and load dependent injection timing control with more and more high pressure fuel injection system with turbocharger and more often with intercooler, occasionally exhaust gas recirculation (EGR) and the Diesel Particulate Filter (DPF) or Selective Catalytic Reduction (SCR) [2, 3].

Through this efforts the above mentioned trade-offs have shifted to much lower NOx and PM emissions levels, while maintaining acceptable fuel consumption levels. With these technologies commercial vehicle diesel engines could meet EURO V legislation even by 2008 (See Fig.1.).



Figure 1. EU and US emission limits of HD engines

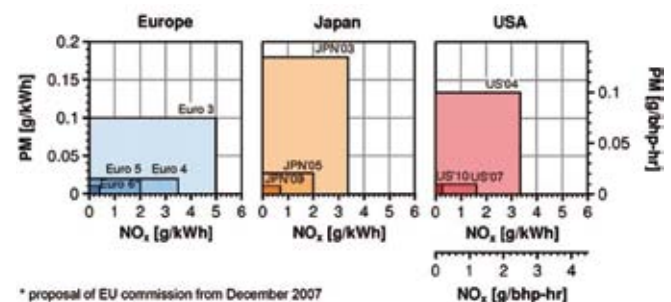


Figure 2. EU, US and Japan emission limits

Earlier it was not expected that optimization of fuel injection and air charge admission of the engine will allow such a substantial reduction of emissions (Fig.2). For meeting latest legal demands, new technologies have to be introduced in the future.

Potential key new technologies have been identified and are summarized in Figure 3. First solutions improve the emissions trade-off by influencing the physical processes of fuel injection and air admission. They no longer aim yet to ameliorate the emissions. The current solutions aim to reduce emissions by directly influencing the chemistry of the combustion process or by catalytic after treatment of the exhaust gases. From the start different solutions were identified in the current generation of HD diesel engines like exhaust gas recirculation (EGR), Diesel Particulate Filter (DPF) or Selective Catalytic Reduction (SCR). The exhaust gas recirculation (EGR) is one of the most interesting candidate technologies for wide spread introduction in the next generation of HD diesel engines.

Preceding researches on EGR-technology for HD diesel engines has shown and confirmed that very low levels of NOx and PM emissions can be achieved with appropriate hardware and a dedicated control strategy while maintaining competitive fuel economy and transient behaviour [3, 4]. The cooled EGR is one of the confirmed potential for achieving future NOx emission levels. The combination of an EGR mixer and an appropriate pressure differential control (e.g. by VGT turbocharger) can give the best results for the very low NOx levels with parallel the lowest PM increasing and fuel consumption penalty.

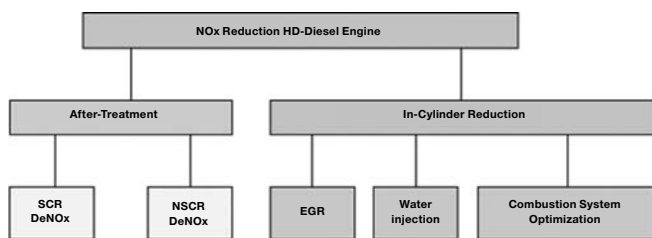


Figure 3. Different technologies for NOx reduction

The more homogeneous EGR gas and air mixture effects lower NOx levels due to evolved uniform cylinder-to-cylinder EGR rate distribution. The mixture homogeneity is an important parameter of the EGR mixer.

This paper focuses on the examination of the efficiency of different EGR mixer designs and intends to elaborate the main design criteria.

EGR CONCEPT

The EGR system of the inspected engine is shown in Figure 4. Exhaust gas is taken from the exhaust side upstream of the turbine and fed to the intake system over an EGR valve and EGR cooler.

At fixed EGR valve position the EGR rate is commensurate with the pressure difference between the exhaust and the intake system. The pressure difference drives the exhaust gas into the intake system. This pressure difference is mainly depending on the applied turbocharger maps and the engine load.

At low loads, when the turbocharger does not supply high boost pressures, the pressure in the exhaust system is usually much lower than the pressure in the intake system, thus a recirculation would not occur. To increase the EGR mass flow rates at small or negative pressure differences, pressure decrease is generated downstream to the EGR feed point in the intake system by throttle valve of the Pneumatic Booster System (PBS). Another option is by generating back pressure downstream to the turbine by the Exhaust Brake (EB).

The EGR rate is defined as the mass fraction of exhaust gas in the total intake charge as:

$$EGR_{rate} = \frac{m_{exhaust}}{m_{fresh\ air} + m_{exhaust}} \quad (1)$$

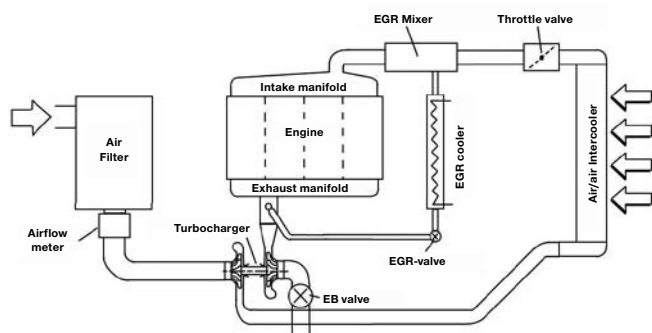


Figure 4. Cooled EGR HD engine layout

MIXER CFD MODELS

The herein presented simulation results are all based on a common CFD model for different mixer geometries, with applying different meshes and subsequent modifications in boundary

condition parameters for the various cases. The model utilizes a single-phase, homogeneous, multi-component flow, consists of O₂, N₂ as fresh air and „Burned” components. The bulk motion of the fluid is modelled using single velocity, pressure, temperature and turbulence fields acquired from 3D Reynolds-averaged Navier-Stokes, shear stress transport turbulence equations as well as from the total energy equation. Continuity equation is also solved with separating the components having their own equations for conservation of corresponding mass. Despite of the fluid is homogeneous (in terms of momentum), a relative mass flux term in the transport equations accounts for differential motion of the individual components. This diffusion-like term involves kinematic diffusivity that is defined for all unconstrained components („O₂” and „Burned”). Note that, by definition, the sum of component mass fractions over all components is 1.

SIMULATION METHOD

Steady state simulations are aiming to predict mixing capability and pressure loss responses of different EGR mixer designs attached to the same intake manifold system of a 4-cylinder HD engine. The simulated domain consists of charge air and exhaust gas recirculating pipes, throttle valve, EGR mixer, elbow and intake manifold. The boundary conditions and geometry can be seen in Figure 5. Total pressure at inlets and mass flow at outlets are selected as boundary condition pair, while zero heat flux (adiabatic) and hydraulic smoothness is assumed for solid surfaces.



Figure 5. Simulation model with boundaries

Four cases are investigated, each corresponding to a certain steady engine operation with different RPM but almost identical partial load of the described engine.

