

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

2012
3/4

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

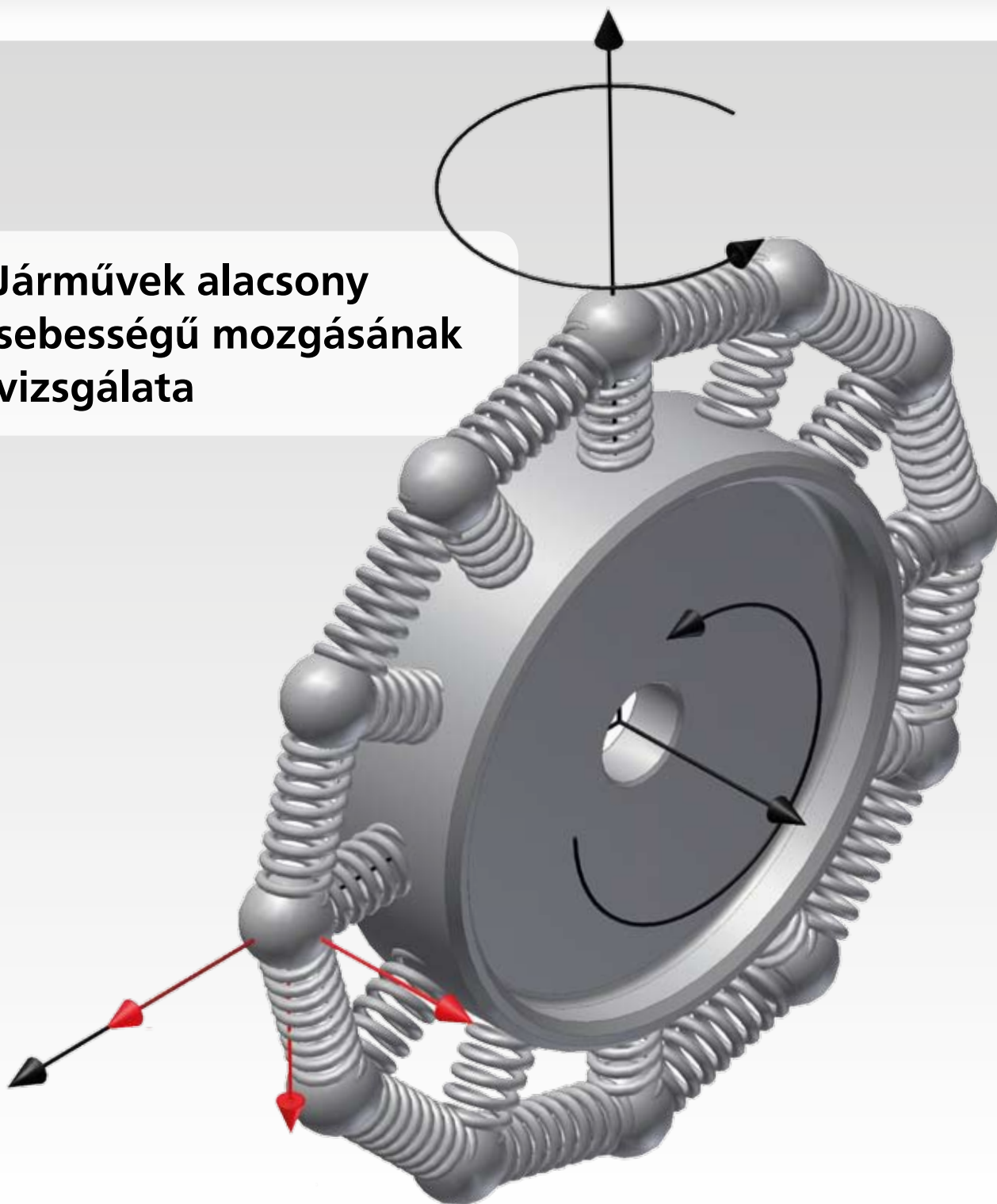
◉ SZOFTVER A JÖVŐ
AUTÓJÁBAN

◉ GYAKORLATORIENTÁLT
(DUÁLIS) KÉPZÉS

◉ AUTÓBUSZ FUTÓMŰVÉNEK
DINAMIKAI MODELLEZÉSE

◉ SZIMMETRIA
A JÁRMŰVEKBEN

Járművek alacsony sebességű mozgásának vizsgálata





inno
mobilitas
A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

DR. VARGA ISTVÁN

dékán



Köszöntő

A hétköznapiak során mindenki megtapasztalja, hogy a helyváltoztatási igény az egyik legalapvetőbb emberi tulajdonság. Ki lehet jelenteni, hogy a személyek és áruk térbeli és időbeli mozgása nélkül megállna az élet, ezért nyugodtan mondhatjuk, hogy a közlekedésre mindig szükség lesz a jövőben is. Az évszázadok során hatalmas fejlődésen ment keresztül az emberi civilizáció és a technológia. A mai közlekedési rendszerek már rendkívül összetettek és bonyolultak, akár a közlekedés járműveire, akár a közlekedés szervezésére gondolunk. Ezeknek a rendszereknek a tervezése, fejlesztése, kivitelezése és gyártása egyre komplexebb mérnöki tudást kíván meg.

A folyamatosan fejlődő, korszerű tudással rendelkező mérnököket képezni csak a megfelelő kompetenciával rendelkező hazai felsőoktatási intézmények képesek, amelyek maguk is folyamatos kutatás-fejlesztést végeznek. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kara tavaly ünnepelte alapításának hatvanadik évfordulóját. Az általunk gondozott tudományterületek rendkívül széles körűek, a hozzánk tartozó járműtechnika, a közlekedés és a logisztika a modern, globális gazdaság katalizátora.

Karunk idén második éve vesz részt a BME Kutatóegyetemi Programjában. A „Járműtechnika, Közlekedés és Logisztika kiemelt kutatási terület” (JKL) stratégiája és eredményei jól tükrözik, hogy a kijelölt és művelt K+F irányok megfelelnek a vonatkozó fejlesztéspolitikai koncepcióknak mind nemzetközi, mind hazai szinten. A szakterületet érintő stratégiai dokumentumok a versenyképességi és a fenntarthatósági szempontok kiegyensúlyozott figyelembevételét tűzik ki célul, s a fejlesztési eszközöket is ennek megfelelően határozzák meg. A JKL kutatási stratégia rendszeres aktualizálása, illetve a témaművelés során arra törekszünk, hogy a kutatási program illeszkedjen az aktuális nemzetközi és hazai

innovációs főirányokba. Ezen belül a súlypontok dinamikus meghatározása a folyamatosan értékelt kiválósági kompetenciákra alapozva történik. A prioritások az utóbbi években alapvetően nem változtak, de intenzívebben előtérbe kerültek olyan fókuszpontok, mint – többek között – az összközlekedési szemlélet, az ellátási hálózatokban történő gondolkodás vagy a járműgyártás és üzemeltetés hatékonysága. Az elmúlt két évben a JKL területen 8 projektbe szervezve 25 téma kidolgozása folyt a BME 6 karának és 15 tanszékének az összefogásával. Az együttműködés a kutatás-fejlesztési feladatokon túl több közös ipari megbízást is eredményezett számos tanszéken. A kiemelt kutatási területen 6 szabadalom született és több jelentős tudományos publikáció készült el, valamint 5 könyv került kiadásra. A bevont hallgatók és doktoranduszok száma eléri a százat.

Egy kutatómunka akkor teljesedik be igazán, amikor megvalósul az eredményeinek széles körű disszeminációja. Rendkívül fontos, hogy a hazai kutatási eredményeink rangosabb nemzetközi, referált folyóiratokban is megjelenjenek. A publikációk nemzetközivé válásának első lépcsőfoka lehet a Jövő Járműve folyóirat, amely teret enged a kutatási eredmények bemutatásának. A szűkös keretek között a hazai publikációs lehetőségek folyamatosan el-sorvadnak, így egyedülálló, hogy a tudományterületünk egy önálló folyóirattal rendelkezik.

A jelen számban a járműgyártás területétől kezdve a járművek üzemeltetésén keresztül, a LEAN logisztikai rendszerek alkalmazásáig számos új eredmény mutatkozik be. Az új kutatási irányoknak megfelelően egyre nagyobb hangsúlyt kap és így egyre több cikk foglalkozik az alternatív hajtással, a károsanyag-kibocsátás és zajhatás csökkentésével és ezeknek a gazdasági hatásaival. A publikációk között szerepel még a Kecskeméti Főiskolán elindult gyakorlatorientált (duális) képzés bemutatása is. ●

Tartalom

- 03 SZOFTVER A JÖVŐ AUTÓJÁBAN**
dr. Kovács Attila, prof. dr. Palkovics László, Ványi Gábor
- 07 GYAKORLATORIENTÁLT (DUÁLIS) KÉPZÉS A KECSKEMÉTI FŐISKOLÁN A JÁRMŰMÉRNÖKI ALAPSZAKON**
dr. Ailer Piroska, prof. dr. Belina Károly, prof. dr. Palkovics László, Szemereyné Pataki Klaudia
- 10 JÁRMŰVEK ALACSONY SEBESSÉGŰ MOZGÁSÁNAK VIZSGÁLATA**
Szabó Bálint
- 16 MŰANYAG KÖZÜTI GÉPJÁRMŰELEMENK ANYAGMODELLJÉNEK DEFINIÁLÁSA ÉS VALIDÁLÁSA VÉGESELEMES MÓDSZERREL**
Ficzere Péter, Borbás Lajos, Török Ádám
- 20 ELEKTROMOS HAJTÁSÚ GÉPJÁRMŰVEK FEJLESZTÉSÉNEK ÉS ÜZEMELTETÉSÉNEK LEGFONTOSABB ALAPVETÉSEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A TÖMEGKÖZLEKEDÉS VONATKOZÁSAIRA**
dr. Simonyi Sándor, prof. dr. Matolcsy Mátyás
- 28 POTENCIÁLIS VÁLSÁG-ELŐREJELZŐ MODELL ÉS ELJÁRÁS MEGALAPOZÁSA ÉS KIDOLGOZÁSA JÁRMŰPARI INDIKÁTOROK FELHASZNÁLÁSÁVAL**
Stukovszky Tamás, prof. dr. Palkovics László, Hámori László
- 35 AUTÓBUSZ FUTÓMŰVÉNEK DINAMIKAI MODELLEZÉSE**
Kokrehel Csaba, dr. Németh Huba
- 39 HANGOS KARÁCSONYRA VÁRVA**
- 42 ÁRAMLÁS OKOZTA ZAJOK MODELLEZÉSE LEVEGŐSZELEPBE**
Bali Richárd, Kovács Sándor, Rákos Roland, dr. Veress Árpád
- 46 GÁZTURBINA ÉGÉSFOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ ÉGÉSMODELLEKKEL**
Bicsák György, Foroozan Zare, dr. Veress Árpád
- 52 SZIMMETRIA A JÁRMŰVEKBEN**
Harth Péter
- 58 ALTERNATÍV HAJTÁSÚ BUSZFLOTTA MEGTÉRÜLÉSÉNEK ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA**
Kocsis Bence, Józsa Szabolcs, Trencsényi Balázs, dr. Stukovszky Zsolt, dr. Palkovics László
- 62 LEAN TERMELÉSI RENDSZER A MAGYARORSZÁGI AUTÓIPARBAN**
dr. Stukovszky Zsolt, Ászity Sándor
- 66 ALTERNATÍV HAJTÁSÚ JÁRMŰFLOTTARA TÖRTÉNŐ ÁTTÉRÉS MEGTÉRÜLÉSI IDEJÉNEK ÉS JÁRMŰFLOTTA ÜZEMELTETÉSÉNEK MODELLEZÉSE**
Józsa Szabolcs, Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, dr. Stukovszky Zsolt, dr. Palkovics László
- 70 LEAN CREATIVE AUTOMOTIVE PRODUCT DESIGN (LCAPD)**
Štefan Babjak, Štefan Kender, Michal Dúbravčík
- 79 BME FORMULA RACING TEAM DESIGN FREEZE 2012**
- 81 AKINEK BENZIN FOLYIK AZ EREIBEN**

IMPRESSZUM

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

A JÖVŐ JÁRMŰVE JÁRMŰPARI INNOVÁCIÓ

V. évfolyam, 2012/3–4. szám
Alapítva: 2006
Megjelenés: negyedévente
HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK:

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJIT)

1111 Budapest, Stoczek u. 6., J épület 516.
Tel.: 1/463-1753. Fax: 1/463-3255.
E-mail: info@ejit.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:

X-Meditor Kft., Autó üzletág

Felelős szerkesztő: dr. Nagyszokolai 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. Czígány Tibor, dr. Czinege Imre,
dr. Kardos Károly, dr. Keviczky László,
Lepsényi István, dr. Michelberger Pál,
dr. Nádaí 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

Szoftver a jövő autójában

DR. KOVÁCS ATTILA

Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Informatika Tanszék

**PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
VÁNYI GÁBOR**

Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.

A közlekedésben folytonos innováció van jelen, amely a vásárlók kiszolgálásának érdekében növeli a sebességet, megbízhatóságot és a kényelmet, magával hozva a magasabb szintű biztonsági elvárásokat a balesetek elkerülése végett, az egyre magasabb intelligencia jelenlétét a sofőr támogatásában és tehermentesítésében, valamint az üzemanyag fogyasztás csökkentését. Ezen elvárásokat a különböző részegységek hardver és szoftver elemeinek összehangolt működése segíti, amelyeknek magas rendelkezésre állással, hibamentesen és megbízhatóan kell üzemelniük.

There is a continuous innovation in the transportation, which improves the speed, reliability and comfort for the interest of the customer. Innovation has to find solutions for higher level safety systems to avoid crashes, integrate intelligent solutions to support and relieve drivers and optimize fuel consumption. These expectations can be achieved with the harmonized operation of hardware and software. These expectations can be solved via various components, which have to work together with high reliability and error-free.

A közlekedés és szállítás növekedése a közutakon továbbra is számos problémát okoz. A járművek különböző technológiai és nem ritkán műszaki színvonallal rendelkeznek. Gondoljunk csak a személygépjárművek és a haszongépjárművek közötti alapszintű felszereltséggel szállított biztonsági rendszerek különbségére, ahol jelentős lemaradás tapasztalható a haszongépjárműveknél. Ennek egyik oka a haszonjármű rakománnyal terhelt tehetetlen tömegének jelentős mértékű változása, amely akár többszöröse is lehet az üres állapotának. Ez bonyolult dinamikai jellemzőket produkál, amely igen megnehezíti az összetett funkciókkal rendelkező rendszerek fejlesztését, nem is beszélve a sokszor mostoha üzemeltetési körülményekhez való alkalmazkodási kényszerrel. Pedig a biztonsági rendszerek fejlesztése igen időszerű lenne, mivel a közlekedési balesetek jelentős száma és ezek súlyos következményei világszerte problémát jelentenek. Az Európai Unióban évente 1,3 millió baleset történik, amelynek következménye közel 40 000 haláleset és 1,7 millió sérülés. Ezt felismerve az EU döntéshozói 2001-ben elhatározták, hogy 2010-re a felére kívánják csökkenteni a halálos kimenetelű közúti balesetek számát. A közúti balesetek száma azonban még mindig rendkívül magas, noha lassú csökkenés figyelhető meg. A baleseti statisztikák elemzésére az EU és az International Road Transport Union (IRU) egy bizottságot állított fel (European Truck Accident Causation – ETAC), amelynek célja a haszongépjármű balesetek elemzése.

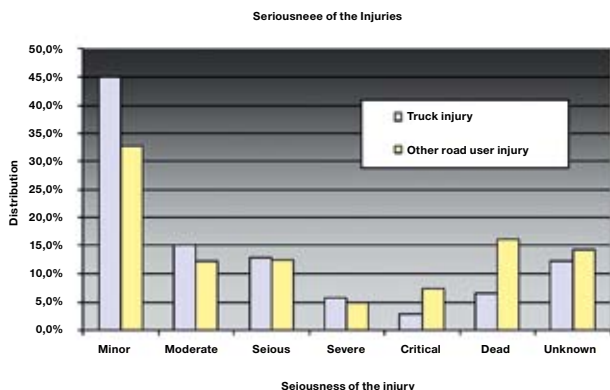
A bizottság által készített tanulmányból kiderül, hogy a balesetek többségében ezek a nagy tömegű járművek érintettek (lásd 1. ábra), így megvizsgálták a baleseteket okozó tényezőket

is. A vizsgálat eredményeként a balesetek egészéhez viszonyítva az emberi tényezőt 85,2% találták a legkritikusabb tényezőnek, a járművet magát a szinte elenyésző 5,3%-ban, az infrastruktúra állapotát 5,1%-ban és csupán 4,4%-ban az időjárást. A három legfőbb baleseti oknak pedig a nem megfelelő sebesség megválasztását, majd az útkereszteződésekre vonatkozó szabályok helytelen alkalmazását és a figyelmetlenséget találták. Az ETAC öt csoportot definiált, amelybe a balesetek legjellemzőbb előfordulási csoportosíthatóak:

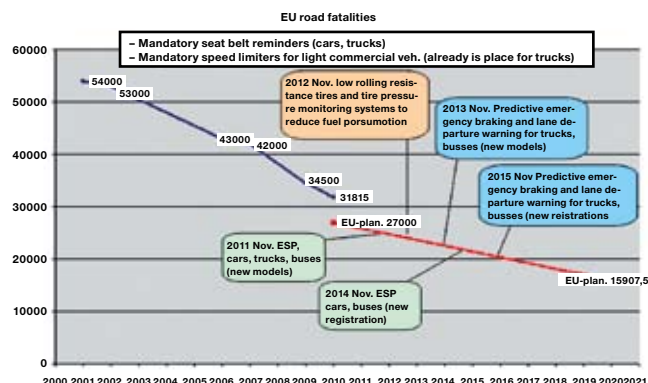
1. Kereszteződési balesetek, amelyek valamely csomópontonál történtek,
2. Ráfutásos balesetek, ahol a járművek azonos sávban és azonos irányban közlekednek,
3. Sávelhagyás vagy kisoroláskor történő karambolok, ahol legalább az egyik jármű kicsúszik az adott sávból és átsodródhat akár az ellenkező irányú sávba. Itt sokszor szerepet játszik a jármű alul- vagy túlkormányozása kanyaríveknél vagy az irányítása feletti kontroll elvesztése, mely következtében akár megperdülés és felborulás is bekövetkezhet,
4. Előzésből, sávváltásból adódó balesetek, ahol a baleset az előzési manőverből adódhat,
5. Speciális esetek – ahol haszongépjármű érintett a balesetben.

A balesetek nem csupán a tehergépjárművek méretei miatt súlyosak, hanem azért is, mert a felmérések alapján az esetek minimum 50%-ban szállítanak gyúlékony anyagot és további 36%-ban robbanékony rakományt, amely jelentős kockázatot jelent. A közlekedési balesetek számának csökkentésére a járművek műszaki alapszínvonalának növelését ajánlják számos aktív biztonsági rendszer beépítésével, csökkentve ezzel a személygépjárművek és a haszongépjárművek közötti különbséget. Ennek érdekében az Európai Bizottság 2014 novemberétől már csak olyan gépjárműveket engedélyez forgalomba állítani, amelyek rendelkeznek ESP (Electronic Stability Program) funkcióval. Azonban már 2013 novemberétől az új járműveknek kötelezően rendelkezniük kell a sávelhagyásra figyelmeztető rendszerrel (Lane Departure Warning – LDW), adaptív sebességtartó automatikával (Adaptive Cruise Control – ACC), amelynek része a karambolt megelőző vészfékezés előkészítése lassítással. Ezen rendszerek együttese jelentősen csökkenti a sofőr terhelését, növelve az ebből adódó balesetek megelőzését. Az Európai Unió is ezt várja ettől a fejlesztéstől, amelynek trendjét a 2. ábra mutatja.

A kötelező, a közlekedés biztonságát növelő alaprendszerek fejlesztése mellett egyre inkább fokozódik az igény egyes kényelmi és vagyonvédelmi alkalmazásokra is. Ha például egy



1. ábra: teherautók baleseteinek előfordulása az EU-ban történt közúti balesetek egészéhez viszonyítva



2. ábra: az Európai Unióban közlekedő járművek technológiai színvonala, alapvető előírásainak változása a balesetek alakulásának függvényében

tömegközlekedéssel foglalkozó cég által igényelt alapszolgáltatásokat vizsgálunk meg, jó eséllyel szükség lesz a járművek haladásának követésére a diszpécserközpontban, automatikus utastájékoztatói rendszerre, a különböző járdaszintek miatti szintezőrendszerre, az ajtók csukásakor előforduló beszorulás érzékelésére és kezelésére, az üzemanyag-fogyasztás monitorozására és az utastéri levegő fűtés-hűtésére. Mindezen rendszereknek összehangoltan kell működniük és rugalmasan kezelhetőnek kell lenniük.

Ez az elvárás jelentős mérvű technikai fejlesztést kíván meg a járműgyártóktól, amely megoldások a haszongépjárműveket és az azokhoz kapcsolt vontatmányokat is érintik. Ez a fejlesztés összehangolt hardver-szoftverfejlesztéssel valósítható meg, ahol már most sejthető a bonyolult szabályozási körök alkalmazásának és összehangolásának szükségessége. A feladatot megoldó szoftverimplementációk pedig bonyolult és egyre nehezebben átlátható szoftverrendszerként produkálnak magas számítási igényrel. Tovább bonyolítja a fejlesztési munkákat az egyre szigorodó jogszabályok és szabványok által megkövetelt biztonsági előírások összehangolása és betartása.

Tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy az áramkörök viszonylag ritkábban hibásodnak meg, mint az azokat működtető szoftverek, mivel a szoftverek komplikáltságuk és összetettségük következtében hordozhatnak rejtett hibákat. Ezen hibák felderítésére különböző szoftvertesztelési elméleteket, modellezési módszereket és minőségbiztosítási eljárásokat dolgoztak ki. Definíció szerint egy szoftvert nem lehet elégszer tesztelni, így a különböző rendszerek összetettsége és sokrétűsége miatt a rendelkezésre

álló ismeretek optimalizálására van szükség. Ez igen időigényes és hosszadalmas feladatot jelent, amely még így sem jelent garantáltan mentességet a rejtett hibáktól.

Ma már természetes dolog, hogy biztonságkritikus alkalmazások széles köre található meg a járműveken (fékrendszer, kormány-mű stb.). Fejlesztésük a kötelező érvényű előírások betartása mellett már a szoftver tervezésénél számos irányelv betartását követeli meg. A növekvő költségek féken tartása és a versenyképesség megtartása érdekében a gyártók rákényszerülnek a fejlesztéseik során alkalmazott folyamataik optimalizálására, tervezhetővé és ütemezhetővé tételére, valamint folyamataik állapotának egyértelmű kimutatására. Ezt a problémát felismerve dolgozott ki a Volkswagen AG egy szoftverfejlesztési folyamatrendszer, az Automotive SPICE-t (Software Process Improvement and Capability Determination), amely a CMMI (Capability Maturity Model Integration) folytonos szemléletét jelenti azt autóiipari folyamatokra kiterjesztve. Ezen folyamatajánlások átölelik a külvilággal (vásárlók, beszállítók) való kommunikációt, a fejlesztési és tesztelési folyamatokat (horizontálisan), ezek irányításának módját és folyamatait (vertikálisan). A modell a folyamatok kiépítettségének és alkalmazásának szintjét 5 különböző érettségi szinthez köti, ahol egy-egy szint eléréséhez előírt folyamatoknak és azok mutatóinak jelen kell lennie a vállalat rendszerében. Ezt külső minősítő cégek audit folyamán mérik fel és hitelesítik megadott időintervallumokra, melynek lejártával a vállalatnak újra kell tanúsítani folyamatai megfelelőségét.

Hazánkban számos cégnél kezdődött meg ezen rendszer bevezetése, de a fejlettségi szinten történő továbblépések a gazdasági válság miatt lassan bontakoznak ki. A fenntartható fejlődés, a különböző fejlesztési feladatok és az ehhez kapcsolódó emberi munkaidő optimálisabb kihasználása növelné a tervezhetőséget és átláthatóságot, melyek kevesebb veszteséggel járó projektmegvalósulásokat és újabb projekteknél a fejlesztések során összegyűlt tapasztalatok figyelembevételének lehetőségét eredményeznék.

Mindezek fényében a jövő járművei a növekvő funkcióik mellett várhatóan növekvő biztonságot és egyre több kényelmi szolgáltatást testesítenek meg. Ennek elérése érdekében a járműveket fejlesztő cégek menedzsmentjeire nagy felelősség hárul, hogy minél hatékonyabban folyamatokat alkossanak meg, amelyeket jól definiált indikátorokkal tudnak ellenőrizni. Az egyre sokrétűbb rendszerek összeillesztésével, fejlesztésével és ezek működtetésével tovább csökkenhet a balesetek száma, megfizethetőbb szinten növekedhet járműveinkben a kényelmi szolgáltatások köre, elégedettebbé és kiegyensúlyozottabbá téve a közlekedésben részt vevőket. ●

IRODALOM

- [1] Európai Közösség és az International Road Transport Union által alapított European Truck Accident Causation Bizottság tanulmánya a közúti balesetek okairól (http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/etac_final_report.pdf)
- [2] <http://www.truckdas.hu>
- [3] Hoermann, Mueller, Dittmann, Zimmer: Automotive SPICE in Practice, ISBN:978-1-933952-29-1 pp 8-15.

Gyakorlatorientált (duális) képzés a Kecskeméti Főiskolán a járműmérnöki alapszakon

DR. AILER PIROSKA

Kecskeméti Főiskola GAMF Kar

PROF. DR. BELINA KÁROLY

Kecskeméti Főiskola GAMF Kar

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

BME EJT

SZEMEREYNÉ PATAKI KLAUDIA

Kecskemét Megyei Jogú Város
Polgármesteri Hivatala

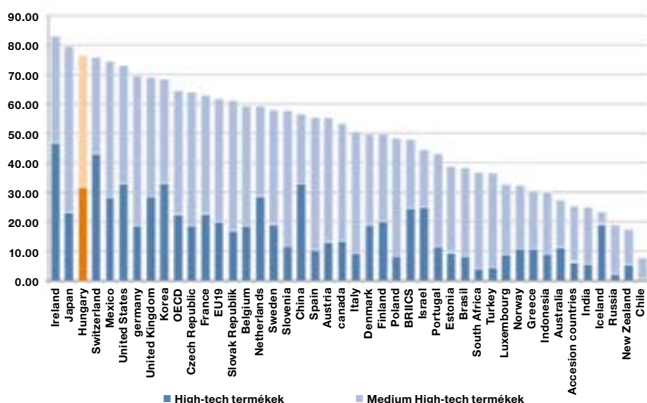
A Kecskeméti Főiskola együttműködésben a Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft.-vel és a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.-vel gyakorlatorientált duális típusú képzést alakított ki és indított el a járműmérnöki alapszakon 2012 szeptemberétől. Cikkünkben a helyzetelemzésből kiindulva a duális típusú képzés modelljét és szerkezetét mutatjuk be az első oktatási tapasztalatokkal együtt.

A practice-oriented, dual type education has been established and initiated by Kecskemét College in cooperation with Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Ltd. and Knorr-Bremse Brake Systems Ltd. on the vehicle engineering BSc faculty from September 2012. In this paper starting from the analysis of the actual situation the model and structure of the education system is shown together with first experiences.

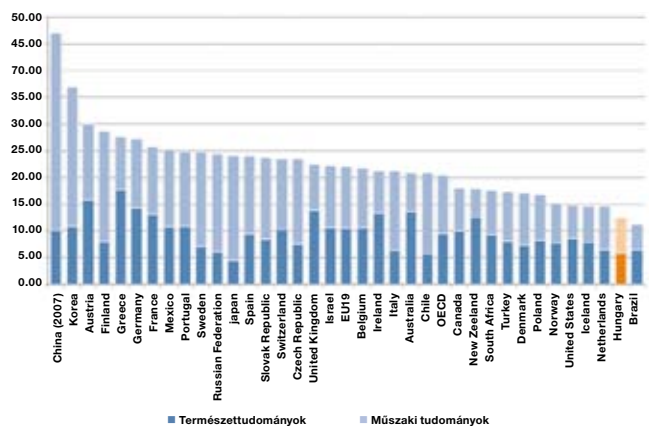
HELYZETELEMZÉS

Habár hazánk gazdasági teljesítménye nem összemérhető a legfejlettebb országokéval, gazdaságunk szerkezete igenis versenyképes, termelésünk igen magas hányadát a magas hozzáadott értékű árucikkek alkotják (**1. ábra**). Sajnos ez nem jelenti azonban azt, hogy ugyanakkor e termékek fejlesztése jelentős mértékben Magyarországon történne, bár egyes iparágakban – ilyen például a járműipar – a multinacionális vállalatok örvendetes módon növelik a gyártásukhoz kapcsolódó termékfejlesztési tevékenységüket hazánkban.

A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy tartósan magas hozzáadott értéket csak a magasan képzett munkaerőt igénylő iparágak (pl. elektrotechnikai, jármű- vagy gyógyszeripar) tudnak elérni, vagyis a tudásalapú gazdaság megteremtése jelentős befektetést igényel a szakképzett munkaerő létrehozása érdekében. Közép-Kelet-Európa, így hazánk további előnye, hogy a magasan képzett



1. ábra: a magas hozzáadott értékek termelése tekintetében hazánk 3. az OECD-országok rangsorában [OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2009 - OECD © 2009 - ISBN 9789264063716]



2. ábra: a műszaki és természettudományi diplomák aránya egész-ségtelenül alacsony [Education at a Glance 2010: OECD Indicators. ISBN: 9789264055988 Publication: 7/9/2010]

munkaerő még mindig fennálló relatív alacsony költsége (Német-országgal összevetve 1:3) miatt ide helyezett technológiafejlesztés hazai első generációs versenytárs hiányában „biztonságban van”, ellentétben az ázsiai országokkal. Sajnos ezt a kedvező helyzetet rontja, hogy a krónikus munkaerőhiány miatt Magyarország nem versenyképes, ami már-már a jelenleg zajló országos jelentőségű járműipari befektetések sikerét veszélyezteti (**2. ábra**).

A hasonló gazdasági-társadalmi helyzetkép (technológiailag fejlett gazdaság vs. alacsonyan képzett munkaerő) nem példa nélkül való: a mai Németország nyugati területein az 1960-as évek elején az oktatási szakemberek katasztrofálisnak találták a szakmai képzéseket mind tartalmi, mind szociális szempontból. A szakképzésből kikerülő fiatalok szakmai ismeretei, motiváltsága messze elmaradt a 20. század elejéhez képest. A helyzetet a hatvanas évek végi ipari válság tovább nehezítette. A képzési és ipari válság arra készítette az oktatáspolitikusokat és a gazdaság

szereplőit, hogy együtt találjanak kiutat. Az 1970-es évek közepére az oktatási rendszert átstrukturálták és új elemekkel bővítették, megjelentek a duális képzés első típusai. Az 1990-es évekre a duális képzés már nemcsak a szakképzés területén, hanem a felsőoktatásban is teret nyert Németországban, mint ahogy azóta Európa és a világ számos más országában (pl. Ausztria, Svájc, Dánia, Hollandia, Franciaország, Kína).

GYAKORLATORIENTÁLT (DUÁLIS) KÉPZÉS

A duális mérnökképzés a képzés olyan rendszere, melyben a hallgató a tanulmányai során elvégzett munka felét (50%) egy adott vállalatnál teljesíti. Ezt az arányt a 7 félévre vonatkozóan (évente 48 hét) kell értelmezni.

A hagyományos és a duális rendszerű képzések közötti legnagyobb különbség – azon kívül, hogy a hallgatók gyakorlatot szereznek a szakmájukban – az, hogy a hallgatók az elméleti tudásukat nem mesterséges körülmények között tanulják meg használni. E képzési rendszer segítségével olyan munkaerő kerül ki az oktatásból, amely azonnal, több hónapos/éves továbbképzés és további anyagi ráfordítás nélkül képes belépni a munka világába.

A duális képzés révén a hallgatók a helyszínen, az életben ismerhetik meg a legkorszerűbb technológiákat, a diplomamunkákat/szakdolgozatokat, illetve a doktori műveket a valós élet problémáiról készíthetik el, ezáltal jelentős, mérhető nagyságú valós K+F tevékenységet végeznek.

Ebben a konstrukcióban a hallgatók a főiskolai, egyetemi éveik alatt megszerzik azokat az ipar által igényelt „szociális” készségeket is, amelyeket az egyetem nem tud hatékonyan átadni (vezetési készség, kommunikációs gyakorlat, prezentációs készség, csoportban való együttműködés, projektvezetési ismeretek stb.). A felsőoktatási intézmény és a vállalat között így a képzésben egyfajta munkamegosztás alakul ki (**3. ábra**).

Másik oldalról a főiskola, egyetem elvégzése után a duális képzésben részt vevő cégek olyan munkaerőt kapnak, amelyet nem kell külön, újra betanítani, hanem rögtön a tervezőasztalhoz tudnak ültetni – vagyis nő ezen vállalkozások K+F képessége is.

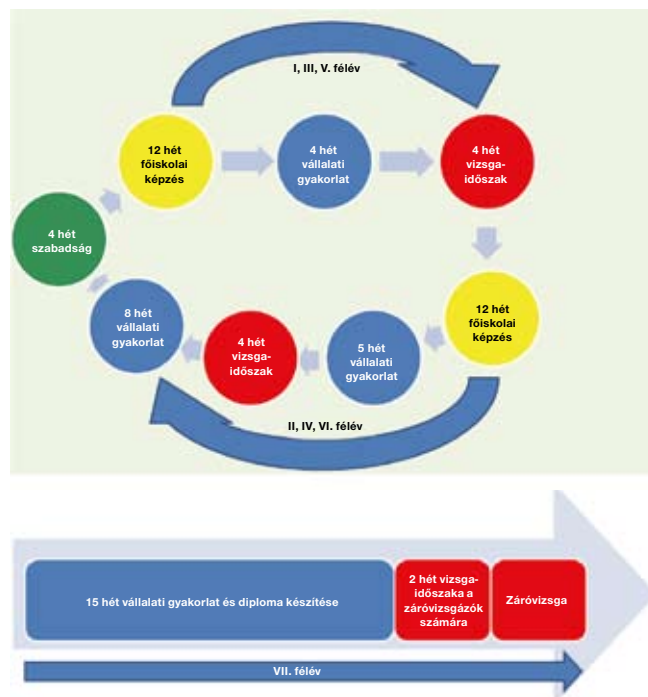
KÉPZÉSI SZERKEZET

A Kecskeméti Főiskolán kialakított duális képzésben a hagyományos képzési rendszerhez képest az egyik fontos különbséget az oktatási félévek felépítése jelenti.

Míg a hagyományos képzési rendszerben minden félév 15 hét szorgalmi időszakot és 5 hét vizsgaidőszakot tartalmaz, addig a duális képzés esetében a félév szerkezete a **4. ábrának** megfelelően a következőképpen alakul:



3. ábra: munkamegosztás a vállalat és a felsőoktatási intézmény között a professzionális képzés érdekében



4. ábra: az oktatási félévek időbeosztása a duális képzésben a Kecskeméti Főiskolán

- A félév 12 hetes főiskolai képzéssel kezdődik, mely időben a hallgatók az elméleti és a járműmérnöki alapszakban definiált gyakorlati és laboratóriumi gyakorlati ismereteket szerzik meg.
- A következő 8 hétben a duális hallgatók a vállalat által meghatározott gyakorlati ismereteket, készségeket szerzik meg. Ezen időtartam alatt a vállalat megfelelő időt biztosít (4 hét) a hallgatóknak a vizsgakötelezettségek teljesítésére.
- A tavaszi félév végén a duális hallgatók programja a vizsgaidőszakkal nem zárul le, további egybefüggő 8 hetes képzésen vesznek részt a vállalatnál.
- A képzést lezáró 7. félév során a duális hallgatók végig a vállalatnál tevékenykednek, a cégtől kapott szakdolgozati témájukat dolgozzák ki.

A struktúrából látható, hogy az oktatási időbeosztás a hagyományos nappali képzéshez képest fokozottabb, gyakorlatilag a főállású munkaviszonnyal azonos terhelést jelent a duális hallgatóknak.

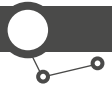
Ugyanakkor ez a képzési modell biztosítja, hogy a hallgatók az elméleti és – az iskolarendszerű képzésben a lehetőségekből adódóan korlátozott mértékű – gyakorlati képzésen és tapasztalatszerzésen túl, a végzést követően, gyakorlatilag átmenet nélkül teljes értékű munkavállalóként hasznosíthatóak szakismereteiket az iparban.

JELENTKEZÉS ÉS KIVÁLASZTÁS

Akvízió

A Kecskeméti Főiskola az iparvállalati partnerek (a Mercedes Benz Manufacturing Hungary Kft. és a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.) közreműködésével a potenciális közép- és szakközépiskolákban szakmai bemutatókat szervez, melyek során a középiskolás diákok megismerkedhetnek a képzéssel, tájékoztató anyagot kapnak és kérdéseiket személyesen is feltehetik a főiskolát képviselő személyeknek. A cél a duális képzés széles körű ismertségének növelése, népszerűsítése, a duális képzésre jelentkező potenciális hallgatói állomány mennyiségének, minőségének növelése.

Ezen kívül a főiskola igen népszerű Nyílt Napokat szervez, képviselteti magát az Education kiállításon és a kampány részeként lét-



rehozott és működtet egy közösségi oldalt is (www.facebook.com/dualiskepzes). Folyamatos a kapcsolattartás a potenciális hallgatókat adó középiskolákkal, valamint a helyi és az országos médiával.

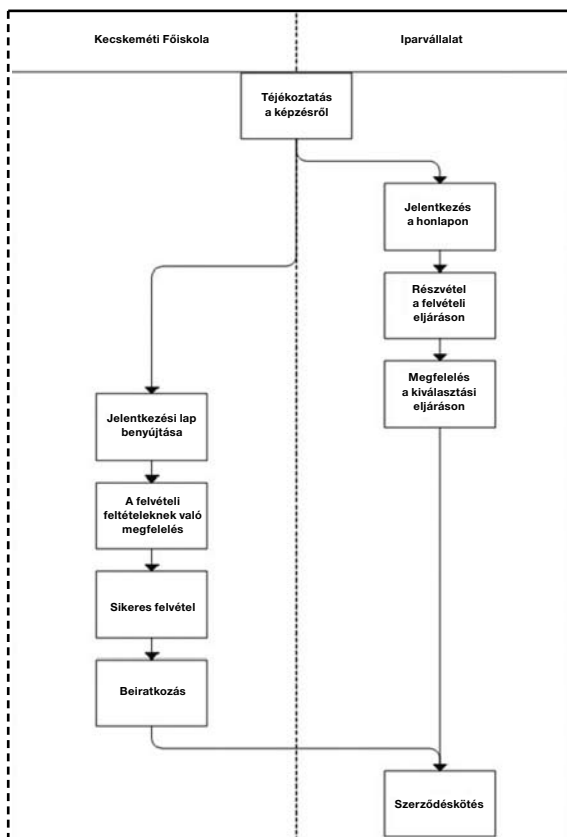
Feltételrendszer

A Kecskeméti Főiskola duális képzésében való részvételnek két, egymással szorosan összefüggő feltétele van (**5. ábra**). Ennek megfelelően a leendő hallgatónak

- felvételt kell nyernie és be kell iratkoznia a Kecskeméti Főiskola GAMF Karán meghirdetett járműmérnöki alapszakra, és
- meg kell felelnie az iparvállalat kiválasztási eljárásán.

Vállalati jelentkezés és kiválasztás

A vállalathoz történő felvételtől és a kiválasztási eljárásról a vállalat a honlapján keresztül tájékoztatja az érdeklődőket.



5. ábra: a jelentkezés és a kiválasztás folyamata a duális képzésben

Az iparvállalati kiválasztásra történő jelentkezéseket az iparvállalat honlapján elektronikusan teszik meg az érdeklődők, melyeket a vállalat ezért felelős munkatársai fogadnak és feldolgoznak. Az on-line jelentkezést követően a leendő hallgatók személyes felvételi meghallgatáson és kiválasztáson vesznek részt.

A kiválasztási eljárást minden esetben az adott iparvállalat határozza meg és végzi el a saját szempont- és kiválasztási rendszere alapján. Általában a műszaki, mérnöki kompetenciák felmérése mellett a személyes készségeket (kommunikáció, prezentációs készség, csoportban való együttműködés) is értékeli, interjúkon keresztül ismerik meg a jelentkezőket.

2012. január és február hónapokban zajlott le első ízben a fent bemutatott jelentkezési és kiválasztási folyamat. A nagyszámú, összesen több mint 300 jelentkező közül a Mercedes-Benz 12 főnek, a Knorr-Bremse 14 jelentkezőnek ajánlotta fel a duális képzésben való együttműködést sikeres főiskolai felvételi esetén. Ez több mint tízszeres túljelentkezést jelent a képzésben.

SZERZŐDÉSES KAPCSOLATOK

Szerződés a főiskola és az iparvállalatok között

A főiskola és az iparvállalatok között többszintű szerződéses viszony jött létre. A stratégiai szintű, az együttműködés szándékát és elkötelezettségét kinyilvánító szerződések, valamint a vonatkozó kormányrendelet előírásai alapján kerül kidolgozásra a duális képzésben a felek által vállalt kötelezettségeket, ellátott feladatokat és biztosított feltételeket rögzítő együttműködési megállapodás.

Szerződés a hallgató és a vállalat között

A hallgatók és a vállalat közötti jogviszony hallgatói munkaszerződésben kerül rögzítésre a vonatkozó kormányrendelet tartalmi előírásainak megfelelően. Ez a szerződés rögzíti a hallgatók kötelezettségeit a vállalat irányában és a vállalat által adott pénzügyi juttatás mértékét.

Vállalati minősítési rendszer

A képzésbe bekapcsolódó vállalatok esetén meg kell vizsgálni, hogy felkészültek és képesek a duális képzés követelményeinek való megfelelésre. A vállalat kiválasztási rendszere, a gyakorlati képzés humán (oktatói) és tárgyi (gyakorlati hely, labor stb.) feltételei meg kell, hogy feleljenek a főiskola képzési rendszere és az akkreditált képzés követelményeinek.

ELSŐ TAPASZTALATOK

A 2012/13-as tanévre első ízben került meghirdetésre a Kecskeméti Főiskolán a járműmérnöki alapszak és annak duális képzési rendszerű változata. A nagyszámú elsőhelyes jelentkezés következménye, hogy magas felvételi pontszámokkal vettük fel járműmérnöki hallgatóinkat: összesen 67 főt, közülük 14-en a Knorr-Bremse, míg 11-en a Mercedes-Benz duális hallgatói.



6. ábra: a Mercedes-Benz és a Knorr-Bremse duális hallgatói és néhány vállalati oktató

A járműmérnöki alapszakon előadó, a Főiskolán sokéves tapasztalattal rendelkező oktatók véleménye, hogy a járműmérnök hallgatók általános érdeklődése, aktivitása és eredményessége magasabb az átlagosnál. Érdekes módon ez nem csak a duális hallgatókra igaz: a duális hallgatók „húzzák” a többieket, a hagyományos képzési modellben részt vevőket is. Ennek egyik hatása, hogy kérdőíves kutatásaink alapján a hagyományos képzésben résztvevők mintegy kétharmada szeretne volna, illetve szívesen csatlakozna a duális képzésbe.

A duális hallgatók vállalati gyakorlataikat azóta már elkezdték, a főiskola sok pozitív visszajelzést kapott mind a vállalatok munkatársaitól, mind a hallgatóktól. ●

Járművek alacsony sebességű mozgásának vizsgálata

SZABÓ BÁLINT

tanársegéd

BME Gépjárművek Tanszék

Ebben a cikkben egy többtest-dinamikai gumiabroncsmodell kerül bemutatásra, amelynek segítségével alacsony sebességű járműmanővereket lehet szimulálni. Ez a gumiabroncsmodell a kefemodellen alapul, amelynél a sörtéket egymáshoz kapcsolt tömegpontokkal egészítettük ki, hogy a gumiabroncs kontinuum jellegét is modellezni tudjuk. Ez a modell a gumiabroncs hossz- és keresztirányú deformációját számítja. Ezt a gumiabroncsmodellt négykerekű járműmodellbe implementálva komplex manőverek szimulációját végeztük el, hogy demonstrálni lehessen a gumiabroncsnak a jármű mozgására gyakorolt hatását és elemezni lehessen a gumiabroncs deformációját különböző helyzetekben.

In this article a multibody dynamical tire model is described with which the low velocity manoeuvres can be simulated. The tire model is based on the brush model on which the bristles are extended by tire mass points connected to each other to represent the continuum property of the tire. This model is able to calculate the deformation of the tire in tangential and in lateral directions. Using this tire model a four-wheeled vehicle model was developed. A complex vehicle manoeuvre was simulated to demonstrate the effect of the tire on the vehicle motion and to analyse the deformation of the tire during different situations.

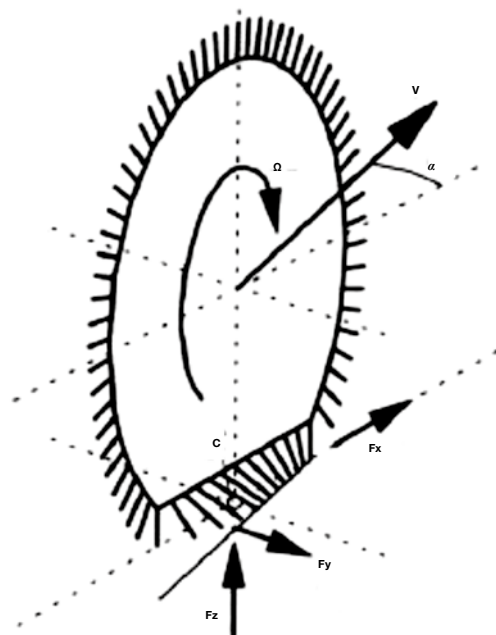
BEVEZETÉS

Járműdinamikai modellezés

A mérnöki gyakorlatban nagyon fontos szerepet játszik a számítógépes, virtuális modellezés és szimuláció. A modellezés során egy rendszert megfelelő fizikai és matematikai módszerek segítségével le tudunk képezni úgy, hogy az így kapott modellt fel tudjuk használni az adott rendszerrel kapcsolatos tervezési feladatok során. A modell tárgyat tekintve az autóiiparban is számos modellt lehet megkülönböztetni, vannak rendszermodellek, amelyek a jármű egy részrendszerét modellezik, de lehetnek komplett járműmodellek is, amelyek az egész jármű viselkedését lekövetik, valamilyen makro- vagy mikrokörnyezetben. A járművek, járműrendszerek modellezésének a tervezési folyamatban van jelentősége. Egyrészt fontos szerepe van a szabályozó tervezésében. Ahhoz ugyanis, hogy egy rendszer működését szabályozni, vezérelni tudjuk, a rendszer működésének ismerete szükséges. Másrészről pedig egy rendszer tervezése során nagyon fontos a rendszer működésének ellenőrzése. Mert a rendszer számos paramétert tartalmaz, amelyet a tervezés során változtatni lehet, és a legegyszerűbb, leggyorsabb és legolcsóbb módja a paraméter-optimalizálásnak: a modellalapú szimuláció. A járműdinamikai modellek célja a jármű mozgásának szimulációja. Járműdinamikai szimulációkra olyan komponensek, rendszerek fejlesztésénél van szükség, amelyek a jármű mozgását, dinamikáját befolyásolják. Léteznek olyan járműmodellek, amelyek a jármű teljes térbeli mozgását szimulálni tudják. A járműmodellek másik csoportját csökkentett szabadságfokkal rendelkező járműmodellek alkotják. Ha egy problémánál nincs szükség egy jármű teljes térbeli mozgásának szimulálására, de egy adott mozgást részletesen szeretnénk vizsgálni, akkor lehetőség van a szabadsági fokok csökkentésére.

Járművek alacsony sebességű mozgásának modellezése

Ilyen egyszerűsített járműmodelleket kell alkalmazni az alacsony sebességű járműmozgás szimulációjánál is. Joggal merül fel a kérdés, miért kell külön járműmodellt alkotni az alacsony sebességű mozgások szimulációjához. A legtöbb járműdinamikai modell olyan egyszerűsítéseket tartalmaz, amelyek alacsony sebességű haladás során jelentősen növelhetik az eredmények pontatlanságát. Például a legtöbb járműmodellben a modell lineáris tétele érdekében azt feltételezik, hogy a kormányoszög



1. ábra: kefemodell

kis értékű (ilyenkor ugyanis a szögfüggvényeket lehet egyszerűsíteni), azonban az alacsony sebességű manőverekre ez a feltevés általában nem teljesül. A másik gond az alkalmazott gumiabroncsmodell lehet. A leggyakrabban empirikus gumi-modelleket alkalmaznak, amelyeknek legnagyobb előnyük, hogy kicsi a számításgigényük, gyorsan, akár valós időben is lehet szimulációkat elvégezni velük. Ezek a modellek a gumiabroncs szlippgörbéjét felhasználva számolják a gumiabroncs által gerjesztett erőket. Alacsony sebességnél viszont egyre pontatlanabbá válnak. Elég csak azt az egyszerű esetet megvizsgálni, amikor a jármű éppen elindul vagy megáll. Amikor a jármű áll, a kerékszlipp definíciója szerint nem értelmezhető. Ezek alapján elmondható, hogy amennyiben nem alapfeltétel a kis számításgigény, úgy az alacsony sebességű járműmodellekhez célszerűbb fizikai gumiabroncsmodellt alkalmazni.



Ebben a cikkben egy olyan jármű- és gumiabroncsmodell kerül bemutatásra, amely az alacsony sebességű manőverek szimulációjára került kifejlesztésre. A modell bemutatását követően néhány egyszerű manőveren keresztül mutatjuk be a modell működését.

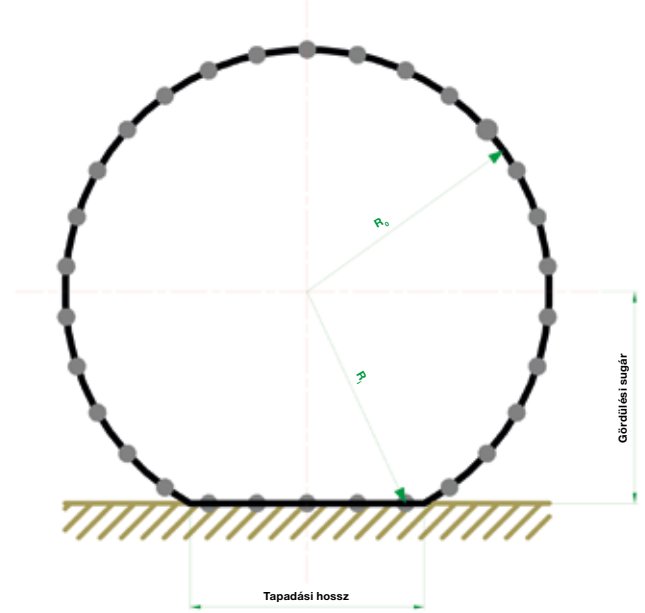
GUMIABRONCSMODELL

Kefemodell

A legegyszerűbb modell, amely alkalmas a gumiabroncs deformációjának szimulálására, a kefemodell [1]. A modell alapja egy merev keréktárcsa, amely akár egy nulla vastagságú korong is lehet. Ennek a korongnak a kerületére helyezük el a sörtéket. A sörték egyik vége a keréktárcsához van erősítve, a másik vége pedig szabad (**1. ábra**). Ezeknek a sörtéknek a paraméterei (rugómerevség, csillapítási tényező) adják a gumi anyagtulajdonságait. Amikor egy sörte belép a tapadási felületbe, letapad, esetleg a talajon csúszik, majd amikor a tapadási felület végét eléri, újra szabaddá válik.

Többszöveg-dinamikai gumiabroncsmodell

Első lépésként definiálni kell a lehetséges mozgási szabadságfokokat. A kefemodell alkalmas teljes térbeli mozgás modellezésére, azaz hat szabadságfokkal rendelkezik. Mivel csak a síkbeli mozgások érdekesek, ezért a kerék lehetséges szabadságfokait is a járműmodellhez hasonlóan háromra csökkentettük (pontosabban négyre, mert a kerék forgását is modellezzük, de az nem jár helyzetváltoztatással). A kefemodell legnagyobb hátránya, hogy nem veszi figyelembe azt a tényt, hogy a gumiabroncs kontinuum, ezt a tulajdonságát a térbeli diszkrétizálással elvesztette. Ha a korábbi két modell esetében egy gumi elemet deformálunk, annak nem lesz hatása a környezetében lévő gumi elemekre, az egyes sörték egymástól függetlenül deformálódnak. A valós gumiabroncs nem így viselkedik, hiszen ha egy pontban deformáljuk, akkor annak egy bizonyos sugarú környezetében is deformáció ébred. Ezt a tulajdonságot elhanyagolva sem kapunk teljesen rossz modellt, hiszen a talajra letapadt gumi elemek nem tudnak egymástól teljesen függetlenül deformálódni, a talajon keresztül össze vannak kötve. Akkor viszünk hibát a szimulációba, amikor egy gumi elem megcsúszik, de a mellette lévő



3. ábra: deformált kerékmodell

elemek nem. Mert ebben az esetben az adott gumi elem nem tudna teljesen visszacsúszni eredeti helyzetébe, hiszen a szomszédos, még tapadásban lévő elemek nem engedik meg azt. Egy másik hiba a tapadási felületen kívüli deformáció leírásából fakad, hiszen ugyanezen oknál fogva a tapadási felület belépő élén létrejövő deformáció a belépő él előtti gumi elemeket is deformálja, vagyis nem nyugalmi állapotban lépnek be a gumi elemek a tapadási felületbe.

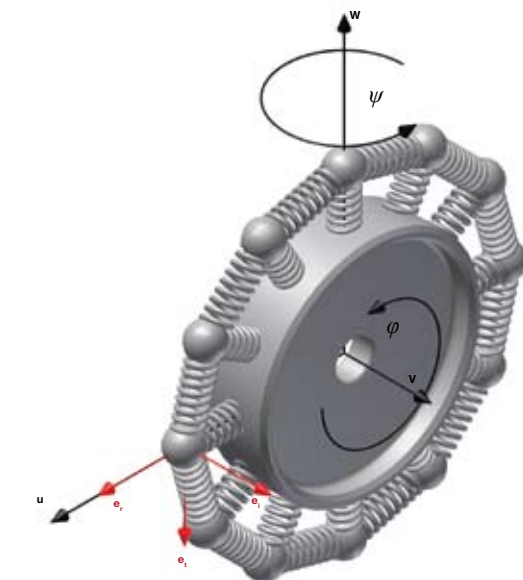
Ennél a modellnél a gumiabroncsot anyagi tömegpontok építik fel, amelyek egymáshoz és a keréktárcsához is rugókkal, illetve csillapítóelemekkel kapcsolódnak (**2. ábra**). Az ábrán ennek a modellnek egy térbeli ábrázolása látható, de továbbra is csak síkbeli mozgásokat vizsgálunk. A mozgáslehetőségeket figyelembe véve a keréktárcsának továbbra is csak négy szabadságfoka van: hossz- és keresztirányú elmozdulás, a függőleges tengely körüli szögelfordulás (kormányzás), illetve a forgástengely körüli szögelfordulás (gördülés). Mivel a gumi elemek nem egyszerű rugók, hanem tömegpontok, ezért azok mozgását is dinamikai egyenletek írják le. Az anyagi pontoknak térben 3 szabadságfoka van (**piros nyilak az ábrán**), esetünkben ezt kettőre redukáltuk, csak a kereszt- (e_x) és érintő (e_t) irányú mozgás van megengedve, radiális irányú (e_r) mozgás nem lehetséges.

A radiális deformáció figyelmen kívül hagyása azt eredményezi, hogy a gumi elemek a keréktárcsa felületén mozoghatnak, de nem távolodhatnak el róla. Emiatt a gumiabroncs statikus deformációját sem számolja a modell, azt egy geometriai kényszer segítségével vesszük figyelembe, a keréktárcsa alakjának meghatározásakor (**3. ábra**).

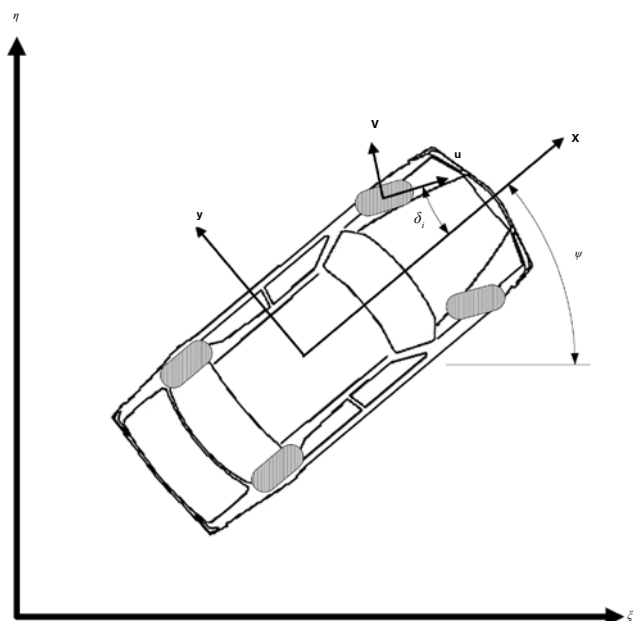
A kerék mozgásának és a gumiabroncs deformációjának számításához minden egyes merev testre Newton II. törvénye alapján írtuk fel a mozgásegyenleteket.

$$\begin{aligned}
 m\ddot{\zeta} &= F_{g,\zeta} + F_{ext,\zeta} \\
 m\ddot{\eta} &= F_{g,\eta} + F_{ext,\eta} \\
 J_\zeta\ddot{\psi} &= T_{g,\zeta} + T_{ext,\zeta} \\
 J_v\ddot{\phi} &= T_{g,v} + T_{ext,v}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} m_g \ddot{e}_{t,i} \\ m_g \ddot{e}_{v,i} \end{pmatrix} = b_g \begin{pmatrix} (e_{t,i+1} - 2e_{t,i} + e_{t,i-1})) + d_g (\dot{e}_{t,i+1} - 2\dot{e}_{t,i} + \dot{e}_{t,i-1}) - b_u \Delta e_{t,i} - d_u \dot{e}_{t,i} \\ (e_{v,i+1} - 2e_{v,i} + e_{v,i-1})) + d_g (\dot{e}_{v,i+1} - 2\dot{e}_{v,i} + \dot{e}_{v,i-1}) - b_v \Delta e_{v,i} - d_v \dot{e}_{v,i} \end{pmatrix}$$



2. ábra: többszöveg-dinamikai gumiabroncsmodell

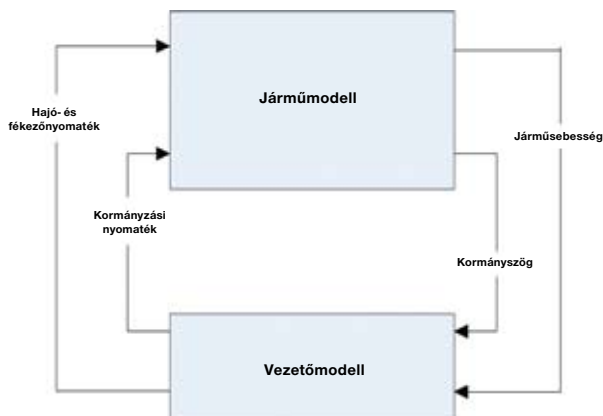


4. ábra: járműmodell koordináta-rendszerek

Az egyenletben m a kerék tömege, J_ζ a függőleges tengely, J_v a kerék forgástengelye körüli tehetetlenségi nyomaték; $F_{g,\zeta}$, $F_{g,\eta}$, $T_{g,\zeta}$ és $T_{g,\eta}$ a gumibroncs rugalmasságából és csillapításából adódó hossz-, keresztirányú erők, a függőleges és a forgástengely körüli nyomatékok; $F_{ext,\zeta}$, $F_{ext,\eta}$, $T_{ext,\zeta}$ és $T_{ext,\eta}$ a keréktárcsára ható erők és nyomatékok. A gumibroncs egyenleteiben m_g egy darab gumieleme tömege, b_g és d_g a gumieleme közötti merevségi és csillapítási tényezők, $e_{t,i}$, $e_{v,i}$, $\Delta e_{t,i}$, $\Delta e_{v,i}$ a gumieleme hossz- és keresztirányú pozíciói, illetve deformációi. Az utolsó két egyenlet az i -edik gumieleme mozgását írja le, ebből az egyenletrendszerből annyit kell számolni, amennyi gumielemmel modelleztük a gumibroncsot.

Súrlódás modellezése

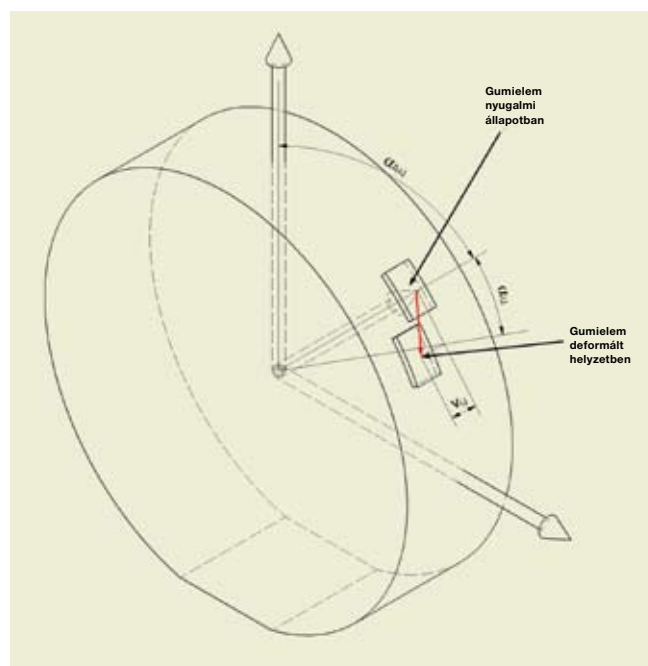
A kefelek esetében a Coulomb-féle súrlódási modell kellő pontossággal alkalmazható. A gumibroncs sörteszerű elemekből épül fel, azok egy része a talajjal kapcsolatba lép, és ott letapad, vagy éppen csúszik a rá ható erők és a súrlódási jellemzőktől függően. A gumieleme és a talaj között fellépő maximális súrlódási erő a súrlódási tényező és a normálerő szorzataként értelmezhető. A tapadási és csúszósúrlódási tényezők közötti választást a gumieleme talajhoz viszonyított sebessége határozza meg. Amennyiben a relatív sebesség zérus, vagy egy



5. ábra: vezetőmodell

előre meghatározott toleranciaértéknél kisebb, akkor tapadó súrlódással számolunk. De a maximális tapadósúrlódási erőből mindig csak akkora ébred, amekkora az adott gumieleme ható erőrendszer eredőjének nagyságával megegyezik. Ezáltal, mivel a súrlódó erő iránya megegyezik, értelme pedig ellentétes, mint az eredő erőrendszeré, ezért a gumieleme egyensúlyban marad, a talajhoz képest nem mozdul el. Ha az eredő erőrendszer nagysága növekszik, a tapadó súrlódó erő szintén növekszik, de ez az érték felülről korlátos, mégpedig a tapadási súrlódási tényező és a normálerő szorzata adja a felső korlátot. Ezt követően, mivel az erőrendszer eredője nagyobb a súrlódóerőnél, ezért a gumieleme gyorsulni kezd, vagyis a sebessége növekszik. Ettől kezdve viszont csúszó súrlódásról beszélünk, aminek az értékét a gumieleme ható erőrendszer eredőjétől függetlenül a súrlódási tényező és a normálerő határozzák meg.

A normálerő mint koncentrált erő a kerékterhelésből adódik. Ez az erő a keréktárcsa és a gumibroncs teljes kapcsolódó felületén keresztül a gumibroncsnak adódik át, és az az oldalfalon át, valamint a köpenyen belül uralkodó nyomáson keresztül jelenik meg a teljes tapadási felületen. A normálerő ezek alapján nem egy koncentrált erő, hanem egy felület mentén megosztó terhelés. Mivel az alkalmazott modellek mindegyikénél a gumibroncs szélességét elhanyagoltuk, ezért esetünkben ez az erőrendszer vonal mentén megosztó erőrendszerre redukálódik. Pacejka [1] szerint ez az eloszlásfüggvény parabolikus. A megosztó erőrendszer maximuma a tapadási felület közepén található, a tapadási felület két szélén pedig zérus értékű.

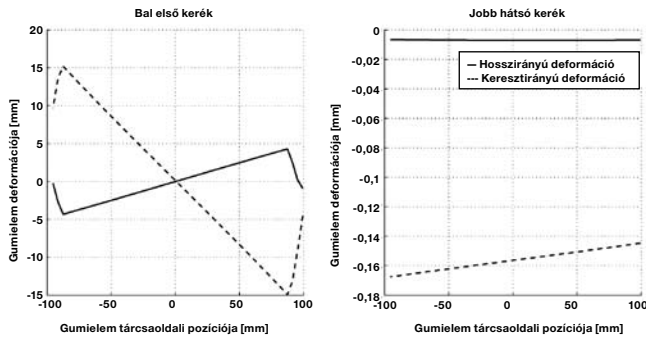
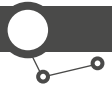


6. ábra: gumieleme deformációja

JÁRMŰMODELL

Gumimodell implementálása

A bemutatott gumibroncsmodellt járműmodellbe implementálva felépíthető a teljes szimulációs környezet. Négykerékű járműmodell alkottunk meg, mert ezáltal többek között a kormányhiba hatását is figyelembe lehet venni, amelyet nagy kormányzószögek mellett már nem célszerű elhanyagolni. A kerékmodelleket a kocsitesthez mereven rögzítettük, az alacsony sebességre való tekintettel figyelmen kívül hagytuk a futómű hatását. Így a járműmodellnek összesen $8+8n$ szabadsági foka van. A kocsitestnek



7. ábra: gumiabroncs deformációja állóhelyzeti kormányzáskor

síkbeli mozgásából származik 3 szabadságfok, ehhez adódik a kerekek révén a kormányzás, és mind a négy kerék forgása. A gumielemeleknek 2 szabadsági foka van, és kerekenként n gumielemelem van. Összesen négyféle koordináta-rendszert kell definiálni (4. ábra): egy globális koordináta-rendszert, egy járműhöz rögzített koordináta-rendszert és minden kerékhez tartozik egy saját lokális koordináta-rendszer, továbbá a gumielemelek deformációjának számításához van egy polár koordináta-rendszer is. Ennek megfelelően kell felírni a jármű mozgását és a gumiabroncs deformációját meghatározó differenciál-egyenletrendszert.

A differenciálegyenletek felírását tovább nehezíti, hogy a relatív dinamikával is számolni kell, hiszen a gumielemelek mozgását a keréktárcsához viszonyítva határoztuk meg.

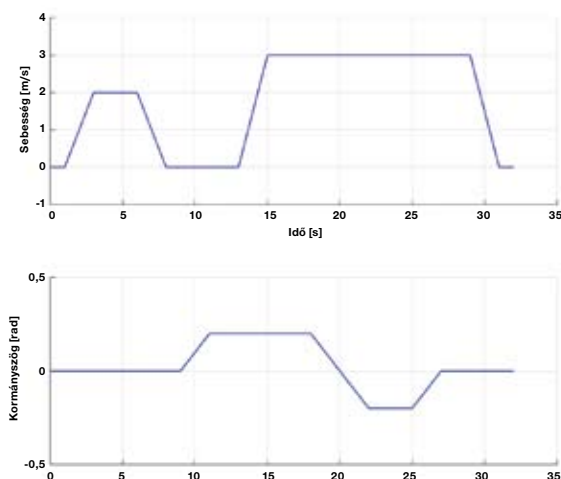
Vezetőmodell

A szimulációk elvégzéséhez a modelleknek gerjesztőfüggvényt kell definiálni. A többtest-dinamikai modell működtetéséhez a hátsó kerekekre adunk hajtó- és fékezőnyomatékokat, valamint a kormányrendszerre működtetünk nyomatékokat. Amennyiben a járművel egy adott trajektóriát szeretnénk lekövetni, vezetőmodellre van szükség, amely úgy gerjeszti a járműmodellt, hogy az a kívánt trajektóriát minél kisebb hibával kövesse (5. ábra).

SZIMULÁCIÓK

Gumiabroncs deformációjának vizsgálata

A gumiabroncs deformációját a modell polár koordináták segítségével határozza meg. Minden gumielemelemnek van egy nyugalmi

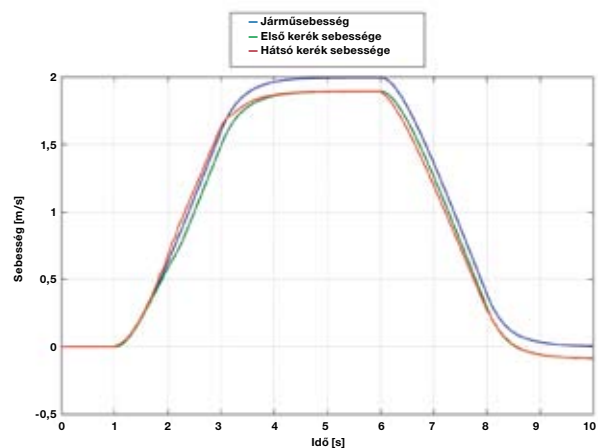


8. ábra: gerjesztőfüggvények

pozíciója, amelyhez képest tangenciális és laterális irányban el tud mozdulni. A deformációt a nyugalmi helyzethez képesti elmozdulásértékek adják (6. ábra).

A deformációt jelen esetben korlátozzuk a tapadási felületre. Csak a tapadási felületben létrejövő deformációt mutatjuk be felülnézetben. A könnyebb átláthatóság érdekében a hossz- és a keresztirányú deformációt különválasztottuk. A deformációs diagram a gumiabroncs deformációját mutatja egy adott időpillanatban (7. ábra).

A 7. ábrán a négykerékű jármű két kerekének deformációját látjuk egy adott időpillanatban álló helyzeti kormányzás esetén. A görbének egy pontját, vagyis egy gumielemet kiválasztva az abszcissa megadja, hol található az adott gumielemelem a tapadási felületen belül, az ordináta pedig azt, hogy mekkora a deformáció. Az abszcisszatengely közepe, azaz a zérus értékű pont a tapadási felület közepét jelenti, a pozitív rész a belépőoldal, a negatív pedig a kilépő.



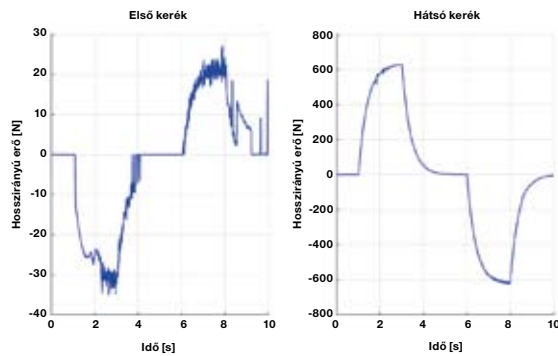
9. ábra: keréksebességek

Profilok

A gerjesztőfüggvények, azaz a sebességprofil- és a kormányzási függvény úgy lettek összeállítva, hogy a hosszabb, 32 másodperces szimuláció során külön-külön lehessen vizsgálni a gyorsítási, fékezési folyamatokat, az álló helyzeti kormányzást, illetve az állandó sugarú körpályás mozgást is, vagyis azokat a manővereket, amelyeket már a különböző modellek összehasonlítása során egyenként definiáltunk. A szimuláció (8. ábra) első 9 másodperce egy longitudinális manőver gyorsítással, lassítással és állandó sebességű szakasszal. A 9. és a 11. másodperc között egy álló helyzeti kormányzási manőver, amelyet egy állandó kormányzási szög mellett gyorsítás (a 15. másodpercig), majd egy állandó sebességű konstans kormányzási szögű kanyarodás (18. másodpercig) követ. Ezután a 22. másodpercig állandó sebesség mellett változtatjuk a kormányzási szöget, és egy rövid (3 másodperces) stacioner állapot után a kormányzott kerekeket egyenesmeneti helyzetbe állítjuk (27. másodperc). A szimuláció utolsó szakaszában 2 másodperc alatt megállásig fékezzük a járművet.

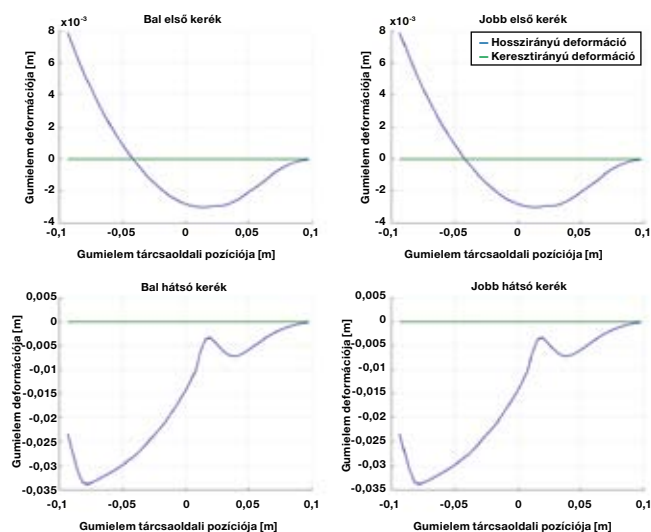
Eredmények

Elsőként a hosszirányú manővert vizsgáljuk meg. Az első 10 másodperces szakaszra vonatkoztatva elemezzük a jármű, valamint az egyik első és az egyik hátsó kerék kerületi sebességeit (9. ábra). A jármű egyenes vonalú mozgást végez, ezért a kerekek kerületi sebességének meg kellene egyeznie, de mégis kisebb különbségek fedezhetőek fel közöttük. A sebességbeli különbségeket ebben az esetben a gumiabroncsok megcsúszása okozza.



10. ábra: hosszirányú erők a gumibroncs deformációjából eredően az első és a hátsó keréken

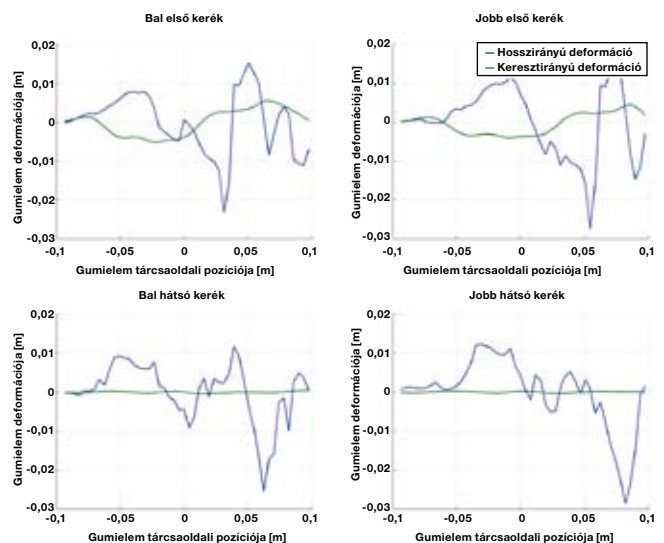
A járműmodellben csak a hátsó kereket hajtottuk és fékeztük, az első kerék a manőver folyamán végig vontatott volt. A hátsó kerék sebességprofilját a jármű sebességével összevetve látható, hogy gyorsítás során a kerék kerületi sebessége nagyobb, mint a jármű sebessége, fékezéskor pedig pont fordítva van. Ez a gumibroncsoknál ismert szlip jelensége, vagyis a gumibroncs megcsúszik a talajhoz képest. Ennél a gumibroncsmodellnél ezt a jelenséget a tapadási felületbe be- és kilépő gumielemelek okozzák. Amennyiben a gumibroncsra gyorsító forgatónyomaték hat, a tapadási felülettel érintkező gumielemelek deformálódnak, a talaj síkjában hosszirányú erő ébred, amely a járművet gyorsítani kezdi. A kerék forgása következtében a kilépőélhez közeli gumielem a tapadási felületről elválik, és a leválás pillanatában fennmaradó potenciális energiája már csak kis mértékben (a gumielemelek között definiált rugóelemeken keresztül) alakulhat át mozgási energiává. A belépő élnél egy újabb gumielem belép helyette, de annak a deformációja kisebb, mint a többi gumielemé, azt a keréktárcsának újra deformálnia kell. Összegezve, a keréktárcsa forgása során, amikor egy gumielem kilép és új gumielem belép a tapadási felületbe, a gumibroncs tapadási felületében lévő potenciális energiája – amelyet mozgási energiává lehetne alakítani – csökken, ezt a keréktárcsa mozgási energiájából lehet visszanyerni. Ez lesz az egyik oka szlip kialakulásának. Ellentétes esetben, amikor a fékezőnyomaték hat a kerékre, akkor is hasonló lépésekkel magyarázható, de a deformációk ebben az esetben ellentétes irányban jelennek meg, vagyis a sebességek közötti különbségek ellenkező előjelűek lesznek. A valós gumibroncsok



11. ábra: gumibroncs hossz- és keresztirányú deformációi a 2. másodpercben

esetében, nincsenek gumielemelek, a gumibroncs kontinuum, de ebben az esetben is elmondható, hogy a belépőélnél adott időlépés során megjelenő felületelemek kisebb deformációval rendelkeznek, mint a tapadási felületben lévő felületrészek. Az első kerékre nem hat hajtó- vagy fékezőnyomaték, így a jármű haladásából következően deformálódik a gumibroncs, amely forgatónyomatékot hoz létre, és emiatt kezd a kerék forogni. Erre a kerékre csak a gumielemelek deformációjából ébredő nyomatékok és a gördülési ellenállás nyomatéka hat. A deformációból származó nyomaték a gumibroncs nagy merevsége miatt nagy lesz. A gördülési ellenállások miatt a szabadon gördülő kerék is fékezettként viselkedik, vagyis az első kerék kerületi sebessége végig alacsonyabb, mint a jármű sebessége, ugyanígy a hátsó keréké is szabadonfutás esetén.

Az első 10 másodperces szakaszra nézve a gumibroncs-deformációkból származó hosszirányú erőket az első és a hátsó keréken az 10. ábra mutatja.

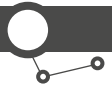


12. ábra: gumibroncs hossz- és keresztirányú deformációi a 12. másodpercben

Az első keréken ébredő rugómerevségekből és csillapítási erőkből származó hosszirányú erő kis amplitúdójú és nagy frekvenciájú lengéseket mutat, de itt is jól kivehető, hogy gyorsításnál negatív, fékezésnél pedig pozitív hosszirányú erő ébred a gumibroncs tapadási felülete mentén. A hátsó keréknél ezzel ellentétes erő ébrednek. A kerék gyorsításához pozitív forgatónyomatékra, pozitív hosszirányú erőre van szükség, a vontatott kerék esetében viszont a jármű talajhoz viszonyított elmozdulása adja a vonóerőt, ezért az negatív előjelű lesz, mert a gumibroncs deformációja is negatív.

A gumibroncs deformációjának bemutatásánál most mind a négy kerék deformációját mutatjuk (11. ábra).

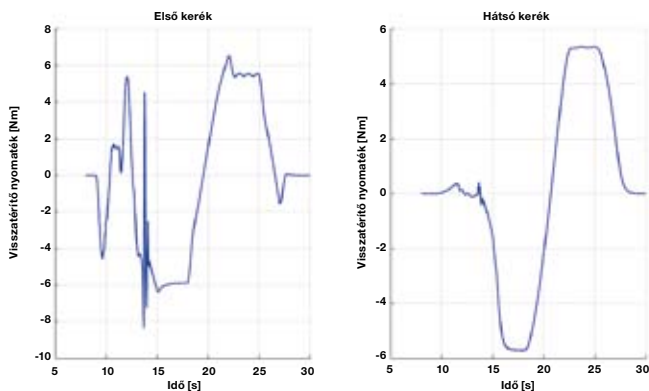
Az ábra a gyorsítási szakaszban készült. Mind a négy kerék esetében a belépőélnél zérus a hosszirányú deformáció, amely azzal magyarázható, hogy a gumibroncs belépőél előtti szakaszában ilyen alacsony sebességnél nincs deformáció, vagyis a kerék forgása következtében deformálatlan gumielemelek lépnek be a tapadási felületbe. A hátsó kerekek hajtottak, ezért hosszirányban negatív értékű deformációt szenvednek, amely a talajra kifejített pozitív irányú erőt eredményez. A deformáció mértéke a belépőél felé növekszik, illetve a kilépőél közelében újra csökken, ugyanis ott a gumielemelek a nagy deformáció és kis normálerő miatt megcsúsznak. Az első kerék vontatott, ezért pont ellentétes előjelű, de hasonló alakú deformációt várunk. Ezzel szemben a hosszirányú deformáció parabolikus alakot mutat, amely a tapadási felület első



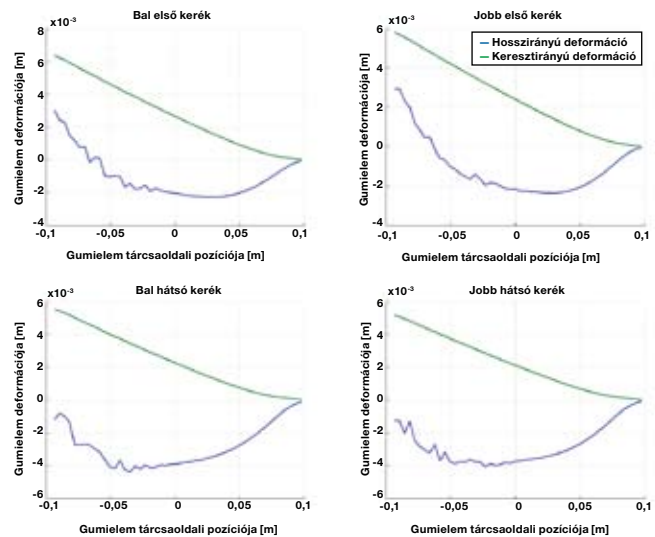
felében negatív előjelű, és csak a kilépőél közelében válik pozitív előjelűvé. A gumibroncs ugyanis nem kör alakú, hanem a tapadási felület mentén sík (3. ábra), aminek következtében a gumielemekek kerületi sebessége a tapadási felület mentén változik, ugyanakkor a kerék szögsebessége a tapadási felületek különböző pontjain azonos. A kerületi sebesség a belépőéltől a talppontig csökken, a talppontnál éri el a minimumát, majd a kilépőél felé növekszik. Emiatt a gumielemekek deformációs képe a tisztán henger alakú kerékéhez viszonyítva negatív irányba tolódik el. A gumibroncs keresztirányú deformációja mind a négy keréken zérus.

A 8. és a 13. másodperc közötti szakasz egy álló helyzeti kormánymanővert tartalmaz (8. ábra). Álló helyzetű kormányzás esetén az 7. ábra szerinti deformációt várunk mind hossz-, mind pedig keresztirányban. Mivel modell a vezető szabályozási hibája miatt csak bizonyos időközönként követi az előírt sebesség-profil, ezért valójában a kormányzás kezdetén, a 8. másodpercben a jármű sebessége még nem nulla (9. ábra), emiatt a kormányzás kezdetén a gumibroncsoknak hosszirányú deformációja van. A kerekek elkormányzásának hatására a gumibroncsok keresztirányban is deformálódnak, azaz az eredő deformáció növekszik. A deformáció növekedése megcsúszást eredményez mind hossz-, mind pedig keresztirányban. A megcsúszás fékezés közben jelentkezik, ráadásul alacsony sebességű haladás közben, ezért a gumielemekek rezgésbe jönnek. Az első kerekek keresztirányú deformációján azonban feltűnik a kormányzás hatása, de lineáris helyett szinuszos jellegű a deformáció a kerék görbülése miatt.

Az hátsó kerekeken megjelenő visszatérítő nyomatékok csak a kocsitest elfordulásából, míg az első kerekeken a kormányzásából és a kocsitest elfordulásából együttesen erednek. A hátsó keréken kialakuló nyomaték követi a kormánykerék szögelfordulásának függvényét (8. ábra), de az első keréken az elkormányzás kezdetén nagy amplitúdójú nyomatéklengések figyelhetők meg (13. ábra). Erre ugyanazt a magyarázatot lehet adni, mint a gumibroncs deformációjára, vagyis a gumielemekek folytonos megcsúszásának következtében a kerékre ható erők és nyomatékok nagy mértékben ingadoznak.



13. ábra: visszatérítő nyomatékok a gumibroncs deformációjából eredően az első és a hátsó keréken



14. ábra: gumibroncs hossz- és keresztirányú deformációi a 16. másodpercben

Az állandó sebességgel történő kanyarodás során (15. és 18. másodperc között) a gumibroncsot hossz- és keresztirányú erő egyaránt terheli, ennek megfelelően alakulnak ki a deformációk (14. ábra).

Mind a négy gumibroncsra mind a hossz-, mind pedig a keresztirányú deformáció alakja megegyezik, csupán a deformáció mértékében van kis mértékű eltérés. A jármű állandó sebességgel állandó sugarú pályán halad. A kerekek szögsebességei különbözőek kell, hogy legyenek, hiszen mindegyik más sugáron fordul, de ez a különbség a hosszirányú deformáción nem látszik. A különböző sugáron történő fordulás viszont közvetlenül befolyásolja a keresztirányú deformációt, hiszen annak alakja a pálya ívének megfelelően alakul ki. Mivel az ívek sugarai különböznek, ezért az egyes gumibroncsok keresztirányú deformációi is eltérőek lesznek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A korábban bemutatott szimulációkon kívül ezekkel a modellekkel még számos vizsgálatot és szimulációt el lehet végezni. Ebben a fejezetben csak néhány releváns szimulációs esetet mutattam be, amelyekkel a modellek alkalmazhatóságát és korlátait legjobban szemléltetni lehet.

A gumibroncsmodell számtalan egyszerűsítést tartalmaz, amely korlátozza a modell alkalmazási területét. A modell további fejlesztésével ezek az alkalmazási területek még tovább bővíthetők. Például a kerékdőlés hatását ez a modell nem vizsgálja, pedig az is befolyásolja a jármű mozgáspályáját. Ennek pontos fizikai modellezéséhez a radiális deformációt és a gumibroncs szélességét is figyelembe kellene venni.

IRODALOM

- [1] Pacejka, H.B.: Tyre and Vehicle Dynamics, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002
- [2] Szabó B., Palkovics, L.: Analysis of Low Speed Steering Manoeuvre with Dynamical Tire Models, 21th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, Stockholm, 2009
- [3] B. Szabo, D. Takacs, G. Stepan: Vehicle Model for an Automatized Parking Control System, VSDIA Conference Budapest, 2006
- [4] B. Szabo, D. Takacs: Vehicle Model Design and Vehicle Motion Analysis for an Automatized Parking Manoeuvre, Gepeszett Conference, Budapest, 2008

Műanyag közúti gépjárműelemek anyagmodelljének definiálása és validálása vége-selemes módszerrel

FIGZERE PÉTER

tanársegéd
BME Járműelemek
és Hajtások Tanszék

BORBÁS LAJOS

Ph.D. egyetemi docens
BME Járműelemek
és Hajtások Tanszék

TÖRÖK ÁDÁM

Ph.D. tudományos munkatárs
BME Közlekedésgazdasági
Tanszék

Cikkünk célja a közúti gépjárművek gyártásánál egyre elterjedtebb műanyagipari alkalmazások vizsgálata. Azon belül is különös tekintettel a gyorsprototípus-gyártás mint a prototípus gyártáskörből kilépő gyártástechnológia, amely már túlmutat a hagyományos prototípus-gyártás keretein. Ennek a technológiának a szélesebb körű elterjedéséhez elengedhetetlen a pontos anyagmodell definiálása és validálása vége-selemes módszerrel.

This article aims to investigate the increasingly widespread applications of plastic road vehicle parts. Within this, special emphasis is put on rapid prototyping that will not solely be a prototype manufacturing method in the near future. In order to achieve this technological development it is essential to have an accurate model definition and its validation with the finite element method.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években a gépjármű- és gépjárműalkatrészek tervezésének menete, módszere főleg az informatika fejlődésének köszönhetően – jelentős mértékben megváltozott. A gazdasági versenyhelyzet fokozódásával a piacra kerülési idő (ötlettől a megvalósulásig) jelentősen lecsökkent. A minél korábbi piacon való megjelenés komoly versenyelőnyt jelent. Ez a gépjárműiparban fokozottan igaz. Ebből az is tisztán látszik, hogy a termékek tervezésfázisának ideje drasztikusan lecsökkent. Manapság a CAD-szoftverekkel igen gyorsan kialakíthatjuk a termék 3D geometriáját. Ezek a 3D modellek szinte élethű képet adnak a termék megjelenéséről. A következő lépés a tervezésben a terhelhetőség vizsgálata. Ennek során a várható terheléseknek és beépítési környezetnek megfelelően az alkatrésznek a különféle terhelésekre adott válaszát vizsgálhatjuk. Ez segít a kritikus helyek, kialakítási hibák feltárásában, pontos meghatározásában, valamint a gazdaságtalan túlméretezés elkerülésében. Ezek után a „kész” alkatrészmodellen gyártásszimulációt is végezhetünk, ami képet ad a várható gyártási ciklusidőkről és költségekről is. Itt lehet még apróbb – a gyártást gyorsabbá, esetleg olcsóbbá tévő – módosításokat végezni. A gépjárműiparban jelentős mértékben megnőtt az igény a gyorsan előállítható funkcionális prototípusokra és a kis sorozatú műanyag termékek előállítására, melyet a gyártástechnológiában mutatkozó gyorsuló technikai fejlődés tud kielégíteni [1]. A műanyagok funkcionális alkalmazásához azonban ismernünk kell a felhasznált anyag fizikai tulajdonságait, a méretezéshez pedig a pontos anyagmodelljét. A 3D nyomtatásban alkalmazott műanyagok anyagmodellje jelentős mértékben eltér a nagysorozatú gyártás során alkalmazott (pl.: fröccsöntött) műanyagokétól. A végtermék vége-selemes szimulációjához szükség van egy 3D CAD-modellre, valamint a beépítési környezettől függő kényszerek és terhelések ismeretére és az anyagtulajdonságokra. Ezek megadása és a megfelelő paraméterek beállítása után futtathatjuk az analízist. A statikus szilárdsági

analízishez szükség van a rugalmassági modulusra (E), valamint a Poisson-számra (ν). Természetesen az időfüggő paraméterek (pl. kúszási tulajdonságok), kifáradási határ vagy a hőterhelhetőség meghatározásához további vizsgálatokra van szükség. Fontos megjegyezni, hogy ismeretlen anyagtulajdonságokkal bíró modell esetén az eredményeket valós modelleken végzett kísérletekkel kell igazolni, a felállított anyagtörvényt csak ezután alkalmazhatjuk. A vége-selemes módszer alapegyenlete a (1)

$$\underline{K} \cdot \underline{u} = \underline{F}, \quad (1)$$

ahol

$\underline{K}$: a merevségi mátrix, amit az anyagtulajdonságok és a beépítési környezetből adódó kényszerek határoznak meg.

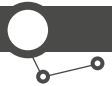
$\underline{u}$: a csomóponti elmozdulások vektora,

$\underline{F}$: a terhelések mátrixa.

Cikkünk célja a gyorsprototípus-gyártásban alkalmazott műanyagok anyagmodell-meghatározásának bemutatása.