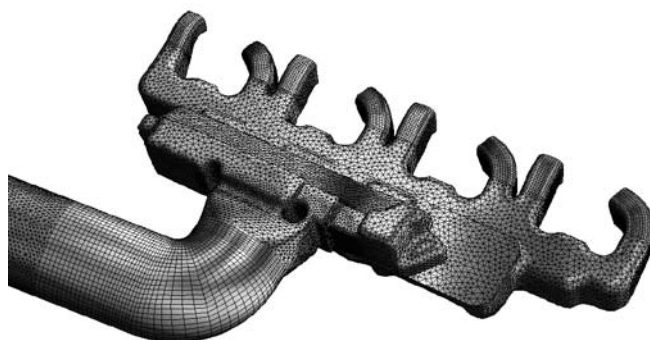


Figure 6. Hybrid-modular mesh

Inlet total pressure and outflow boundary conditions are modified consequently. The composition of inlet flows are 23% of O₂ and 77% of N₂ at AIR inlet and 100% „Burned” at EGR inlet for

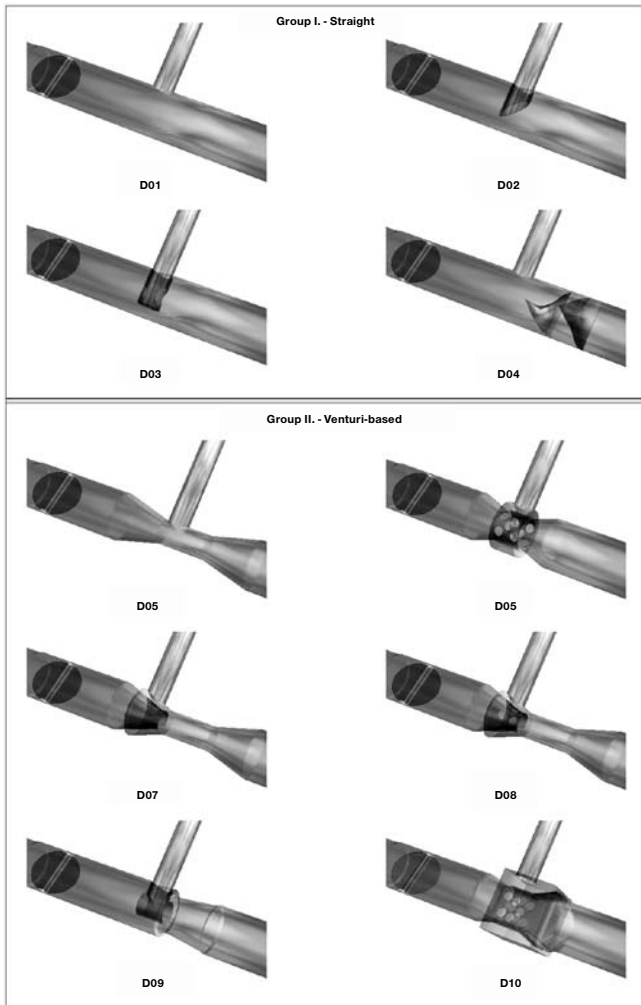
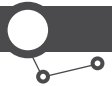


Figure 7. Investigated EGR Mixer concepts

all cases. The computational mesh is built up in modules, making the EGR mixer part interchangeable. For proper comparison the generated meshes feature almost identical number of cells and boundary layer resolution (Figure 6).

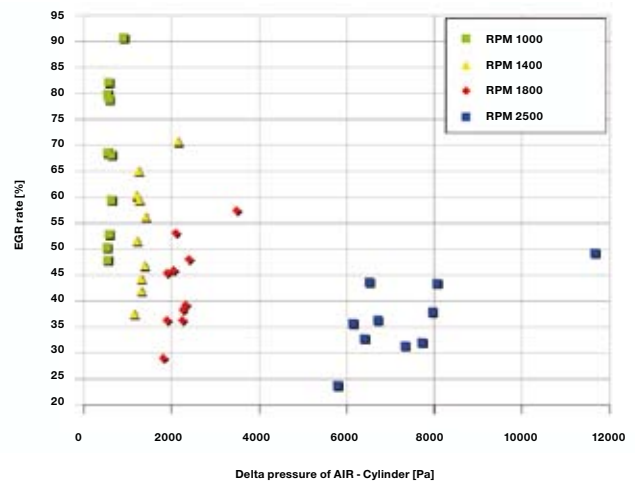
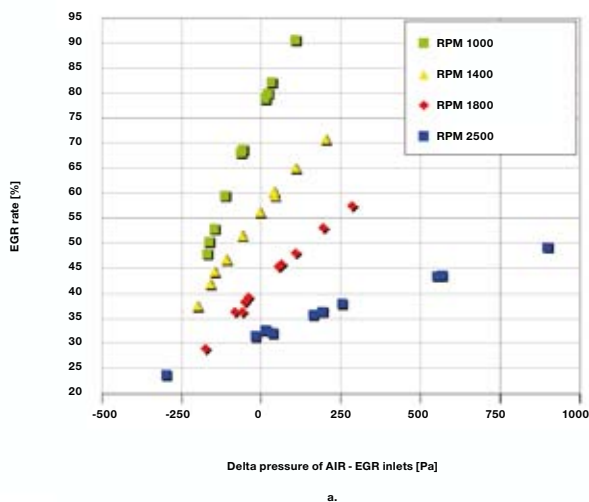


Figure 9. EGR rate as function of pressure differential of AIR – Cylinder for different cases

According to the operation sequence of the engine intake valves, the intake flow domain is highly time-dependent. The charge mass entering the manifold distributes among cylinders in time, whereas for a representative steady state simulation it was assumed that only the third cylinder intake valves are open and the entire charge flows through them evenly divided.

MIXER DESIGNS

Ten different conceptual EGR mixer geometries are designed and fitted into the above described model shown in the Figure 7. The mixer concepts are separated into two design groups:

- Group I. contains mixers with straight piping. The exhaust gas flows into the AIR path through a simple T-shape connection in the D01. The EGR pipe penetrates into the charge air pipe with a 45 degrees chamfer at the D02. The EGR pipe penetrates into the centre of the inlet pipe with closed end and a bore parallel to the air flow at D03. Just like in case of D01, EGR gas flows

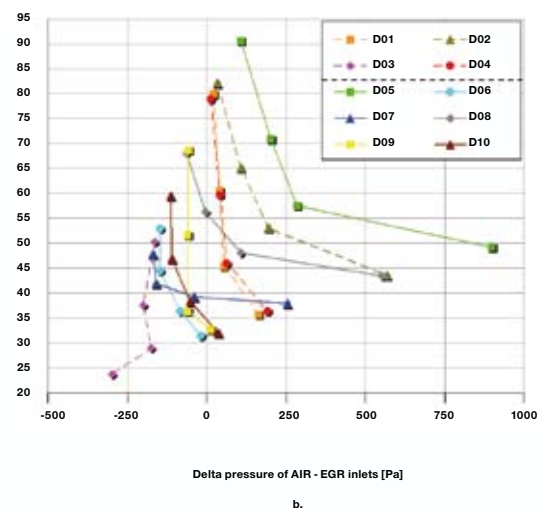


Figure 8. EGR rate as function of pressure differential of AIR – EGR inlets for various cases a) and mixer concepts b)

into the AIR path through a simple pipe connection leading to a static mixer at D04.