2. METODIKA – ANYAGTÖRVÉNYEK

Ahhoz, hogy egy termékről el tudjuk dönteni, hogy később beépítve, üzemi körülmények közt vajon elbírja-e a ráadott terheléseket a vége-selemes analízishez, a geometriának, a beépítési környezetnek és az őt érő terhelések meghatározásán túl ismerni kell az anyagtulajdonságait is. A szerkezeti anyagok többségét izotrópnak (iránytól független anyagtulajdonságok) szoktuk tekinteni, ez alól az újabb és újabb technológiáknak köszönhetően egyre több a kivétel (szálerősítésű anyagok, kompozitok). Korábbi vizsgálataink során megállapítást nyert, hogy a gyors-prototípusgyártó eljárások során készült munkadarabok anyagai sem tekinthetők izotrópnak [2]. A rétegről rétegre való építkezés miatt bizonyos kitüntetett irányokban azonos, de egymástól eltérő anyagtulajdonságokkal rendelkezik. Az



ilyen anyagok viselkedését leíró törvényt orthotróp anyagmodellnek nevezzük. Az előbbieken ismertetett végeselemes analízis alap-egyenletének (1) megoldásakor kapott eredmények a csomóponti elmozdulások. A csomóponti elmozdulások és feszültségek között a kapcsolatot a Hooke-törvény határozza meg. Izotróp esetben ez iránytól független, a következő, jól ismert egyenletet jelenti (2):

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

ahol

σ : a feszültséget [MPa],

E : a Young-féle rugalmassági modulus [MPa],

ε : pedig a nyúlásokat jelenti, amit a csomóponti elmozdulásokból könnyen meghatározhatunk [–]

A csavaró rugalmassági modulus meghatározható a rugalmassági modulus (E) és a Poisson-szám (ν) segítségével a következőképpen (3):

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

Ezekből az összefüggésekből jól látszik, hogy izotróp esetben egy anyag szilárdsági vizsgálatához 2 független anyagtulajdonságra van szükség. Az orthotrópia egy speciális fajtája az anizotrópiának, ahol a két vagy három fő irányban különböznek az anyagjellemzők. Ilyen esetben alkalmazandó az orthotróp anyagok viselkedését leíró Hooke-törvény (4):

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

ahol

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ a nyúlások az 1,2,3 főirányokban [–],

γ_{ij} ($i \neq j$) reprezentálja az elcsavarodást a főirányokat meghatározó tengelyek körül [rad]

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ a feszültségek a főirányokban [MPa],

τ_{ij} ($i \neq j$) a csúszató-, vagy nyírófeszültségek [MPa],

S_{ij} pedig a merevségi mátrix (4),

$$[S_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ahol a merevségi mátrixban

E_1, E_2, E_3 : a Young-féle rugalmassági modulus az 1, 2, és 3 irányokban [MPa]

ν_{ij} : a Poisson-szám, a keresztirányú nyúlások (j -irányban), és a hosszirányú nyúlások (i -irányban) aránya, i -irányú húzás esetén [–],

G_{ij} az ij síkban mért csavaró rugalmassági modulus [MPa],

$S_{ij}=S_{ji}$ a dualitás következtében

A különböző irányokban (az orthotrópia fő irányjaiban) legyártott, nyomtatott szabványos szakítópróbatesteken elvégzett szakítóvizsgálatok során sikerült meghatározni a húzó (Young-féle) rugalmassági modulusokat (E_1, E_2, E_3) a különböző irányokban. Nyúlásmérő bélyegekkel a hosszirányú terhelés hatására fellépő hossz- és keresztirányú nyúlásokat határoztuk meg, amiknek aránya a Poisson számot (ν) adja. A szakítóvizsgálatok eredményeképpen megállapítható továbbá, hogy egy rétegen belül az anyagtulajdonságok azonosak [3]. A G csavaró (nyíró) rugalmassági modulus meghatározására van még szükség ahhoz, hogy egzakt módon meg tudjuk határozni a merevségi mátrix minden elemét. Izotróp esetben a G nyíró rugalmassági modulus számítható az E húzó rugalmassági modulus és ν Poisson-szám függvényeként. Orthotróp esetben azonban ez a függvénykapcsolat már nem áll fenn és G az orthotrópia főirányjaiban független anyagállandó. Tehát azt kísérleti úton kell meghatározni. Egzakt és elfogadható eredményt ad, ha egy rudat, vagy egy csövet vetünk alá kizárólag csavaró igénybevételnek. Ebben az esetben a ($\Delta\phi$) szögtorzulás – azaz két egymástól adott (l_1) távolságra lévő keresztmetszet egymáshoz képest történő elfordulása – a terhelő (M) csavarónyomaték hatására (6):

$$\Delta\phi = \frac{M l_1}{I_p G}, \quad (6)$$

ahol

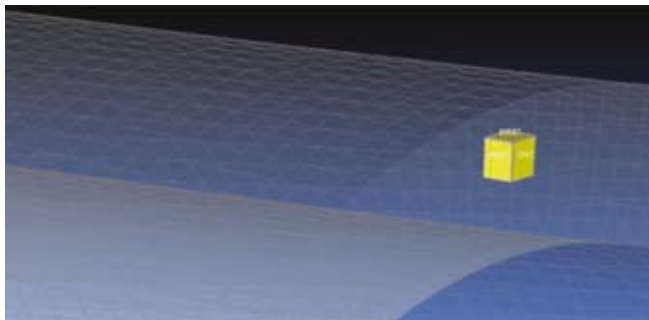
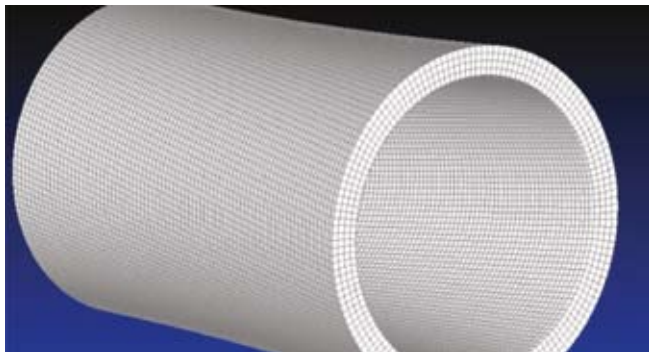
I_p a keresztmetszet poláris másodrendű nyomatéka [mm⁴].

Azonban tisztán csavarást előállítani csak igen költségesen lehet, az ilyen állapotot biztosító berendezések rendkívül drágák. Közelebbről megnézve egy ilyen csavart rudat/csövet, és annak egy adott, ismert pontjában lévő elemi kis kockát vizsgálva érdekes eredményekre juthatunk. Vegyük például azt a kockát, melynek egyik lapja egy csavart csőnek a hossz tengelyre merőleges síkjában, a keresztmetszet síkjában van (nem a külső vagy belső felületen), a befogástól számított l_1 távolságra. Ebben az esetben a keresztmetszeti síkban lévő oldalak párhuzamosak maradnak (eredeti nyugalmi állapotnak megfelelő sík). A tisztán nyírásra igénybe vett kocka alsó és felső lapjai is párhuzamosak maradnak, hiszen mindkettő azonos szögelfordulást szenved el (**1. ábra**).

Levezethető, hogy a csúszatófeszültségek (τ) és az annak hatására létrejövő szögtorzulás (γ) között a kapcsolatot a G csúszató rugalmassági modulus teremti meg (7):

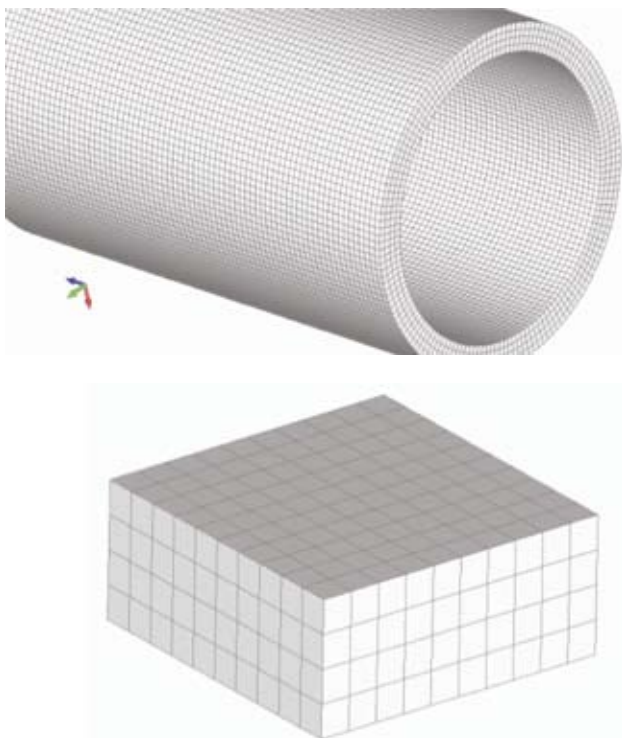
$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad (7)$$

A keresztmetszet egy-egy sugara mentén a feszültség iránya a sugárra és a hossz tengelyre merőleges, és nagysága a középponttól mért távolsággal arányos [4]. Így meghatározható a merevségi mátrix. Gyakorlatban azonban nagyon nehéz, drága és időigényes tisztán csavaró terhelést és a hozzá szükséges próbatesteket előállítani. Ennek kiküszöbölésére a csavarást (τ) nyírással (τ) próbáltuk helyettesíteni, a kapott eredményt számítógépes szimulációval validálni. Természetesen a terheléseket úgy határozzuk meg, hogy az annak hatására kialakuló feszültség-állapotok megközelítőleg azonosak legyenek. Az elemméreteket is úgy vettük fel, hogy azok a két esetben közel azonosak, így összevethetőek legyenek. Amennyiben az eredmények is hasonlóak lesznek és természetesen az elméleti összefüggésekkel kiszámolt eredményeket adják, úgy a modellt megfelelőnek, használhatónak tekinthetjük. A vizsgálataink során minden modell



1. ábra: egy csavart csőben vizsgált elemi kocka (Forrás: saját szerkesztés)

esetében ugyanazt az anyagmodellt használjuk. A vizsgálat során egy $D=48$ mm és $d=40$ mm (4 mm falvastagságú) átmérőjű és $l=80$ mm hosszú csövet terhelünk meg a cső esetében, míg egy 10 mm élhosszúságú és 4 mm magasságú négyzet alapú hasábot a másik esetben. Mindkét esetben 8 csomópontos hexaéderes hálót készítünk. Az elemek oldalmérete a hasáb esetében fixen 1 mm, míg a cső esetében közel 1 mm (a körívek követése miatt nem lehet tökéletes kocka). Ez biztosítja, hogy az elemek deformációinak mértéke összevethető legyen (2. ábra).



2. ábra: végelelemes modell (Forrás: saját szerkesztés)

3. EREDMÉNYEK

A következőkben megvizsgáljuk, egy egyik végén befogott, másik végén adott – tengelyével párhuzamos – nyomatékkaal terhelte cső elcsavarodásának mértékét (a csavarás vizsgálatára), benne a vizsgálati „elemi kockákkal”. Vizsgáljuk továbbá a nyírt téglatest torzulásait, benne szintén egy egységnyi kockával (a nyírás vizsgálatára) (3. a ábra). Vizsgálataink során kiderült, hogy egy harmadik, a nyírt téglatest viselkedését realisztikusabban leíró modellre is szükség van. Ebben a harmadik esetben nem tiszta nyírás valósul meg, hanem hajlítással párosult (összetett) igénybevétel (3. b ábra), így a téglatest belső pontjai a nyírás síkjára merőlegesen is el tudtak mozdulni. Ugyanerre az eredményre jutunk, ha elméleti szempontból is megvizsgáljuk ezt az esetet. Az alakváltozási munkák elemzése során a következő összefüggésre juthatunk [5]:

$$d\eta = \kappa \cdot \Delta x, \quad (8)$$

ahol κ a keresztmetszettől függő alaktényező, amelynek értéke derékszögű négyzögmetszet esetén 1,2.



3. a ábra: a nyírásra igénybevett hasáb x-irányú (piros nyíl) elmozdulásai [mm] (Forrás: saját szerkesztés)



3. b ábra: a felső lapján, azzal párhuzamosan terhelte hasáb x-irányú (piros nyíl) elmozdulásai [mm] (Forrás: saját szerkesztés)

A cső esetében a terhelést úgy határoztuk meg, hogy annak hatására a létrejövő csavaró feszültség (τ) pont 10 MPa értékű legyen (4. a ábra). τ értékének meghatározásánál figyelembe vettük, hogy a terhelés hatására ne haladja meg a keletkező feszültség az anyag folyáshatárát, a lineáris tartományon belül maradjunk. A szimuláció során használt anyagtulajdonságok: $E=2000$ MPa, $\nu=0,4$. A négyzögmetszetű hasáb esetén a hasáb alsó lapját fixen megfogtuk, a csomópontoknak az alsó lapra merőleges (z-irány, kék nyíl) elmozdulását lekötöttük. A terhelés pedig az alsó lappal párhuzamos (pozitív x-irány, piros nyíl), mértéke pedig úgy lett meghatározva, hogy az így adódó nyíró feszültség (τ) szintén pont 10 MPa értékű legyen (4. b ábra).

A szilárdságtani összefüggések alapján vizsgált csavart csővön és a nyírt, valamint nyírt és hajlított téglatesten végzett számítások eredményeinek összevetése látható a következő táblázatban:



		CSAVART CSŐ		HASÁB τ		HASÁB σ, τ
		ELMOZDULÁS/ 4 MM [MM]	γ SZÖGTORZULÁS [RAD]	ELMOZDULÁS/ 4 MM [MM]	γ SZÖGTORZULÁS [RAD]	ELMOZDULÁS/ 4 MM [MM]
Elméleti számítás eredményei		0,056	0,014	0,056	0,014	0,0672
VEM eredményei		0,0560004	0,0140001	0,056	0,014	0,0677382
Eltérés	[mm]	0,0000004	0,0000001	0	0	0,0005382
	[%]	0,0007142	0,0007142	0	0	0,7945

1. táblázat: az elméleti számítás és a végeleemes analízis eredményei (Forrás: saját mérés és számítás alapján)



4. a ábra: csavaró (τ) feszültség a cső felületén [MPa]
(Forrás: saját szerkesztés)



4. b ábra: nyíró (τ) feszültség eloszlása a hasábon [MPa]
(Forrás: saját szerkesztés)

Az eltérés értéke adódhat numerikus hibából is, továbbá hálósűrítéssel – az elemméretek csökkentésével – még pontosabb értékeket kaphatunk. A jelen eltérés azonban a valós modellen megvalósítható mérés hibahatárán belül van. Ezen kívül ez az eltérés kisebb, mint amekkora az anyag anyagtulajdonságainak szórása.

Az eredményeket tekintve jól látható (1. táblázat), hogy a tiszta nyírás és a tiszta csavarás elméletileg meghatározott értékei és a modellezés során kapott értékek is gyakorlatilag tökéletesen összevágának. Ez azt jelenti, hogy a tisztán nyírásra igénybevett hasáb tökéletes alternatívája a csavarásnak, ahogy azt az elején feltételeztük. Ez azt is jelenti, hogy a feltételezésünket sikerült bebizonyítani.

A csavart cső és „nyírt” hasáb analógia csak bizonyos fenntartásokkal kezelhető, használható.

Egy valós mérés során, a hasábon mért értékek adott – jól meghatározott – korrekcióval tökéletesen alkalmazhatóak.

Megállapítható továbbá az is, hogy egy hasábon végzett méréssel meghatározható a G nyíró (csavaró) rugalmassági modulus. A mérés során ugyan nem tudunk tisztán nyírt állapotot biztosítani, mivel σ feszültségek is fellépnek, azonban ezen σ feszültségek okozta deformáció ilyen feltételek mellett könnyen, gyorsan és pontosan számítható.

Fontos megjegyezni, hogy teljes bizonyosságot az analógiára csak ismert anyagtulajdonságú modelleken végzett valós kísérletekkel kaphatunk. ●

IRODALOM

- [1] Eszter Horvath, Gabor Henap, Gabor Harsanyi: Finite element modeling of channel sag in LTCC, Microelectronics International, Vol. 29 Iss: 3, (2012), p145–152
- [2] Ficzer Péter, Borbás Lajos: Gyorsprototípus-készítő eljárással gyártott termékek anyagtulajdonságainak meghatározása végeleemes analízis számára. GÉP 60: (10-11) pp. 36-39. (2009)
- [3] Ficzer Péter: Gyorsprototípus termékek tulajdonságainak meghatározása numerikus vizsgálatokhoz, 60 éves a Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, CD kiadvány, ISBN 978-963-313-040-7 (2011), 21 p.
- [4] Dr. Sályi B., Dr. Michelberger P.: Mechanika II. (Szilárdságtan), Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, p. 408.
- [5] Mutnyánszky Ádám, Szilárdságtan, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981, ISBN:963 10 359 13, p. 222–224.

Elektromos hajtású gépjárművek fejlesztésének és üzemeltetésének legfontosabb alapvetései, különös tekintettel a tömegközlekedés vonatkozásaira

DR. SIMONYI SÁNDOR

ügyvezető igazgató
(TRIGON Electronica Kft.)

PROF. DR. MATOLCSY MÁTYÁS

ny. fejlesztési főmérnök
(IKARUS)

A gépjárműfejlesztések kulcsszavai a fenntartható mobilitás, energiaellátás, környezetvédelem, működési veszteségek csökkentése, veszteségi energiák visszanyerése. E fogalmak aktualitása nem újkeletű, csupán a fenyegető problémák léte miatt erősebben rajzolódik ki. A fosszilis energiahordozók nagy részét belső égésű motorokban égetjük el. A kevésbé környezetszennyező közlekedés megvalósításához korszerű járművekre, alternatív üzemanyagokra és modern közlekedési rendszerekre van szükség. Kézenfekvő tehát, hogy jelen cikkünkben elsősorban a tömegközlekedést szolgáló alternatív hajtású járművek néhány kulcskérdésével foglalkozunk. Ezen cikk vezérvonala részben a konvencionális rendszerekkel való összehasonlítás, részben pedig az attól való eltérés kérdéseinek felvetése. E témakörön belül kiemelten foglalkozunk az elektromos hajtású járművek speciális kérdéseivel.

The key areas of vehicle development are sustainable mobility, energy supply, environment protection, reduction of operational losses, recovery of kinetic energy. These engineering doctrines are not completely new, they reveal stronger the threatening problem only. Great part of the fossil energy sources are burnt in internal combustion engines. Modern vehicles, alternative fuels and advanced transportation systems are needed towards less polluter traffic. It's obvious that this article focuses mainly on the use of electric vehicles in public transport. Leading idea of this article is partly comparison with conventional systems, partly raising the questions of their differences. We primarily deal with special questions of electric vehicles within this subject.

1. A GÉPJÁRMŰ-KÖZLEKEDÉS FEJLŐDÉSÉNEK MEGHATÁROZÓ SAROKKÖVEI

A globális klímaváltozás, a növekvő olaj- és nyersanyagárak, az egyre szigorodó emissziós normák, a közlekedésbiztonsággal kapcsolatos fokozódó követelmények a fenntartható mobilitás új megközelítését követelik meg.

Ahhoz, hogy megérthessük a globális klímaváltozás szempontjából alapvető folyamatokat, az egyes alternatív tüzelőanyagok és hajtások által nyújtott előnyöket-hátrányokat a holisztikus, vagy well-to-wheel (a „forrástól a kerékig”) típusú megközelítés követendő. Az **1. táblázatban** a konvencionális, a hibrid és az elektromos jármű teljes életciklusára vonatkozó CO₂-kibocsátás arányt szemléltetjük. [1]

A táblázatból láthatjuk, hogy az elektromos hajtást tartalmazó járművek ökológiai lábnyoma kedvezőbb annak ellenére, hogy a szükséges energiatárolók előállítása, újrafeldolgozása az esetek

többségében környezetszennyező. Az alacsonyabb üzemi emisszió a járművek célszerű felhasználhatósági körét meghatározza. Teljesen elektromos hajtású gépjárművek lokálisan nulla emisszióval rendelkeznek (ZEV – Zero Emission Vehicle), ezáltal elsősorban városi (tömeg)közlekedésben történő alkalmazásuk indokolt. Tényezőjük lassúságának oka a jelenlegi energiatárolással összefüggő korlátozott hatótáv, a magas vételár, az új technológiával szemben lévő vásárlói bizalmatlanság és a teljes életciklusukra vetített ökológiai lábnyom felemás megítélése.

2. A GÉPJÁRMŰ-TECHNOLÓGIÁK FEJLŐDÉSÉNEK NÉHÁNY FONTOS ÉS RELEVÁNS IRÁNYA

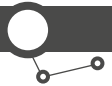
2.1 Konvencionális hajtások

Az uralkodó gépjármű-hajtástechnológia jelenleg egyértelműen a konvencionális üzemre alapul. A komponensek

	BECSÜLT CO ₂ -EMISSZIÓ A TELJES ÉLETCIKLUS ALATT [TONNA]	BECSÜLT CO ₂ -EMISSZIÓ A GYÁRTÁS ALATT [TONNA]	A GYÁRTÁS KÖZBENI CO ₂ -EMISSZIÓ ARÁNYA A TELJES ÉLETCIKLUS CO ₂ -EMISSZIÓJÁHOZ KÉPEST [%]
Konvencionális hajtású jármű (benzin- vagy dízelmotorral szerelt)	24	5,6	23
Hibrid jármű	21	6,5	31
Plug-in hibrid jármű	19	6,7	35
Akkumulátoros elektromos jármű	19	8,8	46

A közölt adatok 2015 járműre vonatkoznak 150 000 km-es futásteljesítményt alapul véve, 10% etanol és 500 g/kWh használata mellett

1. táblázat: különböző hajtású járművek CO₂-kibocsátása teljes életciklusuk során



permanens fejlesztése során egyre javulnak a hatékonysági mutatók és csökken a környezetszennyezés mértéke. Ez a folyamat a további idősakra is előrevetíthető. Emellett látni kell, hogy a konvencionális hajtású járművek területegységre vetített sűrűségének növekedésével súlyos ökológiai problémák következnek be. E probléma kezelésére a járműfejlesztés iránya újabb technológiák kidolgozására is irányul, melynek célja egy alternatív kínálat biztosítása. Ezt legmarkánsabban az elektromos hajtás társításával vagy kizárólagossá tételével igyekeznek kezelni.

2.2 Hibrid és elektromos gépjárművek várható térnyerése

A hibrid és elektromos járművek mérsékelt ökológiai előnyeit kissé árnyékolja ezen technológiát alkalmazó járművek teljes – a fejlesztési költségeket is magában foglaló – életciklusára kivetített fajlagos költsége. Ezzel kapcsolatosan csupán személygépjárművek vonatkozásában rendelkezünk adatokkal [2], mely szerint a konvencionális hajtású járművek költsége a teljes életciklus során 0,5...0,75 \$/mérőföld, hibrid járművek költsége ugyanebben a vonatkozásban pedig 3...3,3 \$/mérőföld között van. A kereslet várható növekedésének alapvető tényezője, hogy a gyártási költségek csökkenjenek, a szélesebb körű alkalmazás feltételei megteremtődjenek és az élettartamra vetített összköltség csökkenésével az üzemeltető érdekelt legyen az alternatív hajtású járművek üzemeltetésében. Ezen feltételek akkor teljesülnek majd, ha a komponensek fejlesztése és iparszerű reprodukálása képes teljesíteni ezen követelményeket.

2.3 Hajtástechnológiai jövőkép

Jelen időszakban nem lehet privilegizált megoldást kiemelni az ismert technológiák közül. A jelen kor realitásaihoz igazodóan az bizonyosan állítható, hogy az egyes hajtástechnológiák alkalmazásának lehetőségét és célszerűségét a működési környezet határozza meg. Távolsági közlekedésben ma a konvencionális hajtás, kisvárosi, elővárosi forgalomban a hibrid, nagyvárosi forgalomban pedig az elektromos hajtás alkalmazása jár a legtöbb előnnyel. Ezért az autóbusz-fejlesztés legjobb stratégiája célszerűen a családellví fejlesztés megvalósítása, amelyben megjelenik mindhárom hajtástechnológia alkalmazásának lehetősége. Az egyes „családtagok” közötti átjárhatóság pedig a legnagyobb mértékben biztosítva van. Ez különösen igaz az alvázrendszer fejlesztésére. A műszaki célszerűsége túl a családellví alkalmazása a fejlesztési kockázatot minimalizálja, az értékesítési lehetőségeket szélesíti, a gyártó számára pedig kedvező piaci pozíciót hoz létre. Jól átgondolt struktúraépítéssel elérhetjük a gyártási költségek csökkenését is.

Távlatokban ezen elv megtartásával valószínűsíthető, hogy azon komponensek, melyek fejlettségi szintje még kívánnivalókat hagy maga után, nagyívű fejlesztésen fog keresztülmenni. Ez azonban nem hoz alapvető struktúraváltást, de a családon belüli átrendeződést, hangsúly-átcsoportosítást bizonyára indukál majd.

A konvencionális hajtások vonatkozásában könyvtári nyitottság áll rendelkezésre. Ezért e helyen a lényegesen szerényebb ismeretanyaggal bíró alternatív hajtások egyes kérdéseivel foglalkozunk, melynek fókuszában a tisztán elektromos hajtású autóbuszok kulcskérdései állnak.

3. ELEKTROMOS HAJTÁSLÁNCÚ GÉPJÁRMŰVEK

1900-ban Ferdinand Porsche megalkotta az első forgalomban részt vevő elektromos hajtású autót (Porsche-Lohner Semper Vivus), melyben kerékagymotort alkalmazott. A technika akko-

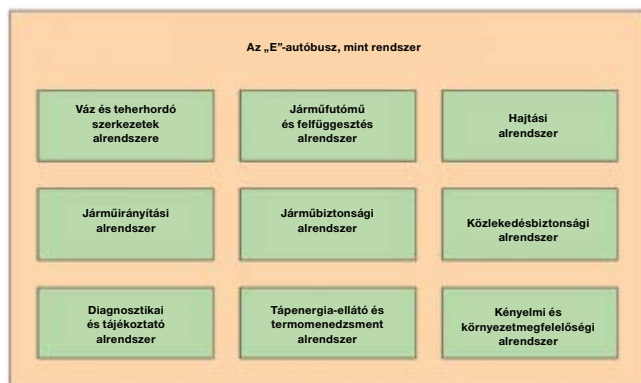
ri állása azonban nem volt képes maradéktalanul kielégíteni az igényeket, ezért az újfajta hajtási mód széles körű elterjedésére nem került sor. A fejlődés mérföldköveinek említése nélkül kerekén száz év múlva az IKARUS-ban megszületett a döntés, hogy el kell kezdeni elektromos hajtású buszok fejlesztését, mert „10 éven belül” (azaz 2010-ben) minden technikai feltétel adott lesz a széles körű alkalmazáshoz. Nem az IKARUS stratégiáinak felkészültségével volt probléma, hanem a technika akkori állását nem követte az a várt fejlesztési tendencia, amelyről akkor a bizonyosság szintjén beszéltek, majdnem ugyanúgy, mint ma. Napjainkban sem jutottunk el arra a szintre, hogy nem kötőtpályás járművek mindennapi használatra erős korlátozások nélkül alkalmasak legyenek. A problémákat főként az energiatárolás megnyugtató megoldásának hiányából következő viszonylag alacsony hatótávolság és a feltöltés problémája jelenti. Ezen problémákat elhallgatni nem lehet, mert hasonlóan álommá válhat egy alapvetően kíváncsi rendszer kialakítása. Egyébként az elektromos hajtás a legtisztább, legcsendesebb üzemeltetést biztosítja. A zéró emissziójú járművek alkalmazásával járó előnyök városi közlekedésben hatványozódnak. Részben ezzel is magyarázható, hogy az elektromos hajtású autóbuszok fejlesztésével és üzemeltetésével kapcsolatban fokozódó igény tapasztalható. Ezért e területen végzett kutatás-fejlesztés, partneri együttműködési rendszer kialakítása soha nem volt időszerűbb, mint napjainkban.

Az elektromos hajtású járművek városi tömegközlekedésben történő üzemeltetésének előnyei:

- nulla lokális emisszió, mérsékelt zajterhelés
 - a meghajtó motor élettartama kb. kétszerese a belső égésű motornak, karbantartási költsége alacsony és környezetszennyező kenőanyagot nem kell használni
 - kötőtpályás járműveknél a regeneratív fékezéssel elérhető hálózati visszatáplálás akár a 30%-ot is eléri, saját energiaellátású járműveknél pedig a fékezési energiát a saját energiatárolók töltésére lehet fordítani
 - a hajtáslánc hatásfoka jó
 - alacsony fordulatszámú is finom szabályozható nagy vonóerővel rendelkezik
 - fékenergia-visszanyerés miatt alacsony a fékbetétkopás és az ebből adódó porterhelés
- Hátrányai:
- táphálózati infrastruktúra (felsővezeték-hálózat vagy töltési pontok) kiépítése szükséges
 - a trolibusz üzemeltetésének egyik kulcsproblémája a kötött nyomvonal és a stabil, biztonságos kapcsolat a felsővezetékkel
 - csupán az akkumulátorral és szuperkondenzátorral ellátott járművek hatótávja alacsony
 - magas beszerzési ár
 - az energiatárolók a folyamatos fejlesztés ellenére még nem tökéletesek, élettartamuk korlátozott.

4. AZ „E”-AUTÓBUSZ MINT RENDSZER

Az „E”-autóbusz a konvencionális hajtásláncú autóbushoz hasonlóan egy befelé zárt, kifelé nyitott közlekedőrendszer, melyet önállóan is intelligens alrendszerek alkotnak. Az alrendszerek egymással, a jármű vezetőjével, illetve esetenként külső irányítási rendszerekkel állnak kapcsolatban. Különböző autóbuszok lényegében azonos rendszerstruktúrát tartalmaznak, bár az egyes alrendszerek funkcióban hasonló, de felépítésüket tekintve eltérőek lehetnek. A **1. ábrán** egy „E”-autóbusz rendszerstruktúráját vázoljuk.

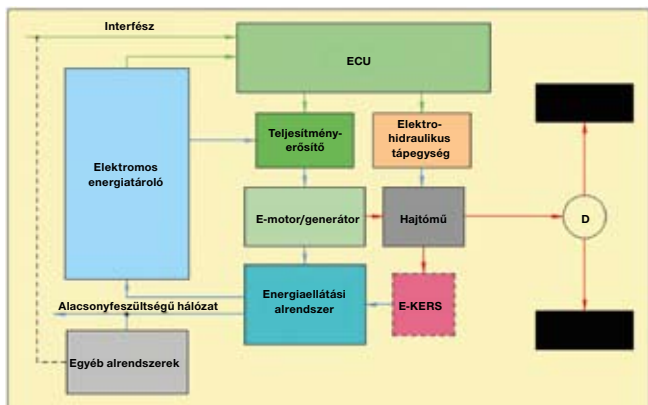


1. ábra: „E”-autóbusz alrendszerei

A továbbiakban az „E”-autóbusz azon két alrendszerével kívánunk foglalkozni, amelyek lényegesen eltérnek a konvencionális hajtásúaktól. Ezek a hajtási, valamint az energiaellátási és termomenedzsment-alrendszerek.

4.1 Hajtási alrendszer

Konvencionális járműveknél a hajtási alrendszer két részre bontható. A fogalom szűkebb értelmezése szerint a hajtási alrendszeren a hajtásláncot értjük, a bővebb értelmezés szerint ide soroljuk a segédhajtások körét is. Elektromos hajtású járműveknél tekintettel arra, hogy a segédhajtások nem törvényszerűen a főhajtásból ágaznak le, kissé más a helyzet. E tekintetben a decentralizált lokálisok a jellemzőek, vagyis nem kizárólag a főmotor feladata a segédhajtások biztosítása (szervoszivattyú, klímakompresszor, sűrített levegős hálózat kompresszora stb.). E helyen a



2. ábra: elektromos hajtási alrendszer

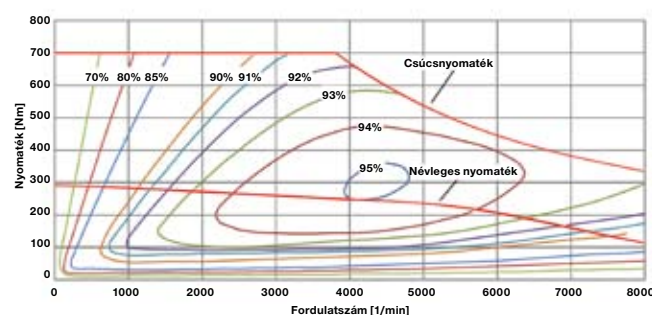
rendelkezésre álló hely korlátozott terjedelme miatt csupán az elektromos főhajtással, azon belül a hajtáslánc intelligens elemeivel foglalkozunk. Elvi, lehetséges kialakításának vázlatát a **2. ábrán** láthatjuk.

4.1.1 A hajtáslánc főbb komponensei

a, Elektromos forgógépek

A jármű erőforrásként alkalmazott motorok eltérő kivitelűek lehetnek. A hajtáshoz egyenáramú motor mellett többnyire háromfázisú aszinkron villanymotort építenek a járműbe, de a háromfázisú szinkron és külső gerjesztésű motorok is elterjedtek [3]. Az elektromos gépek közvetlen összehasonlítását a **2. táblázat** tartalmazza.

Az E-motor jó hatásfokú, nagy teljesítménysűrűségű és a járműhajtásra kedvező karakterisztikával rendelkezik. Nagy az indítónyomatéka, és az üzemi nyomatéka is széles fordulatszám-tartományban rendelkezésre áll. A villanymotor alkalmazása mellett szól kiemelkedő hatásfoka is, mely az üzemi tartományban meghaladja a belső égésű motorok hatásfokának kétszeresét. Áramfelvétele a leadott nyomatékkal arányos. Fordulatszáma jól szabályozható. A **3. ábrán** példaként bemutatott állandó mágneses szinkron motor (PMSM) jelleggörbéjét láthatjuk. [4]



3. ábra: villanymotor nyomatéka, hatásfoka a fordulatszám függvényében

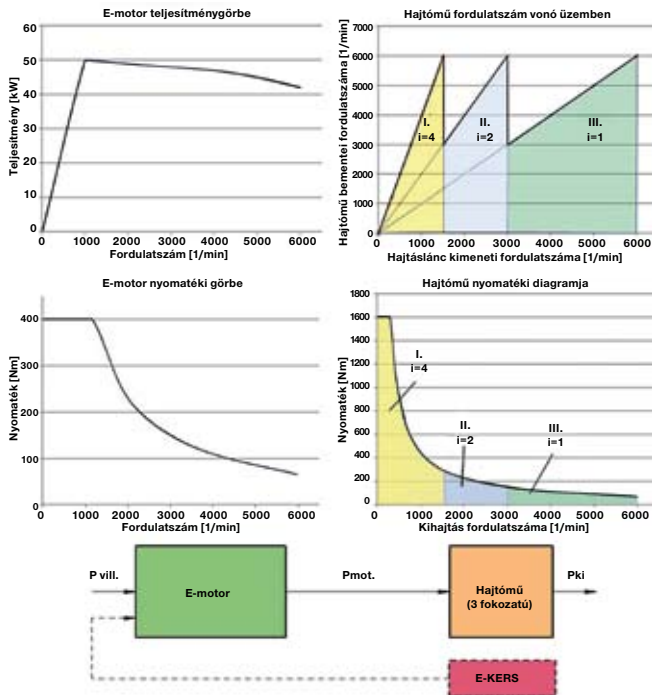
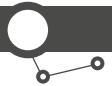
Alapvetően háromféle villanymotor-elhelyezési lehetőségről beszélhetünk. Lehetséges a központi, tengelyenkénti és kerekenkénti (kerékagymotor) elhelyezés.

b, Hajtómű

Az E-motor általi direkt hajtás is megvalósítható, sőt kezdetben csak ez volt a jellemző. A tömeg, hatásfok, teljesítmény, áramfelvétel optimalizálásának érdekében azonban célszerű hajtóművet is beiktatni a hajtásláncba. Az E-motor karakteristikájának köszönhetően alacsony (2-3) fokozatszámú, erőfolyam-megszakítás nélküli hajtóműre van szükség, amely

	KEFÉS DC MOTOR (BCD)	ASZINKRON GÉPEK	ÁLLANDÓ MÁGNESES KEFENÉLKÜLI MOTOR (BLDC)	ÁLLANDÓ MÁGNESES SZINKRON MOTOR (PMSM)	RELUKTANCIA MOTOR (SRM)
Hatásfok	--	+	+	++	++
Max. fordulatszám	--	++	+	++	++
Helyigény	--	+	+	++	+
Tömeg	--	+	+	++	+
Meghajtóelektronika költségigénye	++	+	++	+	+
Ár	-	++	-	--	++
Jelmagyarázat	-- : előnytelen - : kevésbé előnytelen + : előnyös ++ : kiemelkedő				

2. táblázat: elektromos gépek jellemzői

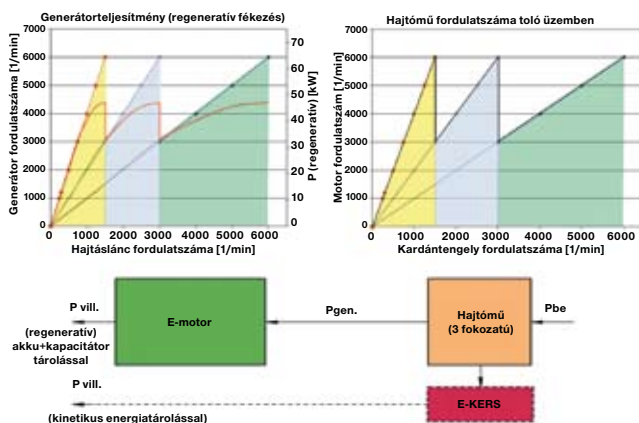


4. ábra: elektromos hajtás jellemzői vonó üzemben

célszerűen egy szerkezeti egységet képez a motorral. A hajtómű vonóüzemi jellemzőit a **4. ábrán**, a tolóüzemét az **5. ábrán** láthatjuk.

Az ábrákon látható jelleggörbék általunk önkényesen választott, háromfokozatú hajtóműre igazak. Konkrét esetben a hajtómotor nyomatékkészletét a hajtás nyomatékgigényével kell összevetni, és az energetikai szempontok figyelembevételével kell meghatározni a fokozatok számát és a módosítás optimális értékét.

A jármű energiafelhasználásának szempontjából az egyik legkritikusabb üzemállapot az elindulás. A konvencionális hajtáshoz képest itt két komoly előnyt rögzíthetünk. Az egyik, hogy a villanymotornak a 0 fordulatszám is üzemállapota lehet, ezért értelemsszerűen felesleges a tengelykapcsoló beépítése. A másik előny pedig az, hogy nagy indítónyomatékkal rendelkezik, így már alacsony fordulaton és viszonylag széles fordulatszám-tartományban nagy nyomaték kifejtésére képes, tehát kvázi leképezi a jármű vonóerőigényét.



5. ábra: elektromechanikus hajtás tolóüzemben

Az E-motort generátoros üzemmódban alkalmazva a jármű mozgási energiája villamos energiává konvertálható, amely tolóüzemben kifejezetten előnyös. Lejtmenetben, ill. a jármű fékezésakor a veszteségi energiát hasznosító retarderként működik, így az energia-visszanyerésen kívül az üzemi fékberendezés igénybevételét és kopását is csökkenti.

Hajtómű közbeiktatásával a nyomaték-fordulatszám konverzió tovább javítható. Vonóüzemben úgy növeli a hajtónyomatékokat, hogy csökkenhet a felvett áram, ill. kisebb teljesítményű motor is megfelelővé válhat. Tolóüzemben a generátorként működő villamos gép a visszakapcsolások révén magasabb fordulatszámmal forog mint a kardántengely, és a magasabb fordulatszám hatékonyabb generátorműködést eredményez.

A hajtómű kialakítására egy további lépés is elképzelhető, ez pedig a kinetikus energia-visszanyerő rendszer (KERS) beépítése. Az **5. ábrán** szaggatott vonallal jelöltük. Ezen egységek és a hozzájuk tartozó kiszolgálórészek hálózatba való összekötésével hozzuk létre a hajtási alrendszert.

4.2 Tápegység-ellátó alrendszer (energiatároló, szabályzó- és átalakítómenedzsment)

A tisztán elektromos hajtású járművek a villamosenergia-ellátás módja szerint lehetnek hálózathoz kötöttek, saját energiatárolóval rendelkezők, ill. léteznek ezek célszerű kombinációi is.

a, Hálózathoz kötött energiaellátás

Hálózathoz kötött elektromos hajtású jármű a működéséhez szükséges energiát külső hálózatról kapja, mellyel üzem közben folyamatos kontaktusban áll. Legismertebb képviselője a trolibusz. A kötőpályás közúti közlekedési eszközök alkalmazása csakis tömegközlekedési járművek körében jöhet szóba.

b, Teljes energiatárolás

Teljes energiatárolás esetén a jármű az energiaigényét a járműben elhelyezett energiatároló-csomagból fedezi. A tárolóegységek energiatöltése történhet telephelyi töltőállomáson telepített energiahálózatról, de ismertek olyan megoldások is, ahol a lemerült akkumulátorokat egyszerűen feltöltöttökre cserélik. A jármű fékezése közbeni energia-visszatáplálás segítségével veszteségi energia visszanyeréssel szintén tölthetők az energiatárolók.

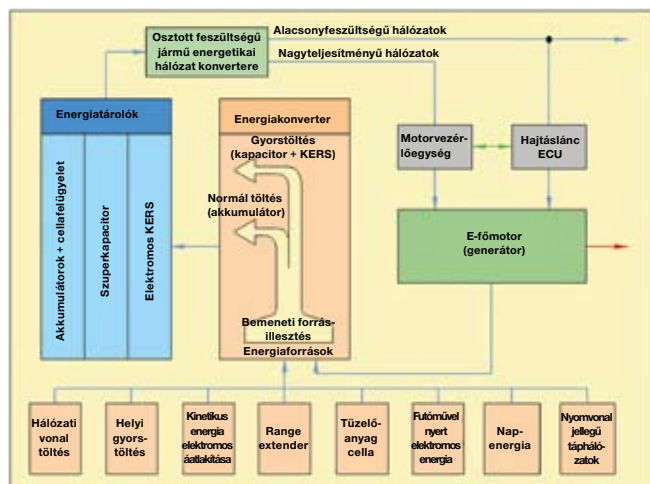
c, Részbeni energiatárolás

A részbeni energiatárolás a lokális és a hálózathoz kötött megoldásokat egyesíti. Akkumulátor mellett szuperkondenzátort alkalmazva a jármű tömegét csökkenteni lehet, és a töltés időigénye is rövidül. Ezért gyakori (akár buszmegállóban történő) a gyorsított töltés alkalmazása. E célra a buszöbölben elhelyezett felső tápellátó síneket vagy alsó, főként kontakt nélküli, ún. csatlakozó pontokat alakítanak ki. A töltés a buszöbölben történő várakozás alatt, pl. a busz áramszedőjén keresztül történhet. Elindulás előtt az áramszedő a busz tetősíkjába visszahúzódik. A megoldás előnye jó hatásfokban és relatív egyszerűségében rejlik. Pl. Hongkongban a Kowloon Motor Bus folytatott ilyen irányú teszteléseket.

Emellett léteznek olyan vegyes megoldások, ahol a villamos energia járművön való előállítását range extenderrel vagy üzemanyagcellával oldják meg. Ezek nem energiaforrások, hanem olyan kompakt szerkezeti egységek, amelyek termodinamikai, illetve elektrokémiai folyamatok eredményeként elektromos energiát állítanak elő.

4.2.1 A tápegység-ellátó alrendszer felépítése

A tárolóelem(ek)nek alkalmasnak kell lenni a rövid ideig tartó nagy intenzitású energiaimpulzusok és a hosszú ideig tartó alacsony szintű energiák fogadására. Elektromos hajtású járműveknél ez



6. ábra: tápegység-ellátó alrendszer

a kissé bonyolult és összetett folyamat egy önálló alrendszerben ölt testet. A **6. ábrán** a termomenedzsment nélküli alrendszert mutatjuk be. (A termomenedzsment elvi ismertetésére egy külön alfejezetben kerül sor.)

Az energia-előállítás zöld kivitelezésével (nap-, szél-, víz-, geotermikus energia felhasználása) az elektromos jármű emissziója abszolút értékben is konvergálhat a nullához, de iparszerű alkalmazása ma még csak „egy jó gondolat”.

4.2.1 Elektromosenergiatárolás-járművekben

Teljes vagy részbeni energiatárolású elektromos járművekben az elektromos energia tárolására akkumulátorokat, szuperkapacitorokat, ill. kinetikus energiatárolót alkalmaznak.

a, Akkumulátorok

Az akkumulátorok hosszan tartó, alacsony intenzitású elektromos energia tárolására alkalmasak. Nagy energia-, de alacsony teljesítménysűrűséggel jellemezhetők. A gépjárművekbe szerelt, több száz volt feszültséget szolgáltató akkumulátoregységek blokkokból, a blokkok pedig cellákból állnak.

A különféle akkumulátorok jellemzőit [5] a **3. táblázatban** foglaltuk össze:

Akkumulátorok alkalmazásának jellemzői:

- Nagy energiasűrűség, nagy tömeg
- Előállítása drága (ritkaföldfémek alkalmazása)
- Korlátozott töltési sebesség
- Környezeti hatásokra, üzemelési körülményre és az igénybevétel minőségére érzékeny, élettartama rövid (~5–7 év)

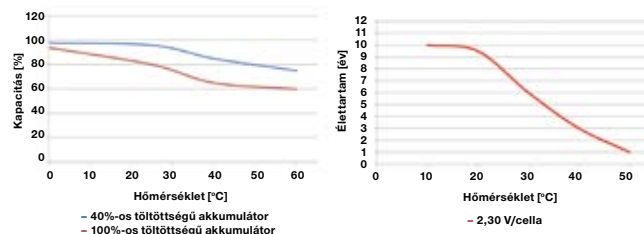
Akkumulátortechnológia megoldatlan kérdései:

- Méret, tömeg csökkentése
- Energia- és teljesítménysűrűség-növelés

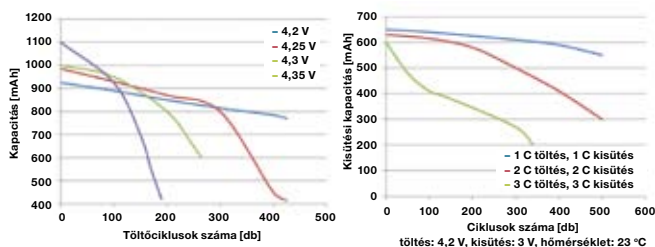
- Utókezelés, újrahasonosíthatóság
- Gyorstöltés megoldása

Az akkumulátorok élettartamát befolyásoló tényezők:

Az akkumulátorok élettartamát alapvetően a működési környezet hőmérséklete, a töltés és a kisülés minősége határozza meg [6] (Lásd 7. és 8. ábrákat).



7. ábra: hőmérséklet hatása az akkumulátor élettartamára



8. ábra: töltés és kisülés áramerősségének hatása az akkumulátor élettartamára

Az akkumulátor hőmérsékletének növekedésével csökken a várható élettartama, de az ideális hőmérséklettől alacsonyabb hőfokon történő üzemeltetés is károsan hat.

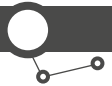
Az akkumulátorokra vonatkozó fenti ismeretanyag reményeink szerint nem tükrözi tökéletesen a jelenlegi helyzetet, mert ha így lenne, akkor lényegesen alacsonyabb ívű elképzeléseket lehetne megfogalmazni a jövő elektromos hajtásával szemben, mint azt szeretnénk. Bizonyosan léteznek az akkumulátortechnológia fejlesztésének olyan eredményei, amelyek – lehet, hogy ma még nem iparérettek – de megalapozhatják az energiatárolás megnyugtató megoldását.

b, Ultrakapacitorok

Az ultrakapacitorok nagy teljesítmény- és alacsony energiasűrűségüknek köszönhetően rövid ideig tartó, magas intenzitású elektromos energia tárolására alkalmasak. A villamos energiát elektrosztatikusan tárolják. Mivel nem játszódik le bennük kémiai reakció, ezért ciklusszámuk akár az egymilliót is elérheti. Cellafeszültségük kialakítástól függően 2,5–2,7 V. A cellákból álló modulok jellemzően 16–125 V feszültségűek. Kapacitásuk akár

AKKUMULÁTOR	CELLAFESZÜLTSG [V]	TÖLTÉSI-KISÜLÉSI CIKLUSOK SZÁMA	ÖNKISÜLÉS [%/HÓ]	ENERGIASŰRŰSÉG [WH/KG]	HATÁSFOK [%]
Ólom	2,1	500–800	3,4	30–40	70–92
Zárt ólom	2,1	500–800	-	30–40	70–92
Nikkel-kadmium (NiCd)	1,2	1500	20	40–60	70–90
Nikkel-metál-hidrid (NiMH)	1,2	1000	20	30–80	66
Lítium-ion (Li-ion)	3,7	1200	5,1	160	99,9
Lítium-polimer (Li-polymer)	3,7	500–1000	-	130–200	99,8

3. táblázat: akkumulátorok jellemzői



az 5000 F-ot is elérheti [7]. Energiasűrűségük alacsony (0,9–6 Wh/kg), ellenben teljesítménysűrűségük magas (1100–14 000 W/kg). Míg az akkumulátorok hosszabb ideig tudnak relatíve nagy energiaigényt egyenletesen kiszolgálni, addig az ultrakapacitorok rövid ideig tartó nagy teljesítmény leadására alkalmasak. A környezeti hőmérséklet változására kevésbé érzékenyek, mint az akkumulátorok, a töltésük és a kisütésük hatásfoka magasabb, nem érzékenyek hirtelen fellépő nagy áramokra és az úgynevezett mikro- és mélykisütésekre sem. Az akkumulátorok maximálisan várható 5–7 év élettartamával szemben az ultrakapacitorok élettartama összemérhető a jármű életciklusával. Jól kiegészíthetik egymást az akkumulátorokkal.

c, KERS (Kinetic Energy Recovery System)

KERS-rendszerrel felszerelt hajtáslánc fő erőssége a nagy teljesítménysűrűség, a viszonylag kis tömeg és kubatúra. Az F1-es Williams Team munkájának köszönhetően napjainkban már hatékonyra vált ez a régen ismert technológia, mely a veszteségi energiák kinetikus formában történő tárolására alkalmas. A rendszer működésének lényege, hogy tartós lejtmenet vagy fékezés esetén a jármű „felesleges” mozgási energiáját a lendkerék nagy fordulatszámra való felpörgetésére fordítják, mely kinetikus energia formájában kerül tárolásra. A jármű elindulásakor vagy gyorsításakor ezt az energiát visszatáplálják a rendszerbe. Rövid ideig tartó, magas intenzitású energia, mechanikus (elektromechanikus) tárolására alkalmas. Alapvetően kétféle irányvonal – illetve ezek kombinációja – bontakozott ki a rendszer fejlesztése során.

Az egyik megoldásban tolóüzemben a lendkereket tengelykapcsolón és hajtóművön keresztül felpörgetik, majd ugyanezen az erőfolyamlánon a kinetikus energiát visszavezetik a hajtásláncba. Ez a megoldás a tengelykapcsoló és a folyamatosan változtatható áttételű egység (CVT) igen nagy mechanikai igénybevételét okozza, különösen ott, ahol jelentős energiamennyiség tárolására van szükség. Ennek ellenére CVT-vel társított KERS alkalmazható autóbuszokban is. Ilyen megoldást mutatott be a Torotrak–Allison a kísérleti Flybuszon, ahol a KERS segítségével a járművet fel lehet gyorsítani álló helyzetből a főmotor használata nélkül. [8]

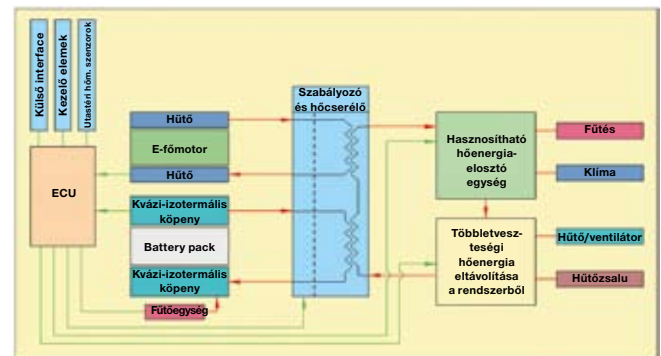
A másik megoldásnál a lendkerék tulajdonképpen egy nagy fordulatszámú villamos forgógép rotorja. Az energiátárolás úgy történik, hogy toló üzemben a hajtáslánc generátora által keltett elektromos árammal felpörgetik a KERS lendkerekeit. Energia-visszavezetéskor pedig a KERS nagy sebességgel forgó rotorjának mozgási energiája generátoros üzemben a hajtáslánc villanymotorját táplálva a jármű hajtására fordítódik. Ez utóbbi energia-visszanyerés sokkal finomabban szabályozható. A KERS fejlesztési iránya egyértelműen ez utóbbi módszer alkalmazásával képzelhető el.

Megjegyezni kívánjuk, hogy a KERS alkalmazásának gondolata mintegy 25–30 évvel ezelőtt már felmerült az IKARUS-ban is, de akkor még szerkezeti problémák miatt nem lehetett elérni magas lendkerék-fordulatszámot, ezért a tárolható energia is kevés lett volna. A másik probléma az volt, hogy a technika adott színvonalán csupán mechanikus nyomatékátvitelben lehetett gondolkodni a sokkal jobb elektromos átvitel helyett.

4.2.3 Zártkörű termomenedzsment-alrendszer

Az alkalmazott nagy teljesítményű elektronikai komponensek működése közben jelentős disszipációs hőenergia keletkezik, melynek elvezetése, illetve lehetőség szerinti újrahasznosítása alapvető feladat. Az akkumulátorok tulajdonságainak ismertetésénél már tárgyalásra került, hogy optimális üzemelésükhöz megfelelő környezeti hőmérséklet szükséges. A termomenedzsment fő feladata ebből adódóan az akkumulátor-csomag, az inverter és a villanymotor(ok) szükség szerinti hűtése, a többlet hőenergia elvezetése. Ez történhet lég- vagy vízűtés segítségével. Az elektromos energiátárolók fűtésére is szükség lehet, biztosítva

az üzemi hőmérsékletre érzékeny egységek optimális termokörnyezetét. Az akkumulátor-csomag ezen megfontolás alapján kvázi-izotermális feltételeket biztosító köpennyel célszerű burkolni, amelyen belül az akkumulátorok használata közben termelődő hő elvezetése, valamint szükség esetén azok fűtése is megoldható. A termomenedzsment-egységbe rendelt komponensek körében a hőenergia az utastérfűtés, klimatizálás vonatkozásában hasznosul. A zártkörű termomenedzsment-alrendszer blokkvázlatát a **9. ábrán** mutatjuk be. A zöld nyilak a szabályzó és vezérlőjelek, a piros nyilak, vonalak a hőenergia útját mutatják.



9. ábra: zártkörű termomenedzsment-alrendszer

5. Néhány, környezetünkben megismert elektromos hajtású autóbusz

a, IKARUS trolibuszok [9]

Az IKARUS nemcsak az autóbuszgyártásban volt az első között a gyártási volument illetően, hanem a trolibuszgyártásban is. Készültek szóló és csuklós trolibuszok is. Megjegyezzük, hogy az 1990-es évek közepén kifejlesztett 411T és 412T alacsony padlós típusnak megjelenésekor még nem volt versenytársa a piacon a jármű teljes hosszán alacsony padlószintje, légűtéses invertere miatt (**10. ábra**).



10. ábra: IKARUS 411T és 412T

b, IKARUS-VKI 260/1 és 260/2 elektromos busz [10]

1971-ben a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) 2 db elektromos busz megépítésére vállalkozott. A buszok alapjául az IKARUS 260.00 típus szolgált. A busz főhajtását villanymotor biztosította, melynek energiaellátására akkumulátorokat építettek be. Az autóbusz rendelkezett egy olyan segédhajtással is, melyhez hasonló ma is használnak trolibuszokban. Ezt egy Ford dízelmotorral hajtott egység biztosította. A villanymotor energia-visszatáplálás megvalósítására is alkalmas volt, igaz a technika csak szerény mértékben tette lehetővé. A busz eredeti főhajtóművét kicserélték a Rába szovjet trolibuszokhoz gyártott főhajtóművével. A generátor által termelt váltakozó áramot háromfázisú egyenirányító híd alakította egyenárammá. A villamos energiatárolást ólomakkumulátorokkal oldották meg, melyeket a Villamos Berendezés és Készülék Művek (VBKM) gyártotta. A két buszba eltérő teljesítményű motorokat építettek be, és ennek megfelelően az ezeket tápláló áramátalakítók is különböztek.



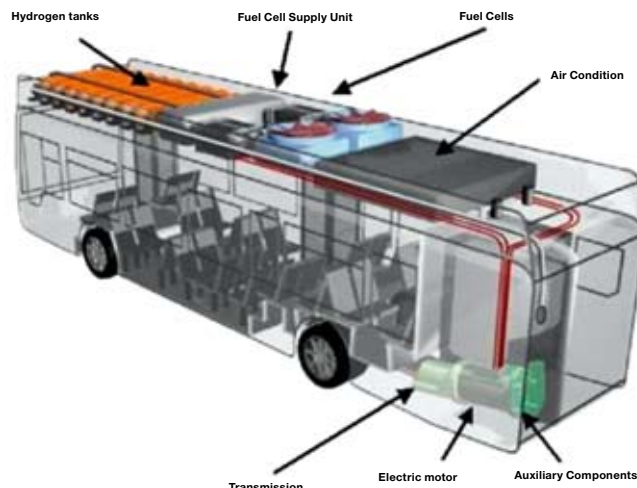
11. ábra: IKARUS-VKI elektromos autóbusz

Az IKARUS 260/1 elektromos buszban Ganz Villamossági Művek (GVM) TK 44 típusú, soros egyenáramú motor került alkalmazásra. A motort a VKI-ban kifejlesztett tirisztoros frekvenciaváltó táplálta. Az IKARUS 260/2 elektrobuszba (11. ábra) az Egyesült Villamosgépgyár (EVIG) RHX 225 V2 típusú, kétpólusú, rövidre zárt forgórészű aszinkron motorja került beépítésre. A legnagyobb motoráram 495 A volt 470 Nm indítónyomaték leadása esetén. 1976-ig ez volt a legnagyobb teljesítményű inverteres hajtás, ami Magyarországon készült. A busz legnagyobb sebessége 52 km/h, napi futásteljesítménye 240 km, a szállítható utasok megengedett száma 55 volt [11]. A csökkentett szállítható utasszám a hajtáslánc és az ólomakkumulátorok miatt megnövekedett önsúly terhére róható fel. A konvencionális hajtású IK 260 típusokhoz képest csak szerény üzemeltetési költségmegtakarítást értek el a próbaüzemek során. Utasokat soha nem szállított.

c, Mercedes tüzelőanyag-cellás busz

A tisztán elektromos hajtással működő buszok ígéretes képviselői a tüzelőanyag-cellás járművek. A személyautókkal ellentétben buszokon a tüzelőanyag-cella alkalmazása nagyobb szabadságfokkal és kedvezőbb fejlesztési és építési lehetőségekkel rendelkezik. A Mercedes-Benz már 1997-ben DC NEBUS (New Electric Bus) néven elindította első városi tüzelőanyag-cellás tömegközlekedési járművét. A busz második generációjára (CITARO, 12. ábra) 2002-ig kellett várni. Ez egyben az első kis szériás tüzelőanyag-cellás busz volt. [12]

A CITARO menetteljesítményére jellemző, hogy 0–50 km/h-ra 16 s alatt képes felgyorsulni. Központi aszinkron motorja 600 V feszültség mellett 195 kW névleges teljesítmény leadására ké-



12. ábra: Mercedes CITARO röntgenképe

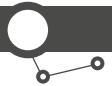
pes [4]. A hidrogéntartályok újratöltésének időszükséglete 15 perc. A hidrogén előállítása zöld energia alkalmazásával történt a jármű prototípusainak 2 éves tesztperiódusa során (Stockholm – vízenergia, Barcelona – napenergia, Hamburg – szélenergia, Reykjavík – geotermikus energia, Amszterdam – biomassza). A Mercedes mellett a Toyota (Toyota Hino) és a MAN (MAN NL-223) is bemutatott saját tüzelőanyag-cellás autóbust.

d, Cseh SOR EBN 10.5 elektromos autóbusz [13]

A járművet (13. ábra) a BKV Zrt. egy hétig tesztelte. Erőforrása 1 db 120 kW/400 V AC vízzel hűtött 3-fázisú aszinkron motor, melynek szabályzását korszerű technológiával oldották meg. A működéshez szükséges energiát 172 kWh kapacitású lítiumion FePO_4 akkumulátorok tárolják. Lassú töltése 32 A áramerősséggel 6–8 óra, speciális töltőt igénylő gyorsöltése pedig 250 A áramerősséggel egy óra alatt történhet. Minden harmadik gyorsöltést lassú töltésnek kell követnie az akkumulátorok kímélése érdekében. A műszakkezdéskor 100%-ban feltöltött akkumulátorok a nap végére 45%-os töltöttségi szintre estek vissza. Az autóbusz átlagos fogyasztása: 0,84 kWh/km volt a tesztidőszak alatt. Az autóbust a 120 kW-os motor kellő dinamikával mozgatta, a fékhatás megfelelő mértékű volt.



13. ábra: SOR EBN 10.5



e, A kínai BYD K9 –e BUS-12 [14]

Az eBUS-12 (**14. ábra**) egy kínai gyártó, a BYD terméke. A működéshez szükséges energiát LiFePo₄ akkumulátorok tárolják. Az akkumulátorok töltése a jármű gyártója által biztosított töltőberendezés segítségével lehetséges. Ezzel 63 A áramerősséggel 4 óra alatt tölthetők az akkumulátorok olyan szintre, mellyel – a terepviszonyoktól és az utasok számától függően – 200–250 km megtétele lehetséges rátöltés nélkül. Az energiaellátást áram-viszszatápláló fékrendszer is segíti. A 2x90 kW-os, vízhűtéses, 3 fázisú aszinkron motorok szabályozása szintén korszerű. A jármű végsebessége eléri az óránkénti 70 km/h-t. A jármű gyorsulása dinamikus, a forgalom ritmusa könnyen felvehető, könnyedén manőverezhető, menettulajdonságai jók, a gyorsulása egyenletes a tesztelő BKV Zrt. véleménye szerint.



14. ábra: BYD K9 elektromos autóbusz

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A jövő járművét az energiatakarékosság, a csekély környezetterhelés, a kedvező ár és a megfelelő járműdinamika biztosítása jellemzi majd. Döntő mértékben újrahasznosítható anyagokat tartalmaz. A hajtásrendszer kompakt felépítésű és csökkentett tömegű lesz. A környezetterhelés mérséklése céljából kenőanyagigénye minimális. Az elektromos és hibrid járművek esetén a fejlesztés fókuszában az elektromos energiaellátás áll, melynek forrása környezetbarát forrásokból származik. A hajtásrendszer típusát illetően privilegizált megoldás nincs, a közeljövőben nem is lesz. A konvencionális hajtásrendszer továbbra is domináns marad, de előnyben részesíthető alternatív megoldások már léteznek, amelyek látványos fejlődése jól érzékelhető. Egyre több és hosszabb városi közlekedési vonalon jelennek majd meg elektromos hajtású járművek, ami a beszerzési árak csökkenését fogja generálni.

Az autóbuszgyártók részéről ezért célszerűnek mutatkozik olyan moduláris autóbuszcsaládok kialakítása, melyek közös platformot, de eltérő hajtásrendszert alkalmaznak, ezáltal széleskörűen lefedik az igényeket.

A téma összetettsége miatt e helyen csak rövid helyzetbemutatóra nyílt lehetőségünk. Igyekeztünk minden fontos tényezőre kitérni, bár egészen biztos, hogy egyes fejezetek, alfejezetek részletesebb kifejtése kívánatos lenne, de a terjedelmi korlátok miatt e helyen ezt nem tehetjük meg. Ennek ellenére levonhatjuk azt a következtetést, hogy a hibrid és teljesen elektromos hajtású járművek térnyerése a háttérpar fejlődésével vélhetően egyre gyorsuló ütemben valósul meg. Ebből következik, hogy elengedhetetlen és halaszthatatlan a kapcsolódó K+F, szakirányú oktatás-képzés, üzemeltetési és energiaellátási ismeretek megszerzése, ezen kompetenciakörök rendszerbe szervezése, mert e nélkül az új technika kutatás-fejlesztésében, megismerésében és fogadásában nem lehetünk versenyképesek. ●

IRODALOM

- [1] RICKO – UK Low Carbon Vehicle Partnership Announcing Report
- [2] CNWM Marketing Research – Dust to dust – Automotive Energy Use
- [3] Dr. Emőd István–Tölgyesi Zoltán–Zöldy Máté: Alternatív járműhajtások, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006
- [4] EVO Electric AF-250-5 katalógus
- [5] BME Villamosenergetikai Tanszék – Nemkonvencionális technikák és módszerek – Energiatárolás és szünetmentes ellátás – Akkumulátor (előadás-vázlat)
- [6] Internet: www.mpoweruk.com
- [7] Maxwell Technologies – Ultracapacitors – Product Comparison Matrix.pdf
- [8] Internet: www.torotrak.com
- [9] Internet: www.inipius.blog.hu
- [10] Internet: www.omnibus.blog.hu
- [11] Prof. Dr. Matolcsy Mátyás, az IKARUS nyugalmazott főkonstruktőrének személyes archívuma
- [12] Internet: www.murdoch.edu.au
- [13] Budapesti Közlekedési Vállalat Zrt. – SOR EBN 10.5 jelentés
- [14] Budapesti Közlekedési Vállalat Zrt. – Byd lezáró jelentés

Potenciális válság-előrejelző modell és eljárás megalapozása és kidolgozása járműipari indikátorok felhasználásával

STUKOVSKY TAMÁS

PhD. hallgató,
Budapesti Corvinus Egyetem

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
BME-EJTT

HÁMORI LÁSZLÓ
okl. gépészmérnök,
Duna-Autó

A 2008-as krízisből a mai napig nem sikerült teljesen kilábalni a világgazdaságnak. Tovább nehezíti a helyzetet az Európai Unió tagállamainak és az eurónak mint fizetőeszköznek válságos időszaka. A különböző válságok tudományos alapú előrejelzése nagyban csökkenthetné a válságokból fakadó veszteségeket és károkat. Cikkünkben egy olyan potenciális válság-előrejelző modellt kívánunk megalapozni, amelyhez a legfontosabb járműipari indikátorokat felhasználva átláthatjuk és megérthetjük a járműipar összetettségét, valamint fontos jellemzőinek, a gazdasági mutatóknak a kapcsolatát, és amely alapjául szolgálhat egy jövőbeli válság-előrejelző modell és eljárás kialakításához.

The world's economy could not totally recover of the great economic crisis of 2008 so far. The crisis of the Euro as a currency and the European sovereign-debt crisis are worsening the current state of the world economy's potential predictions. The academic predictions and calculations about potential crises could derogate the losses and damages generated by different crises. In this article we would like to establish a potential crisis forecaster model and method using the most important indicators of the automotive industry. With this method we can understand the strong correlations and correspondence between the economic and automotive indicators, that can lead us to a complex crisis forecaster model.

BEVEZETÉS

Az 1980–90-es évek jellemzően a kiegyensúlyozott növekedésről és a globalizálódó világgazdaságról szólnak – még ha előfordultak megingások is (mexikói válság, harmadik generációs válságok, csernobili katasztrófa), azok ritkán jelentkeztek – a 2000 óta bekövetkezett válságok gyorsabb ütemben követték egymást. Amíg a '80-'90-es évek krízisei főleg egy-egy régióra fejtették ki hatásaikat, addig az ezredforduló utáni válságok szinte kivétel nélkül túlmutattak egyes régiókon, sőt, a 2008-as válság egyértelműen világválságként definiálható. A 2008-as krízisből a mai napig nem sikerült teljesen kilábalni a világgazdaságnak. Tovább nehezíti a helyzetet az Európai Unió tagállamainak és az eurónak mint fizetőeszköznek válságos időszaka. Belátható, hogy meg- egyezés hiányában bizonyos tagországoknak az eurózónából való kiszakadása is elképzelhető, ami az európai gazdaság újbóli visszaeséséhez vezethet, ez pedig továbbgyűrűzve ismét világméretű válságot generálhat.

A potenciális 2012–2013-as válság nap mint nap újabb kérdéseket vet fel nemcsak a gazdaság egészét tekintve, hanem specifikusan a járműiparban is. A járműipar Európában és az egész világon kiemelt fontosságú, összetettsége miatt nagyon érzékeny, bizonyos lokális sokkok is pillanatok alatt gyűrűzhetnek át a világ másik szegletébe, problémákat vagy kedvező esetben pozitív hatásokat generálva. Érdemes megfigyelni, hogy a válság drasztikus elterjedésében milyen fontos szerepe volt a globalizációnak és a világ gazdasági és pénzügyi integrációjának, ugyanis a 2008-as krízis sokkalta gyorsabban söpört végig a Földön, mint bármelyik korábbi válság.

A cikkben bemutatjuk egy átfogó modell felépítését és egy olyan vizsgálati eljárást kialakítását, amellyel a legfontosabb járműipari indikátorokat felhasználva átláthatjuk és megérthetjük a járműipar összetettségét, és fontos jellemzőinek, a gazdasági mutatóknak a kapcsolatát, amely alapjául szolgálhat egy jövőbeli komplex válság-előrejelző modell és eljárás kialakításához. Mindezekhez a 2008-as válság előtti állapotokat hasonlítjuk össze a járműiparban a legfrissebb, naprakész adatokkal.

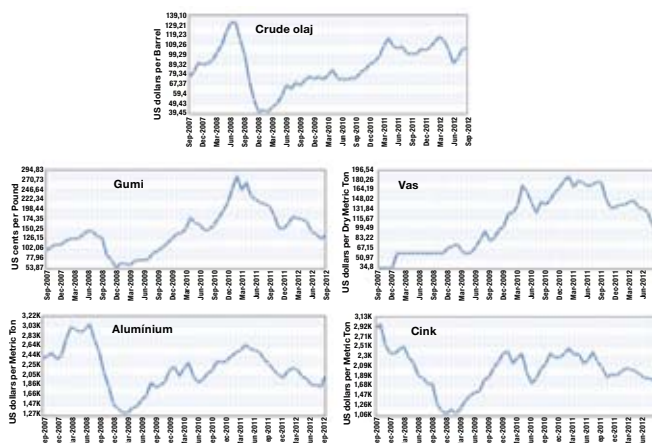
A MODELL BEMUTATÁSA

Az alapozó próbamodellben összefoglaljuk az eddigi kutatásaink során megismert indikátorokat és változókat, amelyek befolyásolják a járműipar piaci tendenciáit. Kedvező esetben ezen változók mozgásából következtethetünk a potenciális piaci változásokra, vagy akár a korábban esetleg nehezen magyarázható piaci jelenségekre is válaszokat kaphatunk.

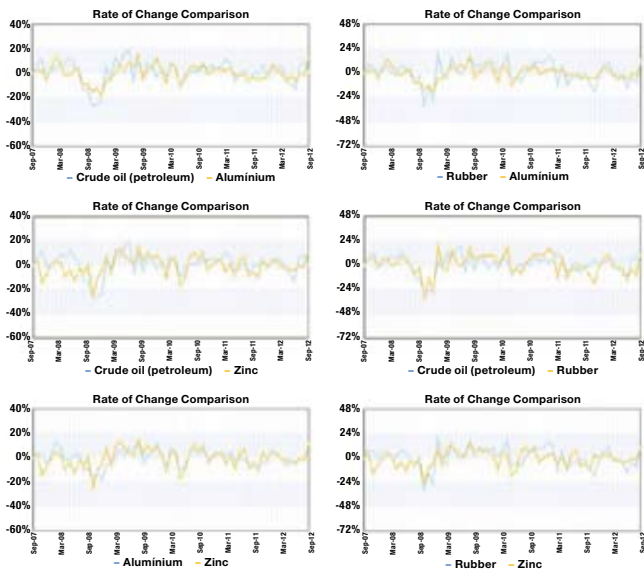
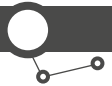
A meglévő indikátorok és mutatók három különböző szempont szerint kerültek csoportosításra:

- A járműiparban használatos alapanyagok árai
- Általános konjunktúramutatók
- Értékesítés és szállítmányozási tendenciák.

A modell elkészítése során a különböző csoportokban szereplő mutatókat először önmagukban vizsgáltuk meg, majd az adott csoport különböző tagjait egymással hasonlítottuk össze, és kerestük az esetleges összefüggéseket. Ezek után a csoport egészére végeztünk átfogó belső vizsgálatot, amelyből megtudhattuk, hogy mennyire szorosan mozognak együtt a különböző indikátorok,



1. ábra: nyersanyagárak 2007–2012-ig



2. ábra: alapanyagárak páros korrelációi

illetve a válság és az úgynevezett „posztválság” időszakban a különböző jelentősebb események mennyire befolyásolták aktuálisan az esetleges beszerzési árakat, vagy a különböző típusú gépjárművek (személygépjármű, haszongépjármű) értékesítési, illetve szervizköltségeit.

Általánosságban elmondható, hogy a kutatásaink az Európai Unió tagállamainak együttes mutatóira és eredményeire vonatkoznak, bár egyes esetekben kitekintés gyanánt összehasonlítottuk a magyarországi hasonló adatokat a tisztánlátás és a viszonyítás érdekében. Az idősorok jellemzően 5 évesek, hiszen a válság hatásainak elemzésére elegendő a 2007–2012-ig terjedő időszak. Az 5 éves időintervallum kellően hosszú, hogy a szinte kivétel nélkül havi lebontásban szereplő adatsorok elemezhetőek és az időszakos tendenciák is tisztán leolvashatóak legyenek.

ALAPANYAGÁRAK ELEMZÉSE

A felhasznált modellben olyan alapvető nyersanyagárakat próbáltuk meg összegyűjteni, amelyek a járműiparban, és főleg a gépjárműgyártásban nélkülözhetetlenek, áringadozásaik alapján felmérhetőek a piac változásai. A kiválasztott változók a következők:

- Alumínium (US \$/ metrikus tonna)
- Cink (US \$/ metrikus tonna)
- „Crude” típusú nyersolaj (US \$/hordó)
- Gumi (US cent/font)
- Vasérc (US \$/ metrikus tonna)

Az 1. ábrán a fentiekben említett nyersanyagok árai tekinthetők át egyszerre a vizsgált (2007. 09. – 2012. 09.) időszakban. Megállapítható, hogy az 5 vizsgált alapanyagár közül a vasércet leszámítva a maradék négy indikátor esetében bizonyos árváltozási tendenciák egyaránt megfigyelhetők. A 2008-as válság előtti időszakban a járműiparban tapasztalt felfutás az alapanyagárak esetén is tapasztalható volt (a cink esetében a felfutási időszak korábbi periódusban kezdődött, ami az ábrán nem látható), de az amerikai jelzálogpiacról kiinduló, és gyorsan világméretű krízissé átalakuló válság a kereslet drasztikus visszaesése miatt teljesen lenyomta az árakat 2008 november-decemberére. Érdekes megfigyelni, hogy az alumínium, a cink és a Crude típusú olaj esetében a válság után napjainkig sem sikerült elérni a válság előtti árszínvonalat.

A gumi esetében az ár felfutása nem volt különösebben erőteljes, viszont a válság utáni árkorrekció is lassabb ütemű volt, de 2010 márciusában elérte a válság előtti árszínvonalat.

Majd, három hónapig tartó árcsökkenés után, korábban sosem látott magasságokba kúszott fel és öt hónap alatt kis híján megduplázódott, 280,79 US cent/font-os áron érte el legmagasabb értékét. Az áremelkedésben a túlkeresleten kívül hangsúlyos szerepet kapott az a tény is, hogy mivel az iparban használt gumi több természetes anyagból tevődik össze (pl. kaucsukok), Kínában pedig ezen összetevőkre kártékony hatással volt az aktuális időjárás, így ez gumihiányt generált a piacon. 2011-ben pedig a 2010-es tendencia megfordult, a piac túlkínálatossá vált gumiból, így az árszínvonal visszaesett a 2010. nyári értékekre, és a jelek szerint egy 130-170 US cent/font-os sávban találta meg a helyét, ami a csúcshoz képest több mint 45%-os árcsökkenést mutat alig féléves időtartam alatt.

A vasérc és árának változása némileg eltér a négy vizsgált nyersanyagtól. A vasérc ármeghatározásának mikéntjét évente állapítja meg az ágazat három vezető nagy bányaiipari cége: a Vale, a Rio Tinto és a BHP Billiton. Ezek a vezető vállalatok természetesen a döntés előtt hagyományosan egyeztetnek a mértékadó európai, japán és kínai acéltermelőkkel a leendő irányvonalakról, de a három vezető vállalat által meghatározott árat tekinti az egész piac irányadónak. Mivel Kína jelenleg a világ legnagyobb vasérc-importőre, és az egyik legnagyobb acéltermelője, ezért komoly befolyása van az árképzésre. A szokatlanul nagyarányú 2008. év eleji áremelkedést azzal magyarázták, hogy Kínának és a dél-kelet-ázsiai régióknak folyamatosan, kvázi kielégíthetetlen mértékben nő a vasércigénye, ehhez növelni kell a termelést, azonban ennek megvalósításához forrásokra van szükségük, amit az áremelésből származó extraprofitból kívánnak finanszírozni.

A 2009-es év folyamán a növekvő vasércáraknak megálljt parancsolt a világválság, így 2009 nyarán az értékesítési ár a 2008-as év színvonalára csökkent. Amint a válság közvetlen hullámai kissé lecsendesedtek, a vasérc ára immáron tényleg „el-szabadult”, áttörte a lélektani határnak gondolt 90 dolláros határt, és gyakorlatilag érdemi korrekció nélkül meg sem állt 172,47 US \$/metrikus tonnás árig.

A JÁRMŰIPARBAN HASZNÁLTATOS ALAPANYAGOK ÁRAI KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK

Megvizsgáltuk az előzőek során bemutatott öt, a járműiparban kiemelt jelentőségű alapanyagot. Az első módszertan segítségével, párosával összehasonlítottuk az egyes alapanyagárak árváltozásait, arra keresve a választ, hogy milyen mértékben mozognak együtt, és hogy milyen szoros közöttük a kapcsolat. Az elemzések során eliminálásra került a vasérc, ugyanis a 2007–2008-as években egész éves fix árazás jelentősen torzítja a modellt, és nem reprezentálja megfelelően a piaci viszonyokat (2007 – 1 tonnányi

KORRELÁCIÓS MÁTRIX (R)	ALUMÍNIUM	CRUDE OLAJ	CINK	GUMI
Alumínium		0,696544	0,684037	0,672318
Crude olaj	0,696544		0,501628	0,586841
Cink	0,684037	0,501628		0,575682
Gumi	0,672318	0,586841	0,575682	

1. táblázat: nyersanyagár-párosítások Pearson-féle korrelációs koeficiense

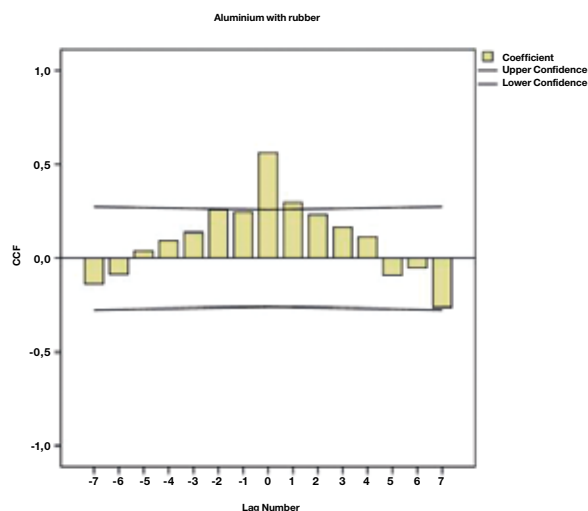
vasérc = 36,63 US \$; 2008 – 1 tonnányi vasérc = 60,80 US \$), amit a páronkénti árváltozást vizsgáló korrelációs koefficiensek is megerősítenek. (vasérc – Crude olaj [$r = 0,044153$], vasérc – gumi [$r = 0,299337$], vasérc – alumínium [$r = 0,159924$], vasérc – cink [$r = 0,299337$]) A későbbiekben ez az indikátor visszaépíthető a modellbe a torzítások kiszűrése után.

A fenti ábrán az alumínium, cink, Crude típusú olaj és gumi páronként vizsgált 5 éves árváltozása tekinthető meg havi bontásban, mindig az előző hónapi árhoz viszonyítva. Az alapanyag-árváltozások láthatóan együtt mozognak, alkalmazkodnak a világpiaci tendenciákhoz, ettől eltérések az egyéni piaci sokkok tekintetében természetesen előfordulhatnak. (Pl.: reakciók Kína stratégiai nyersanyagkészletének bejelentésének hírére [alumínium]).

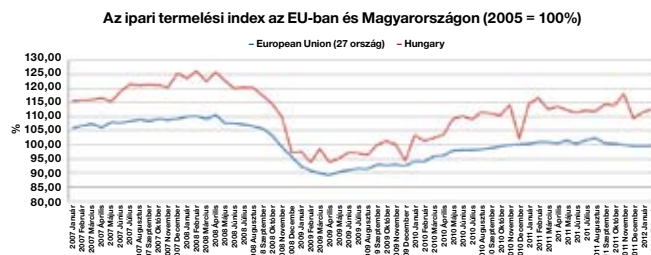
Az **1. táblázat** tartalmazza a fent látható párosítások Pearson-féle korrelációs koefficiensét. Az eredmények alapján megállapítható, hogy legalább közepesen erős kapcsolat áll fenn minden esetben a vizsgált nyersanyag-árváltozások tekintetében. A Crude olaj – alumínium reláció esetében pedig egyenesen a közepesnél erősebb, azaz szoros kapcsolatot jelentő $r = 0,7$ -es határértéket ostromolja. (2007 márciusától vizsgálva pedig $r = 0,702089$ -es értékkel meg is haladja.)

Nem meglepő, hogy a nyersolaj és gumi árváltozása az elemzett ötéves időszakban szintén sok hasonlóságot mutat, mivel a gumi előállításához a kőolaj alapvető fontosságú, így a nyersolaj árának változása, ha kis időbeli csúszással is, és természetesen kisebb súllyal, de megjelenik a gumi árban. A két vizsgált ismérv között a kapcsolat erősségét vizsgálva az $r = 0,586841$ eredményt kaptam, ami szintén egy közepesen erős kapcsolatnak felel meg, de elmarad az előzetesen várt legalább $r = 0,65$ körüli értéktől. Itt kell megjegyezni, hogy az olajárváltozás prognosztizálása és magyarázata a legnehezebb, mert a világgazdasági tendenciákon kívül jelentős szerepe van az aktuális piaci árban a nemzetközi politikának.

Az alábbiakban bemutatjuk, hogy az alapanyagárak időben egymáshoz képest eltolt idősorai milyen mértékben korrelálnak egymással. Amennyiben az egyik adatsort eltoljuk, úgy akár késleltetett hatások is felfedezhetőek, amelyből arra is következtethetünk, hogy az idősorok az esetleges külső hatásokra, illetve egymásra egyazon periódusban reagálnak-e. Mivel egyazon iparág alapanyagait elemeztük, ha valamilyen sokk vagy jelentősebb külső externália éri a piacot, felmerül a kérdés, hogy az vajon milyen gyorsan jelenik meg a többi alapanyag árban, és ezáltal milyen mértékben befolyásolja a piacot. Ehhez a vizsgál-



3. ábra: az alumínium és a gumi keresztkorrelációs elemzése az első differenciált



4. ábra: az ipari termelési index az EU-ban és Magyarországon (2005=100%)

lathoz keresztkorrelációs elemzést alkalmaztunk az SPSS-ben, páronként kezelve az alapanyagok árait, és minden esetben az első differenciálttal végeztünk számításokat.

A **3. ábráról** leolvasható, hogy a 0. időszaki szignifikanciaszint a legmagasabb, ami azt mutatja, hogy a két változó jellemzően egyszerre mozog, nincs időbeni eltolódás. Bár az első időszaki szignifikanciaszint szintén a felső konfidencia-határvonal felett helyezkedik el, ezekben az esetekben a legmagasabb szignifikanciaszint a döntő tényező, ami a 0. időszaki, tehát időben eltolás nélküli együttmozgást mutatja. Valamennyi ábrát megvizsgálva az állapítható meg, hogy minden esetben a 0. időszaki szignifikanciaszint a legmagasabb, egyaránt a határvonal fölé kúszva, ami alapján elmondható, hogy a piacok azonnal reagálnak, az adott nyersanyagban jelentkező pozitív vagy negatív sokk mindenképpen időszakegységen belül realizálódik a hasonló iparági nyersanyag árban!

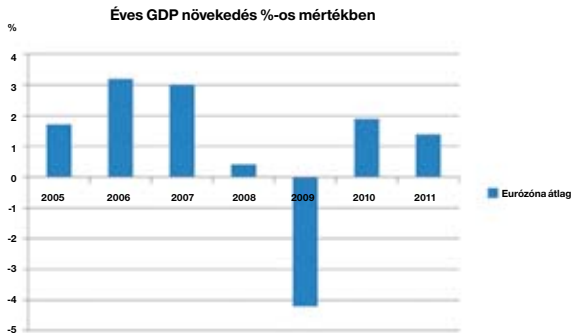
ÁLTALÁNOS KONJUNKTÚRAMUTATÓK

A felépített próbamodellemben, általános konjunktúramutatók csoportban két olyan tényező került figyelembevételre, amelyek leginkább meghatározzák és leírják egy gazdaság fejlődési ütemét, ezek a GDP és az ipari termelés mutatója. A két mutató közül a GDP-vel nehezebb dolgozni, hiszen jelenleg sincsen elérhető GDP havi szintű bontásban, de a negyedéves bontás is csak évekkel korábbi időszakokra lehet fel. További nehezítő tényező az is, hogy több olyan ország van, ahol a GDP-adatok évekkel ezelőtti, illetve nincsenek megfelelően frissítve, ez nehezíti a világ GDP-jének megállapítását, legjobb esetben is csak becsülni lehet. A GDP helyettesítésére hasonló modellekben, mint amilyen ez is, előszeretettel alkalmazzák az ipari termelés volumenindexét, ugyanis ez a mutató viselkedik leginkább hasonlóan a GDP-hez.

Az ipari termelés volumenindexe a termelési érték tárgyidőszaki árszinten kifejezett, összehasonlító áras adataiból számított mutató. A módszer lényege, hogy az érintett szakágazatok termelési volumenindexeit a homogén termékcsoportok mennyiségeinek változásával kell kalkulálni, amelynek eredete a havi bontású termékt statisztika. A hazai ipari termelési volumenindex számítása 2008 óta az EU módszertana alapján egységesített módon történik, így gond nélkül összehasonlítható. A **4. ábrán** összehasonlítom a hazai és az Európai Unió ipari termelési volumenindexét 2007. év elejétől 2012 márciusáig. (Eurostat, Industrial Production Index overview 2012)

A **4. ábrán** piros színnel a magyar, késsel az EU ipari termelési indexét követhetjük nyomon havi bontásban, a 2005-ös évet tekintve bázisnévként. Ami legelsőre feltűnik, hogy a magyar ipari termelési volumenindex mind az öt év folyamán magasabb értéket vesz fel, mint az EU összesített értéke. Ennek az a magyarázata, hogy hazánk sokkal alacsonyabb szintről kezdte meg növekedését, így növekedési üteme is nagyobb, mint a

fejlettebb, és már korábban jellemzően magasabb színvonalú ipari termeléssel rendelkező tagországokkal rendelkező EU átlaga. Abból fakadóan, hogy az EU-s ipari termelés volumenindexe több ország átlagát mutatja, így jóval kisebb a volatilitása, mint Magyarorszáké, viszont egyértelműen mutatja a piaci tendenciákat. Az éves GDP változását az EU-n belül az alábbi **5. ábra** mutatja:

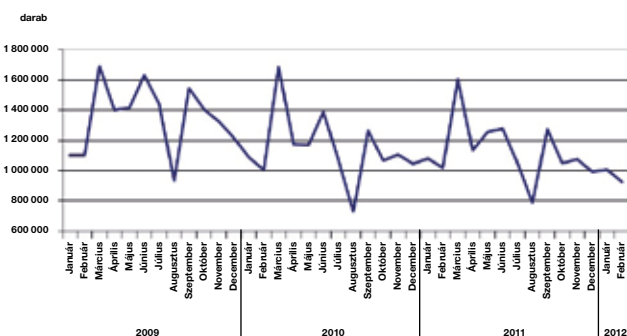


5. ábra: az éves GDP-növekedés százalékos mértéke az eurózóna tagállamai átlagában

Az **5. ábrán** egyértelműen látszódnak a válság negatív hatásai, 2008-ban még éppen hogy növekedést figyelhettünk meg 0,4%-os mértékben, de a 2009-es év 4,2%-os GDP-csökkenése sokkoló volt az elmúlt évtizedek kiegyensúlyozott növekedési pályáján. Ez a típusú gazdasági zsugorodás alapjaiban vetette vissza a gazdasági termelést, és a lassú növekedés ellenére az EU legtöbb államában még nem sikerült elérni a válság előtti kibocsátási szinteket. Érdekes, hogy 2009-ben a legnagyobb visszaesést a balti államok produkálták (214,3% és -17,7% között), míg az EU-tagállamok közül egyedülként Lengyelország GDP-je nőtt, 1,7%-os mértékben.

ÉRTÉKESÍTÉSI ÉS SZÁLLÍTMÁNYOZÁSI TENDENCIÁK

A járműipar egyik, ha nem a legfontosabb szegmensét az új járművek eladásai jelentik, ennek tendenciái jól mutatják a lakosság anyagi helyzetét, igényeit, várakozásait a jövőre nézve. Az alábbi **6. ábrát** megvizsgálva a válság hatásai ellenére az európai piacon megfigyelhetők a járműiparra jellemző sajátosságok. Szembetűnő például az augusztus hónapok nagyon alacsony eladási adatai (nyári szabadságolások jellemző időszaka) mellett március hónap január–februárhoz képest magas eladási számai, illetve hogy szeptembertől év végéig szinte folyamatosan csökkennek az eladási számok.



6. ábra: újpépármű-eladások Európában 2009–2012, havi bontásban. Forrás: ACEA „New vehicle registrations 2011” (2012)

2009-től 2010-re európai szinten 2 422 572 darabbal kevesebb új gépjárművet adtak el, ami 15%-os visszaesésnek felel meg. Felmerül a kérdés, hogy amikor a világ gazdasága 2009-ről 2010-re megkezdte a kilábalását a krízisből, miért következik be az új gépjárművek eladásában ekkora visszaesés. A válasz két indokra vezethető vissza: a roncsautó-programok véget értek, és nem hosszabbítják meg őket, illetve a vásárlók egy jelentős része a megváltozott piaci feltételek miatt (pl.: magas hitelkamatok) inkább a használt autók felé fordult.

A járműipar másik fontos és elemzésre érdemes területe a szállítmányozás. Típusait tekintve sokféle szállítmányozásról beszélhetünk (légi, vízi, vasúti stb.), de jelen esetben csak a közúti szállítmányozásra szorítkoztunk. A közúti szállítmányozási szektor fontosságát szemlélteti az a tény is, hogy csak Európában 12 millió munkahely kapcsolódik hozzá, és éves szinten mintegy 490 milliárd eurónyi forgalommal járul hozzá Európa gazdálkodásához, arról nem is beszélve, hogy évi 20 milliárd euró értékben költenek a szektor vállalatai kutatás-fejlesztésre. A modellben az EU tagállamainak összesített közúton szállítmányozott árumennyiségét szerepeltettük ezer tonnás mennyiséggel kalkulálva 2007-től 2011-ig (a 2012-es adatok még nem teljesek, így nem vettük figyelembe).



7. ábra: nyersanyagindex

A MODELL EREDMÉNYEI

Miután áttekintettük a modell indikátorait, összehasonlításra kerültek a különböző indikátorok, és a közöttük lévő kapcsolat szorossága. Az alapanyagárak részletes elemzése utáni eredmény, hogy speciálisan súlyozott indexpárosítással készült egy saját nyersanyagindex (**7. ábra**).

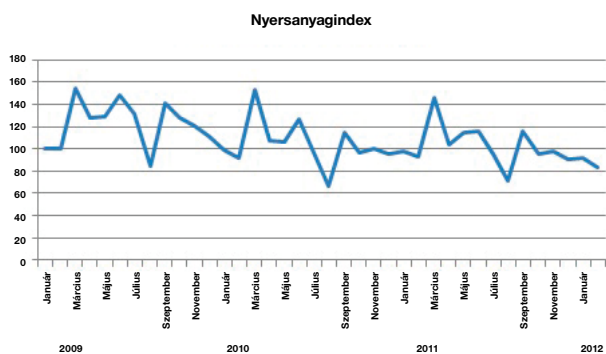
Az új gépjárművek európai értékesítési tendenciáit átalakítottuk a konkrét darabszámról 2007. januári bázisú volumenindex formájára, ez a következő, **8. ábrán** látható.