- Group II. involves designs utilizing the Venturi effect. D05 is a simple T-shape Venturi pipe connection. D06 features a ring volume where EGR can enter the main pipe through multiple

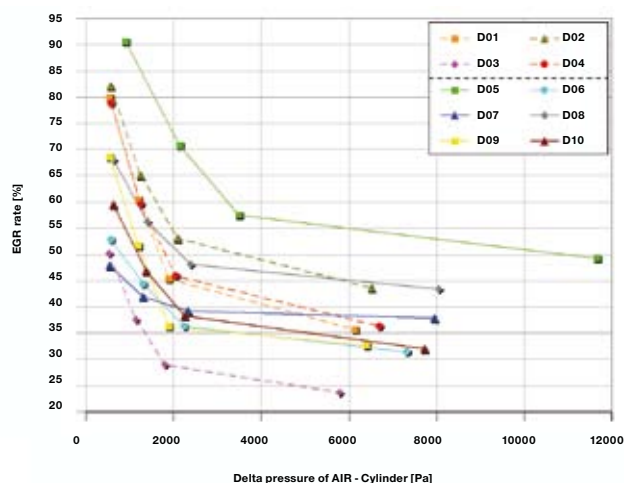


Figure 10. EGR rate as function of pressure differential of AIR – Cylinder for various designs

bores. Mixers D07 and D08 are very similar. They sum up the properties of D05 and D06, but D08 has additional bores on the tapered upstream throat. A small coaxial tube in the inlet pipe aids the mixing of the EGR gas at the D09. D10 is similar to D06 concept, but the mixing area cross section is rectangular rather than circular.



Figure 11. Mixing evaluation planes

RESULTS

The CFD model specific is defined as:

$$EGR_{rate} = \frac{Burned}{Burned + O_2 + N_2} = Burned \text{ Mass Fraction} \quad (2)$$

Although the total inlet pressure level is well defined for each case, the resulting static and dynamic pressure components vary from design-to-design. The mass-flow weighted average static pressure at the inlets, while the EGR rates at the outlet (average for one cylinder, i.e. of two Cylinder intake ports) boundaries are evaluated. It is obvious that the resulting static pressure

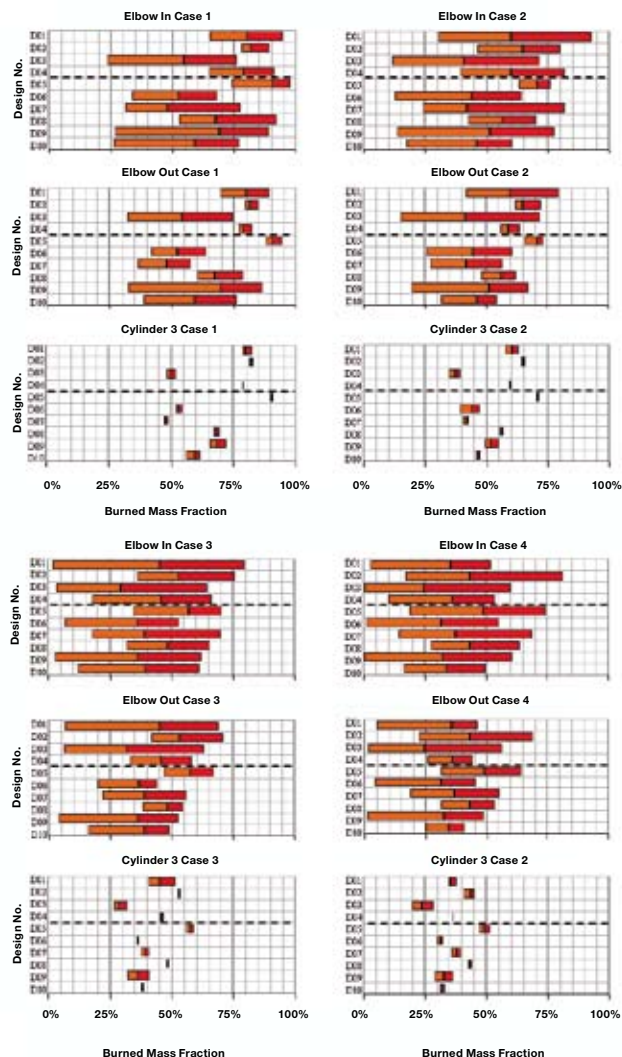


Figure 12. EGR rate fluctuation on evaluation planes

difference between the two inlets (AIR – EGR) sets the level of EGR rate in the manifold. The higher this pressure differential, the more „Burned” component can enter the manifold. This monotonic tendency can be traced back at each engine operation point (Fig. 8/a).

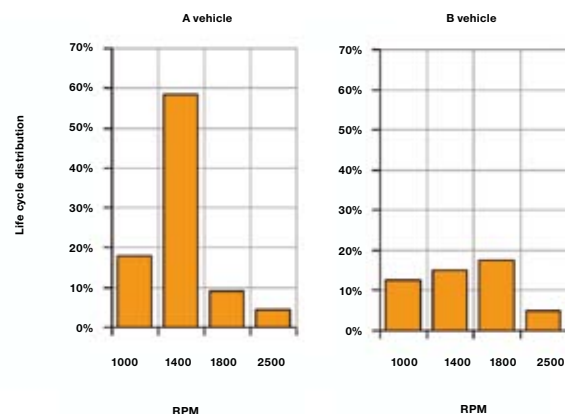


Figure 13. Distribution of investigated engine speeds. A vehicle – Suburban cycle, B vehicle – City cycle

The highest EGR rate values may seem excessive and presumably they can not be fulfilled in reality, but still theoretically possible with the given system of boundary conditions.

Besides analyzing the available EGR rates with various mixer geometries, the secondary objective is to expose the pressure loss of the designs in the AIR path, which is crucial in terms of the impact on rated engine performance. Delta pressure of cylinder (average of two ports) and AIR inlet is calculated and plotted once again with resulting EGR rate at the cylinder (Figure 9 and Figure 10).

Pressure loss varies in between 6 and 12 kPa at peak mass flow rate (2500 RPM). This value includes the pressure loss of pipes, open throttle valve, mixer and manifold as well down to the intake valves.

Investigating the „Burned” component concentration downstream the mixer can show more detail of mixing capabilities of the concepts. Three locations are assigned on the CFD model to get data from as depicted in Figure 11.

The minimal, mass-flow-weighted average and maximal values of EGR rate are seen in Fig. 12 corresponding to the four simulated engine operation cases at the three evaluation planes.