A GDP-t és az ipari termelési adatokat felhasználva készítettük el a konjunktúraindexet:

Elsőként az értékesítés és az alapanyagárak kapcsolata került vizsgálatra, ami kimutatta, hogy az azonos időszakra vizsgált értékesítési index és a nyersanyagindex közötti kapcsolat szorossága közepes erősségű, azaz $r = 0,478$, és a korreláció 0,01-es szignifikanciaszinten szignifikáns! A lefuttatott keresztkorrelációs elemzés eredménye, hogy nincsen időbeli eltolódásból származó további szignifikáns kapcsolat a vizsgált változók között.

Ezután másodikként az ipari termelési indexet vetettük össze a nyersanyagindexszel.

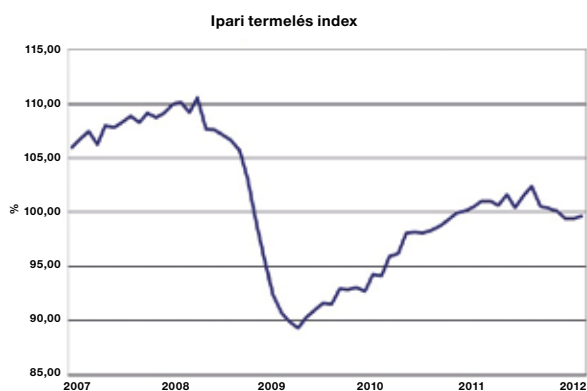
Ebben az esetben még erősebb és szorosabb kapcsolatot mutat az ipari termelés mutatójának alakulása és a kiválasztott 4 nyersanyagunk árváltozásai között!



8. ábra: értékesítési index

Végül, de nem utolsósorban az értékesítési index és az ipari termelési index került elemzésre.

A három lehetséges indexkombináció közül itt a leggyengébb a kapcsolat erőssége, azaz $r = 0,373$, ami 5%-os szignifikancia-szinten szignifikáns, és ez egy gyengén közepes kapcsolatnak feleltethető meg.



9. ábra: konjunktúraindex

CORRELATIONS

	KONJUNKTÚRA-INDEX	NYERSANYAG-INDEX	
Konjunktúra-index	Pearson Correlation	1	,698**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	61	61
Nyersanyag-index	Pearson Correlation	,698**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	61	61

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

2. táblázat: konjunktúraindex – nyersanyagindex korrelációs táblázata

A MODELL EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A felépített próbamodell a járműipar legfontosabb indikátorai közül néhányat kiválasztva bemutatta az ezen tényezők közötti valós, fontos és erős kapcsolatot, úgy hogy közben a válság időközbeni hatásait, következményeit is figyelemmel követte. Sikertelt bebizonyítani azt az előzetes hipotézist, miszerint szignifikáns kapcsolat van a járműipari alapanyagárak, a gazdasági konjunktúramutatók és az értékesítési tendenciák között. A hipotézis helyességének fontossága a későbbiekben abban nyilvánulhat meg, hogy a modell tényezőinek bővítésével, az idősor meghosszabbításával és további földrajzi bővítésekkel ez a modell a későbbiekben akár válság-előrejelző funkcióval is rendelkezhet. A modell felállítása során elvégzett elemzések azt mutatják, hogy ha valamely modellbeli tényezőt komolyabb sokk érné, akkor annak hatásai adott időperiódus-egységen belül mérhetően jelentkeznek a többi tényező esetében. Megfelelő mennyiségű adathalmazzal bővítve a rendszert – előbb a korábbi válságok alaposabb utólagos elemzésével – tendenciákat lehet majd kiszűrni, ami alapján az akkor aktuális jelenbeli folyamatokra is lehet jó eséllyel prognózist adni! ●

IRODALOM

- [1] ACEA „New vehicle registrations 2011” (2012)
- [2] IMF – Global Financial Stability Report (2012), Deeply into the Danger Zone, 2012 Market Update
- [3] World Bank – Agricultural raw material prices – Rubber (2012)
- [4] World Bank – Commodity Price – Aluminium (2012)
- [5] World Bank – Energy – Crude Oil consumption (2012)
- [6] World Bank – Metal prices – Iron ore (2012)
- [7] World Bank – Zink prices (2012)

FORMULA STUDENT ENGINE SYMPOSIUM

A 2013-ban másodszor megrendezésre kerülő Formula Student Engine Symposium évenkénti találkozóhelyként szolgál a műszaki egyetemista diákok képviselőinek, továbbá a járműipari vállalatoknak és mérnök szakembereknek. Április 23–24. között 400 résztvevőt várunk Győr városába, amely egyaránt jelentős helyszín hazai és európai járműipari viszonylatban is.

Első alkalommal 250 fiatal vett részt az eseményen, és élt a lehetőséggel, hogy személyesen találkozzon, beszélgessen és együtt dolgozzon többi diáktársával és az előadó szakemberekkel. Ez a sikeres rendezvény ismételten bizonyította, hogy a tudás- és információmegosztás az egyik sarokköve a Formula Student sorozatnak.

Amellett, hogy bővítjük a jelenleg már aktívan tevékenykedők tudását, a Formula Student Engine Symposium önmagában is egy kitűnő eszköz arra, hogy segítsen a fiatal csapatoknak beépülni a sorozatba azzal, hogy megteremti a szakmai kapcsolatok kiépítésének lehetőségét.

A konferencián világhírű előadók osztják meg tudásukat és tapasztalataikat. Így nemcsak a pályájuk elején járó fiatal, hanem a gyakorló mérnökök számára is értékes találkozóhely.

Előadók listája, 2012

Hanula Barna PhD – A rendezvény házigazdája

Dr. Jörg Ross – Ferrari F1 alapmotor-fejlesztés vezetője 2001–2009

Dr. Wolfgang Demmelbauer-Ebner – Audi Hungaria Motor Kft. / Motorfejlesztés-vezető

Ulrich Baretzky – Audi Sport / Motorteknikai fejlesztési vezető

Dr. Petr Schöggel – AVL List GmbH

Nikolas Raeder – Raeder Automotive GmbH / Tulajdonos

Thomas Pels – AVL / Hibrid- és elektromos hajtásláncok vezető

Norbert Gatzka – BMW/Husqvarna / Alapmotor-fejlesztés vezető

További információ: Bojkovszky Zsolt • b.zsolt@fshungary.hu

Autóbusz futóművének dinamikai modellezése

KOKREHEL CSABA

PhD hallgató,
BME Gépjárművek Tanszék

DR. NÉMETH HUBA

Egyetemi docens,
BME Gépjárművek Tanszék

Ezen cikk egy autóbusz dinamikai viselkedésével foglalkozik, annak síkbeli szimulációs modelljén keresztül. A szimuláció elsődleges célja a futóművekre ható terhelések vizsgálata, illetve a szimulációval való nyomon követésük létjogosultságának eldöntése. A modell épp ezért nem csak a jármű hossz- és függőleges irányú mozgásait képes kezelni, de a futóművek járműtesthez viszonyított hosszirányú mozgását is. A szimuláció validálását a RABA Futómű Fejlesztési Intézet által a közelmúltban elvégzett többhetes mérés tette lehetővé. Ennek során a BKV Zrt. Ikarus 435T buszán végeztek futómű-terhelésvizsgálatot.

The article deals with the dynamic behavior of a solo and an articulated vehicle through a two-dimensional simulation model. The primary objectives of the simulation are studying the loads acting to the suspensions, and the legitimacy of tracking with simulation to decide. Therefore the model is not only able to track the vehicle longitudinal, and vertical movements, but the axle longitudinal movement relative to the vehicle body is handled as well. The validation of the simulation is made possible by the measurements carried out by the RABA Chassis Development Institute, where a BKV Ikarus 435T bus was tested.

BEVEZETÉS

A tervezési folyamat során az egyik legnagyobb figyelmet igénylő munka a dinamikus terhelésre igénybe vett alkatrészek méretének meghatározása, és azok élettartam-szilárdságra történő méretezése, illetve ellenőrzése. Az ellenőrzéshez legkézenfekvőbb az adott alkatrész üzemszerű terhelés közbeni mérése, terhelésvizsgálata.

Számos területen azonban nem mindig lehetséges a mérést egyszerűen kivitelezni, illetve nem minden jellemző mérhető. Ilyen például a futóművek terhelésének felvétele, amihez bonyolult mérőrendszer, többhetes előkészületi és felszerelési idő kell, továbbá jármű sem áll mindig rendelkezésre. Egy járműfutómű teljes terhelésének felvételével azonban jó alapot kaphatunk a kifáradásra történő méretezéshez. Egy ilyen terhelés lefutásának megfelelő kiértékelése alkalmas bemenetként szolgálhat a különböző szilárdsági végelelemes alkalmazások megoldóinak.

A mérési kényszer kiküszöbölésére kezdtük el fejleszteni az alább bemutatott járműmodellt. Ennek megfelelő felépítése és validációja lehetőséget kínál a további futóművizsgálatokhoz és tervezéshez, mivel előre jelezhetőek bizonyos nehezen mérhető

Tömeg (olaj nélkül):	806 kg
Teljes áttétel:	11,26
Differenciálmű-áttétel	3 529
Oldalhajtás áttétele	3,19
Kerekek száma	4 db
Kerék tömege: (275/70 R22.5)	100 kg
Futómű teljes tömege (feltöltve)	1230 kg

2. táblázat: ZF AV-131/90 típusú futómű jellemzői

igénybevételek. Egy megfelelő pontosságú modell mind jelentős anyagi, mind időbeni megtakarítást jelent.

A későbbi, pontos szimulációkhoz természetesen ismernünk kell – bizonyos pontossággal – az üzemi viszonyokat. Közösségi járművek esetében ilyen üzemi viszonyok pl.: a bejárat vonal menti utasterhelés-eloszlás; megállók, kötelező piros lámpák közötti távolság, illetve az útprofil minősége. Ezek ismerete nélkül a modell csak az út emelkedéséből, illetve lassulás és gyorsításkor bekövetkező átterhelődésekből képes számolni. Az útgerjesztés, a keresztirányú mozgás kezelése, alternatív hajtáslánc vizsgálatára is alkalmas eszközök implementálása további kutatást igényel. Távolati terveink között szerepel ugyanis különböző járműhajtási módok modellalapú vizsgálata is. A modell ezzel együtt alkot majd egy komplex járműdinamikai vizsgálatokra alkalmas eszközt.

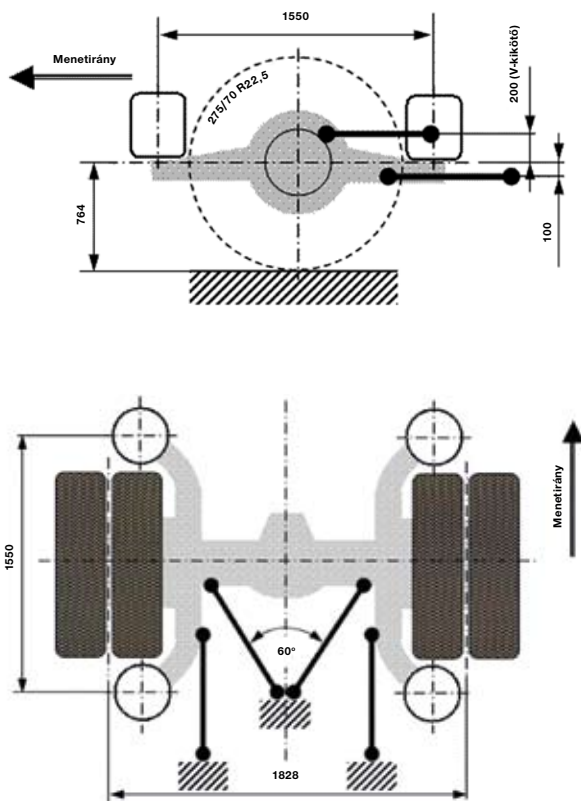
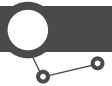
A továbbiakban szemléltetett modell validációját az útprofil ismerete nélkül végeztük, ezért a futóműre ható függőleges erőhatások a várttól némileg eltérnek. A modell síkbeli, tehát az erőhatásokat az egyes irányok menti eredőként tudja kezelni. A fejlesztés további fázisaiban alkalmassá tesszük a jármű keresztirányú, illetve a futómű egyéb parazitamozgásainak figyelembevételére is. A modellt MATLAB/Simulink környezetben került implementálásra.

JÁRMŰBEMUTATÁS

A modell alapjául szolgáló jármű egy a BKV Zrt. tulajdonában lévő Ikarus 435T trolibusz, mely a 304-es vonalon fut. Magaspadlós, közép motoros, B tengelyén hajtott kivitel. A jármű fontosabb műszaki adatait az **1. táblázat** tartalmazza.

H/SZ/M:	17850/2500/2915 MM
Szállítható személyek száma: (ü+á)	60+110 db
Menetkész saját tömeg	15 000 kg
Hasznos tömeg	13 000 kg
Névleges tengelyterhelések: A/B/C	6500/10 000/11 000 kg
Tengelytáv: A-B	5570 mm
Tengelytáv: B-C	6110 mm
Nyomtáv	1828 mm
Legkisebb fordulókör sugara	11,75 m
Motortípus	Alstom 4 ELA 1662
Névleges sebesség	50 km/h
Névleges vontatási teljesítmény	149 kW
Hajtott futómű: (B tengely)	ZF AV-131/90
Gumiabroncs mérete:	Michelin 275/70 R22.5

1. táblázat: IK 435T jármű jellemzői

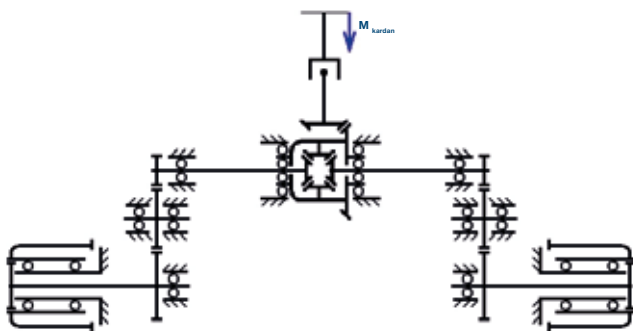


1. ábra: a hajtott híd beépítési környezete és egyszerűsített rajza
(Forrás: RÁBA Futómű Kft.)

A járműves mérés során rögzítésre kerültek: a jármű mindenkor koordinátái (megtett út), aktuális tengerszint feletti magasság, kardántengely-nyomaték, kardántengely-fordulatszám, oldalankénti kerékfordulatszám, légrugónyomások és a futómű kikötőrudaiban ébredő erők a mért hidon. Logikai jelként rögzítésre kerültek továbbá azok az időintervallumok, melyekben a járművezető az egyes fékeket használja. Ebből kiderül, hogy szinte a teljes lassulás fázisában csak a villamos fék aktív, míg a mechanikus fékműködés kb. 5 km/h sebességnél lép életbe. A mechanikus fék működéséről azonban nem állt rendelkezésre rögzített információ, ezért a validáció során az 5 km/h sebesség alá való lassítási szakaszokat nem használtuk.

FUTÓMŰ BEMUTATÁSA

Az IK435T buszok B tengelye a ZF AV-131/90 típusjelzésű futómű. A hajtáshoz szükséges 11,26-os áttételt két fokozat valósítja

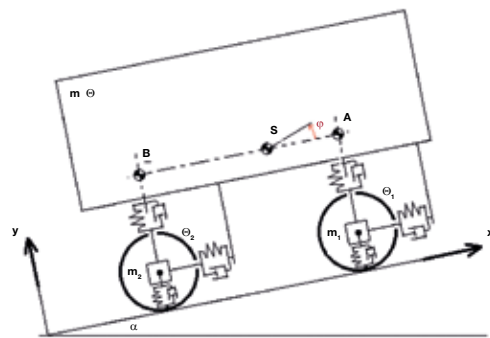


2. ábra: hajtáslánc kinematikai modellje

meg. A kúpkerek-differenciálmű tányérkerék áttétele 3,529, míg az oldalhajtásé 3.19. Az oldalhajtásban oldalanként két szabadon futó fogaskerékkel tették lehetővé a differenciálmű tengelyének a kerek forgástengelyétől való lesüllyesztését, ezzel az alacsonyabb hasmagasság kialakíthatóságát. A futómű fontosabb adatait a **2. táblázat** tartalmazza.

A futómű beépítési környezete és egyszerűsített rajza az **1. ábrán** látható.

A szimulációban a tengelyhez kapcsolódó hatáslánc és a karosszériáról és úttest gerjesztéseiből áthatódó külső terhelések kerültek modellezésre. A híd külső terheléseit a hajtónyomaték, a kikötőrudak, illetve légrugónyomásból számítható erők jelentik. Az egyes kikötőrudakban ébredő erő nyúlásmérő bélyeggel mérték, míg a légrugóerőt első közelítésben annak statikus karakterisztikájának segítségével számíthatjuk a nyomásokból. A hajtásláncot terhelő nyomaték mérése kizárólag a kardántengelybe épített nyomatékérzékelővel volt lehetséges, a bemenő fordulatszám viszont a differenciálmű kúpfogaskerekének fordulatszáma. Mindezt azért lényeges leszögezünk, mert a vételi pont között található egy kardáncsukló, melynek torzító hatása közismert. Tény viszont, hogy az adott járműben a beépítési környezet olyan, hogy a kardántengely közel párhuzamos a differenciálmű behajtótengelyével. A kardáncsukló torzító hatásának figyelembevételéhez azonban ismernünk kellene a futómű mindenkor helyzetét a karosszériához viszonyítva. Egy csukló szögsebesség-átvitelének pontos összefüggését bonyolult trigonometrikus függvény írja le, mely a szimulációs modellben további nemlinearitást jelentene. Ezzel jelentősen összetettebbé válna a modell. A fenti okok miatt úgy vesszük, mintha a bemenő nyomatékot és fordulatszámot azonosan a kúpkerekén mértük volna. A híd hajtásláncát a **2. ábra** szemlélteti egyszerűsített formában:



3. ábra: szülő jármű dinamikai modellje

SZIMULÁCIÓS MODELL

A teljes modell két alrendszerből áll. Az egyik a jármű menetdinamikai folyamatait kezeli, a másik a hajtásláncot modellezi. A szimuláció fejlesztése során párhuzamosan került sor egy szülő és egy csuklós autóbussznak megfelelő modell kiépítésére. Így azonos bemenő adatok esetén mérlegelhetővé válik a két modell közötti különbség a futóműterhelések szempontjából. Ez annyit jelent, hogy egy ugyancsak létező, szülő jármű paramétereit felhasználva, a csuklós járművel megegyező tömegű buszban is megvizsgálhatjuk a futóművet.

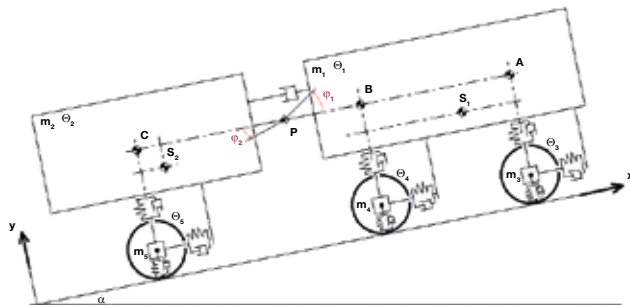
A szülő busz általánosított járműdinamikai modelljét a **3. ábra**, míg a csuklós busz modelljét a **4. ábra** szemlélteti. A szülő jármű részletes modelljében találunk egy haladó-forgó tömeget (karosszéria), két haladó (futóművek) és két forgó mozgást végző tömeget (kerek, és a nem hajtott forgó egységek tehetetlensége a

futóműben). A mérlegelési térfogatok száma tehát: öt [1]. A teljes modell szabadságfoka 9. A modell egyes szabadságfokok szerinti mozgásegyenleteit célszerűen a súlypontra írjuk fel.

A csuklós busz modellje a szőlőhöz képest kiegészült egy további karosszéria- és egy futóműegységgel. Mivel a két karosszériaelem között idealizált merev csuklós kapcsolat van, ezért a két elem hossz- és függőleges irányú mozgása csatolódik. Ezért a rendszer szabadságfokainak száma:

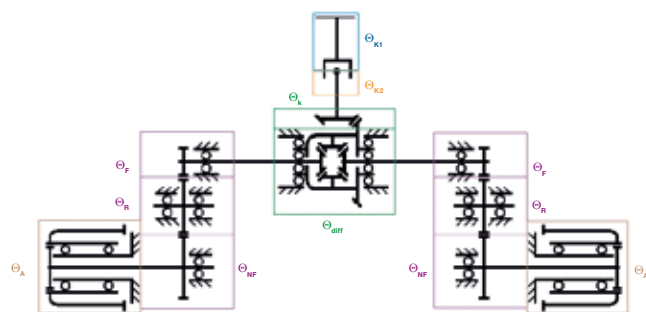
$$DOF_{CS} = (5 \cdot 3) - 2 = 13$$

Ebben az esetben a mozgásegyenleteket a csuklópontra célszerű felírni, mert így nem maradnak ismeretlen erők az egyenletben. A két karosszériaelem között egy további csillapító került definiálásra. Eredendően ez a csillapító a keresztirányú kigyózást hivatott csökkenteni, azonban a csuklóponttól vett függőleges távolsága miatt a két karosszériaelem bólintását is csillapítja.



4. ábra: csuklós jármű dinamikai modellje

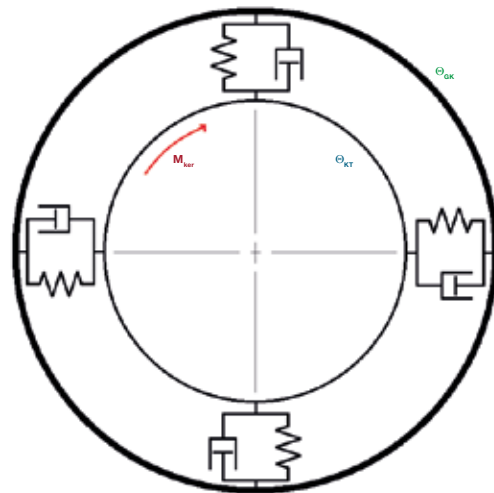
Mindkét járműmodellben azonos elem a hajtáslánc [2]. Ennek dinamikai modelljét a 2. ábra alapján állíthatjuk össze. Egyes forgó tömegek között lineáris torziós rugót és csillapítást, mások között merev áttételt feltételezünk. Utóbbiak a hajtás hatásfokának és módosításának figyelembevételével összevonhatók. A dinamikai modellben szereplő tömegek elkülönítését az 5. ábra szemlélteti, az előbb jelzett összevonhatóságot az azonos szín jelzi.



5. ábra: hajtáslánc tehetetlenségeinek meghatározása. Az ábrán még külön jelöltük a kétoldali tehetetlenségeket, a modellben ezeket összevonva egy értékként tüntettük fel, azonos jelöléssel. (Forrás: Protruck Kft.)

A hajtáslánc utolsó elemének, a kéréknek dinamikai modelljét a 6. ábra ismerteti. A keréktárcsa és gumibroncs között rugalmas sugárirányú és torziós kapcsolatot tételezünk fel.

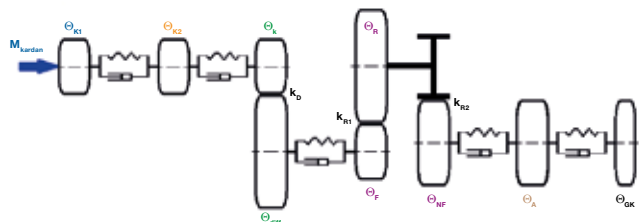
A kérékmodellben a vastag körgyűrű jelenti a gumibroncs kerületre redukált tehetetlenségét, a keréktárcsa pedig (θ_{KT}) a továbbiakban a kérékagy tehetetlenségével kerül összevonásra. A keréktárcsa tehetetlensége ily módon a hajtáslánc, míg a



6. ábra: kérék dinamikai modellje: keréktárcsa és gumiköpeny

gumibroncs tehetetlensége a járműmodell paramétere lesz. A két alrendszer közötti csatolást a hajtásláncról a járműmodell irányába a kéréknyomaték, míg ellentétes irányban a gumibroncs fordulatszám végzi.

A két részmodell összevonva képezi a teljes hajtáslánc dinamikai modelljét (7. ábra). A pontos modell érdekében figyelembe vettük az egyes csapágysűrűlő nyomatékát és a fogaskerék-átvitel határfokát.



7. ábra: hajtáslánc dinamikai modellje

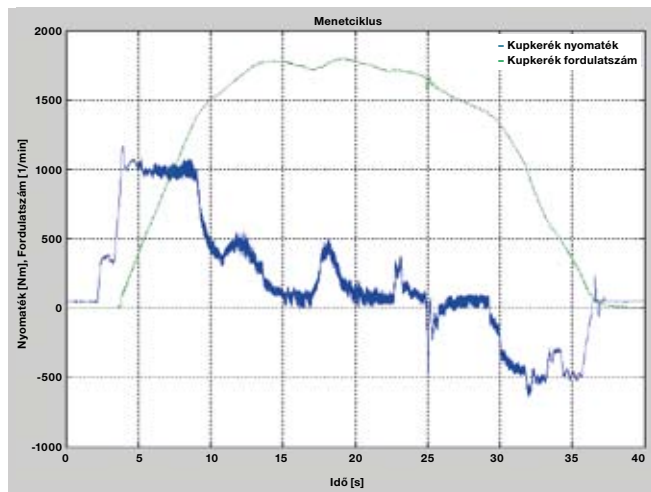
Az egyes tehetetlenségek:

- θ_{KI} : kardántengely és fél kardáncsukló
- θ_{KZ} : fél kardáncsukló és fél kúpkerek
- θ_k : fél kúpkerek
- θ_{diff} : differenciálmű és féltengely
- θ_F : féltengely és a két behajtó fogaskerék
- θ_R : áthajtó fogaskerekek az oldalhajtóműben
- θ_{NF} : kétoldali kihajtó fogaskerék
- θ_A : kérékagyak, fékdobok, keréktárcsák
- θ_{GK} : gumibroncsok tehetetlensége
- k_D : differenciálmű módosítása
- k_{R1} : oldalhajtás első fokozatának módosítása
- k_{R2} : oldalhajtás második fokozatának módosítása

A szimuláció során a járművet v_0 kezdősebességgel indítjuk. A karosszéria helyzete olyan, mintha az egész járművet felemeltük volna egy h_0 kezdeti magasságra, ahol a futómű rugói és a gumibroncsok is tehermentesülnek, de a kerek még épp érintkeznek a talajjal. Erre azért van szükség, hogy a továbbiakban kezelni tudjuk a gravitációs erőter hatását. A szimuláció első pár másodpercét tehát arra szánjuk, hogy beálljon a valóságnak megfelelő leterhelt helyzetbe.



Mindazért, hogy a karosszéria függőleges irányú lengései ne befolyásolják a lényegi szimulációt, a lengés lecsillapodásáig hagyjuk szabadon futni a járművet. A **8. ábrán** látható a bemenő nyomaték mint modellbemenet és a kúpkerek fordulatszáma. Ennek során kellően változik a modell gerjesztése ahhoz, hogy értékelni tudjuk a rendszer viselkedését. A jármű sebessége a fordulatszámhoz hasonló lefutású, azzal közelítőleg arányos jelként képezhető.

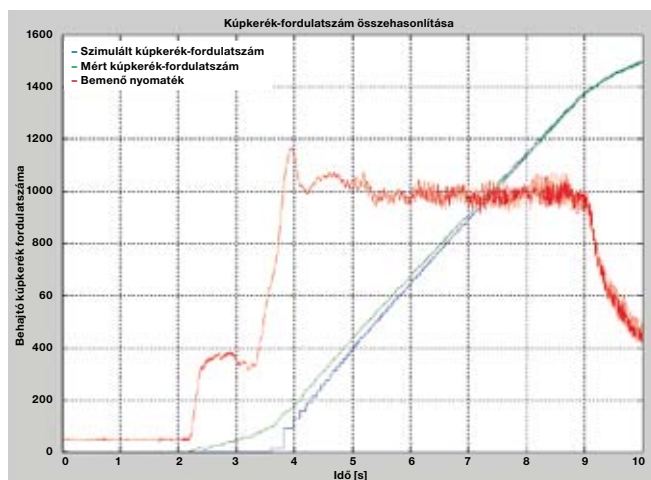


8. ábra: vizsgált menetciklus

A gumiabroncs és az útfelület közötti erőkapcsolati tényező modellezésére a Hans B. Pacejka által kidolgozott formulát használtuk [3].

A modell legtöbb paramétere pontosan ismert fizikai vagy geometriai mennyiség. Azonban számos olyan adat van, melynek értékére nincs szakirodalmi utalás, vagy nincs róla mérési eredmény. Ezért a modellépítés során a következő egyszerűsítéseket feltételeztük:

1. A gumiabroncs radiális merevségét az elmozdulással arányosnak vesszük. Nemi elméleti megfontolással a merevségi karakterisztikának két jól behatárolható pontja van: az egyik a kirugózott állapotot jelöli, ahol a gumiabroncs nem visz át radiális irányú erőt. A másik helyzet a defektnek megfelelő, mikor a gumi felütkezik a keréktárcsán. Ilyenkor kvázi végtelen nagyságú erőt közvetít. A gumiabroncs merevsége az



9. ábra: kúpkerek-fordulatszám összehasonlítás

elmozdulás függvényében tehát progresszív, annak pontos meghatározására további mérések szükségesek.

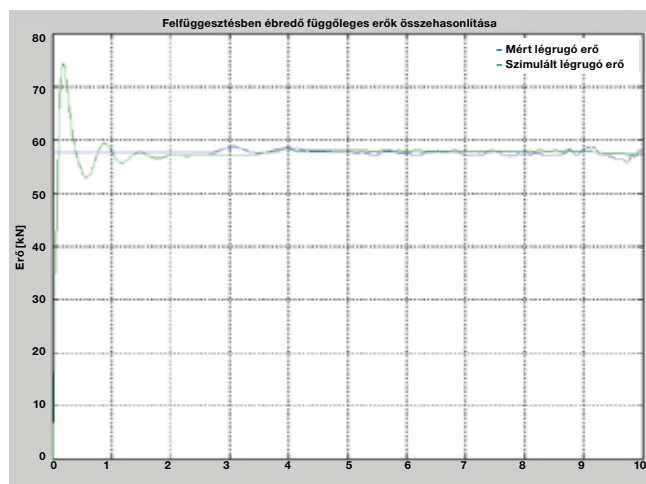
2. A kikötőrudak esetében szintén egyszerűsítéssel élünk. Azokat általánosan rugalmas, lineáris karakterisztikával látjuk el, ám valós jellegük sokkal inkább hasonlít egy gumibak és hozzá kapcsolt merev fémrúd-karakteristikájának szuperpozíciójához.
3. Leginkább ismeretlen tényező a légrugó, és az előbb említett gumiabroncs és kikötőrúd csillapítások. Ezek mindegyikét lineárisnak feltételezzük.
4. A szimulációnak nem képezte bemenetét az út egyenetlenségeiből adódó gerjesztés.
5. A valós jármű mindenkor függőleges helyzetét szintszabályzó felügyeli. Ennek hatását a modell nem vette figyelembe.

SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK ÉS MODELL VALIDÁCIÓ

A két modell eredményeinek elemzésekor kiderült, hogy azok nagyon hasonlóan viselkednek adott bemenetre. Ezért a szóló és csuklós busz szimulációs eredményeinek értékelésekor az áttekinthetőség végett csak a szóló busz eredményeit mutatjuk be.

A **9. ábra** egy tíz másodperc időtartam alatt lejátszódó gyorsítási szakaszt szemléltet. Összehasonlítva a mért és szimulált kúpkerek-fordulatszámokat látható, hogy a modell jó egyezést mutat.

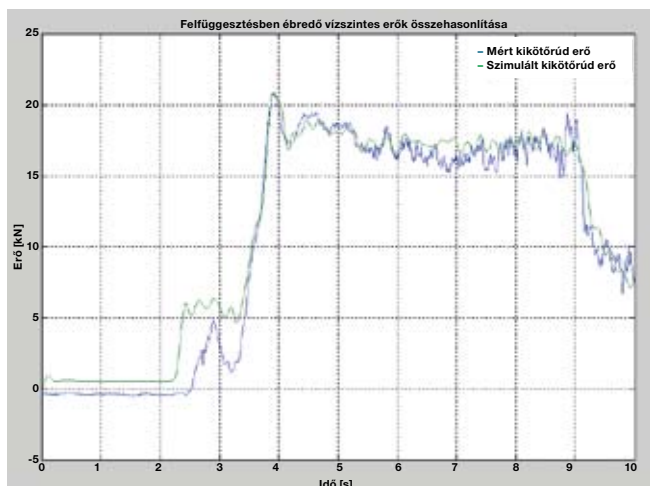
A **10. ábrán** a légrugók nyomásából adódó erő látható. A kezdeti tranziens a fent leírt nyugalmi helyzet megtalálása előtti időtartam. Az eredő légrugóerő a mértnek megfelelő középtételekre áll be, azonban a dinamikus terhelésváltozásokat az előbb említett gerjesztések hiányában nem képes követni. Jól látszik, hogy a 4-től 9 másodpercig tartó aktív gyorsítási szakaszban az átterhelődésnek köszönhetően csekély mértékben megnő a rugóerő.



10. ábra: légrugóerő-összehasonlítás

A **11. ábra** a kikötőrúderőket hasonlítja össze. Elmondhatjuk, hogy a modell jellegre és mértékileg is követi a mérést. Bizonyos pontokban azonban jól látszik az útgerjesztés hiánya.

Valamivel a 7. másodperc előtt kisebb jellegbeli eltérés mutatkozik, ami azzal magyarázható, hogy a kerék felfutott egy úthibára, ami a kikötőrudak terhelését egy pillanatra csökkentette. Nehezebbnek tűnik értékelni a kezdeti nyomatéklepcső szakaszát. Ha összehasonlítjuk a **9. és 11. ábrákat** látható, hogy a szimulációban a kikötőrudakban ébredő erő az elvárásoknak megfelelően viselkedik. Növekvő nyomatékre növekvő rúderővel válaszol. A méréssel történő összevetés azonban jelentős különbséget mutat.



11. ábra: futómű-kikötőrudakban ébredő eredő erő

Itt feltételezhető, hogy a kerék egy mélyedésben állt indulásnál, aminek leküzdése produkálta az ábra szerinti terheléslefutást. Ez megmagyarázná a kezdeti fordulatszám eltérését is.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS KITEKINTÉS

Általánosan elmondható, hogy a modell járműdinamika része jellegre jól követi a méréseket. A fordulatszámgörbék meredeksége között tapasztalható némi eltérés. A későbbiekben alkalmassá tehető különböző hajtáslánc típusok közötti különbségek

vizsgálatára. Külön a hajtáslánc viselkedésére nincs ellenőrzési lehetőség, de annak jelenlegi pontossága megfelelő a járműmodell viselkedésének értékeléséhez. A modell még korántsem mondható véglegesnek, jelentős fejlesztések rejlenek benne. Mindenekelőtt a fentebb leírt közelítések helyett egzakt jelleggörbék alkalmazásával javítható a modell valósághűsége. Az útprofil pontos felvétele és gerjesztő hatása a járműkerékre máig nem megoldott probléma. Ennek pontos kikutatásával jelentősen nőne az ehhez hasonló modellek értéke. További kiegészítés tehető a hajtásláncban az alkatrészek közötti hézag modellbe építésével. Ennek jelenléte ugyan nemlinearitást okoz, de a teljesség igényéhez hozzátartozik.

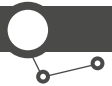
Azt kell mondjuk, hogy a kikötőrudakra vonatkozó szimulációs rész még a fent leírt durva egyszerűsítésekkel együtt is elvárásokon felül közelíti a valóságot. Ezzel együtt elmondható, hogy bár nem a szóló jármű kikötőrúd-terhelései kerültek mérésre, a modell finomításával alkalmasnak mondható különböző busztípusok futómű terheléseinek megítélésére. A téma ezek szerint helytálló kutatási terület és igazi kiaknázatlan kincseshánya, mert pontosításához további területek kutatása és mérések sokasága szükséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a RÁBA Futómű Fejlesztési Intézet munkatársait a készséges támogatásért, mellyel munkámat segítették. A jármű hajtásláncmodellje nem jöhetett volna létre a Protruck Kft. szakemberei nélkül, akik idejüket nem sajnálva álltak rendelkezésünkre, ezzel hozzájárulva a cikk megírásához. Köszönetünket fejezzük ki érte! ●

IRODALOM

- [1] K. M. Hangos, I. T. Cameron: Process Modelling and Model Analysis, Academic press (2001).
- [2] Trencsényi, B., Németh, H. Integrated powertrain modelling to enhance comfort of heavy duty vehicles, Proceedings of the 22nd JUMV Science and Motor Vehicles Conference (2009).
- [3] Hans B. Pacejka: Tyre and Vehicle Dynamics, Butterworth-Heinemann Ltd; 2nd Revised edition edition (8 Dec 2005).



Hangos karácsonyra várva

Show-hatást is bevetettek a SZEngine motorfejlesztő csapat tagjai, amikor a nagy nyilvánosság előtt leleplezték az általuk készített erőforrást. Négy év alatt száznál is több hallgató dolgozott azon, hogy ezen ünnepélyes pillanatot elérkeztesse.

Az ember azt gondolná, hogy a SZEngine névnel találóbbat aligha lehetett volna kitalálni. Ezzel együtt sajnos még a Széchenyi István Egyetem hallgatóinak jó része sem tudja, hogy hol és mivel is foglalkozik ez a csapat. Pedig egyetemünk rövidítésének és a motor szó angol megfelelőjének összefűzéséből származó csapatnévnek – ahogy mondani szokás – „ütni kellene”. De tudják mit? Nem is a névnek kell nagyot szólnia, hanem a teljesítménynek. És ebben nincs hiba.

Az egyetemen, a Belső Égésű Motorok Tanszék épületében tartott motorbemutatót követően ültünk le beszélgetni Varga Tihamérral, a SZEngine Motorfejlesztő Csapat aktuális vezetőjével.

Mielőtt belevágtunk volna a csoport tevékenységének ismertetésébe, személyes bemutatkozásra kértük az ajkai fiatalembert. – Az édesapám és a bátyám is gépészmérnök, így aztán magától értetődik, hogy én is az akartam lenni. A sorsom egyébként tizennégy éves koromban dőlt el véglegesen, amikor jogosítványt szereztem segédmotorra, s kaptam is mindjárt egy Simsont. Azt aztán szerelhettem rendesen, de ez egyáltalán nem vette el a kedvem a műszaki tanulmányoktól. Sőt. A bátyámhoz hasonlóan a gimnázium elvégzése

után én is a Széchenyi István Egyetemre jöttem tanulni. Abban az évben, amikor ő kézhez kapta a diplomáját, akkor voltam gólya. Most meg már én töltöm itt az utolsó félévemet, már a diplomamunkámat is le kellett adnom. Pontosabban, ez csak alapszakon lesz az utolsó félévem, mert utána mesterszakon még szeretnék két évet itt maradni.

S HOGY TIHAMÉR AZTÁN HOGYAN IS KERÜLT BE A SZENGINE CSAPATÁBA?

Úgy gondolom, hogy nem olyan nehéz az egyetem, csak komolyan kell venni, és akkor menni fog. 2010-ben, az egyik, immáron Ingolstadtban dolgozó barátom felhívott, hogy létezik ez a motorfejlesztő csapat, lenne-e kedvem esetleg csatlakozni. A válaszom természetesen igen volt! Nagyon megtetszett amit meséltek a feladatokról, így aztán örömmel csatlakoztam. Az elején a kenési rendszer konstruktőréként ténykedtem, majd részlegvezető lettem. Egy évvel ezelőtt két csapattársammal együtt „hívtak minket” a vezetők, mondván, ők már kiöregedtek, diplomával a kézben lassan búcsút intenek az egyetemnek, úgyhogy vezetői



FORMULA STUDENT
ENGINE DEVELOPMENT TEAM
SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY GYŐR



SZENGINE®



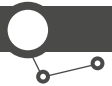
szinten is fiatalítani kellene. Ránk gondoltak. Az egyik társamat a műszaki dolgok érdekelték leginkább, a másikat a háttértámogatás és a menedzsmenti rész. Engem ért a megtiszteltetés, hogy vezessem a csapatot, illetve foglalkozzak a kommunikációval. Tényleg úgy érzem, hogy meszeszerű, ami történik velem...

A SZEngine 2008-ban kezdte tevékenységét. Az Audi Hungaria hathatós támogatásával alapították meg a csapatot, azzal a céllal, hogy fejlesszenek ki egy, a Formula Student versenysorozatba szánt olyan versenymotort, melyet a későbbiekben több járműfejlesztő csapat is felhasználhat. A csapat a nulláról kezdte a munkát, s bizony az eltelt négy év alatt száznál is több hallgató vett részt abban a munkában, melynek eredménye az az egyhengeres, ötszáz köbcentiméteres erőforrás, amelyről november

végén hullott le – képletesen és a valóságban is – a lepel. Amit aztán a csapattagok meg is ünnepeltek.

A fejlesztés tényleg saját kútfőből történt, az Audi Hungariánál dolgozó szakemberek időről időre véleményezték az elvégzett munkát – tette hozzá Varga Tihamér, akitől azt is megtudtuk, hogy mivel a henger bevonatolása még nem készült el, egyelőre várni kell a motor tesztelésével. – Miután ezen művelet Svájcban történik, s nagyjából egy hónapot vesz igénybe, csak remélni tudjuk, hogy a karácsonyfa alatt beindíthatjuk a motort. Aztán egy korábbi, már lezárt projekt fékpádján hosszasan tesztelhetjük is. Biztosra veszem, hogy lesznek gyerekbetegségei, amit szeretnénk a következő, EVO2-es motor építésénél kiküszöbölni.





Az erőforrást egyébként úgy tervezték, hogy azt a járműben a pilóta mögött keresztben lehet beépíteni. Ily módon a vezetőülést jobban meg lehet dönteni, alacsonyabb autót lehet építeni, ami a légellenállás szempontjából egyáltalán nem mindegy.

Egy autó alaponstruktúráját a motor határozza meg. Azért fejlesztünk egyedi váltót, hogy így módon az egész erőforrás komplett legyen és egyszerűbben lehessen beépíteni. A már elkészített motort tesztelésre szánjuk, s bár vannak csapatok, melyek már most komolyabban érdeklődnek, nyugodtabb lennék, ha a beépítéssel megvárnánk az új generációs motort. Amiről azt már most elárulhatom, hogy azon olyan nagy változást nem szeretnénk a mostanihoz képest eszközölni, inkább amit tudunk, azt szeretnénk még jobban kivitelezni, illetve a motort a jelenleginél mindenképpen könnyebbé varázsolni.

A SZEngine jelenleg mintegy ötven hallgatóból áll, s továbbra is nyitott minden hallgató előtt. Igaz, most már náluk is van állásinterjú, aztán van egy féléves próbaidőszak, ami után elbeszélgetnek a még mindig csak potenciális csapattaggal. S ha látták, látják rajta az együttműködés szándékát, az elhivatottságot, akkor teljes jogú csapattaggá válhat.

Az a legfontosabb, hogy a hallgató motivált és szorgalmas legyen, s persze érdekelje a választott szakmája. Miután ez a lehető legjobb gyakorlat egy leendő mérnök számára, ha



tudatosan építi a jövőjét, akkor nem is kétséges, hogy mit választ. Ily módon majd az elmélet is könnyebben megy, a diploma mellett pedig ott lesz valami plusz, amire a cégek is felfigyelnek.

Végezetül, ahogy az például az Oscar-díjátadón is szokás, jöhet a köszönet kinyilvánítása minden érintettnek. – Aki benne volt, vagy van egy ilyen projektben, az pontosan tudja, hogy nem véletlenül köszönöm meg az egyetemnek, valamennyi támogatóknak a segítséget, valamint a családtagjainknak a türelmet. Mert ha ezt komolyan csináljuk, márpedig csak úgy van értelme, akkor bizony sok mindenről le kell mondanunk. Én például kevesebbet sportolok. Szekeres Tamás rektor az ünnepség után odalépett hozzám és személyesen gratulált. Nagyon jól estek a szavai, és megerősítettek abban, hogy jó úton járok, hogy jó úton járunk. Őszintén szólva, büszkeséggel tölt el, hogy egy ilyen csapatot vezethetek, képviselhetek. A motor születése kapcsán megújult a honlapunk és megszületett a havi szinten kiküldeni tervezett, magyar, angol és német nyelven íródó hírlevelünk. Hogy most már ne csak a Széchenyi István Egyetemen, hanem az országban, sőt a határainkon túl is mind többen tudják, hogy a SZEngine egy győri motorfejlesztő csapat. ●



Audi
Hungaria



Audi Akademie
Hungaria

METAPLAST
GEAR TECHNOLOGY



Audi
HUNGARIA
Belső Égésű Motorok Tanszék



Áramlás okozta zajok modellezése levegőszelepből

BALI RICHÁRD

Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.

KOVÁCS SÁNDOR

BME,
Repülőgépek és Hajók Tanszék

RÁKOS ROLAND

Széchenyi István Egyetem

DR. VERESS ÁRPÁD

Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.

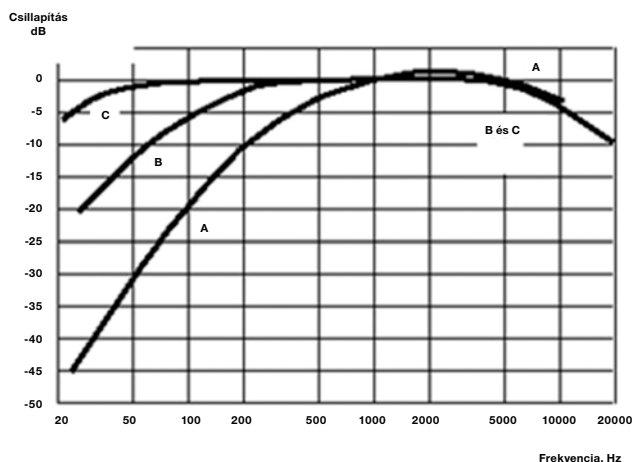
A gyorsan fejlődő ipar és a gépesítés eredményeként jelentkező zaj többsége káros hatással van a környezetre és negatívan befolyásolja a komfortérzetet. Ennek következtében a szerkezetek akusztikai jellemzője jelentős hatást gyakorolhat azok piaci megítélésére és értékére. A tanulmány célja egy pneumatikus rendszerben kialakult aeroakusztikus (aerodinamikai jelenségek által keltett) zaj numerikus áramlástani számítására alkalmas eljárás kidolgozása, illetve annak a mérési eredmények felhasználásával történő validálása. A módszer ciklikus alkalmazásával csökkenthető a fejlesztési költség, idő és kapacitás.

The noise, as an attending of the rapidly developing industry and product development can be harmful for human being and it has a negative effect for well-being. Thus, the acoustic characteristics of the engineering products can strongly influence their market demand. Hence, the goal of the present research is to develop a calculation procedure to simulate numerically aeroacoustic noise evolves in a complex pneumatic system and to validate the results by measurement. The cyclic application of the analyses can strongly contribute to decrease the development time, cost and capacity of a new product.

BEVEZETÉS

Egy rendszernek fő feladata ellátásán kívül számos egyéb követelménynek is meg kell felelnie, amelyek csak másodlagosak, mégis jelentősen befolyásolhatják a rendszer kialakítását vagy éppen alkalmazhatóságát. Ilyen követelmény lehet a rendszer működése közben mérhető zajszint adott érték alatt tartása, amely komoly kihívások elé állítja a mérnököket. Üzem közben jelentkező zaj ugyan nem okoz működési problémákat, azonban halláskárosodáshoz, illetve vevői elégedetlenséghez vezethet. Emiatt ennek csökkentését megcélzó fejlesztési törekvések egyre nagyobb szerepet kapnak a teljes fejlesztési folyamatban.

Akusztikai szempontból a zaj és a hang ugyanannak a jelenségnek az eredménye, ami nem más, mint a légköri nyomás középérték körüli ingadozása. A rugalmas közeg nyomásváltozását kiváltó zavarás lehet egy vibráló felület (vibroakusztika) vagy az áramlásban létrejövő turbulencia is (aeroakusztika). Így a hang a rugalmas közeget érő gerjesztés hatására jelentkező, egymást követő kompressziós, illetve expanziós hullámok következménye [2].



1. ábra: különböző akusztikai szűrők csillapítási görbéi [1]

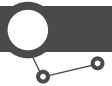
A tiszta hangokkal végzett vizsgálatok alapján kimutatható, hogy fülünk a mély és nagyon magas hangokra érzéketlenebb, a 3000 Hz körüliekre pedig érzékenyebb. Tehát bizonyos frekvenciájú hangokat az emberi fül csillapít, ennek mértékét az 1. ábra, az „A” akusztikai szűrő csillapítási görbéje szemlélteti. A szubjektív érzet frekvenciafüggősége arra készítette a műszergyártókat, hogy a mérőmikrofon és az objektív (dB) értékeket mérő műszer közé egy, a fül érzékenységét utánozó szűrőkört iktassanak. Ez valósítja meg az objektív mérőszámokkal leírható zaj és annak szubjektív hatása közötti kapcsolatot, amely nélkül az ember védelmére szolgáló elvárások, megengedhető értékek megállapítása lehetetlen lenne. A fentiek következményeként a szubjektív érzet figyelembevétele a zajcsillapítás és mérés szerkesztés része kell legyen [1].

Az akusztikában igen széles értéktartományú mennyiségekkel számolunk. Hallásküszöbünk – az a legkisebb nyomás, amelyet még éppen meghallunk – $2 \cdot 10^{-5}$ Pa körül van, míg az ún. fájdalomküszöb kb. 20 Pa. Az érzékelt frekvenciatartomány alsó határa 20 Hz míg a felső 20 kHz. Ezen tartományok lineáris skálán való értelmezése nagyságuk miatt nehézkes, emiatt válik szükségessé a logaritmusskála bevezetése, amelyen a skála összezsugorodása miatt a hangnyomásszint (Sound Pressure Level – SPL) könnyen kezelhetővé válik. Ennek értéke mint objektív mérőszám az alábbiak szerint számolható:

$$L = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 [dB] \quad (1)$$

ahol a dB (decibel) a szintek mértékegysége. A referencia-nyomás értékéül (p_0) nemzetközi megegyezés alapján a hallásküszöböt választották, ami 2×10^{-5} Pa [3].

Az akusztikában nemcsak egyetlen tiszta ún. „harmonikus”, időben szinuszos, vagy koszinuszfüggvény szerint változó hang hatásával kell számolnunk. A legtöbb esetben az érzékelt hang több tiszta hang összetételéből áll. Bármilyen alakú is legyen a hangnyomás időbeli lefutása, mindig Fourier-sorba fejthető, azaz alkotóelemeire bontható. Ezzel meghatározható a zaj spektruma, ami a hangnyomásszint frekvencia függvényében való ábrázolása.



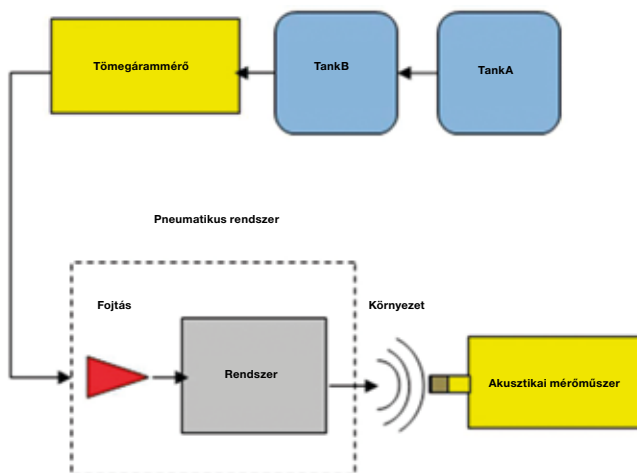
2. ábra: a vizsgált pneumatikus egység

A ZAJ NUMERIKUS MODELLEZÉSE

Zajcsökkentés szempontjából fontos a zajforrás és a zajter ismerete, amihez a fentiek alapján a nyomástér, illetve annak időbeli megváltozása szükséges. A véges térfogatok elvén működő CFD (Computational Fluid Dynamics) szoftverek fontos részét képezik az akusztikai számításoknak, mivel alkalmasak az örvényekben, a turbulens áramlásban és a nyírórétegben kialakult nyomástér számítására is. Mivel ezek az áramlási szerkezetek hozzájárulnak a zavarás, az aeroakusztikai számítások során zajforrások is egyben.

Az akusztikai szimulációk elvégzésére több lehetőség kínálkozik, amelyek közül a legpontosabb (jelen munkában használt) a CAA (Computational Aeroacoustics). Ennek során a teljes áramlási térre el kell végezni a tranziens számítást, melynek tartalmaznia kell a hangforrást, a megfigyelőt és a kettő közötti hangteret is [4]. Az eredmény megbízhatósága szempontjából lényeges a hangforráshoz közeli részek megfelelő mértékű időbeli és térbeli felbontása és számítása. Így pontosan meghatározhatók a zajforrások által keltett zavarások és azok terjedése a teljes áramlási téren keresztül az érzékelési pontig (megfigyelőig), ahol a statikus nyomás időbeli megváltozásának rögzítése történik [2]. Ez a megfigyelő által érzékelt nyomásjel (hangjel).

A legmagasabb frekvenciák kis tér- és időbeli felbontás, míg a legalacsonyabbak viszonylag hosszú szimulációs idő esetén lesznek elfogadható pontossággal kiértékelhetők. Az érzékelési pont gyakran többméteres távolságra van a zajforrástól. Emiatt az akusztikai számításnál a legtöbb esetben az áramlási tér mérete is



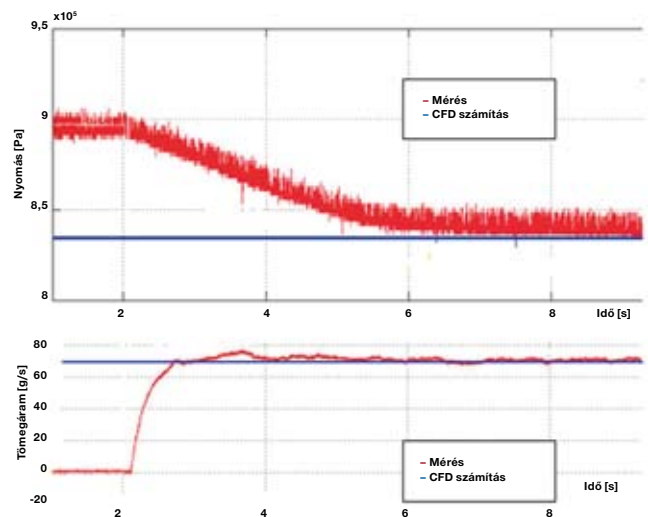
3. ábra: a pneumatikus rendszer felépítése

nagyobb, mint a hangnyomásszint és a zajspektrum kiértékelését nem igénylő számítások esetében. A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy a CAA szimulációk viszonylag nagyszámú időlépés és cellaszám mellett adnak pontos eredményt, ami megnövekedett számítási kapacitás igényével társul [2].

A nagyméretű örvények és turbulens struktúrák egyre kisebb méretűekre esnek szét, végül teljesen lecsillapodnak, mozgási energiájuk pedig hővé alakul át. Nyomáseloszlásuk és azok időbeli változásának számítása nem jelent problémát, azonban a numerikus hálóméreten aluli méretű struktúrák esetében ez már nem lehetséges. Hatásuk nem elhanyagolható, a turbulens áramlásnak ezt a részét turbulenciamodellek segítségével vesszük figyelembe. A számítás során több turbulenciamodellt vizsgáltunk meg, ezek összehasonlítására az eredmények kiértékelésekor kerül sor.

MÉRÉS ÉS ANNAK KIÉRTÉKELÉSE

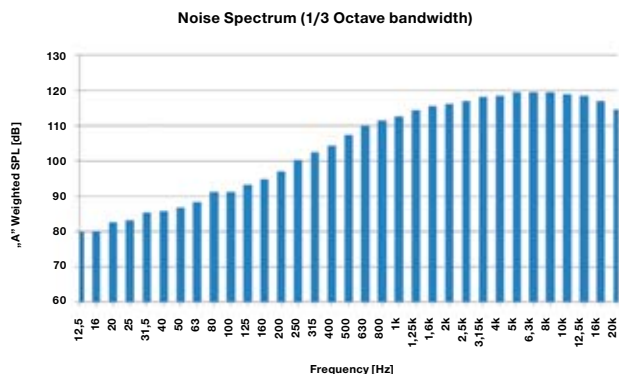
A pneumatikus egység (2. ábra) által kibocsátott zaj numerikus számításának validációja érdekében a hangnyomásszintet és a rendszer tömegáramát kell mérnünk. A tartályban lévő levegő nyomásának és hőmérsékletének ismeretében a valóságnak megfelelő peremfeltételeket tudunk beállítani a számításhoz, így ezek mérése is szükséges. Mivel a zaj ebben az esetben egy nagyon rövid tranziens folyamat (a levegő szűk keresztmetszeten nagy sebességgel történő átáramlásának) következménye, ezt a gyors változást a mérőműszerek nem képesek lekövetni. Ezért a mérés ideje alatt egy kvázi stacioner folyamatot kell biztosítani.



4. ábra: a nyomás és tömegáram mérésének eredményei

A mérőberendezés két tartályt tartalmaz (3. ábra), ezek közül az A (27 m³) töltőtartályként, a B (0,5 m³) pedig puffertartályként funkcionál. A levegő a tömegáramot mérő műszeren és egy 7 mm-es fojtáson áramlik át; innen a szelepbbe, majd a környezetbe jut. A nyomás és hőmérséklet értékének mérése a B tartályban történik. A hangnyomásszint rögzítésére a rendszer kilépő keresztmetszete közelében előre kijelölt pontokban került sor.

A mérés elején a B tartályban hirtelen leesik a nyomás, mivel az A tartály csak lassabban képes utántölteni (lásd 4. ábra fent). Ennek közel állandósult értéke kb. 8,4 bar. A mért tömegáram 70–75 g/s, ez az érték jó egyezést mutat a program által végzett számítás során kapott 70 g/s értékkel (lásd 4. ábra lent).

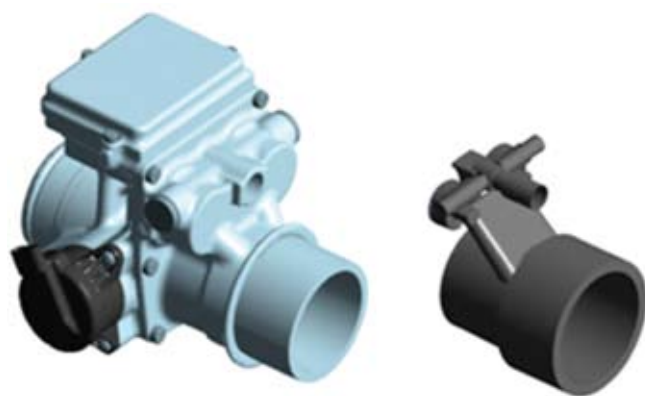


5. ábra: zajspektrum egy mérési pontban

Az 5. ábra egy mérési pont „A” akusztikai szűrő szerinti zajspektrumát szemlélteti, amelyhez hasonló karakterisztikájú spektrumot kapunk a többi mérési pontban is. A mérések 3 s-ig tartottak és az állandósult nyomásértékhez tartozó időtartományban lettek végrehajtva (4. ábra). Látható, hogy a zaj kialakulásában a magasabb frekvenciákhoz tartozó komponensek dominálnak, ennek eredménye egy magas éles hang. A bemutatott zajspektrumhoz 128,8 [dB] „A” súlyozásos hangnyomásszint tartozik, amihez képest a háttérzaj hangnyomásszintje elhanyagolható, tehát korrekcióra nincs szükség.

NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ ELŐKÉSZÍTÉSE

Első lépés az áramlási tér elkészítése volt a geometria alapján. A 6. ábra jobb oldalán láthatjuk a vizsgált egység áramlási terét, amelyhez a mérésnek megfelelően egy 3 m hosszúságú cső csatlakozik (lásd 7. ábra). Ennek másik végén helyezkedik el a B tartály, melyet a végső áramlási tér nem tartalmaz, hatását a cső végére, mint a rendszer bemenetére definiált állandó 8,5 bar nyomással vettük figyelembe.

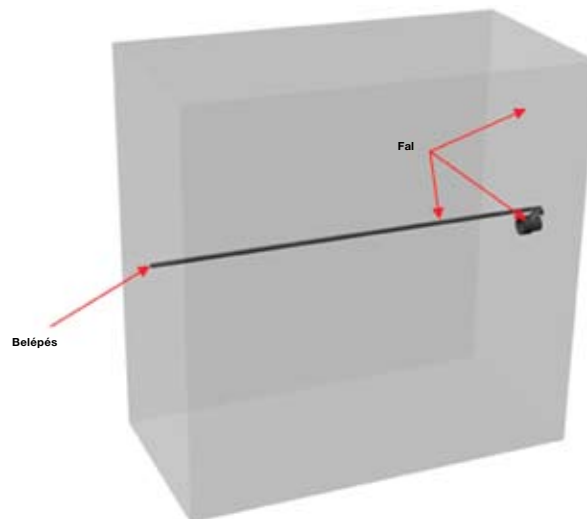


6. ábra: a vizsgált egység és áramlási tere

A zajszintet a mérés során természetesen a pneumatikus rendszeren kívüli pontokban tudtuk csak meghatározni, így a szimuláció során is ugyanott kell elhelyeznünk az érzékelési pontokat. A környezet figyelembevételére a teljes áramlási teret egy téglatesttel határoltuk körbe (lásd 7. ábra). A téglatest oldallapjai sűrűlódásos adiabatikus kimenet nélküli falként kerültek definiálásra, mert a kimenettel rendelkező nagy áramlási tér a kilépésre érzékeny CFD megoldó esetében konvergencia problémákhoz vezetett volna A

pneumatikus egység és a hozzá csatlakozó cső felületei szintén fali (no-slip) peremfeltételként lettek megadva.

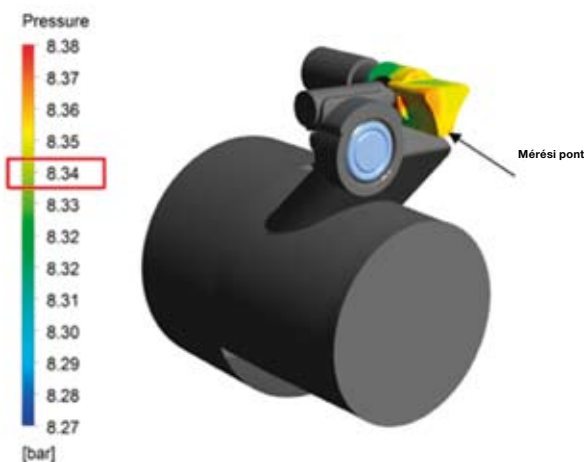
Mivel a szimuláció során hangnyomásszintet is szeretnénk számolni, fontos a turbulencia pontos modellezése. Ezért a szimuláció során több turbulenciamodelt is alkalmaztunk, így lehetőségünk nyílik ezek összehasonlítására a kiértékelés során. Az alkalmazott modellek a következők: Shear Stress Transport (SST), Scale Adaptive Simulation (SAS) és Detached Eddy Simulation (DES).



7. ábra: a rendszer peremfeltételei

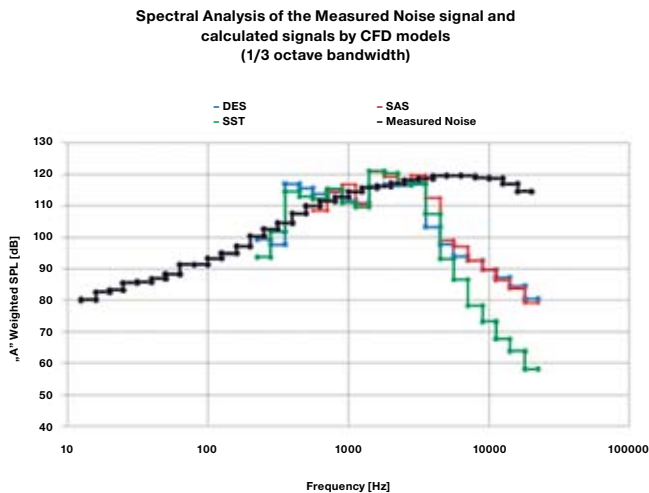
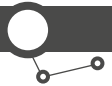
NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEI

Az egységbe való belépésnél a mért nyomás értéke 8,34 és 8,4 bar, a tömegáram pedig 70 és 75 g/s között volt (lásd 4. ábra: A nyomás és tömegáram mérésének eredményei). Ugyanezek az értékek a CFD számítás eredményei alapján 8,34 bar és 70 g/s (lásd 4. és 8. ábrák). Megállapíthatjuk, hogy a számítás és a mért eredmények jól korrelálnak egymással, így a nyomás és tömegáram validációját elfogadhatjuk.



8. ábra: számított nyomásérték a mérési pontban

A 9. ábrát megfigyelve azt a további következtetést vonhatjuk le, hogy mindegyik turbulenciamodell visszaadta a mérési eredményt 3 és 5 kHz közötti frekvenciatartományban elfogadható hibahatáron belül. Ez az emberi fül számára a legérzékenyebb tar-



9. ábra: a mért és számított zaj spektruma

omány, ami az „A” akusztikai szűrő karakterisztikájából is kiderül (lásd 1. ábra). Érdemes megemlíteni, hogy a szakirodalomban fellelhető adatokkal ellentétben az SAS turbulencia modell pontosabb eredményt adott, mint a DES.

A nem elegendően diszkrétizált áramlási tér, illetve turbulencia-modellek csillapító hatása miatt kevésbé pontosak a magasabb frekvenciatartományokon, ezért itt viszonylag nagy eltérés tapasztalható a mért és számított spektrumok között.

A legmagasabb kiértékelhető frekvenciát (f_{max}) az időlépés (Δt) határozza meg a következő összefüggés szerint:

$$f_{max} = \frac{1}{2 \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

Az időlépés esetünkben 10^{-5} s volt, így a frekvencia maximális értéke 50 kHz, ami a hallható tartományon kívül esik. A frekvenciatartomány alsó értékének számításához a szimulációs időtartam (t_{flow}) és a legalacsonyabb frekvencia (f_{min}) közötti kapcsolatot használhatjuk fel:

$$f_{min} = \frac{10}{t_{flow}}, \quad (3)$$

Mivel a szimulációs időtartam 0,02 s volt, így a megoldó által számolt legkisebb frekvencia 500 Hz. Ha a teljes tartományt le szeretnénk fedni 20 Hz-től kezdve, akkor 0,5 s időtartományt kellett volna a teljes folyamatból kiszámolni, ami lényegesen hosszabb számítási időt eredményezett volna. Így, az 500 Hz kompromisz-

sum alapján lett kiválasztva, az ez alatti frekvenciatartományt nem tudjuk figyelembe venni.

Az 1. táblázat egy kiválasztott mérési pont „A” akusztikai szűrő súlyozásával kapott hangnyomásszint maximális értékét adja meg. A számítások eredményei kevesebb mint 2 dB-lel térnek el a mérési eredménytől. Összevetve a hangnyomásszint értékét és a zajspektrum képét megállapíthatjuk, hogy a legpontosabb eredményt az SAS turbulenciamodel adta, a legrosszabbat pedig az SST.

A HANGNYOMÁSSZINT „A” SÚLYOZÁSÚ MAXIMÁLIS ÉRTÉKE

	Maximum „A” SPL [dB]
Mért érték	128.8
DES	127.1
SAS	127.5
SST	127.1

1. táblázat: turbulenciamodellek eredményeinek összehasonlítása

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja egy pneumatikus rendszer által keltett aero-akusztikus zaj numerikus áramlástanai modellezése CFD szimuláció segítségével elfogadható számítógép-kapacitásigény mellett. A zaj kiértékelése során a hangnyomásszint, illetve a zajspektrum meghatározására került sor előre definiált pontokban. A vizsgált pneumatikus egységen végzett mérés eredményei egyrészt a numerikus szimuláció bemenő paramétereinek meghatározására, másrészt a számítás validálására szolgáltak. A szimuláció során több turbulenciamodell került alkalmazásra. A mért és számított eredmények összevetése alapján kijelenthetjük, hogy a szimuláció a valóságnak megfelelő értéket adott a nyomás és a tömegáram értékére vonatkozóan. A zajspektrum esetében az emberi fül számára legérzékenyebb tartományban (3–5 kHz) a számítás visszaadta a mérési eredményeket. A turbulenciamodellek összehasonlítása során a megvizsgált három modell közül az SAS modell bizonyult a legpontosabbnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja. ●

IRODALOM

- [1] Dr. Kurutz Imre, Dr. Szentmártony Tibor – A műszaki akusztika alapjai, 1991
- [2] Domenico Caridi – Industrial CFD simulation of Aerodynamic noise (http://www.fedoa.unina.it/3249/2/ Tesi_Dottorato_Caridi-2008.pdf), 2008
- [3] Lajos Tamás – Az áramlástan alapjai, 2008
- [4] ANSYS CFX 12.1 documentation

Gázturbina égésfolyamatának vizsgálata különböző égésmodellekkel

BICSÁK GYÖRGY

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Repülőgépek és Hajók Tanszék

FOROZAN ZARE

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Repülőgépek és Hajók Tanszék

DR. VERESS ÁRPÁD

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Repülőgépek és Hajók Tanszék

Az égésfolyamat modellezése gázturbinák égésterében komplex feladat, mivel a vizsgált paraméterek (pl. égési hatások, tüzelőanyag-fogyasztás, zaj- és károsanyag-kibocsátás) olyan multifizikai folyamatok következtében alakulnak ki, amelyekre jelentős hatást gyakorolnak az áramlást befolyásoló szerkezeti elemek. A numerikus szimulációk térhódításához, ezen a téren is, a számított paraméterek (hőmérséklet, nyomás, koncentráció...) pontosságának legalább 5–10%-on belül kell maradnia a mérési eredményekhez képest ahhoz, hogy megfelelő támogatást biztosíthassanak az égésterek fejlesztéséhez. Ezért, a jelen kutatás során egy háromdimenziós, turbulens, gázfázisú égésfolyamat elosztott paraméterű numerikus áramlástani modellezést végeztünk el azzal a céllal, hogy össze tudjuk hasonlítani különböző égésmodellek adott cellaméret és azonos peremfeltételek melletti eredményeit egymással és valóságos mérési adatokkal a legjobb közelítés további tesztelésének, felhasználásának és továbbfejlesztésének érdekében.

Modelling of combustion processes in combustion chamber of gas turbines is a complex problem, because the parameters (e.g. combustion efficiency, fuel-consumption, noise and emission) are strongly influenced by the geometry of the structure beside the multiphysical processes of the fluid dynamics, heat transfer, thermodynamics and reaction kinetics. In order to have relevancies of the numerical methods in design and developments in that area too, the accuracy of the computed parameters (temperature, pressure, concentration,) must be within 5–10 % compared with the results of the measurements. Hence, in the present article, a three dimensional, turbulent, gas-phase combustion process has been modelled in a simplified tubular combustor in order to compare the results of different combustion models with each other and with measured data, using the same geometry, mesh, boundary conditions and computational settings. The output of the investigation is going to be used for determining the most accurate approach, which can be used for further testing, application and improvements.

BEVEZETÉS

Napjainkban, a folyamatos technikai és technológiai újítások ellenére is egyedül a gázturbinák képesek egy nagyméretű polgári vagy egy katonai repülőgép felszállására és a megfelelő határfokú tolóerő előállítására a nagy teljesítménysűrűségüknek köszönhetően. A termikus határfokok elérheti a 40%-ot, ami a nagy nyomásviszonynak, tüzelési és izentrópus határfokoknak, a kis nyomásvesztéseknek, valamint a nagy turbina előtti hőmérsékletnek (pl. max. 2000 K is lehet) köszönhető.

A gázturbinák nemcsak a járműiparban, hanem az energia-termelésben is jelentős szerepet játszanak. Ez, többek között, a kedvező karbantartási és üzemeltetési tulajdonságaiknak, a tüzelőanyag paramétereire való kevésbé érzékenyséjüknek, a könnyebb kiegyensúlyozásuknak és az egyenletesebb járásuknak köszönhető.

Egy gázturbina fejlesztése igen bonyolult, összetett, idő- és költségigényes folyamat.

- A fejlesztések 4 fő célja lehet
- A mechanikus és termikus határfok növelése
- Károsanyag-kibocsátás csökkentése
- Költségek csökkentése
- Élettartam növelése.

Ezen célok a gázturbinagyártókat újabb és újabb kihívások elé állítják. A fejlesztés során számtalan kísérletre és mérésre van szükség. Az egyes prototípusok előállítási és tesztelési költségei tetemes összegeket emésztene fel. Egy-egy ipari gázturbina hajtotta generátoregység vizsgálata egy kisváros éves gázfogyasztásával egyenértékű. Ráadásul, az egyre szigorodó károsanyag- és zajkibocsátási előírások szintén korlátok közé szoríthatják a kidolgozott komponensek tesztelését.

A fejlesztések korai, de akár későbbi szakaszaiban a számítógépes támogatásnak köszönhetően jelentős költség és befektetett munkaóra takarítható meg. A Véges Térfogat Módszeren alapuló

CFD (Computational Fluid Dynamics) számítások igen széles körben alkalmazhatók különböző áramlási és hőtani problémákra, így megfelelő kémiai egyenletekkel kiegészítve akár az égés modellezésére is. Ugyanakkor az égésterben lezajló folyamatok virtuális szimulációjára nincs tökéletesen kidolgozott eljárás. Hiába áll rendelkezésre kiterjedt elméleti háttér, a számítási kapacitás korlátozottsága miatt egy-egy virtuális modell elkészítésének és lefutásának ideje több nap, esetleg hét is lehet stacioner esetben, tranziens folyamatnál pedig több hónapig is elhúzódhat, függően a geometriától, a modell elemszámától, a csatolt fizikák számától és a tüzelőanyagtól.

Ahhoz, hogy egy modell ipari és tudományos alkalmazásokra is használható legyen, a számításoknak megfelelő pontossággal kell leírnia a valóságos folyamatokat. A számított eredményeknek 5–10%-nál jobban nem szabad eltérniük a mérési eredményektől függetlenül a szimuláció komplexitásától. Egy nagy pontosságú analízis lefutásához azonban jelentős számítógépi kapacitásra és időre van szükség.

Az égésterekben lezajló folyamatok modellezésének fejlesztésével, illetve a modellezési eljárások vizsgálatával nem csak hatékonyabb számítási folyamatok dolgozhatók ki az adott probléma leírására, hanem lehetőség nyílik a célfüggvények különböző üzemmódra történő optimalizálására, alternatív tüzelőanyagok (pl. hidrogén, etanol) előzetes tesztelésére és így a fejlesztési és gyártási költségek csökkentésére is.

A FELADAT MEGFOGALMAZÁSA

Munkánk során egy leegyszerűsített geometriájú égésterben kialakult égési folyamatot modelleztünk egy kereskedelmi CFD-szoftverben megtalálható különböző égésmodellek segítségével. A feladat elsődleges célja az égésterben kialakult hőmérséklet-eloszlás meghatározása és összehasonlítása volt különböző égésmodellek alkalmazása esetén, illetve a számítási



eredmények összevetése egy valóságos mérés eredményével a rendelkezésre álló külföldi szakirodalom alapján.

A feladat peremfeltételeinek meghatározása során törekedtünk arra, hogy a valós kísérleti körülményeket a lehető legpontosabban modellezzük. Az egyszerű geometriának köszönhetően a futtatási idők még kezelhető korlátok belül maradtak. A feladat végrehajtásának célja egy olyan gázturbina égésmoделlezésére alkalmas eljárás kidolgozásának megalapozása, amely megfelelő pontosságú eredményt képes szolgáltatni (maximum 5%-os eltérés a számított és a valós paraméterek között), viszont a rövidebb számításiidő-igénye alkalmassá teszi a mérnöki fejlesztésekben történő használatra.

ÉGÉSFOLYAMATOK 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 megoldóalgoritmussal lehetőségünk nyílik reakciókinetikai egyenletek megoldására, így az égés pontos modellezésére is.

CFD-környezetben az összenyomható áramlások pontos leírásához ismerni kell a tér minden pontjában a nyomást (p), hőmérsékletet (T), sűrűséget (ρ), sebességvektort (V) és komponenseit (u_x, u_y, u_z), illetve a különböző anyagok koncentrációját minden (i) időpillanatban (tranzien szimuláció esetén). Általános áramlástani problémák során ezek a jellemzők a megmaradási egyenletek segítségével határozhatók meg, viszont égési problémák esetében a reakciókinetikai egyenletekből és az égési modellekből nyerhetünk pluszinformációt.

A számítások során az első közelítés, hogy a nyomás értéke állandó marad cellán belül (természetesen a nyomás nem állandó, de változásának időigénye nagyságrendekkel nagyobb, mint a többi jellemző, így élhetünk ezzel az egyszerűítéssel). A sebességértékekről a tömegmegmaradás egyenletének segítségével nyerhetünk információt, melynek 1 dimenziós alakja z irányban a következő:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = 0 \rightarrow \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = 0 \rightarrow \rho v = \text{const.} \quad (1)$$

Véges reakcióidejű kémiai modellek esetén az egyes i tömeghányadosokra felírt kontinuitásegyenletekben megjelenik az égés miatt még egy tag, a reakcióráta, mely a forrás/keletkezés időegységre eső mennyiségét adja meg. Az 1D-s kontinuitás egyenletéből az egyes komponensek tömegaránya; w_i határozható meg:

$$\rho \frac{\partial w_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_i \rho \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) - \rho v \frac{\partial w_i}{\partial z} + r_i \quad (2)$$

Az egyenletben v a gázkeverék sebességét, D_i a diffúziós koefficiens, r_i pedig a reakcióráta jelöli. Ez utóbbi az egyes komponensek reverzibilis és irreverzibilis tagjaiból tevődik össze a következő módon:

$$r_i = M_i \sum_k r_{i,k} = M_i \left(F_k \prod_i c_i^{\eta_{i,k}} - B_k \prod_i c_i^{\eta_{i,k}} \right), \quad (3)$$

ahol M_i a moláris tömeget, c_i a koncentrációt és $\eta_{i,k}$ az exponenciális kitevőt jelöli. F_k és B_k a reakcióráta konstansai, melyek az Arrhenius-egyenlettel határozhatóak meg:

$$F_k = A_k T^{\beta_k} e^{\left(-\frac{E_k}{RT}\right)}; B_k = F_k T^{\beta_k} e^{\left(-\frac{E_k}{RT}\right)}, \quad (4)$$

amelyben A_k egy preexponenciális együttható, E_k jelöli az aktiválási energiát, R a specifikus gázállandót és β_k pedig a hőmérséklet-együtthatót (általában 0).

A hőmérsékletérték az 1D-s energiamegmaradás egyenletéből számolható, mely szintén tartalmazza a kémiai tagot:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \sum_i h_i r_i - \left(\rho v c_p + \sum_i j_i c_{p,i} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

Itt a λ a hővezetési együtthatót, c_p a közepes fajhőt állandó nyomáson, j_i pedig a diffúziós együtthatót jelöli.

Végül a sűrűség értéke az ideális gáztörvény alapján határozható meg:

$$\frac{p}{\rho} = RT. \quad (6)$$

Mivel egy égési folyamat részletes leírásához akár több száz egyenlet is szükséges lehet, függően a tüzelőanyagtól, az oxidálószerzől és a keverékképzés módjától például, illetve a jelen publikációban rendelkezésre álló terjedelem nem engedi meg az összes képlet bemutatását, ezért a továbbiakban az égési folyamatokhoz szükséges egyéb modellek bemutatásával folytatjuk az elméleti összefoglalót (lásd **1. ábra**).



1. ábra: a CFD programok által használt égésmodellek

Az általános megmaradási egyenletek mellett különböző kiegészítő modellek segítik a fizikai szempontból pontosabb közelítést. Így például folyékony tüzelőanyag esetén a folyadékcseppek dinamikája mellett azok fázisátalakulását, pl. párolgását is figyelembe kell venni, amely hőt von el a környezetétől. A szennyezőanyagok (CO, NO_x, SO_x, korom...) keletkezése igen sarkalatos pontja lehet egy szimulációnak. A megfelelően pontos eredmények elérésével az égéstér alakját akár úgy lehet optimalizálni, hogy károsanyag-kibocsátása a lehető legalacsonyabb legyen. Az égési folyamatok termikus folyamataira jelentős hatást gyakorol a hőszugárzás, melyet a magas hőmérsékletű anyagok, illetve részecskék bocsátanak ki. Ez az égés hőmérsékletét akár 10%-kal is megemelheti. Az égési folyamat beindulásához szükséges aktiválási energia érkezik szikragyújtás formájában (gázturbinánál indítási folyamat) vagy öngyulladás révén (gázturbinánál folyamatos üzemmód esetében a nagy entalpiájú közeg recirkulációja biztosítja a folyamatos égést).

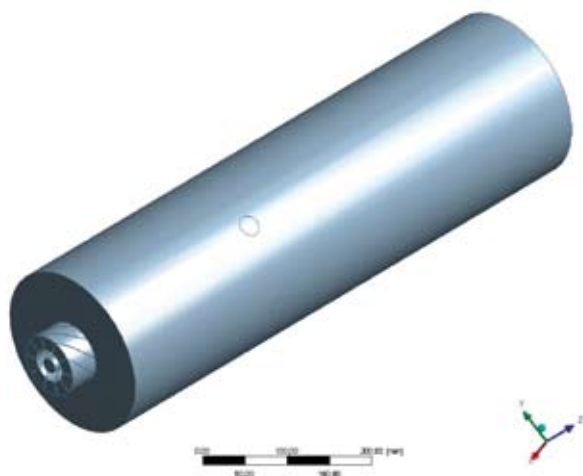
A reakciók leírására szintén több modell áll rendelkezésre. Ezek eltérő elméleti feltevésekből indulnak ki, emiatt a számításokat

különböző módon befolyásolják. Munkánk során 4 modell által szolgáltatott eredményeket hasonlítottuk össze: Eddy Dissipation Model (EDM), Burning Velocity Model (BVM), PDF Flamelet Model (PFM), illetve a Fluent Non-premixed Model (FNPM), melyek az égésben részt vevő anyagok keveredési idejéhez képest nagyobb reakciósebességű égésfolyamatokra alkalmazhatók. A modellek fontosabb jellemzői a következők:

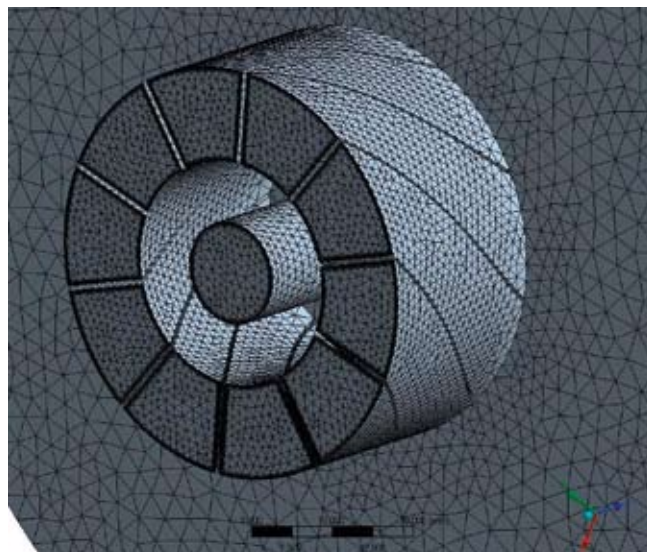
- **EDM:** Többféle lángtípus esetén is alkalmazható. A tüzelőanyag és az oxidálószer molekuláris szinten keverednek egymással, majd azonnal égésterméké alakulnak. A modellben alkalmazott közelítés alapján a kémiai folyamatok reakcióideje a molekuláris szintű keveredési folyamatok időszükségletével van kapcsolatban. A keveredési időre legnagyobb hatást a turbulens fluktuáció gyakorolja, ezért a reakcióráta a turbulens kinetikus energia és disszipáció függvényeként határozható meg [8., 10].
- **PDF Flamelet Modell:** Turbulens, nem előkevert lángok esetében használható égésmodell, mely a tényleges turbulens lángot kis, lamináris lángokból, ún. „flamelet”-ekből építi fel. Az összetevőkre felírt mozgásegyenletek helyett a nem előkevert modellekre jellemző keverékarányokra felírt megmaradási egyenleteket használja. Előnye, hogy csökkenti a számítási időt, mivel a reakciók eredményeit egy előre elkészített táblázatból veszi. A molekuláris mozgási folyamatokról részletes információt ad [8., 10].
- **BVM:** Előkevert vagy részlegesen előkevert égés esetén alkalmazható. A reakciósebesség vagy más néven turbulens lángmodell mellett szintén lamináris „flamelet”-eket használ valószínűségi sűrűségfüggvénnyel (Probability Density Function – PDF) kombinálva [8., 10].
- **FNPM:** Nem előkevert égés modellezésére alkalmas. A transzport egyenletek egy vagy két skalármennyiségre (keverékarányok) oldja meg. Az egyes komponensek koncentrációját a kiszámolt keverékarány-eloszlás segítségével határozza meg. A reakciók eredményeire szintén egy előre elkészített táblázat adatait használja. A turbulencia és a kémiai folyamatok egymásra hatását PDF függvény segítségével veszi figyelembe [9, 10].

AZ ÉGÉSTÉR SZIMULÁCIÓS MODELLJE

Az elkészített 3D-s modell Serag-Eldin és Spalding által 1979-ben elvégzett mérésben alkalmazott geometriának megfelelő csöves égéstér. A csöves égéstér a mérete és a tömege, a nagy nyomásvesztése, az áramlásra merőleges homloklapfelülete, az áramlással érintkező falfelületek nagysága, a kedvezőtlen tüzelési határfoka, a passzív újraindíthatóságproblémája, illetve a nagy hőterhelése és



2. ábra: az égéstér CAD modellje



3. ábra: A létrehozott háló, az előperditő lapátsoron elhelyezett határ-réteggel

rövidebb élettartama miatt nem korszerű kialakítású a napjainkban, elsősorban a légi járművekben elterjedt gyűrűs égésterekhez képest. A benne kialakuló égési folyamatok azonban megfelelnek egy gázturbína égésterében végbemenő folyamatoknak, továbbá kialakítása és geometriája a minél egyszerűbb folyamatreprodukálást és modellezhetőséget célozta meg.

Az égéstér csöves kialakítású, 0,21 m a belső átmérője és 2 m hosszúsága. A tüzelőanyag és a primer levegőáram külön-külön lép be az égéstérbe, tehát az égés nem előkevert típusú. A gáz halmazállapotú tüzelőanyag egy hengeres kialakítású 19,5 mm átmérőjű furaton lép be előperdités nélkül, míg a primer levegőáram egy álló előperditő lapátsoron keresztül jut be az égéstérbe. A lapátsor 10 lapátból áll, melyek egy 42,5 mm belső és 78,1 mm külső átmérőjű hengeres furatban helyezkednek el. Az előperditő lapátok 45°-os szöget zárnak be az égéstér forgástengelyével.

A 6 db szekunder (hűtő) áram furatátmérője 25,4 mm, középpontjuk 240 mm távolságra helyezkedik el a tüzelőanyag belépő felületétől. A hőmérséklet-mérések 3 keresztmetszetben történtek meg (I, II és III jelzéssel, lásd 4. ábra), amelyek sorrendben 0,04 m, 0,08 m és 0,12 m távolságra találhatók a hűtőfuratok középpontjai által meghatározott síktól.

IGES formátumban importáltuk be az égéstér CAD-modelljét (lásd 2. ábra) a numerikus áramlástan szoftver előkészítő moduljába, majd egy halmazművelet segítségével állítottuk elő az áramlási teret.

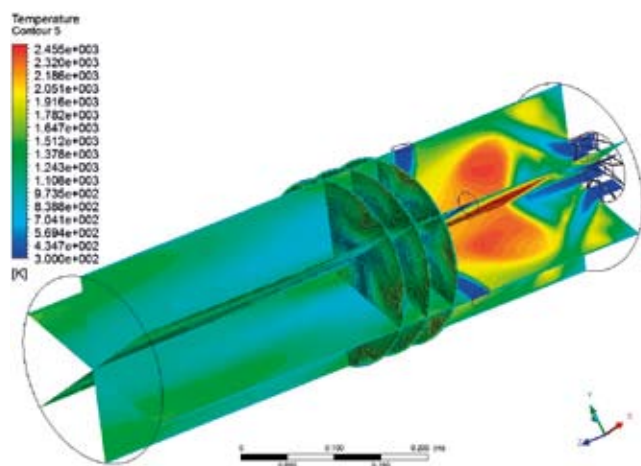
A következő lépés a térbeli diszkretizáció elkészítése volt. A modell véges számú elemre bontásához, a hálózásához, szintén a szoftver preprocesszálo modulját használtuk. A geometria egyszerűségének köszönhetően nem volt szükséges bonyolultabb hálózószoftvert alkalmazni, mivel így is megfelelő finomságú hálót tudtunk létrehozni. A falakkal érintkező áramlási felületeken besűrítettük a hálót, ami azt jelentette, hogy egy 8 rétegből álló felosztást hoztunk létre a nagyobb gradiensű jelenségek pontosabb modellezésének érdekében (lásd 3. ábra).

A numerikus háló 1 950 732 elemből és 512 890 csomópontból épült fel, amely egy első közelítésnek felel meg. A szimuláció számítási igénye nem volt jelentős, a futtatási idő sem tartott 6 óránál hosszabb ideig egyik esetben sem egy átlagos asztali PC-n. A hálóméret-érzékenységi vizsgálatokra minden esetben szükség van a hálófüggetlen eredmények elérésének érdekében. Ezek a vizsgálatok azonban egy későbbi analízis tárgyát fogják majd képezni.

A numerikus modell az égés figyelembevétele nélkül is bonyolult fizikai jelenségek leírását foglalja magában. A reakciókinetikai

egyenletek alkalmazásával exponenciálisan növekszik a számítási kapacitás- és időigény. Tekintve, hogy a tüzelőanyag 93,63%-ban metánt, 3,25%-ban etánt, 1,78%-ban nitrogént, 0,69%-ban propánt és 0,65%-ban egyéb anyagokat tartalmaz, az égési egyenleteknél elsősorban a metán égését leíró egyenletek dominálnak. A maradék 3,94% tüzelőanyagot nem lehet teljes mértékben mellőzni, így a modellalkotás során több reakcióleíró módszer is alkalmazásra került. A metán égését tartalmazó egyenletek mellett az etán és propán égését figyelembe vettük, a maradék 2,47% egyéb anyagokat pedig nem reagáló vegyületeként modelleztük, melyek a reakciókban nem vesznek részt. Természetesen a valóságban valamilyen módon ezen anyagok is reakcióba keveredhetnek, de hatásuk az égési folyamat egészére nézve elhanyagolható.

Az alkalmazott anyagmodellek – a használt égésmodell függvényében – egy- vagy többlépéses egyenletekkel írják le a tüzelőanyag (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8) és oxidálószer (oxigén) reakcióját. Az egyirányú reakciók megoldásához Arrhenius-egyenletet használ a program. A Termikus és Prompt NO-képződés egy lépéses folyamatokkal került leírásra, szintén az Arrhenius-egyenlet segítségével.



4. ábra: a hőmérséklet-eloszlás EDM modell esetén

A turbulencia megfelelő modellezéséhez SST (Shear Stress Transport) modellt alkalmaztunk, aktív energiatranszport egyenlettel együtt. A referenciaryomás értéke 101 325 Pa volt, a hő-sugárzáshoz P 1 modellt használtunk. Mivel szikragyújtást nem alkalmaztunk, az égés létrejöttéhez 1400 K kezdeti hőmérsékletet állítottunk be, mely biztosítja a szükséges aktiválási energiát. A falak hőmérsékletét konstans 554 K-re vettük, ezzel biztosítva a fal, illetve környezet hűtő hatását.