As it was observed that once the AIR – EGR inlet side static pressure difference set the average EGR rate level, it persists downstream the mixer, too. As the mixture is flowing towards the engine intake valves the EGR rate fluctuation decreases. By the flow enters the cylinder ports, the mixture homogeneity is well maintained with most of the mixer concepts (less than 5% difference between min and max). Cumulating the fluctuation values of different cases into a single measure seems to be a comprehensive judge of overall mixing effectiveness. The investigated engine RPM cases are ranked in terms of incidence by engine speed spectrums, and used as weighting numbers for cumulative representation (R_i). Two vehicle cycles are distinguished: a suburban (A) and a city (B), see Fig. 13. In addition it was assumed that the former runs at idle in 10% of its life cycle, while the latter in 50%. Idle RPM case is not simulated, because of nearly zero EGR rates.

For such comparison, the weighted quadratic mean of EGR rate fluctuation averages is used (Figs. 14 to 15). The lower this value, the more homogeneous mixture is composed at the given section for a wide range of engine operation. Considering the negative effect of an uneven cylinder-to-cylinder distribution, the most important indicator from these is the fluctuation at the manifold inlet (Elbow Out section). If an acceptable homogeneity is maintained at this location, the possibility that the cylinders get different concentration of exhaust gas will be minimal.

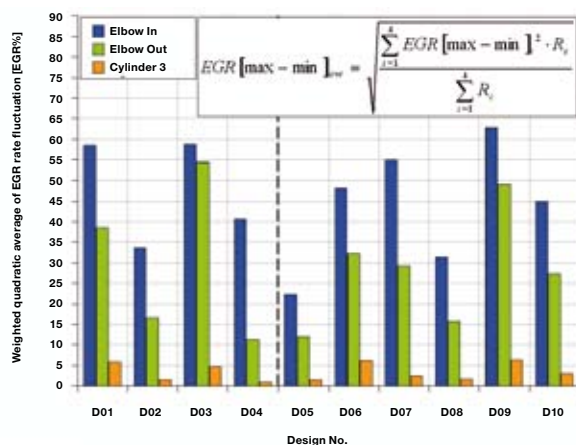


Figure 14. Cumulative EGR rate fluctuation on evaluation planes (A vehicle)

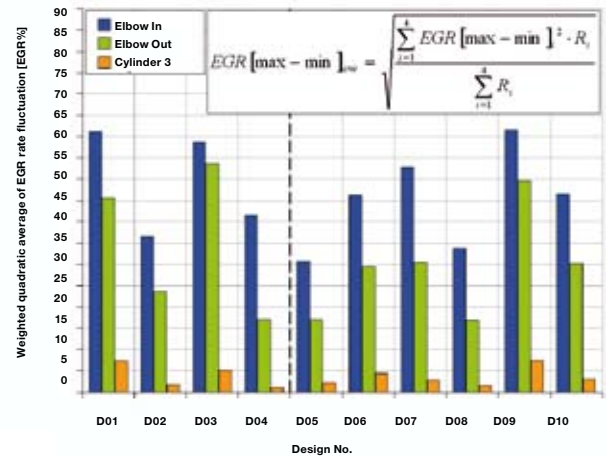


Figure 15. Cumulative EGR rate fluctuation on evaluation planes (B vehicle)

Discretization of the intake path to separate mixing zones can provide additional information on the mixing behaviour (Figs. 16 to 17). One of the two investigated sub-volumes is downstream to the mixer, up to the elbow output and the second volume is the intake manifold itself. Deriving a differential of the average EGR rate fluctuations calculated at these bounding planes can show how much the enclosed volume contributes to mixing process with the certain mixer geometry. The higher the fluctuation difference, the more mixing is performed in the corresponding sub-volume. Quadratic mean average values are calculated for both vehicle cycle types.

The lower “Mixing in Manifold” value is preferred, as this refers to a mixture at the Elbow Out plane that is already mixed well, hence the different cylinders will get the same amount of exhaust gas ratio. It means the major part of mixing occurs in the EGR Mixer or in the piping up to the Elbow output, while the presence of intake manifold contributes the minor part to cylinder-to-cylinder EGR rate distribution.

These relative results refer to the mixing length and should be observed in cope with the cumulative EGR rate fluctuations at the evaluation planes (Figs. 14 to 15) in order to see absolute values for reference.

DISCUSSION

To choose the best mixer one need to inspect each concept pursuant to square points, as possible EGR rate, engine rated performance, mixture homogeneity, and cost. As seen the different concepts are adequate for each of that square point.

The highest EGR rate would be the main goal in point of nitrogen-oxides (NOx) emission reduction view. The best mixer according to this aspect is the D01 and D04, but still good concepts are D02, D08, D09 and D05.

Lowest pressure drop would be optimal to retain the rated engine performance without the EGR system. The intake manifold charger pressure, consequently the engine torque could be the highest with D02 design. However D01, D04 and D08 concepts are also good according to this aspect.

The most homogeneous mixture at manifold inlet is important also to achieve the best reduction of the emission of NOx due to the same EGR rate at the cylinders. Additionally it means the main mixing evolves in EGR Mixer and the Elbow and the effect of the Manifold does not contribute remarkably to the cylinder-to-cylinder EGR distribution. In such a case the EGR mixer efficiency is better

due to the more homogeneous mixture. So with the best efficiency mixer was D04, but D08, D05 and D02 are also good.

The lowest production cost is also important. A cheap mixer would be the main goal in point of total engine production cost. The best in this aspect is the D01 design with the simplest construction, but D02, and D05 concepts perform here also well.

A priority of the above criteria is certainly needed to be able choose the right mixer for an engine project. One choice would be the following. The main aspect is the homogeneous mixture, the second and third criteria are the possible EGR rate and the engine performance and the last but important point is the production cost. With this weighting order the proposed best mixer design options are D02 and D05. Based on these proposed concepts one can conclude that even a simple mixer design like D05 can perform well.

CONCLUSIONS

This paper intended to highlight the main questions that must be considered when designing or selecting an EGR mixer for

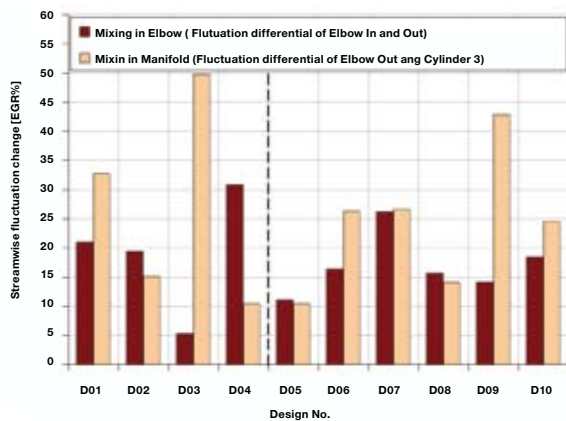


Figure 16. Contribution to EGR rate fluctuation (A vehicle)

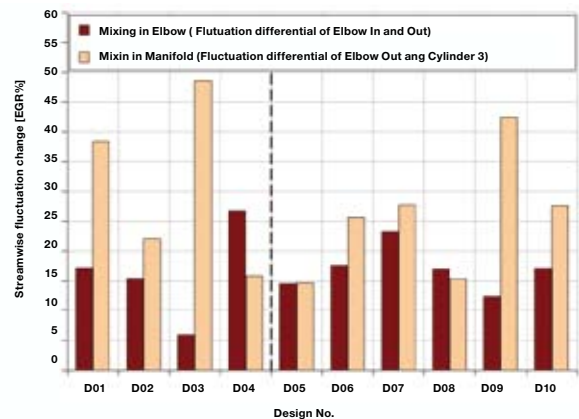


Figure 17. Contribution to EGR rate fluctuation (B vehicle)

HD commercial vehicles. An ideal case would be a mixer that mixes the components in a relative short length while exhibiting a reasonably low pressure drop in the charge air path, enabling a high average EGR level in a wide engine operation range (various mass flow rates).