A belépőfelületeken a bemeneti peremfeltételek a következők voltak:

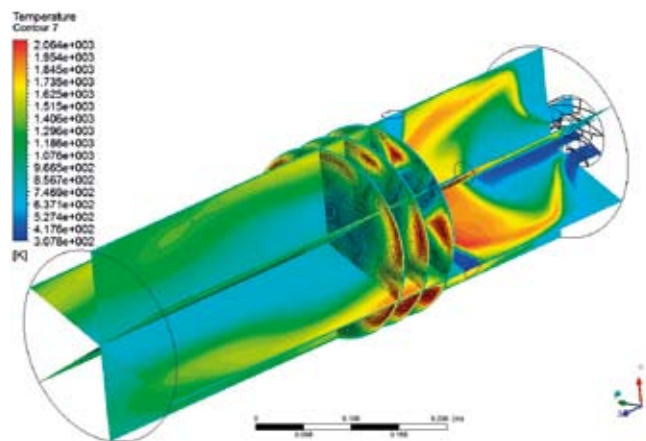
- Primer levegőáram: 0,039 kg/s
- Szekunder levegőáram: 0,041 kg/s
- Tüzelőanyag-bemenet: 0,00155 kg/s

A kilépőfelületen 0 Pa relatív nyomást írtunk elő a referencia-nyomáshoz képest.

A futtatás során az EDM, BVM és PFM modellek esetében 700 iterációs lépést alkalmaztunk, míg a FNPM modell esetében elegendő volt 200 lépés, hogy a reziduumok elérjék a konvergenciakritériumot.

EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az eredmények a már korábban említett 3 keresztmetszeten (I, II és III), illetve 3 hosszirányú metszeten kerültek megjelenítésre



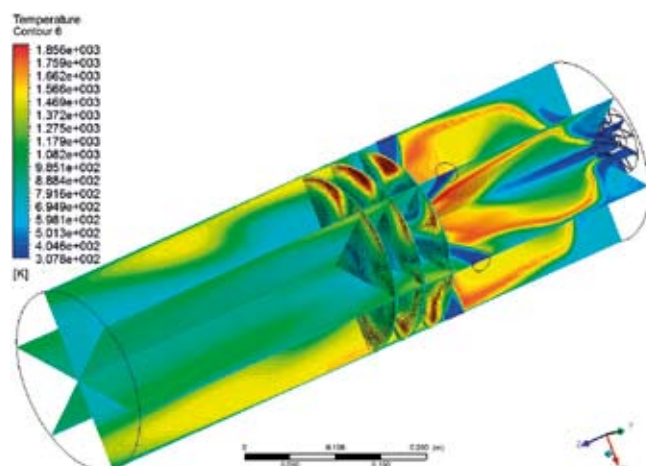
5. ábra: a hőmérséklet-eloszlás BVM modell esetén

(lásd 4. ábra). A méréssel történő összehasonlításra a hossz- és keresztmetszetek metszésvonalai mentén kialakult hőmérséklet-eloszlások szolgáltak alapul. Ez összesen 18 szakaszt jelöl, melyek az égéstér forgástengelyétől sugár mentén a külső falig tartanak. Természetesen a cikk terjedelme nem teszi lehetővé az összes adat részletes bemutatását, a cél csupán egy áttekintés közlése, illetve ezek alapján az egyes reakciómodellek közötti különbségek meghatározása gyakorlati tapasztalatok alapján.

A 4–7. ábrákon jól nyomon követhető az égés kialakulásának folyamata. A hideg primer levegő és a tüzelőanyag belépésük után elkeverednek, majd elérve a sztöchiometrikus keveredési arányt, a visszaáramló nagy entalpiájú gázkeverék segítségével – amely a szükséges aktiválási energiát biztosítja – kialakul a folyamatos égés. A visszaáramlást két tényező segíti: egyrészt a beáramló hűtőlevegő hatására feltorlódik a gázkeverék, és egy része kényszerűen visszaáramlik; másrészt az előperdlítő lapátokon keresztül tangenciális és axiális irányba belépő levegőnek nagy az inerciája, mely tengely irányába csökken, így a közegben kialakult nyomás- és sebességkülönbségeknek köszönhetően az anyag egy része középen visszaáramlik, recirkulál.

Habár a geometria, az elkészített háló és a bemeneti peremfeltételek azonosak voltak, látható, hogy az egyes modellekkel számított eredmények bizonyos esetekben jelentős eltérést produkáltak a hőmérséklet-eloszlás tekintetében.

A maximális hőmérséklet-értékeket tekintve az EDM modell esetében adódik szignifikánsan eltérő eredmény a többihez képest: 2455 K (lásd 4. ábra). Mint ahogy az az égéstér kezdeti szakaszában megfigyelhető, a reakciók intenzitása nagyobb, mint a többi modell esetén, a reakcióidő sebessége túlbecsült a keveredéshez képest. Emiatt adódik



6. ábra: hőmérséklet-eloszlás PFM modell esetén

		EDDY DISSIPATION MODEL			PDF FLAMELET MODEL			BURNING VELOCITY MODEL			FLUENT NON-PREMIXED MODEL		
Hibahatár [%]		<30%	<20%	<10%	<30%	<20%	<10%	<30%	<20%	<10%	<30%	<10%	<5%
Vizsgált keresztmetszetek	I.	78	71	18	100	92	58	96	93	91	100	100	84
	II.	95	66	18	100	77	52	91	29	10	100	96	52
	III.	95	85	63	94	76	34	77	46	21	100	95	73
Átlag		89,3	74	33	98	81,7	48	88	56	40,7	100	97	69,7

1. táblázat: a számított hőmérséklet adott hibahatáron belülré eső része a mért adatokhoz képest a sugár %-ban kifejezve

magasabbra az égési csúcshőmérséklet is. A BVM modellnél a maximális hőmérséklet 2064 K (lásd 5. ábra), a FNPM modellnél 1886 K (lásd 7. ábra), míg a PFM modell esetén 1856 K (lásd 6. ábra).

Több esetben is megfigyelhető, hogy a nagy hőmérsékletű lángfront előrenyúlik a falak mentén. Ezt egyaránt okozhatja modellezési tulajdonság, illetve valós fizikai folyamat. A BVM (lásd 5. ábra) és a PFM (lásd 6. ábra) modellek alkalmazása esetén, a hűtőfuratok után olyan állapot, melynek köszönhetően, az égésben korábban részt nem vett tüzelőanyag sztochiometrikus keveréket alkotva a szekunder árammal ismételt begyullad a még magas hőmérsékletnek köszönhetően.

Ha ez valós fizikai, de nem elvárt folyamat, akkor ezt a gyakorlatban célszerű kerülni. Ebben az esetben ugyanis a keveredés nem optimális, ami csökkenti az égés hatásfokát, illetve a megváltozott sebességmező következtében nő a turbulencia intenzitása, a nagy nyomásgradiensek miatt leválások alakulhatnak ki, melyek következtében nő az égéstér nyomásvesztése. Az inhomogén hőmérséklet-eloszlás hatására megnövekszik a károsanyag-kibocsátás és nő az alkatrészek (pl. falak, turbinalapátok) és a környezet hőterhelése.

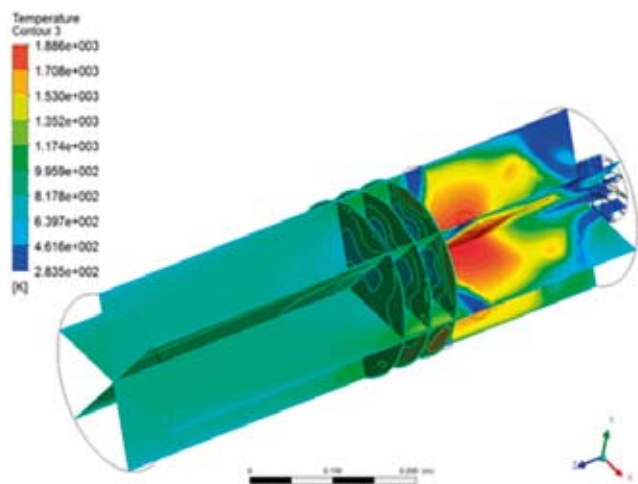
Abban az esetben, ha a kialakult jelenség modellezési tulajdonságokra, illetve közelítésekre vezethető vissza, akkor további vizsgálatok elvégzése szükséges az okok részletes feltárásához. Ennek ellenőrzésére a jelen munka folytatásában kerül sor.

A szimuláció a szakirodalomban fellelhető, valóságban lefolytatott mérés reprodukálása volt, így a kiszámolt hőmérsékletek összehasonlításra kerültek az irodalomban közölt és mért eredményekkel. A táblázat a számított hőmérséklet-eredmények eltérését reprezentálja a mért eredményekhez képest, az 1-es hosszmetstet és az I, II és III jelzésű keresztmetszetek találkozásával meghatározott egyenes mentén, a sugár %-ban kifejezve. A táblázat mind a 4 modell esetében megmutatja, hogy a szakasz egyes pontjaiban számított hőmérséklet-értékeknek mekkora része esik adott hibahatáron belül (30, 20, 10 vagy 5%). Például az EDM modellnél a szóban forgó sza-

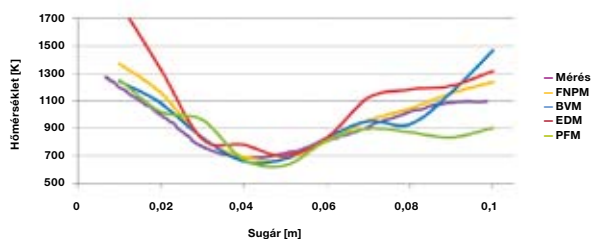
kas 78%-ában a számított hőmérséklet nem tér el jobban 30%-nál a mért eredményektől.

Mint látható, az egyes modellek által számított eredmények bizonyos határok között hasonló jelleget mutatnak. A lángfrontképződés mindegyik modellnél közel azonos helyen következik be, viszont a keveredés és a reakciók eltérő leírása miatt mind a maximális láng-hőmérséklet, mind a hűtőfuratok utáni hőmérséklet-eloszlás eltérő jelleget mutat. A 3 megjelölt hibahatár alapján látható, hogy a CFX környezetben futtatott modellek (EDM, BVM, PFM) kevésbé pontos eredményeket produkáltak. A kalkulált eredmények közel 90%-a 30%-os hibahatáron belül volt, azonban ez a hiba egy fejlesztés, optimalizálás során nem engedhető meg. Az EDM modell egyedül a III keresztmetszetben adott jó hőmérséklet eredményeket, viszont a hőmérséklet-értékek nagy része (több mint 80%-a) a másik két keresztmetszetben 10%-nál nagyobb eltérést mutatott. Az I keresztmetszetben a BVM modell-meglehetősen jó eredményeket produkált; a számított eredmények 91%-a nem tér el jobban, mint 10% a mért eredményektől, azonban a II és III keresztmetszetnél már jóval nagyobb eltérések keletkeztek. Ennek oka elsősorban az, hogy ez a modell előkevert és félig előkevert égés modellezésére alkalmas leginkább, melynek köszönhetően alábecsüli a nem előkevert reakciók intenzitását, illetve a már megemlített lángfront-előrenyúlás, amely a fal mentén nagymértékben megnövelte a közeg hőmérsékletét. A szintén „flamelet”-eket alkalmazó PFM modell által számított hőmérséklet-értékek már közelebb voltak a mért értékekhez. Átlagosan kevesebb, mint 20%-uk mutatott nagyobb eltérést, mint 20%. Sajnos azonban a 10%-os hibahatáron már csak az eredmények kb. fele esett belül. A legpontosabb eredményeket a FNPM szolgáltatta. Emiatt, mint látható, az egyik hibahatár módosítva lett, mivel a 20%-os hibahatár nem adott volna plusz információt. Ehelyett az 5%-os hibahatárt vizsgáltuk meg. Ezen futtatásnál a kalkulált eredmények 100%-a a 30 %-os hibahatáron belülré esett, de közel 100% esett a 10%-os hibahatáron belülré is. Más szempontból nézve a számított eredményeknek összesen 3%-a mutatott nagyobb eltérést, mint 10%. Továbbá, a hőmérséklet-eloszlás közel 70%-ánál 5%-nál jobban megközelítette a mért hőmérséklet-értékeket. Ezen eredmények már megfelelőek arra, hogy további vizsgálatok alapját képezzék, hiszen a valósághoz képest csupán 5–10%-os eltérést produkált.

A 8. ábra az I keresztmetszet és 1 hosszmetstet által meghatározott egyenesen (1. egyenes) mutatja a 4 modell által számított és mért hőmérséklet-eloszlásokat. Az EDM modell esetében kiugróan magas a hőmérséklet a tengely felé közelítve. Ennek oka lehet az egyszerűbb égésmodell [10.], illetve a nagyobb reakcióintenzitás. Szintén megfigyelhető, hogy az áramlási, illetve égési folyamat leírása hőmérsékleti szempontból a sugár mentén 0,03 és 0,07 m között mindegyik modell esetében jól korrelál a mérési eredményekkel, az eltérések mértéke nem nagy, azokat elsősorban lángfront-eltolódások okozzák. A legnagyobb eltérések mindegyik modell esetén az égéstér falához közeledve mutatkoznak, aminek két oka lehet: vagy a fal hűtőhatásának nem megfelelő a modellezése (ez esetben érdemes egyéb peremfeltételek hatását is megvizsgálni), vagy pedig a hűtőfuratok mellett előrenyúló lángfrontok, esetleges újragyulladások, amelynek magyarázatáról a BVM modell esetében már volt szó.



7. ábra: hőmérséklet-eloszlás FNPM modell esetén

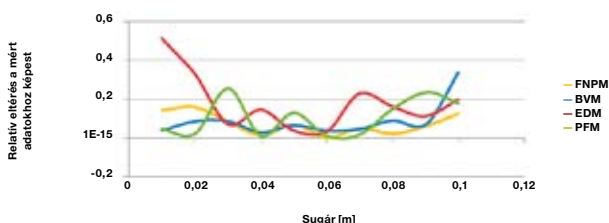


8. ábra: a számított és mért hőmérséklet-eloszlások a sugár mentén az 1. egyenesen

A 9. ábra az előző ábra alapján az egyes modellek által számított hőmérséklet-eredmények relatív eltérését mutatja a mért adatokhoz képest az 1. egyenes mentén. Az eltérések már eddig említett okai mellett természetesen a mérés pontosságát sem szabad figyelmen kívül hagyni. Az égéstérben történő hőmérséklet mérése nem egyszerű folyamat, igen sok tapasztalatot és előkészületet igényel. Az ismert adatokon kívül több információra, illetve további mérésekre lenne szükség ahhoz, hogy megfelelő bizonyossággal rendelkezünk a mérés pontosságáról.

A háló elemméretének csökkentése természetesen tovább pontosíthatja az eredményeket, ezért a jelen munka következő lépésében megvizsgáljuk ennek a hatását.

A mérési eredményekkel való jó egyezősége ellenére a számítási idő az FNPM esetében volt a legrövidebb, tekintve, hogy 200 iterációs lépés elegendő volt ahhoz, hogy a reziduumok bekonvergáljanak. Ennek köszönhetően körülbelül feleannyi időt vett igénybe (3 órát) a számítás, mint a CFX környezetben futtatott modellek esetén.



9. ábra: a hőmérséklet-értékek relatív eltérése a sugár mentén az 1. egyenesen

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk célja egy égéstérben lezajló áramlási és égési folyamatok numerikus szimulációja különböző égésmodellek alkalmazásával, de azonos geometria, anyagtulajdonságok, peremfeltételek és hálóméret mellett az eredmények összehasonlíthatóságának érdekében. A geometria, az anyagtulajdonság és a peremfeltételek alapjául a szakirodalomban fellelhető Serag-Eldin és Spalding cikk szolgált [1.], továbbá a számított eredményeket az ebben a cikkben közölt mérési eredményekkel hasonlítottuk össze. A 4 égésmodell közül egy térfogati (EDM), 2 „flamelet”-eket alkalmazó (BVM és PFM), illetve egy keverék arányon és PDF-en alapuló modellt (FNPM) alkalmaztunk. Az égésmodellek kivételével a többi beállítás azonos volt: SST turbulenciamodellel és P 1 hősugárzásmodellel.

Az összehasonlításhoz a mért és számított hőmérséklet-értékeket vettük alapul. 3 kereszt- és 6 hosszszelvény által meghatározott szakaszokon vizsgáltuk meg az eredményeket. Az EDM, a BVM és a PFM modellekkel kapott hőmérsékletek nagyobb eltérés mutattak a valósághoz képest, mint a FNPM-lel számított eredmények, ami az utóbbinál a mért adatokhoz képest 10%-nál alacsonyabbra adódott. A FNPM-nél kevesebb iterációs lépés is elegendő volt a reziduumok bekonvergálásához, így a futtatási idő is alacsonyabbra adódott, mint a többi modell esetén.

A modellek teljes validálásához természetesen sokkal több mért adatra lenne szükség, és a hőmérséklet-értékek mellett a nyomás, a koncentráció és a sebességvektorok meghatározása, validálása is szükséges.

További vizsgálatokat tervezünk elvégezni a számítás eredményeinek, illetve a hálóméret eredményekre gyakorolt hatásának ellenőrzésére.

Munkánkkal későbbi feladatainkat szerettünk volna megalapozni; célunk a gázturbina égésmodellezéséhez legalkalmasabb égésmodell kiválasztása és alkalmazási korlátainak meghatározása.

Mivel a FNPM modellel által számított eredmények 5–10%-os eltérést mutattak a mért hőmérséklet-eloszláshoz képest, ezért különös figyelmet fordítunk rá a továbbiakban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1–2010-0009 program támogatja. ●

IRODALOM

- [1.] Serag-Eldin, M. A., Spalding, D. B., Computations of Three-dimensional Gas Turbine Combustion Chamber Flows, ASME J. Engineering for Power, Vol. 101, pp. 326-336, 1979.
- [2.] A. Schulz, B. Wurm: Combustion in Aero-engines; von Karman Institute for Fluid Dynamics, Lecture Series 2012-04
- [3.] H-J Tomczak, G Benelli, L Carrai, D Cecchini: Investigation of a GasTurbine Combustion System Fired with Mixtures of Natural Gas and Hydrogen; ifrf Combustion Journal, Article number 200207, December 2002; ISSN 1562-479X
- [4.] L. de O. Rodrigues, Marco Antônio Rosa do Nascimento, Pre-mixed and Diffusion Flames Assessment Using CFD Tool for Natural Gas and Biogas Fuels in Gas Turbine Combustion Chambers, WSEAS Transaction on Fluid Mechanics, Issue 2 Volume 4, ISSN: 1790-5087, 2009.
- [5.] Ghenai C., Combustion of Syngas Fuel in Gas Turbine Can Combustor, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2010, Article ID 342357, 2010.
- [6.] Rákó R., Dr. Veress Á., Dr. Palkovics L., Dr. Stukovszky Zs., Dr. Ailer P., Takács P., Héri J.: Füst- és hőterjedés numerikus áramlástanai modellezése járműipari létesítményekben; Jövő Járműve, 2011.03.04.
- [7.] Bicsák Gy., Hornyák A., Dr. Veress Á.: Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine; AIP Conf. Proc. 1493, pp. 140-148; doi:http://dx.doi.org/10.1063/1.4765482 ISBN: 978-0-7354-1105-0
- [8.] Ansys CFX-Solver Theory Guide; Release 12.0, April 2009.
- [9.] Ansys Fluent Theory Guide; Release 12.0, April 2009.
- [10.] Carlos Eduardo Fontes, Raphael David A. Bacchi: Best Practice Guidelines for Combustion Modeling; http://www.esss.com.br/events/ansys2010/pdf/20_2

Szimmetria a járművekben

HARTH PÉTER

BME Gépjárművek Tanszék

A járművek alaptulajdonsága többek között a szimmetria. Már a tervezési folyamat során igyekszünk ezt az alaptulajdonságot kihasználni, így egyszerűsítve a számításokat és csökkentve azok mennyiségét. Továbbá a szimmetria az esztétikának egy fontos összetevője az arányok, a tömegkapcsolatok és a térformálás mellett. Jelen írás bevezetőjében a járművek esztétikáját vizsgálja, majd áttér a szimmetriák részletesebb tárgyalására.

Among of others symmetry is basic characteristics of the vehicle. We try to take the advantage of this basic feature helps simplifying and reducing the calculation in the design process. Furthermore symmetry is an important component of aesthetics even as ratio, mass relation and shaping. This paper examines the aesthetics of the vehicles in the introduction, turning then to a more detailed discussion of symmetries.

BEVEZETÉS

Jelen cikk részben folytatása a „Járművek formatervezése” és a „Klasszikus járműfelépítmény tervezési módszerek” című cikkeknek, amely továbbiakban a szimmetriát vizsgálja mint a járművek egyik alaptulajdonságát. Vitruvius tanításai nyomán a mérnök-konstruktornél elengedhetetlen a tudás sokszínűsége ahhoz, hogy munkájában sikert érjen el. A mérnök tudását számos tudomány és egyéb ismeretek adják. Ez segíti őt annak megítélésében, amelyet más tudomány képviselői alkottak **(1. ábra)**.



1. ábra: közúti és vízi közlekedésre alkalmas kételtű autóbusz

ESZTÉTIKA JÁRMŰVEKBEN

Külső szemlélőnek a jármű eleje és vége a legfeltűnőbb. Az utakon sok időt töltő vezető is az előtte haladó jármű végét, illetve a szembejövő jármű elejét figyeli leggyakrabban. Általában ezekre a részekre emlékeznek, ez hagy bennük maradandó emléket, és pontosan ez az, amit a járműgyártók igyekeznek kihasználni. Erre a két felületre igyekeznek a lehető legtöbb gyártóra jellegzetes formai elemet elhelyezni.

A jármű eleje és vége közötti rész már kevésbé jellegzetes, ugyanakkor azokhoz harmonikusan kell illeszkednie. Az előbb említett felületek általában folytonosan változó görbületű térbeli felületek, míg az összekötő rész – különösen hosszabb járműveknél pl. vasúti tartálykocsi – hengeres, esetleg hasáb alakú test, amelynek csak egy irányban van görbülete. Fontos, hogy az átmeneti részek ne legyenek állandó sugarú lekerekítések, mert ez zavaró, a szemlélő a görbületi sugar ugrásszerű megváltozását optikailag törésnek érzékeli, ami a jármű egységes képét megbontja.

ARÁNYOK

Az átmeneti részeken kívül figyelni kell arra is, hogy a jármű eleje és vége – bár funkcionálisan más szerepet töltenek be (kilátás,

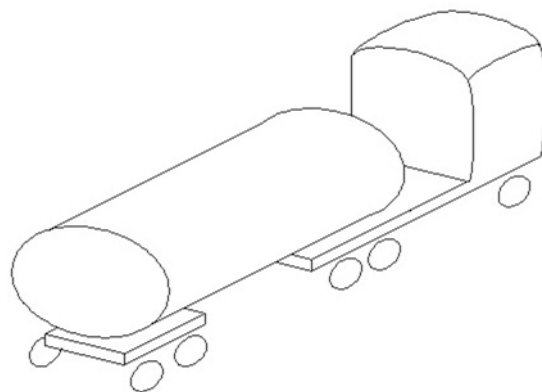
szellőzés stb.) – formailag rokon elemekből épüljön fel. Igen fontosnak továbbá a jármű karosszériájának egyes részei között meglevő arányok. Közismert például a művészetben az aranymetszés szabály, amely szerint egy „a” és „b” oldalú téglalap akkor tűnik szépnek, ha az oldalai között a következő arány áll fent:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sqrt{5} + 1}{2} \approx 1,618034$$

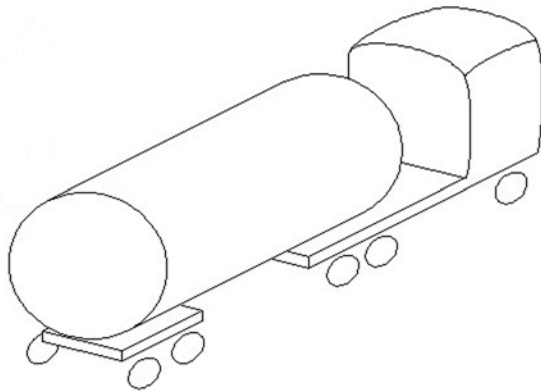
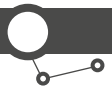
A gyakorlatban a szigorú Fibonacci-határérték helyett annak közelítésével is megelégszünk. Járművekre közlekedésbiztonsági előírások érvényesek, amelyek korlátozzák a jármű szélességét, magasságát, hosszát, tengelytávját, terepszögeit stb. Így a pontos érték használata korlátozott vagy nem lehetséges, ezért helyette megelégszünk az $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, vagy $\frac{8}{5}$ esetleg $\frac{13}{8}$ értékkel [1].

TÖMEGKAPCSOLATOK

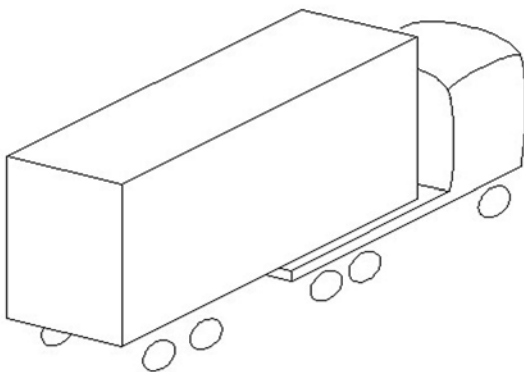
Járműveink tervezésekor a gazdaságos térkihasználást is szem előtt kell tartanunk. A maximális térfogat mellett minimalizálni kell a felületet. A térfogathoz képest legkisebb felszínnel rendelkezik a gömb, de ettől nagyban eltérő geometriai formákat használunk a jármű tervezése során külső korlátok miatt. Ilyenek a kocka, a hasáb és egyéb hengeres testek. Nem pusztán geometriai, hanem funkcionális szempontok mellett, megjelennek az áramlástan és hőátbocsátási szempontok is. Példaként említve: nyerges vontatóknál az ellipszis keresztmetszetű tartály erős oldalszél esetén nagyobb biztonságot ad egy esetleges borulással szemben, mint a kör keresztmetszetű vagy akár a dobozos felépítmény **(2–4. ábra)**. De a jármű kubusában az ellipszis keresztmetszetű tartály tölti ki legkevésbé a rendelkezésre álló térfogatot, majd ezt



2. ábra: nyerges vontató ellipszis keresztmetszetű tartállyal

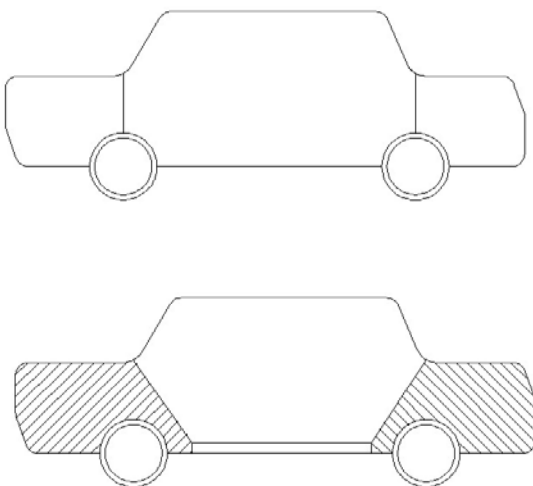


3. ábra: nyerges vontató kör keresztmetszetű tartállyal



4. ábra: nyerges vontató dobozos pótkocsival

követi a kör keresztmetszetű és a dobozos felépítmény. Továbbá a vontatmány a legkülönbözőbbféle lehet (hűtőkocsi, élőállat-szállító, tartálykocsi stb.), míg a vontató funkcionális kialakítása nem mutat nagy különbségeket. Ebből is láthatjuk, hogy a jármű külső formájának megtervezése nagyon összetett folyamat, sok egymásnak ellentmondó érdeknek kell eleget tenni.



5. ábra: személyautó kubusa és motor-, utas-, csomagtere

TÉRFORMÁLÁS

Személyszállító járművekben a belső tér megformálása nehézkes és körültekintő munkát igényel, hiszen az igen szűkös belső tér variálásának lehetősége korlátozott (**5. ábra**). Elsődleges szempont a megfelelő kilátás biztosítása mind a járművezető, mind az utasok részére. Teherszállító járműveknél a szállításra hasznos térfogat maximális kitöltésére kell törekedni. A külső megformálása pedig a változó környezet miatt változó formákat mutat. A városi járművek meglehetősen szögletesek, amit a kis átlagos sebesség indokol. Ezeknél a járműveknél nincs



6. ábra: Ikarus 415 típusú városi autóbusz

szükség lekerekített, elnyújtott formákra, ezért elsősorban a dobozforma az uralkodó (**6. ábra**). A városközi, illetve távolsági járműveknél azonban már más a helyzet. Ezek már nagyobb átlagsebesség elérésére képesek (80–100 km/h) és ennek megfelelően már egy áramvonalasabb formát kívánnak meg (**7. ábra**). Ekkora utazósebességnél a menetellenállás akár 60%-a a légellenállás legyőzésére fordítódik. A légellenállási erő csökkentésére – az utazósebesség megtartása mellett – az áramlásra merőleges felület (homlokfelület) és a légellenállási tényező (C_w) csökkentése jöhet szóba. Tehát egy jó formatervezéssel tüzelőanyag-megtakarítás is elérhető mindamellett, hogy egy tetszetős járművet alkotunk meg.



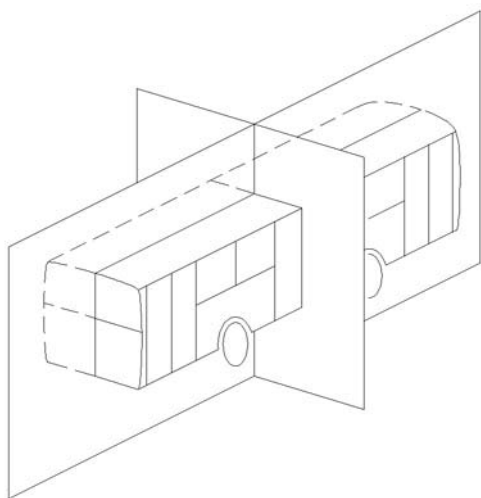
7. ábra: Ikarus 55 típusú távolsági autóbusz

SZIMMETRIÁK

A hétköznapi ember nem is gondol bele, hogy egy járműnél milyen sok helyen jelenik meg a szimmetria. A kocsiszekrény esztétikai megjelenésének talán a legfontosabb eleme. Használata a kocsiszekrény egészén kívül kiterjed szinte minden részletre is [1].

A továbbiakban kiemeljük a szimmetriát, mert ez a járművek alaptulajdonsága. (Természetesen léteznek kivételek, úgynevezett szimmetriazavarok, de azokat majd később említjük.) A szimmetria megjelenésének alapformái:

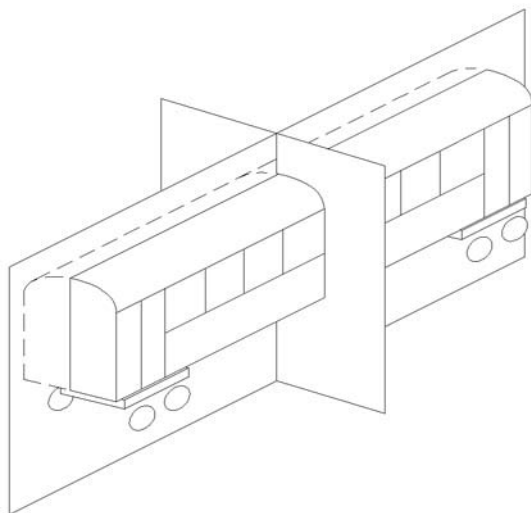
- tükrös szimmetria
- ciklikus szimmetria
- eltolási szimmetria



8. ábra: városi autóbusz egy hosszanti és egy kvázi szimmetriasíkkal

Ezek kombinációja is előfordulhat. A három forma közös tárgyalását az indokolja, hogy mindhárom könnyebbséget jelent a gyártásban (ismétlődő elemek, könnyebb sajtolás stb.), a tervezésben (rajzok és számítások mennyisége csökken), az üzemeltetésben (karbantartás, javítás).

Az állatok, az emberek szinte kivétel nélkül egy szimmetriasíkkal rendelkeznek, és ezt megszoktuk, harmonikusnak érezzük. Ez a szép szimmetria azonban mozgás közben megszűnik. Az antimetria az élet „jele”: a szigorú szimmetriát túl statikusnak

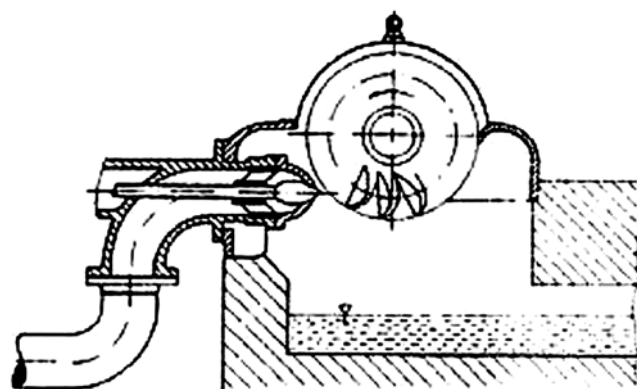


9. ábra: személyszállító vasúti kocsi két szimmetriasíkkal



10. ábra: öthengeres csillagmotor

érezzük. A járműveknél is szinte kivétel nélkül uralkodó a hosszanti szimmetriasík. A kanyarodás éppen ebből a síkból történő kilépés dinamikáját hangsúlyozza. A kocsitest szimmetriája természetesen megmarad, csak a kerekek (tengelyek stb.) elforgatásával változtatjuk meg a sebességvektor irányát. (Lásd contra-posts a művészetben a szimmetrikus ember antimetrikus lépésével, karjainak antimetrikus mozgásával lehel dinamikát, „életet” a művészi alkotásba.)

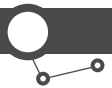


11. ábra: Pelton-féle turbinakerék

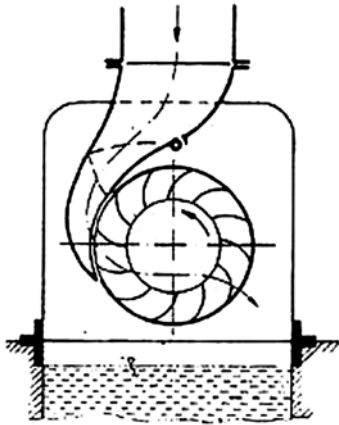
SZIMMETRIAJÁRTÁS

Tükrös szimmetria (síkra, tengelyre, pontra)

Személyszállító vasúti járműveknél a tükrös szimmetriasíkra kétféleképpen jelenik meg. Az egyik a jármű hossz tengelyével párhuzamos síkkal, a másik a hossz tengelyre merőleges síkkal. Mindkét esetben feltételezzük, hogy a szimmetriasík átmegy a jármű súlypontján. Az előbbi szimmetriaelrendezés szinte univerzális, minden járműfajtánál előfordul (repülő, hajók, közúti és vasúti járművek). Itt most eltekintünk attól, hogy a járművezető és a kezelőszervek a szimmetriasíkhhoz képest eltolott helyzetűek (bal- vagy jobbkormányos), de nem hagyjuk figyelmen kívül, azt majd egy későbbi pontban tárgyaljuk. Az utóbbi szimmetriasík elrendezés vasúti járműveknél és közelítőleg autóbuszoknál fordul elő (8. és 9. ábra).



Tengelyre tükrös szimmetria nagyon jellemző azokra a gépelemekre, amelyek forgó mozgást végeznek. Járműben sok helyen találhatunk példát az erőátvitelben (fogaskerek, tengelyek stb.). Pontra tükrös szimmetriát elsősorban a gyári emblémák vagy logók tartalmaznak.



12. ábra: Bánki-féle turbinakerék

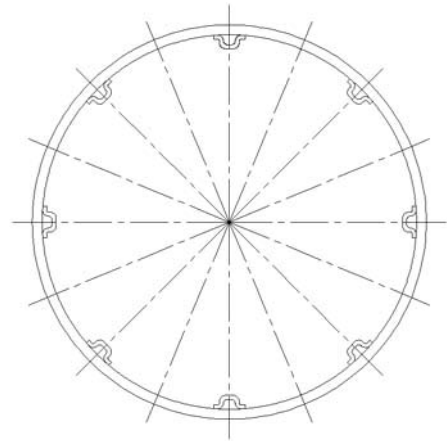
Ciklikus szimmetria (forgási és körszimmetria)

Forgási szimmetria (főleg járókerekekre jellemző) a több tükrősík együttes megjelenése generálja, azok következményeként jelenik meg, és a forgástengely a tükrősíkok metszete (10. ábra). Nemcsak tükrözés következményeként jelentkezhet, hanem önmagában is fontos szimmetria fajta. Páros szimmetriasíkok esetében egyúttal tengelyszimmetrikus is, sőt lehet egy tengelyben metsződő síkokra szimmetrikus. Páratlan esetben nem lehet tengelyszimmetrikus, de továbbra is lehet egy tengelyben metsződő síkokra szimmetrikus.

Tengelyszimmetrikus szerkezet csak kivételes esetben lehet síkokra visszavezethető. A Pelton- és Bánki-turbina páros esetben tengelyszimmetrikus, de nincs szimmetriasíkjuk (11. és 12. ábra). Páratlan esetben nem érvényesül a tengelyszimmetria.



13. ábra: repülőgéptörzs metszete



14. ábra: repülőgéptörzs metszete 8 darab hosszmerítővel

Ha a szimmetriasíkok száma elegendően nagy, akkor közelítőleg tekinthetjük tengelyszimmetrikusnak.

Az utasszállító repülőgépek törzse a végektől eltekintve többnyire hengeres keresztmetszetűek, de diszkrét hosszmerítők miatt nem tesznek eleget a körszimmetria követelményének, ezzel szemben egyenletes merevítő osztás esetén több hosszanti szimmetriasíkkal rendelkezhet, amelyek egy tengelyben metsződnek (13. ábra).



15. ábra: küllős kerék

Például egy 8 hosszmerítős kör keresztmetszetű hengeres repülőgéptörzsnek 8 darab egy tengelyben metsződő szimmetriasíkja van (14. ábra).

Ugyanezt állapíthatjuk meg a gépgyártásban sűrűn előforduló küllős kerekekről vagy fogaskerekekről (15. és 16. ábra).

Érdemes tehát tovább vizsgálni az egy tengelyben metsződő több szimmetriasíkkal rendelkező szerkezetek területén (a természetben elsősorban növényeknél fordul elő). Az egy tengelyben metsződő n darab szimmetriasík mindig $2n$ szektorra osztja a szerkezetet. Ha a szerkezetet terhelő erők követik a szerkezet szimmetriáját, akkor elegendő egyetlen szektor igénybevételeit, elmozdulásait (feszültségi és alakváltozási állapotát) vizsgálni, mert az összes szektor szimmetrikusan vagy antimetrikusan viselkedik.

Ha a szerkezetet terhelő erők nem követik a szerkezet szimmetriáját, de páratlan n esetén n ciklikusságot mutatnak, páros n esetén ciklikusságot mutatnak, akkor a külső teher mindig felbontható az összes síkra szimmetrikus és az összes síkra antimetrikus összetevőre páratlan n esetében (17. és 18. ábra).



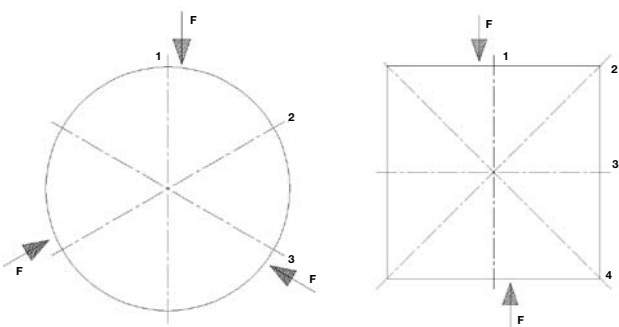
16. ábra: fogaskerék

Páros n esetén külső teher mindig felbontható az összes síkra szimmetrikus és az összes síkra antimetrikus, valamint az egyes tengelyekre felváltva szimmetrikus és antimetrikus összetevőkre (19. ábra).

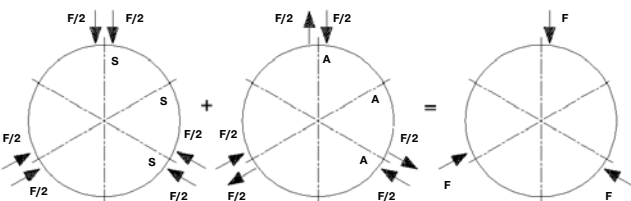
Mind a négy (egymáshoz viszonyítva ortogonális) erőcsoportból elegendő egyetlen szektor igénybevételét, illetve deformációját meghatározni, az összes szektorban azonos nagyságú, de páronként ellenkező előjelűek lesznek az értékek. Ebből egyértelműen következik, hogy egyetlen szimmetriás esetén bármely tetszőleges teher mindig egyértelműen felbontható egy szimmetrikus és egy antimetrikus, egymáshoz viszonyítva ortogonális erőcsoportra. Két egymásra merőleges szimmetriás esetén pedig bármely tetszőleges teher egyértelműen felbontható négy ortogonális csoportra [2].

ELTOLÁSI SZIMMETRIA

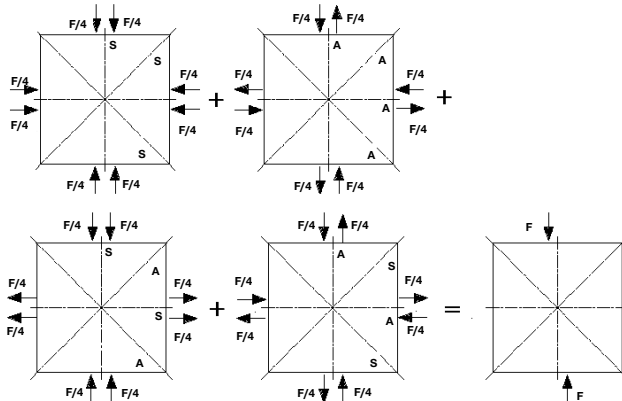
Az eltolási szimmetria a tükrös és a ciklikus szimmetriával abban tér el, hogy eddig a tükrözendő helyben hagyásával, azok forgatása vagy önmagán belüli tükrözése révén értük el azt, hogy többször is



17. ábra: páratlan n esetén n , páros n esetén $n/2$ ciklikusságot mutató szerkezetek

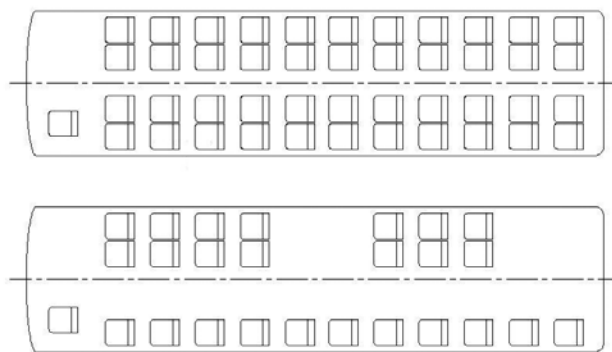


18. ábra: mindegyik szimmetriasíkra szimmetrikus és antimetrikus összetevők páratlan n esetére



19. ábra: szimmetrikus, antimetrikus és felváltva szimmetrikus antimetrikus összetevők páros n esetére.

ugyanolyan helyzetbe kerültek, míg most nem hagyjuk az eredeti helyükön, hanem újra és újra akár a végtelenségig ismétljük őket. Az eltolási szimmetriára jellemző megjelenési formája a járművek ablak- és üléselrendezésében, valamint az ajtóelrendezésben nyilvánul meg (20. ábra). Ezen kívül teherautó- és haszongépjárművek alváz- és padlóvázainál fordulnak elő (21. ábra).



20. ábra: távolsági és városi autóbusz üléselrendezése

ASZIMMETRIA

Az aszimmetria jelenléte nem okoz könnyebbiséget a számításban, használatával nem csökkenthető a mennyiségük (22. ábra).



21. ábra: teherautó-alváz eltolt helyzetű keresztartókkal



ANTIMETRIA (ANTISZIMMETRIA)

Antimetriáról akkor beszélünk, ha fennáll a szimmetria jelensége, de a tükrözés során egy ellentett tulajdonság hozzáadásával jár a leképezés. Számítások során ez az ellentett tulajdonság előjelcserét jelent. Legegyszerűbb példája egy sakktábla (**23. ábra**). Az átlókkal definiált síkok szimmetriasíkok, míg az oldalfelezők által definiált síkok antimetriasisíkok.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzőekben ismertetésre kerültek a járművek esztétikai részei: arányok, tömegkapcsolatok, térformálás, szimmetriák, aszimmetria, antimetria. A szimmetriák tovább csoportosíthatók tükrös,



22. ábra: aszimmetrikus reptéri autóbusz



23. ábra: sakktábla

ciklikus és eltolási szimmetriára. A szimmetria és az antimetria általánosságban könnyebbé teszi a számítási munka során, míg az aszimmetria ezt nem támogatja.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások – A kutatás a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. ●

IRODALOM

- [1] Fülep T., Pályi I.: Járművek formatervezése. A jövő járműve, X-Meditor Lapkiadó, 2010/3–4, 83.-92. o.
- [2] Fülep T., Harth P.: Klasszikus járműfelépítmény-tervezési módszerek. A jövő járműve, X-Meditor Lapkiadó, 2012/1–2, 58.-65. o.

Alternatív hajtású buszflotta megtérülésének érzékenységvizsgálata

KOCSIS BENCE

PhD-hallgató
BME GJT

JÓZSA SZABOLCS

PhD-hallgató
BME GJT

TRENCSENI BALÁZS

ügyvivő szakértő
BME EJJT

DR. STUKOVSKY ZSOLT

igazgató
BME EJJT

DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

egyetemi tanár
BME EJJT, BME GJT

A Green Urban Transport Systems nemzetközi projekt keretében alternatív meghajtású tömegközlekedési rendszerek megvalósíthatóságát vizsgálták a partnerek, mind műszaki, pénzügyi és kormányzási szempontok figyelembevételével. Sopron városa mint vezető partner a hidrogénhajtású járművek vizsgálata volt. A pilot megvalósítási tanulmány eredménye alapján kijelenthető, hogy még ha műszaki szempontból egy ilyen tömegközlekedési rendszer – nagy nehézségek árán is, de képes az elvárt rendelkezésre állást biztosítani, az ehhez szükséges befektetési volumen olyan mértékű, ami alapjaiban kérdőjelezi meg egy ilyen vállalkozás realitását.