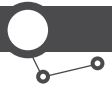
The results, obtained from static CFD simulations, give an insight into the main behaviour of EGR mixers and help to elaborate the most important criteria, which are required for a successful mixer design selection.

ACKNOWLEDGEMENTS

The presented work is connected to the scientific program of the "Development of quality-oriented and harmonized R+D+I strategy and functional model at BME" project. This project is supported by the New Széchenyi Plan (Project ID: TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002).

REFERENCES

- [1] M. Marx, H. Nemeth, E. Gerum, "Improving the Torque Behaviour of Turbocharged Diesel Engines by Injecting Compressed Air", Motortech-nische Zeitschrift – MTZ 06/2009, Volume 70, (2009).
- [2] J. Gieshoff, A. Schäfer-Sindlinger, P. C. Spurrk, J. A. A. van den Tillaart and G. Garr, "Improved SCR Systems for Heavy Duty Applications", SAE Paper 2000-01-0189 (2000).
- [3] Baert, R.S.G, Beckman, D.E., and Verbeek, R.V., "New EGR technology retains HD diesel economy with 21st century emissions", SAE Paper 960848, Int. Congress & Exposition (1996).
- [4] R.S.G. Baert, D.E. Beckman and A. Veen, "Efficient EGR Technology for Future HD Diesel Engine Emission Targets", SAE Paper 1999-01-0837 (1999).
- [5] G. Graf, G. Hrauda and P. Bartsch, "Layout of a High Load EGR System for LD, MD and HD Truck Engines by Means of Simulation", SEA Paper 2000-01-0225 (2000).



Atomenergia használatának elméleti vizsgálata a közúti gépjárművekben

STUBÁN NORBERT
BME

TÖRÖK ÁDÁM
BME

Jó ideje rendelkezésre állnak olyan technológiák, melyek segítségével a jelenleg magas energiasűrűségűnek titulált Li-ion akkumulátorhoz képest tízezerszer több villamos energia nyerhető ki ugyanakkora térfogategységű anyagból. A szóban forgó, tehergépkocsi-akkumulátor méretben megvalósítható eszköz a rádióizotópos termoelektromos generátor (RTG). Az '60-as évek elejétől elterjedten használják az űrtechnikában, de akad példa földfelszíni alkalmazásra is. Az RTG egy bomló izotóp kisugárzott hőenergiáját alakítja villamos energiává, egy termoelektromos effektuson, például Seebeck-effektuson alapuló köztes eszköz segítségével. A cikk az RTG gépjárműipari felhasználásával foglalkozik, kitérve az elérhető teljesítmény/tömeg arányra, a szükséges üzemanyag-mennyiségre, néhány környezeti aspektusra, valamint a technológia megoldásra váró problémáira.

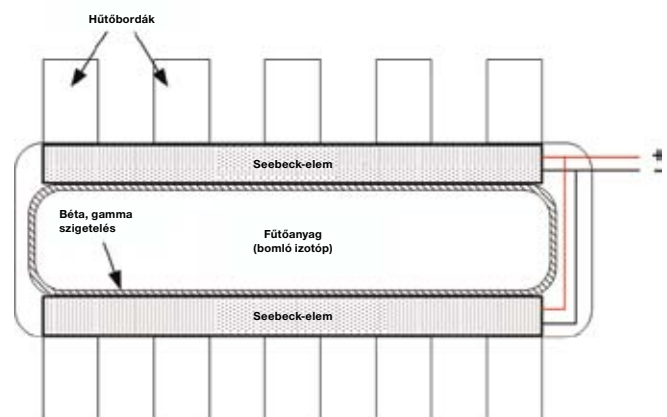
Technologies are available for a long time that can produce ten thousand times more electrical energy from the same volume of material than the currently used high energy density Li-ion battery. A truck battery sized unit is the radioisotope thermoelectric generator (RTG). It is widely used in space technology from the early 60s, but there are also examples of terrestrial applications. The RTG is transforming the decaying isotope radiant heat energy into electrical energy. The unit is based on thermoelectric effects. This article describes the use of RTG in automotive industry, covering the available power / weight ratio, the required quantity of fuel, some of the environmental aspect, and the technology to resolve problems.

1. BEVEZETÉS

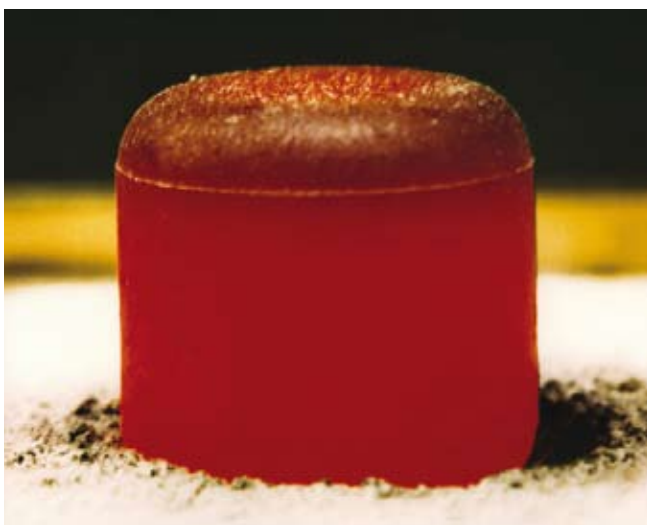
Korunk legtisztább, nem megújuló energiaforrása az atomenergia. A nukleáris erőművekben olcsón állítható elő villamos energia, közel nulla CO₂-kibocsátás mellett. A megfelelő technológia kidolgozása után az atommeghajtás átültetése a gépjárművekbe rendkívül környezetkímélő és olcsó meghajtást eredményezhet a jövőben. Cikkünkben az atomenergia közúti gépjárművekben történő használatának elméleti villamos és energetikai vizsgálatával foglalkozunk.

2. AZ ATOMENERGIA KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI ALKALMAZHATÓSÁGA

A jövő ígéretes közúti közlekedési eszköze kétségkívül a villamos energiával hajtott autó. Ezen irányba folyó kutatások eredménye például a hibrid hajtás (pl. Toyota Prius), ahol a belső égésű motort



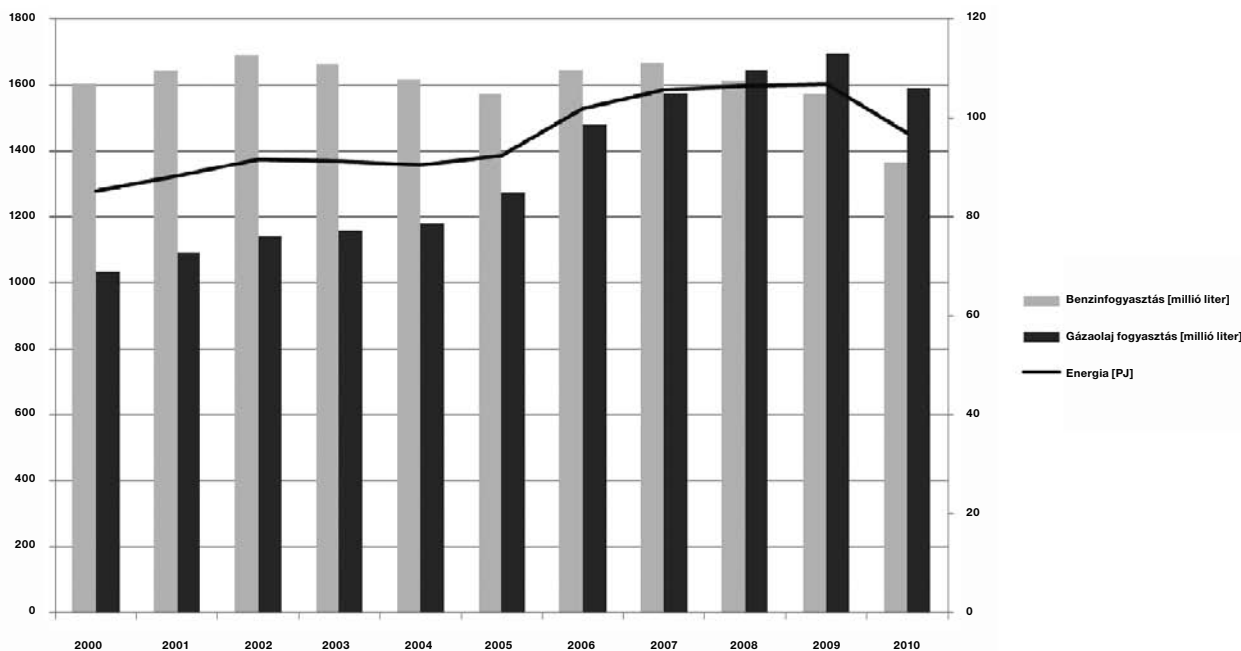
2. ábra: a rádióizotópos termoelektromos generátor vázlatos felépítése (forrás: saját szerkesztés)



1. ábra: vörösen izzó 238PuO₂ alapanyagú pellet, amely mintegy 80 éven keresztül szolgáltat 30–60 W hőteljesítményt (forrás:[1])

villanymotorral kiegészítve kiemelkedő tüzelőanyag-fogyasztási és CO₂-kibocsátási értékeket értek el. A legkevésbé környezet-szennyező megoldás természetesen a belső égésű motor teljes mellőzése lenne. Az elektromos autó koncepciójával több óriáscég és számtalan kisebb vállalat foglalkozik. A megoldandó problémák egyike a villamos energia költség- és energiahatékony tárolása. Amennyiben egy ország közúti közlekedési szektorának villamos meghajtásra történő átállítását vizsgáljuk, akkor nagyon fontos tényező a villamos áram előállításának költsége is. A cikk olyan lehetséges megoldást tárgyal, ahol a villamos energia a közúti jármű fedélzetén termelődik, függetlenül az ország villamos hálózatától vagy villamosenergia-előállítási kapacitásától.

Közúti gépjárművek energetikai vizsgálata során már megvizsgáltuk a kipufogógázban rejlő hőenergia hasznosításának lehetőségét [2]. Most cikkünkben a termonukleáris generátor közúti gépjárművekben történő alkalmazását vizsgáljuk. A termonukleáris generátor egy sugárzó izotóphulladék hőenergiáját alakítja át villamos energiává. Az 1. ábrán látható, újrjárművek energiaellátásához [3] [4] használt PuO₂ pellet 30–60 W hőtelje-



3. ábra: a közúti közlekedés energiaintenzitásának alakulása (forrás: Magyar Ásványolaj-ipari Szövetség adatai alapján saját szerkesztés)

sítmény leadására képes mintegy 80 éven keresztül. Gépjármű energia-ellátási szempontokat figyelembe véve a ^{238}Pu izotóp több előnyös tulajdonsággal rendelkezik a többi, RTG-ben használható izotópokhoz képest. Kimagasló súly/kinyerhető energia aránya van, 88 év a felezési ideje, és nem igényel komolyabb radioaktív árnyékoló bevonatot.

Egy RTG vázlatos felépítése látható a **2. ábrán**. Az RTG belsőjében izotóp alapú fűtőanyag generálja a hőt a Seebeck-elem meleg oldalán. A hűtőbordák a Seebeck-elem hideg oldalával vannak jó termikus kapcsolatban, így jön létre az a hőmérséklet-különbség, amelyből a félvezető alapú Seebeck-elem közvetlenül villamos energiát termel. Az űrtechnikában Si-Ge alapú [4] [5] termoelektromos (Seebeck) elemeket használnak, de a hagyományos Peltier-elem Seebeck-módban történő működtetésével is lehetséges villamos energia előállítás [2].

3. A MODELL VIZSGÁLATA – KARBONSZEGÉNY KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS

A **3. ábrán** látható, hogy a hazai közúti közlekedési szektor – energiaigényének kielégítésére – éves szinten mintegy 100 PJ energiát használ fel fosszilis energiahordozókból. A Discovery-program legújabb szondáin olyan generátorok lesznek felszerelve, amelyek 1 kg ^{238}Pu -ból 140 W villamos teljesítményt állítanak majd elő ($\dot{P}=140 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$).

$$m = \frac{\dot{E}}{\dot{P}} \quad (1)$$

ahol

$\dot{E}$: a közlekedési szektor fajlagos energiaigénye [$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$]. Ez 2010-ben $3,33\cdot 10^9 \text{J}\cdot\text{s}^{-1}$

$\dot{P}$: az RTG modul teljesítménymodulusa [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Ezen adatokat (1) egyenletbe helyettesítve következik, hogy 24 000 tonna plutóniumra lenne összesen szükség, ha a teljes magyar járműparkot egyszerre szeretnénk RTG-meghajtására cse-

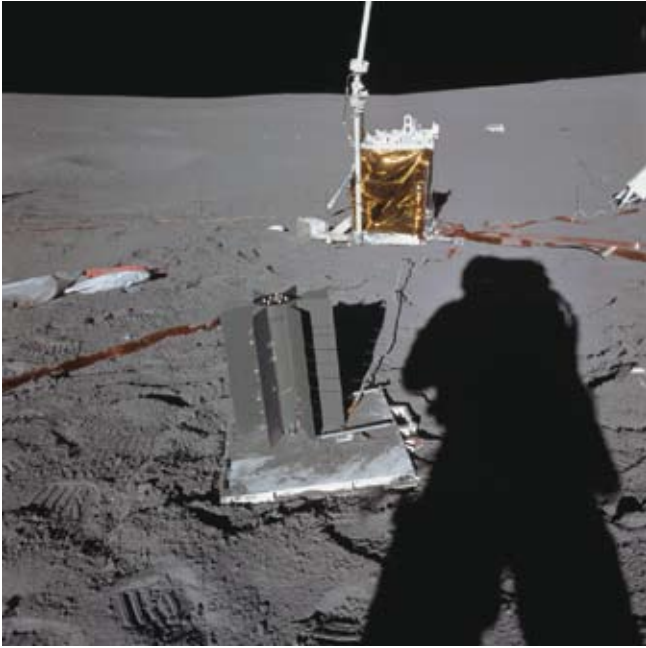
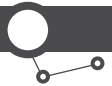
rélni. Ez valójában hosszú folyamat, 10 éves lezajlást feltételezve (ennyi a magyar járműpark megközelítő átlagéletkora) az éves szükséges mennyiség 2400 tonna. Ez a földön jelenleg elérhető ^{238}Pu mennyiséghez képest óriási szám, ennek csupán töredéke áll rendelkezésre.

A fenti számításban $\dot{P}$ a plutónium súlyának és az generálódó teljesítménynek az arányát fejezi ki. Fontos adat még a RTG teljes súlyának aránya a generált teljesítményhez képest. A belső égésű motor jelentős részét képezi a gépjármű teljes tömegének. Nem lesz ez másképp az RTG-k esetében sem. Ismét a Discovery-program leendő szondáinak generátorát alapul véve a modern RTG-k leadott teljesítmény/tömeg aránya mintegy 4 W/kg. Összehasonlításképpen ez a szám még egy elavult belső égésű motor esetében is eléri az 500 W/kg értéket [6]. A jelenlegi technológiákkal jóval nagyobb tömegű RTG kell ugyanakkora teljesítmény leadására, de ez a mérőszám egy köztes energiatároló beépítésével jelentősen javítható. Erről az 5. fejezetben lesz szó.

4. A SUGÁRZÓ ANYAG VÉDELME AZ RTG-BEN, AZ ATOMHULLADÉK KEZELÉSE

Az első polgári célú atomerőmű 1956-os üzembe helyezése óta nem oldódott meg a világon sehol a radioaktív hulladékok végleges kezelése. Ezen anyagok túlnyomó többsége ideiglenes tárolókban áll. Az EU-n belül azonban a probléma rendeződni látszik. 2010 novemberében az EU által beterjesztett – a cikk írásának időpontjában még el nem fogadott – direktíva szerint a tagállamoknak 4 éven belül ki kell dolgozniuk, hogy mit kezdjenek az atomhulladékkal. A legtöbb országban a mélységi geológiai tárolás a legvalószínűbb megoldás. Ilyen esetben köztettani mérések segítségével feltérképeznek egy alkalmas kőzettestet, tipikusan minimum 1000 m mélységben. A megfelelő technológiával kialakított tároló végső helye lehet az adott térség sugárzó hulladékának.

Felmerülő kérdés lehet a sugárzó izotóp gépjárművön belüli árnyékolása is, hogy ne jelentsen veszélyt a gépjárműben tartózkodókra és a környezetre. Az árnyékolás követelményei



4. ábra: Apollo űrhajó RTG-eleme (szürke egység a kép közepén)
(forrás: [7])

nagyban függenek a felhasznált izotóptól. Az eddig tárgyalt plutóniumizotóp ebből a szempontból is szerencsés választás lenne gépjárművek üzemanyagaként, mert mind az izotóp, mind a hasadási termékei főleg alfa sugárzást produkálnak, aminek kicsi az áthatoló képessége, így árnyékolásra megfelel az RTG vékony fémháza is. Amennyiben valamilyen olcsóbb és nagyobb mennyiségben elérhető anyagot használnánk, például ^{241}Am vagy ^{90}Sr izotópot, az árnyékolásra sokkal nagyobb hangsúlyt kellene fektetni, mert ezek, bomlásuk során jelentős béta- és gamma-sugárzást bocsátanak ki. Mintegy 2 cm vastag ólomborításra lenne szükség a sugárzás elnyelésére. Az ólmon kívül grafitot és irídiumot is használnak árnyékolóanyagként.

A 4. ábrán egy űrhajós két méterre áll egy RTG-től. A Holdra érés négy napja alatt is igen közel lehetett az űrkabinban az eszközhöz, az RTG-ből származó sugárzás az űrhajósokat

mégsem érte. Jelen technológiai feltételek mellett az árnyékolást megoldottnak tekinthetjük – hiszen közúti járműveink mai technológia alkalmazásával képesek vagyunk robbanásveszélyes és gyúlékony tüzelőanyagok (hidrogén, LPG, CNG) biztonságos tárolására is –, a megfontolandó kérdés az általa okozott jelentős többletsúly.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A RTG-vel meghajtott gépjármű elterjedésének az alkalmazandó technológiák jelenlegi fejlettségi szintjét alapul véve több akadálya is van. A RTG teljesítmény/tömeg aránya alacsony. Igen nagy súlyú RTG alkalmazása lenne szükséges egy személygépkocsi megfelelő teljesítményű meghajtására. További hátrányt jelenthet az RTG folyamatos működése, vagyis akkor is jelentős hőenergiát ad le a környezetének, ha a gépkocsi használaton kívül van. Ez a lakóház alá épített garázsban télen esetleg kifejezetten hasznos lehet, nyáron azonban akár veszélyes mennyiségű hő is keletkezhet. Harmadrészt pedig, az RTG radioaktív izotópot tartalmaz. Normál üzemi működés esetén a jelenlegi technológiákkal az izotópot jól el lehet szigetelni a környezettől, de egy gépkocsi esetében mindig számolni kell az extrém fizikai behatásokkal, amelyek például egy ütközés során lépnek fel. Az első két problémára a villamosenergia-tároló eszközök (akkumulátorok, szuperkapacitások) fejlődése és a termoelektromos átalakítók hatásfokának javulása megoldást hozhat. Akkumulátorok vagy szuperkapacitások [8] beépítésével az RTG a gépkocsi álló helyzetében a környezet fűtése helyett az akkumulátorokat töltene, amelyek mozgás közben rásegítenének az RTG teljesítményére, így a beépített RTG teljesítményét többszörösen meghaladó hajtásteljesítményű gépjárműveket lehetne tervezni. A termoelektromos hatásfok növelésével pedig csökkenne a környezetnek átadott hulladék hő, mind mozgó, mind álló helyzetben.

Az üzemanyag előállításával kapcsolatos probléma a ^{238}Pu igen korlátozott hozzáférhetősége, valamint lassú és költséges gyártása. Az RTG-vel meghajtott autó üzemanyaga – a ^{238}Pu kimagasló előnyei ellenére – valószínűleg más izotóp lesz. Esélyes jelölt a füstdetektorokban használt ^{241}Am , esetleg a földfelszíni telepítésű régi szovjet RTG-k üzemanyaga, a ^{90}Sr izotóp, mely olcsóságával tűnik ki. Mindkettő esetében ólomburkolatra van szükség a keletkező gamma-sugárzás elnyelésére, amely jelentős többlettömeget eredményez. ●

IRODALOM:

- [1] Origin: Los Alamos National Laboratory. Copyright: As a work of the U.S. Federal Government, the image is in the public domain.
- [2] A. Torok, N. Stuban: Theoretical Investigation into Exhaust Gas Energetic Utilisation, Transport, 2010, 25(4): 357–360, ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online, doi: 10.3846/transport.2010.44
- [3] de Winter, F.; Stapfer, G.; Medina, E.; The design of a nuclear power supply with a 50 year life expectancy: the JPL Voyager's SiGe MHW RTG, Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, vol.15, no.4, pp.5-12, Apr 2000, doi: 10.1109/62.839628
- [4] Schock, A.; Sankarankandath, V.; Shirbacheh, M.; Requirements and designs for Mars Rover RTGs, Energy Conversion Engineering Conference, 1989. IECEC-89., Proceedings of the 24th Intersociety, vol., no., pp.2681-2691 vol.6, 6-11 Aug 1989, doi: 10.1109/IECEC.1989.74854
- [5] Gary L. Bennett: Space Nuclear Power: Opening the Final Frontier, Metaspace Enterprises, Emmett, Idaho, U.S.A. 4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC) 26-29 June 2006, San Diego, California (<http://www.fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf>)
- [6] Jan Norbye, Complete Handbook of Automotive Power Trains, 1981
- [7] Origin: NASA. Copyright policy states that "NASA material is not protected by copyright unless noted". (NASA copyright policy: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>, JPL Image Use Policy: <http://www.jpl.nasa.gov/imagepolicy/>)
- [8] Jinrui, N.; Zhifu, W.; Qinglian, R.; Simulation and Analysis of Performance of a Pure Electric Vehicle with a Super-capacitor, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2006. VPPC '06. IEEE, vol., no., pp.1-6, 6-8 Sept. 2006, doi: 10.1109/VPPC.2006.364349

Tovább bővül a Continental veszprémi vállalata

CSAKNEM 4 MILLIÁRDOS FEJLESZTÉS VESZPRÉMBEN

DUSZA ANDRÁS
X-Meditor Kft.

Nemrég tudósítottunk a Continental Teves veszprémi eseményéről, melyen a 250 milliommodik kerékszenzor legyártását és a Fejlesztési Központ 10 éves fennállását ünnepelték, nemrég pedig újabb meghívót kaptunk. Ezúttal két, összesen 3 milliárd 742 millió forint értékű fejlesztéshez kapcsolódva alapkö-letéleti ünnepség volt a Bakonyalján. Több új gyártósorral együtt újabb munkahelyek is létesülnek, s ugyancsak munkát kaphatnak újabb mérnökök is a kutatás-fejlesztés kapacitásbővítő beruházással.

Az Európai Unió elsősorban a magas foglalkoztatási hatást értékelte abban a pályázatban, amelyet a veszprémi Continental Teves Magyarország adott be az Új Széchenyi Terv keretében. A pozitív értékelést 512 millió forint támogatással erősítette meg az unió. A több mint 2,8 milliárd forintos összköltséget meghaladó beruházásnak köszönhetően bővül a gyártóterület és az irodarész, 12 új gyártósort telepítenek, ezzel 150 új munkahelyet teremt a vállalat. Bővítik a vállalat előtti parkolót és a megnövekedett termelés kiszolgálására új magasraktárt is kialakítanak.

A vállalati kutatás-fejlesztési kapacitás erősítésére kiírt másik pályázaton is sikeres volt a Continental veszprémi vállalata. A több mint 942 millió forintos beruházáshoz az unió 377 millió forintos támogatást nyújt.

– A fejlesztésnek köszönhetően optimalizáljuk a belső kutatási, fejlesztési folyamatokat, csökkennek a fejlesztés közvetlen költségei – emelte ki Kai-Uwe Walther ügyvezető igazgató. – Bővül a fejlesztési eszközpark, elsősorban a mérőeszközök, műszerek, számítógépek és laboratóriumi berendezések, és 58 további fejlesztőmérnök foglalkoztatását is lehetővé teszi a mostani beruházás.

Pápai Tamás ügyvezető igazgató, aki október 1-jétől a cég frankfurti központjában dolgozik, személyes életében is mérföldkőnek nevezte az alapkö-letéleti ünnepséget:



Optimalizáljuk a belső kutatási, fejlesztési folyamatokat, csökkennek a fejlesztés közvetlen költségei – emelte ki Kai-Uwe Walther ügyvezető igazgató



A több mint 2,8 milliárd forintos összköltséget meghaladó beruházásnak köszönhetően bővül a gyártóterület és az irodarész

– Sok ismerős arcot látok ma itt, akikkel annakidején együtt kezdtük a munkát, s remélem, hogy három év múlva egy megújult veszprémi cégnél fogunk ismét együtt lenni – mondta avatóbeszédében az elköszönő ügyvezető igazgató. – A beruházást a Continental valószínűleg egymaga is képes lett volna finanszírozni, ám az uniós támogatás jelzi, hogy a cég az európai folyamatokkal összehangoltan fejlődik.

Némédi Lajos, Veszprém alpolgármestere azt kérte az új ügyvezetéstől, hogy a Pápai Tamással kialakított, jó baráti együttműködés folytatódjék a cég és a város között. A több mint 1400 családnak megélhetést biztosító Continental Teves Magyarország Kft. évek óta a megye egyik legeredményesebb munkáltatója – emelte ki beszédében a város képviselője.

A fejlesztések megvalósulásával a foglalkoztatott létszám meg fogja haladni az 1500-at, aminek egy ötöde, 320 mérnök a fejlesztési intézetben dolgozik. Ezzel a mintegy 20%-os aránnyal a Continental Teves Magyarország Kft. a hazai járműipari cégek élvonalában van.

A Continental – amely Magyarországon hat vállalattal van jelen és több mint hatezer főt foglalkoztat hazánkban – a világ vezető autópipari beszállítói közé tartozik.



inno
mobilitas
A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA



2012. 08. 17. – 2012. 08. 20.
GYŐR-GÖNYŰI KIKÖTŐ
hu.fshungary.hu

GPS-koordináták: +47° 43'57.07"/+17°46' 16.83



Formula Student Hungary
– a világ legkomolyabb egyetemi formula-
autó-versenysorozatának magyar állomása

Lépj be a Formula-1 konstruktőreinek
világába!