Within the frames of the international project Green Urban Transport Systems alternative public transport solutions were examined by the partners from both technological, financial and governance point of view. The city of Sopron as the lead partner in the project was active with the evaluation of hydrogen driven vehicles including a self-sufficient production and supply chain of the gas. Results of the pilot study confirm that although from technology point of view the system can be kept at the required level of availability elaborately, the required financial investment has such an order of magnitude which questions this endeavour.

A PROJEKT KONCEPCIÓJÁNAK BEMUTATÁSA

A megvalósítást nemcsak a járműnek a hétköznapiól teljesen eltérő műszaki és pénzügyi vonzatai nehezítik, hanem az a tény is, hogy a koncepció egy teljesen önálló rendszert vizsgált meg. Azaz a járművek működéséhez szükséges hidrogén előállítását, tárolását és töltését is saját hatáskörben, egy helyben kellett megvalósítani. A szélkerékkel termelt áram, majd elektrolízis segítségével előállított hidrogén, gáz halmazállapotban került volna tárolásra és töltésre, mellyel egy hibrid tüzelőanyag-cellás busz került volna kiszolgálásra.

A bizonytalanságot és a költségeket drasztikusan növelte ennek a termelői és kiszolgálóláncnak a működtetése, ami alapesetben – dízelüzemű buszokat feltételezve – különböző külső szolgáltatók felelősségébe tartoznak, akik természetesen beépítik azt a végfelhasználói árba.

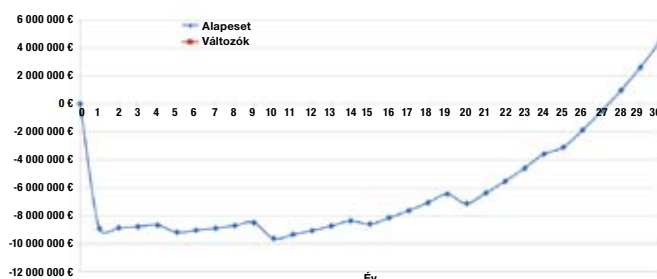
A MEGTÉRÜLÉS ÉRZÉKENYSÉGE

A termelő és kiszolgáló infrastruktúra a projekt folyamán – ketrendszerül szolgálva a partnerek számára – öt egységre lett tagolva. Elsődleges energiaforrás előállítás (villamos áram, energianövény stb.), másodlagos energiaforrás előállítás (hidrogén, bio-metán stb.), szállítás, tárolás és töltés, valamint felhasználás.

A koncepciók vizsgálata során három előre eldöntendő feltételről kellett határozni:

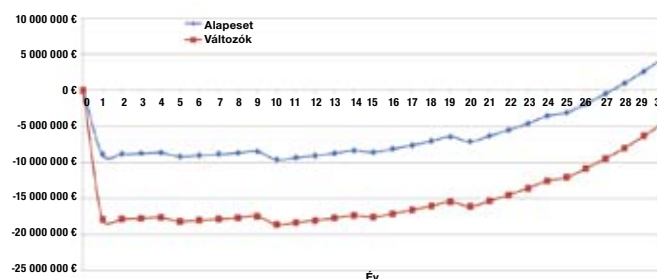
- számolunk-e állami támogatással a beruházást illetően, és ha igen mekkorával?
- számolunk-e az externális költségekkel?
- számolunk-e az elektrolízis során keletkezett, felesleges oxigén-gáz értékesítésével?

Rögtön leszögezhető, hogy komoly állami vagy uniós támogatás híján az ilyen és ehhez hasonló tömegközlekedési pilot-

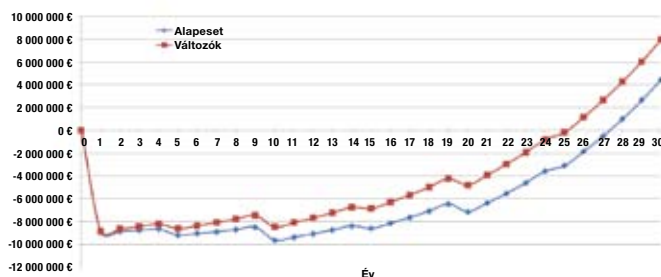


1. ábra: kiindulási eset: ötven százalékos állami támogatás, oxigén-értékesítés, nincsenek externális költségek

projekteknél olyan mértékű pénzügyi megterhelést jelentenek, melyet egyetlen tömegközlekedési vállalat sem tud megengedni magának. A koncepció összetettségének (önellátásra törekvés) függvényében van szükség a töltő- és tárolórendszeren felül szélkerékre, kiegészítő tárolókapacitásokra stb., melyek mind eurómilliók beruházást és sok százezer eurós éves üzemeltetési és karbantartási ráfordítást igényelnek.



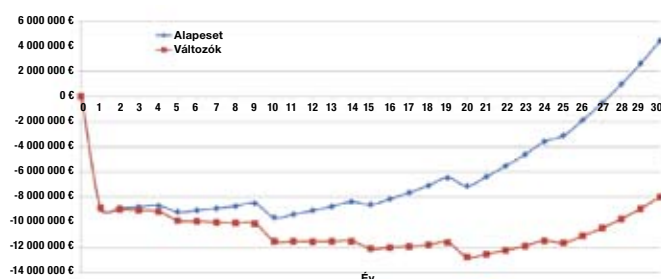
2. ábra: kiindulási eset, szemben az állami támogatás megvonásával (pirossal)



3. ábra: kiindulási eset, szemben az externális költségek rendelkezésre bocsátásával (pirossal)

Sajnálatos módon, az externális költségeknek egyelőre csak a számításához állnak rendelkezésre tanulmányok, gyakorlatok. Az értékük meghatározásán túl, a becslőbecslésükhez sem jogszabály, sem egyéb keretrendszer nem áll rendelkezésre, így lehetséges hatásukat csak elméletileg lehet vizsgálni.

A harmadik és egyben utolsó eldönthető feltétel, hogy az elektrolízisből származó oxigén mint az egyetlen még piaci értékkel bíró termék, értékesítésre kerül vagy nem. Lehetséges – és a termelt mennyiséggel nagyságrendileg megegyező mértékű – felhasználók a kórházak, amit tovább egyszerűsíthet, hogy önkormányzati kezelésű szolgáltatókról van szó. Erre a forrásra azért lenne a koncepciónak égetően szüksége, mivel semmilyen egyéb bevételszerzési lehetőség nem adott, ami a termelő és kiszolgáló infrastruktúra üzemeltetési és karbantartási költségeit ellentételezné.



4. ábra: kiindulási eset, szemben az oxigénértékesítés megszüntetésével (pirossal)

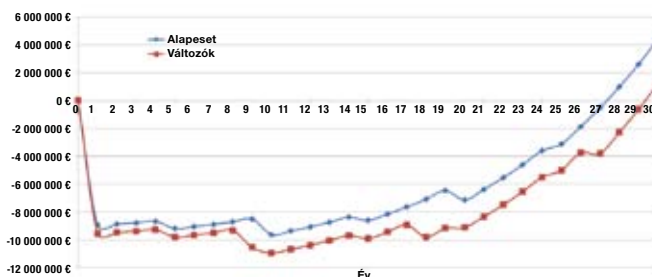
Ennek az egyetlen bevételi forrásnak a megvonásával, a hidrogénbuszok olcsóbb üzemeltetéséből származó megtakarítás nem képes fedezni a teljes kiszolgálórendszer üzemeltetési költségeit, így folyamatosan ráfizetéses lesz.

ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT

Egy előre definiált nagyságú tömegközlekedési rendszert vizsgálunk, műszaki paraméterei nem, csak a megjelöltek változnak. A vizsgálat célja ugyanis nem a rendszer méretének a megtérülésre gyakorolt hatásának a vizsgálata, a fajlagos költségek szempontjából a tízdarabos flotta már így is egy optimumot képvisel.

Tüzelőanyag-fogyasztás

Az üzemanyag-fogyasztás változására kivételesen érzékeny a rendszer, ami az önfenntartó működésre vezethető vissza. Amennyiben az oxigéngáz értékesítésével is számolunk, úgy a csökkenő fogyasztás csökkenő bevételt fog eredményezni, egyúttal a fajlagos termelési és hatékonysági mutatók is romlanak. Ugyanakkor az üzemeltetési és karbantartási költségek nem csökkennek, tovább rontva a megtérülési mutatót.



5. ábra: kiindulási eset, szemben 14 kg H₂/100 km-es fogyasztással

A fogyasztás növekedése visszavezethető éghajlati és vezetéstechnikai okokra, amíg előbbi jól tervezhető, addig utóbbi ösztönzőrendszerekkel jól kezelhető. A pontos tervezés azért elengedhetetlen, mert a rendszer tartaléka, illetve az egyes rendszerelemek tartalékai (termelékenység, tárolási kapacitás stb.) korlátozottak. Így előfordulhat, hogy a szélkerék még képes többletjeljesítményt leadni, de van a rendszerben egy szűk keresztmetszet, ami nem indokolja vagy nem teszi már lehetővé annak leadását.

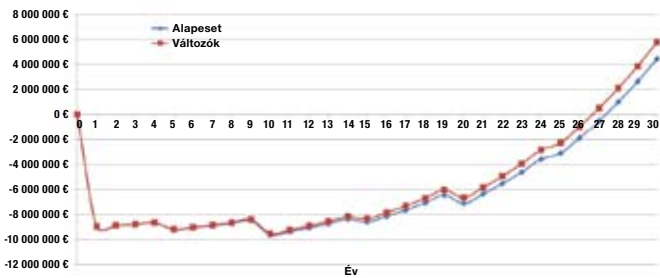
A rendszer a jelenlegi konfigurációban olyan érzékeny, hogy csak hat tized kilogrammos fogyasztásnövekedést tolerál, ebben az esetben viszont minimális (negyedéves) javulás tapasztalható a többletbevételi forrás miatt, aminek felvevőpiaca viszont korlátos! A szűk keresztmetszetet ebben az esetben az elektrolízisberendezés jelenti.

Futásteljesítmény

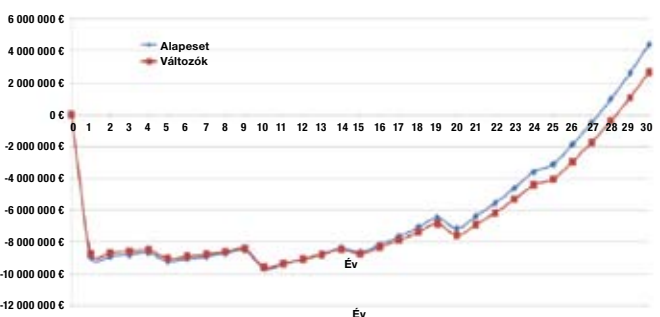
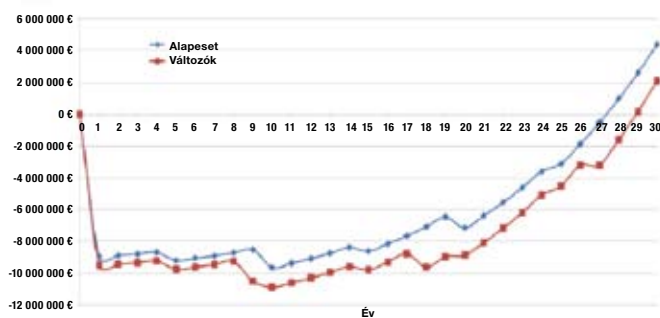
Egy, a fogyasztást jelentősen befolyásoló tényező. Az imént említett rendszerkorlát miatt, a futásteljesítmény az a változó, ahol kis növekedéssel is elérhetjük a teljes rendszer – azaz a legnagyobb keresztmetszet – teljesítőképességének határát.

Járművek száma	10	db	Állandó
Tüzelőanyag-cella élettartama	12 000	óra	Állandó
Tüzelőanyag-cella teljesítménye	128	kW	Állandó
Tüzelőanyag-fogyasztás	12	kg H ₂ /100 km	Változó
Futásteljesítmény	56210	km/év/jármű	Változó
Üzemóra	2534	óra/év/jármű	Változó
Beruházási költség	1 200 000	€/jármű	Állandó
Üzemeltetési és karbantartási költség	0,135	€/km	Változó
Hidrogén jövedéki adó	24,5	Ft/nm ³	Állandó
Tüzelőanyag-cella (cserealkatrész) ára	5000	€/kW	Változó

1. táblázat: az érzékenységvizsgálat tárgyát képező közlekedési rendszer paraméterei

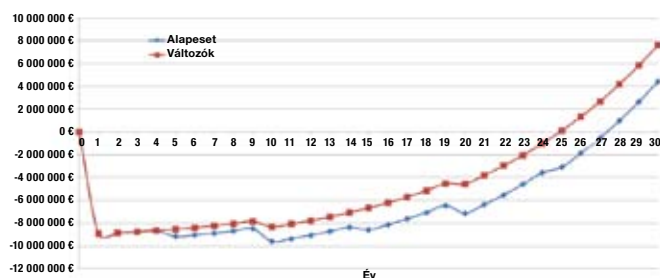


6. ábra: kiindulási eset, szemben a futásteljesítmény ötszázalékos emelésével (pirossal)



Azon felül, hogy kicsik a tartalékok, az egyes technológiák átlagon felüli beruházási, illetve üzemeltetési és karbantartási költségekkel rendelkeznek. Ebből adódóan egy utólagos rendszerbővítés (pl. szélkerék) nagyságrendekkel haladja meg egy tervezéskor biztonsági ráhagyás költségét.

Épp ezért a város (régión) közlekedési, tömegközlekedési stratégiáját messzemenően szem előtt kell tartani, egy ilyen rendszer méretezésekor. A tömegközlekedés használatát ösztönző rendele-tek és beruházások, a személygépjármű-használatot ellehetetlenítő rendelkezések, valamint az uralkodó trendek multiplikátor hatásai könnyen eredményezhetnek akkora növekedést, ami a nem kellő körültekintéssel méretezett rendszert a korlátjain túl feszíti.



7. ábra: kiindulási eset, szemben a következő generációs 25 000 óra élettartamú tüzelőanyag-cellákkal

A futásteljesítmény ötszázalékos emelkedése még pont bele-esik az elektrolízis-rendszer tartalékába, az így előállított oxigén-többlet jelentette bevétel javítja a megtérülés mutatóját.

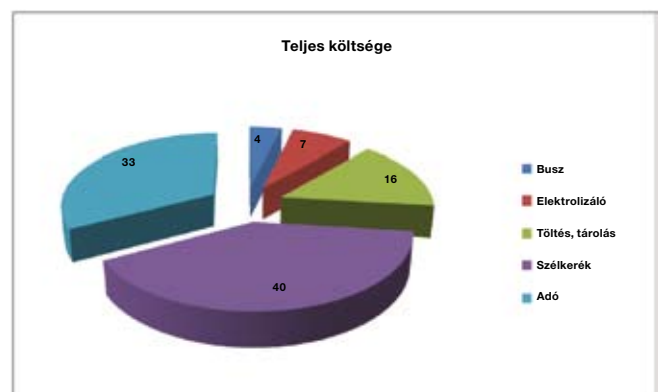
Üzemórák száma

A növekvő futásteljesítmény az éves üzemórák számának az emelkedésével is együtt jár, ami azért jelent problémát, mert a buszokban használt tüzelőanyag-cella élettartama igen szűkös (12 000 óra), cserekötsége ellenben igen magas. A jelenlegi évi 2534 üzemóra alapján az eszközt 4 év 9 hónap után cserélni kell. Ez a költség, a csere gyakoriságával párosítva (a szélkerék 30 éves futamidejével számolva) öt feltételezve jóval meghaladja a hagyományos dízelbuszok karbantartási költségeit. Ahol egy motorfelújítás közbeiktatásával a harmincéves működésre élő példák állnak rendelkezésre.

Az üzemórák számától való ilyen mértékű függés, azok szá-mának a lehetséges csökkentését vetíti előre. Erre a talán legal-kalmasabb megoldás az elektronikus jegy bevezetése, melyhez a járművek műholdas infrastruktúrája már rendelkezésre áll. A vonaljegyek 64 százalékát még mindig a vezetőnél váltják az utasok – ez több mint 325 000 alkalom évente. Ez mindössze tíz másodperces időkapuval is 903 óra állás, évente. Az elektronikus jegynek a további előnyeivel, mint az olcsóbb bekerülés, nagyobb utazási komfort stb. itt nem is számolunk.



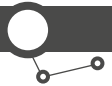
8. ábra: a teljes termelő-ellátó rendszer üzemeltetési és karbantartási költségei



9. ábra: a teljes termelő-ellátó rendszer üzemeltetési és karbantartási költségei a jövőbeli adóval kiegészítve

Üzemeltetési és karbantartási költség

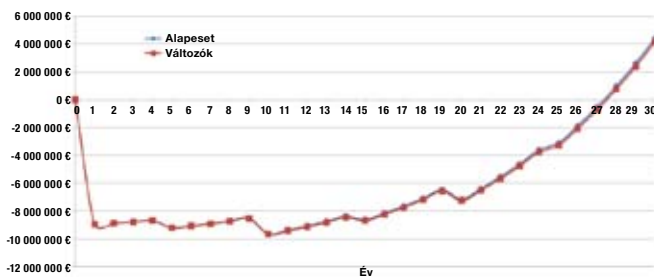
A tüzelőanyag-cellás járművek üzemeltetési és karbantartási költsége jóval alacsonyabb, mint a dízelbuszoké. Ez úgy lehet-séges, hogy a meghibásodások aránya ugyan magasabb, de



azok kijavítása többnyire csak munkaóra-ráfordítást igényel, az alkatrész cseréjét nem. Mindaddig, amíg az órabérek a jelenlegihez hasonlóan alacsonyak, és nem nő az alkatrészcsere igénylő meghibásodások száma.

Mivel azonban a jármű üzemeltetési és karbantartási költsége csak töredéke a többi berendezés (szélkerék, elektrolízisberendezés) ilyen költségének, csak kis súllyal bír.

Tovább árnyalja a képet, hogy a nemzetközi gyakorlattól eltérően a hidrogén közlekedésben való felhasználása Magyarországon jövedékiadó-köteles. Mivel ennek mértéke jelentős, összességében a busz üzemeltetési és karbantartási költségének jelentősége tovább csökken.



10. ábra: kiindulási eset, szemben az üzemeltetési és karbantartási költségek tízszeres emelkedésével

Ennek megfelelően egy tízszeres üzemeltetési- és karbantartási díj-emelés az ábrán látható mértékben alig változtatja a megtérülés várható idejét.

A cikk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy a felhasználáson (busz) kívül az előállító és tárolóberendezések vizsgálata is szerepeljen, nem beszélve az olyan pénzügyi elemek változásairól, mint a devizaárfolyam, kamatok, továbbá az üzemanyagok árai, illetve ezek együttes – hol egymást erősítő, hol egymást kioltó – hatásai.

KONKLÚZIÓ

A rendszer roppant rugalmatlan és mind a nagyarányú pozitív és negatív változásokra negatív választ ad. Ez többek között a megújuló és önálló forma egyik velejárója. Szintén rontja a megtérülési kilátásokat, hogy a kiszolgálótechnológia után fizetendő üzemeltetési és karbantartási költségek függetlenek a berendezések üzemórától, azaz jelentős alapköltséggel terheltek. Ez azonnal előrevetíti, hogy egy gondosan megtervezett rendszerben az üzemórának közelíteni kell a lehetséges maximumot és bármilyen kis arányú eltérés csak pozitív irányban képzelhető el, hogy az igen érzékeny – gazdaságilag ugyan nem reális – megtérülés ne romoljon. Szintén fontos felhívni a figyelmet rá, hogy jelentős állami támogatás nélkül, ilyen demonstrációs projektekre nincs lehetőség. ●

A fejlesztés a GUTS projekt keretein belül jött létre.

A GUTS projektet a Közép-Európa Program keretében, az Európai Unió és Magyarország támogatja

Project GUTS is co-funded by the European Union and Hungary under the Central Europe Programme



IRODALOM

[1] Dr. Andor György- Dr. Tóth Tamás, Vállalati pénzügyek I., Budapest, 2010

Lean Termelési Rendszer a magyarországi autóiparban

DR. STUKOVSKY ZSOLT
BME EJTJ igazgató

ÁSZITY SÁNDOR
okl. gépészmérnök

A következő években a hazai autóipar termelése, az utóbbi idők nagyberuházásainak köszönhetően, jelentősen meg fog növekedni. 2013-ra az autóipar lesz a legnagyobb nemzetgazdasági és exportágazat Magyarországon. Cikkünkben azt a kérdést vizsgáljuk, hogyan épülnek fel a hazai autóipari beszállítói hálózatok, és az egyes szinteken miként érvényesül a Lean szemléletű gyártás.

In the coming years due to the large investments in recent years the production of domestic auto industry will increase significantly. By 2013 the automotive industry will be the largest national economic and export sector in Hungary. In this article we examine how to build up the automotive supplier networks and how each level applies the Lean manufacturing principles.

A Lean Termelési Rendszert (Lean Production System, a továbbiakban: LPS), felfoghatjuk úgy, mint egy minőségirányítási koncepciót, amely képes biztosítani valamely gyártási környezet hosszú távú, stabil, minőségi termelését. Az autóiparban a Toyota Motor Corporation az LPS-koncepció megalkotója és a vezető alkalmazója, míg az elektronikai iparágban a Motorola volt a kezdeményező és a mai napig az egyik legsikeresebb ezen a területen. Ez a két óriás-vállalat nem csak túlélte a gazdasági környezet változásait, hanem iparági vezető tudott maradni az általuk gyártott termékek minőségében és a gyártás hatékonyságában.

Az LPS egy olyan módszertan (minőségirányítási gyakorlat) a feldolgozóipar termék-előállítási rendszerében, amelyben a gyártó a magas minőség elérésének érdekében a hiba előfordulásának kiküszöbölésére törekszik. A beszállítói láncban valamely szereplő hibája hatással van az egész termék-előállítási folyamatra és eredményezheti a végtermék minőségi nem megfelelését. Az autóipari gyártási környezetben, ahol a hibátlan végszereldei átvétel érdekében az alkatrészek ezreinek kell elvégezni a szabványok szerinti minőség ellenőrzését, különösen fontos a beszállítói lánc hibátlan és ingadozásmentes működése. A meghatározott minőségi, műszaki és mennyiségi paraméterek mellett egyre nagyobb jelentősége van az idő- és a helytényezőknek a beszállított alkatrészeknél. Az összeszerelt autó egyetlen nem megfelelő minőségű alkatrésze meghiúsíthatja a végátvételt, illetve olyan, későbbiekben a vevőknél jelentkező hibát okozhat, amely elhárítása magas vevőszolgálati költséggel és komoly presztízsvesztéssel járhat. A napjainkra jellemző magas minőségi követelményeknek való megfelelés az autóipari gyártók hálózatának nagy, de teljesíthető vevői elvárás. A márkatulajdonos nagyvállalatok, mint pl. a Toyota is, bebizonyították, hogy magas beszállítói hányad esetén is a beszállítók LPS-be történő bevonásával lehetséges a gyártott autók elvárt minőségének a biztosítása.

Az LPS azon túl, hogy a tömegtermelés kiemelkedően eredményes minőségbiztosítási eljárása, hiszen hatékonyan teszi lehetővé a minőségnek a terméket előállító folyamatokba, illetve a termékbe történő beépítését, a hibázás lehetőségének folyamatos csökkentése mellett, a szervezeten belüli eredményes és egészséges minőség- és vállalati kultúra kialakításának eszköze is. A rendszer széles körű módszertani elemeket kínál a termelési környezet fejlesztésére, problémáinak megoldására, és azon keresztül, hogy hatékonyabb folyamatokat, a hibák és az önköltség csökkenését eredményezi, hozzájárul a „jobb minőséget olcsóbban” filozófia gyakorlati megvalósításához és összességében az az iparág versenyképességének növelését eredményezi.

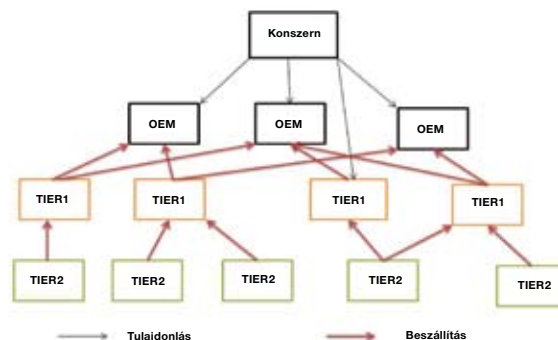
A BESZÁLLÍTÓI PIRAMIS

Az autóipar szerkezete és munkamegosztása jelentősen megváltozott az elmúlt 20 évben. Az iparág napjainkra globalizálódott, különböző kisebb gyártók és márkák részint eltűntek, részint a nagyok felvásárolták őket, a tömeggyártás 18 globális konszern tulajdonában van. A sikeres multinacionális nagyvállalatok a minőség, a költségek és a versenyképesség szempontjából kiemelkedően fontos termék- és gyártásfejlesztést „újraszabták”. Általánosan jellemző, a fejlesztési feladatok egyre nagyobb hányadának a beszállítókhoz történő delegálása, a vevők látens igényeinek piaci szegmensek szerinti kielégítése, illetve a fejlesztési időt lerövidítő (pl. simultaneous engineering) és a hibák keletkezését megakadályozó (pl. FMEA, QFD stb.) módszerek alkalmazása. A konszernek leányvállalatai profitcenterként üzemelve három fő feladatot látnak el:

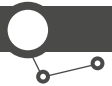
- Márkatulajdonosként elvégzik az összeszerelést. (Általában a komplett jármű, de lehet főegység pl. motor, sebességváltó is)
- Rendszerbeszállítóként részt vesznek a globális áruháza termelés-szervezésében, irányítják a területi vagy funkcionálisan hozzátartozó beszállítókat.
- Alkatrészgyártóként felelősek az adott márkát meghatározó részegységek legyártásáért.

A globális termelési láncokra jellemző, hogy akár több ezer tagra kiterjedő hierarchikusan felépülő vertikális hálózatot alkotnak. Az alakzat csúcsán elhelyezkedő OEM (Original Equipment Manufacturer, eredeti gyártó, aki az adott márkát összeszereli) az értéktermelő folyamatokból egyre többet helyez ki (outsourcing) a beszállítókhoz, így feladatuk egyre jobban a fő tevékenységére,

Autóipari beszállítói lánc felépítése



1. ábra: autóipari beszállítói lánc felépítése



az összeszerelésre és a márka gondozására szűkül. Ugyanez a folyamat megfigyelhető a globális termelési lánc első és második szintjén is. Jelenleg egyes OEM-gyártók már az értéktérmet 70 %-nál is nagyobb mértékben szervezik ki a gyártást. A tendencia eredményeképpen az első szintű rendszerbeszállítók (Tier 1) jelentősége felértékelődik: meg kell felelniük gyártóként és hatékonyan meg kell szervezniük saját beszállítói hálózatukat is. A rendszerbeszállítók szerepének a felértékelődését segíti elő az a tény is, hogy az OEM-gyártók törekednek arra, hogy minél komplettebb részegységeket kapjanak, ez természetesen vezet az integrátorok számának csökkenéséhez, a tevékenységük szélesedéséhez, a működésükhöz szükséges tőkeerő növekedéséhez.

A második (Tier 2) és további szintű beszállítók elsősorban a rendszerbeszállítókkal (integrátorokkal) (Tier 1) állnak kapcsolatban. Az általában éves keretszerződésekben meghatározott szállítások elnyerésének a feltételei és a szállítókkal szemben támasztott követelmény-rendszer nem sokban tér el az OEM által az integrátor felé támasztott követelmény-rendszertől, tehát relatíve több erőforrás szükséges a feltételeknek való megfeleléshez (pl. ISO TS 16949 szabványalapú, hatékonyan működő, auditált minőségirányítási rendszer). Ugyanakkor a beszállított alkatrész a lánc alsóbb elemei felé haladva egyre egyszerűsödik, a gyártási feladat komplexitása csökken, egyre alacsonyabb a hozzáadott érték, következésképpen az elérhető nyereség is egyre kevesebb. Az elvárt minőségirányítási szabvány az ISO 9001 **(1. ábra)**.

A BESZÁLLÍTÓI PIRAMIS MAGYARORSZÁGI HELYZETE

A Magyarországra települt multinacionális vállalatok fejlett technológiát, termelészervezési, minőségirányítási és vállalatirányítási rendszereket alkalmaznak. A működésük azonban tipikusan szigetszerű maradt. Van olyan vállalat, amely már közel húsz éve folytat nagy volumenű gyártást Magyarországon, azonban a hazai gyártók beszállítása még a 10%-ot sem éri el. Ha még hozzászámítjuk, hogy a belföldi Tier 1 vállalatok szinte kivétel nélkül külföldi tulajdonban vannak, akkor a helyzet még szomorúbb. Az általános indok a gyenge tőkeerő, a korlátozott hitelhez jutás stb.. Sajnos ez csak egy tényező. Ennél sokkal súlyosabbnak tartjuk a gondolkodásmódból fakadó hátrányokat, a hosszú távú stratégiai építkezés igényének hiányát.

Az elmúlt évek autóiipari beruházásai (Mercedes Benz Kecskeméten, AUDI Győrben, GM Szentgotthárdon) óriási lehetőséget jelentenek a magyar kis- és középvállalatok számára.

AZ LPS ELTERJEDTSÉGE A MAGYARORSZÁGI BESZÁLLÍTÓI PIRAMIS EGYES SZINTJEIN

AZ OEM-GYÁRTÓK

Az OEM-gyártók mindegyike alkalmazza a LPS gyártási módszereket, amelyek fontosabb jellemzői:

- A vezetés teljes elkötelezettsége a Lean elvek mellett,
- A dolgozók bevonása 100%-os az oktatás, a javaslati rendszer és a teammunka révén,
- A termelészervezés a Lean elvek szerint történik,
- Mérőszámok, mutatószámok mérik az előrehaladást,
- A folyamatok és eljárások a Lean elvek szerint kerülnek kialakításra (Szabványosítás, Vizuál Menedzsment stb.),
- A teljes szervezet és szervezeti felépítést magába foglalja,
- Több mint tízéves LPS alkalmazás gyakorlat, konszernszinten.

Az egyes LPS-rendszerek között vannak, a vállalat sajátosságaitól függő különbségek, de alapjában véve mindegyik a Toyota Termelési Rendszer alapelveit veszi át:

- Dolgozók bevonása: *teammunka, javaslati rendszer*
- Húzó elvű gyártás: *csak azt gyártjuk le, ami elfogyott, törekszünk a minél rövidebb átfutási időre*
- Folyamatba épített minőség: *nem a minőségellenőrzést szigorítjuk, hanem elsősorban jól gyártunk, és csak a jó termék mehet tovább a gyártás következő fázisába*
- Szabványosítás: *szabvány munkalapokon leírt, ciklikus gyártási műveletek*
- Folyamatos fejlesztés: *javaslati rendszer, Kaizen, KVP.*

A GENERAL MOTORS

General Motors Corporation (GM) az egyike azoknak a cégeknek, amelyek az elsők között ismerték fel a Lean rendszerű gyártás jelentőségét az USA-ban. A GM már a '80-as évek elején érdeklődést mutatott a Toyota Production System egyes elemei iránt. 1984-ben a GM és a Toyota megalakította a New United Motor Manufacturing Inc.-t (NUMMI) Fremontban, annak érdekében, hogy közösen gyártsanak olyan autókat, amelyeket saját néven forgalmaznak tovább. A hagyományos GM üzemekhez képest a NUMMI képes volt lecsökkenteni az egy autó előállításához szükséges munkaerőigényt 31 órától 19-re, valamint a 100 autóra jutó összeszerelési hibát 135 db-ról 45-re. Az 1990-s években a NUMMI sikerei világossá tették, hogy a Lean rendszerű gyártás óriási előnyöket kínál a termelékenység, a termékminőség és a nyereséesség területén a hagyományos sorozatgyártásokhoz képest.



2. ábra: a General Motors Lean Termelési Rendszer szimbóluma

A magyarországi gyártóhely: General Motors Powertrain-Magyarország Kft. Az Opel szentgotthárdi gyárát a General Motors alapította 1990-ben. A gyár termékpaletáján 1992 óta szerepelnek személyautókhoz készülő középkategóriás benzinmotorok, melyeknek kizárólagos gyártója az Opel európai gyárai számára. Ezen kívül más GM márkákhoz is szállít motorokat, és megmunkált motoralkatrészeket. Kezdetben autó-összeszerelés is volt.

A SUZUKI MOTOR CO.

Mint japán gyártó a Suzuki Motor Co.-nál már a kezdeteknél megjelentek a LPS szemléletű gyártás elemei. Suzuki Shunzo vezetése alatt 1963-ban minden dolgozó tízórás minőségügyi oktatásban részesült és kialakították a javaslati rendszert. A Toyota Termelési Rendszerhez szervesen kapcsolódó, azzal együtt fejlődő a Suzuki Termelési Rendszer.

A Suzuki 1992-ben hozott létre közös céget a GM-mel a kanadai Ingersollban. A zöldmezős beruházás során a kanadai dolgozók alapos kiképzés kaptak a Suzukinál az LPS-alapú gyártásról, majd

a sikeres megvalósítás után az esztergomi gyárban is ők voltak a Suzuki Termelési Rendszer tudáshordozói.

A magyarországi gyártóhely: Magyar Suzuki Zrt. A Magyar Suzuki Rt.-t a Suzuki Motor Corporation, az Itochu, IFC és az Autókonzern alapítja meg 1991-ben. Az esztergomi gyár komplett autótakar szerel össze az európai piac ellátására. 1992-ben indult meg a gyártás.

A VOLKSWAGEN-KONSZERN

A Volkswagen-konzernnél 2001-ben került bevezetésre a KPS (Konzern Produktion System). A rendszert az egyes márkákra igazítva használják, így az AUDI-nál Audi Produktion Systemként (APS) találjuk meg a rendszer szimbólumát (APS-ház):



3. ábra: az Audi Termelési Rendszer

A magyarországi gyártóhely: Audi Hungaria Motor Kft. Az AUDI Hungaria Motor Kft. 1993-ban alakult az AUDI AG. 100 %-os leányvállalataként. A cég gyártja az AUDI csaknem egész motorválasztékát, valamint beszállítója a Volkswagen, Skoda és Seat márkák gyárainak. 1998-tól zajlik autó-összeszerelés is. 2010-ben kezdődött az új komplett gyártási képességet tartalmazó új járműgyár építése.

A MERCEDES-BENZ

A Mercedes-konzernnél az LPS bevezetésének nagy lökést adott a Daimler-Benz és a Chrysler egyesülés 1998-ban. Akkor már a Chrysler 3 éve dolgozott a LPS-bevezetésen Chrysler Operating System néven. Fő súlypontként az új modellek kifejlesztési idejének csökkentését és a minőség növelését határozták meg. Az egyesülés szinergiáinak kihasználásával a Mercedes személyautó gyáraiban 2000-ben kezdődött meg a Mercedes-Benz Produktionssystem (MPS) bevezetése (4. ábra).

A magyarországi gyártóhely: Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft. A gyár az A és B osztályú Mercedes személyautók gyártására épült, együttműködve a németországi rastatti üzemmel.

TIER 1 BESZÁLLÍTÓK, INTEGRÁTOROK

Több mint 100 vállalat tartozik ebbe a csoportba. Jellemzően külföldi tulajdonú, az autógyárak globális beszállítóinak magyarországi leányvállalatai. LPS használatának szempontjából több csoportra oszthatók:

- Az anyavállalattól átvett rendszert használják, PI, Festo, Robert Bosch Kft., Knorr-Bremse. A globális beszállítóknál, a saját vállalat-specifikus LPS-rendszerek hasonló mélységben hatják át a szervezetet, mint az OEM-gyártóknál.

- Saját fejlesztésű, elsősorban a globális, közös LEAN tudásbázisból (szakirodalom, internet) származó ismeretek helyszíni körülményekre történő alkalmazásával működnek. Ebben a kategóriában a bevezetés ideje és mélysége igen nagy különbséget mutat. Elsősorban a tulajdonosi és a vezetői elkötelezettség függvénye.
- Az OEM-gyártótól kaptak iránymutatást és módszertant. Az OEM-gyártók a fejlesztési folyamataikat belülről kifele haladva fejlesztik. Először az értéktérítés helyét (összeszerelő sor) optimalizálják, majd kifele haladva fejlesztik a beszállítóláncot. Ez az alacsonyabb szinten lévő beszállítókhöz csak nagyon áttételesen és sok idő után jut el. Az LPS-elvek vállalatba integráltsága nagy szórást mutat.

TIER 2 ÉS ALACSONYABB SZINTŰ BESZÁLLÍTÓK

Nem állnak rendelkezésre pontos statisztikák ennek a csoportnak a számáról. Irodalmi források 500 felettire teszik a potenciális Tier 2 cégek számát. Elsősorban itt az 50 fő feletti foglalkoztatottat és a legalább évi 500 millió forint árbevételre elvő vállalkozásokra kell gondolni. A Tier 3 kategóriában az 50 fő alatti cégek jöhetnek elsősorban számításba. Akár többre is lehet a potenciálisan alkalmas cég.

Jellemzően az LPS-elveket nem alkalmazzák. A gyártás a hagyományos tolvó elv szerint történik. A kevés tőkeerő is szétforgácsolódik a nem kellő hatékonyságú termelés veszteségeinek finanszírozására.

Az elmúlt évek autóiipari beruházásai (Mercedes Benz Kecskeméten, AUDI Győrben, GM Szentgotthárdon) óriási lehetőséget jelentenek a magyar kis- és középvállalatok számára. A lehetőségeket azonban a régi módon már nem lehet kiaknázni. A LPS elvének megfelelően először az alacsonyan fekvő gyümölcsöket kell leszedni, vagyis a legkisebb erőforrással megvalósítható fejlesztéseket kell megvalósítani: VÁLTOZTATNI KELL A GONDOLKODÁSMÓDON.

A Toyota példáján kiindulva, a hazai beszállítóknak is el kell kezdeniük LPS módon gondolkodni.

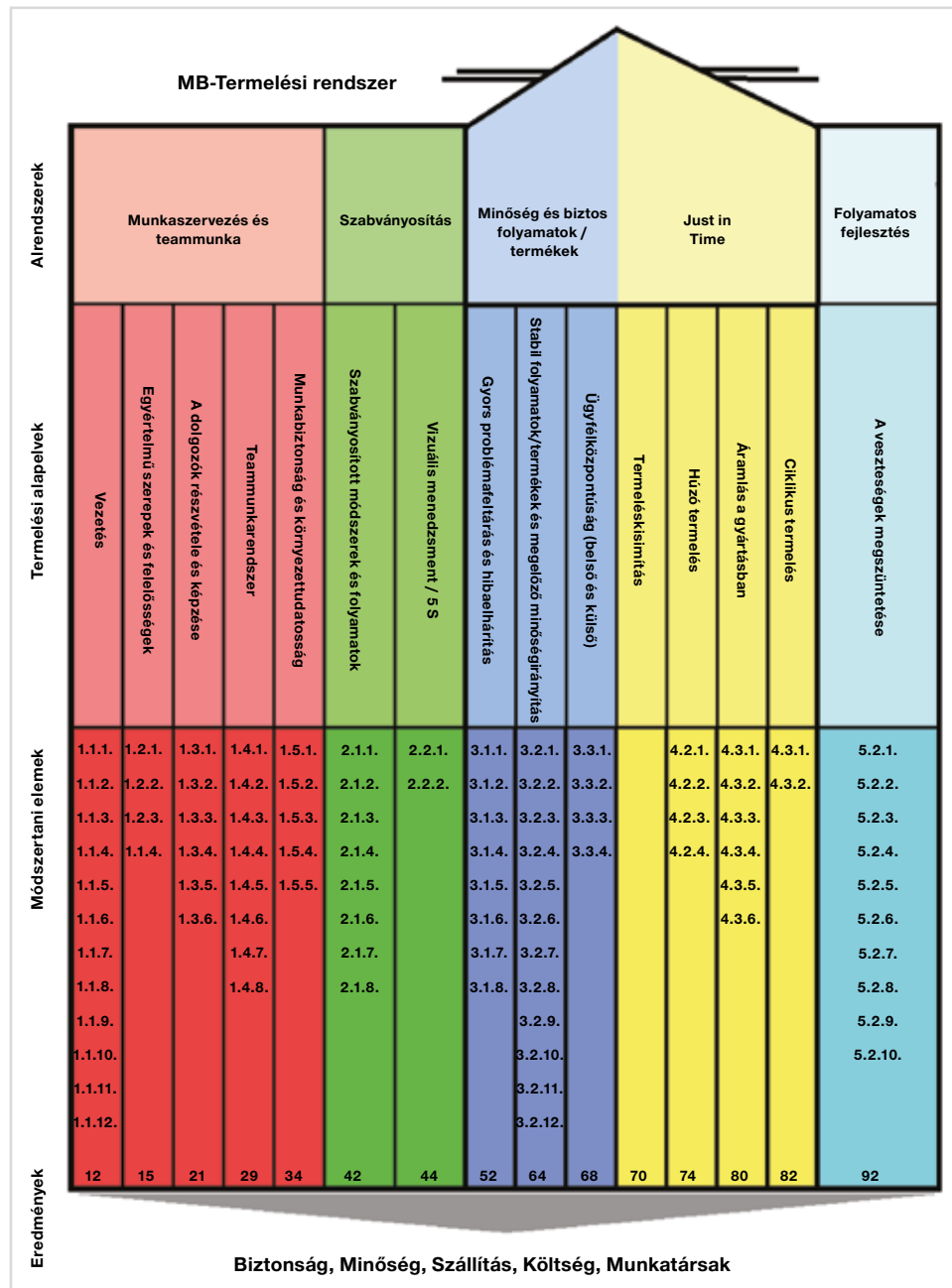
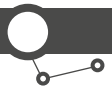
A Tier 2-es és alacsonyabb szintű beszállítók az alábbi kihívásokkal szembesülnek:

- Általában ezen a szinten a termékek egyszerűek, emiatt könnyen helyettesíthetők, az árrés kicsi és a piaci verseny nagy.
- Az időszakonkénti, folyamatos árcsökkentési kényszer miatt a beszállító vagy árrését csökkenti, vagy a termelékenységet, hatékonyságát növeli. (A másik út, a minőségirontás a költségmegtakarítás érdekében nem járható, mert a piacról történő kiűzéssel jár.)
- Az OEM-gyártó által alkalmazott technológiai, szervezeti fejlesztési újítások nehezen jutnak el hozzá.
- Jellemző a tőkeszegénység, az alacsony jövedelmezőség nem teszi lehetővé a bővített újratermelést. A fejlesztésekre kevés a forrás.

Mindezek miatt az alacsonyabb szintű beszállítók elemi érdeke a költségek folyamatos csökkentése, a hatékonyabb, kiszámíthatóbb, magasabb minőséget biztosító termelés. A LPS elveinek alkalmazása nem igényel nagy pénzügyi befektetéseket. A nehézséget a gondolkodás, viselkedés és munkakörnyezet megváltoztatása jelenti, amelyet az elért szint megtartásának még nagyobb feladata követ.

A LEANLAB projekt által megcélzott kutatási területek és kapcsolódási pontok az autóiipari beszállítói hálózat fejlesztéséhez

- Benchmarking felmérés a LPS alkalmazásáról a Tier 1, Tier 2 és Tier 3 szintű beszállítók esetében, jó gyakorlatok átvétele és népszerűsítése
- Oktatási segítség a szakemberek képzéséhez, oktatási, bevezetési programok kidolgozása
- Egyetemi hallgatók bevonása a LPS elveinek ismeretébe.



4. ábra: az MPS öt alrendszer, 15 működési alapelvet és 92 módszertani építőelemet tartalmaz

A „LEANLAB” a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mint Vezető Partner által a Magyarország – Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 keretében

ben folytatott – „Establishing LEAN knowledge and laboratories” című HUSK/1101/1.6.1/0161- azonosítószámú nyilvántartott projekt.

IRODALOM

http://www.kopintalapitvany.hu/kutatas/Commerz_beszall/amagyarkkv_beszallitoi.pdf
http://rs1.sze.hu/~kardos/AUDI_2010/2010_11_16/AHM_Logisztika_jegyzet.10.11.16..pdf
<http://www.uni-corvinus.hu/index.php?id=19849>
<http://www.synergy-associates.com/cultural/case.htm>

Mercedes-Benz Produktionssystem Erste Edition DCPS: 12. Mai 99 PMI Cluster B Produktionssystem
 2. Überarbeitete Edition MPS: 17. Januar 00

A 2008-as gazdasági válság hatásai a hazai járműiparra – Piaci kihívások és válságkezelés, Stukovszky Tamás, Dr. Palkovics László, Logisztikai Innovációs Füzetek 3. ISSN 2061-6821

A Lean gyártási rendszer alapvető mérőszámai - Ászity Sándor okl. gépészmérnök, Logisztikai Innovációs Füzetek 2. ISSN 2061-6821

Alternatív hajtású járműflottára történő áttérés megtérülési idejének és járműflotta üzemeltetésének modellezése

JÓZSA SZABOLCS

PhD-hallgató
BME GJT

KOCSIS BENCE

PhD-hallgató
BME GJT

TRENCSENI BALÁZS

ügyvivő szakértő
BME EJJT

DR. STUKOVSKY ZSOLT

igazgató
BME EJJT

DR. PALKOVICS LÁSZLÓ

egyetemi tanár
BME EJJT, BME GJT

A beruházási projektek elengedhetetlen eleme a pénzügyi tervezés. Különösen fontos alapos, sokparaméteres becsléseket végezni, olyan nagy értékű beruházások esetén, mint a meglévő járműflották lecserélése, felújítása, átalakítása vagy esetleg új járműflotta beszerzése. Annak ellenére, hogy a vállalati gazdasági elemzések területe az utóbbi évtizedekben nagy léptekkel fejlődik és egységesen elfogadott alapjai vannak a területnek, nincs egy egységes univerzális eljárás, amellyel rögtön a legjobb eredmény megtalálható, mindössze példa értékű esettanulmányokra alapozhatjuk egy új kalkulációs rendszer létrehozását. Cikkünkben egy a BME EJJT munkatársai által fejlesztett üzleti modellt ismertetünk, mely segítségével járműflották üzemeltetésének és alternatív hajtású járművekre történő lecserélésének gazdasági vonzatai vizsgálhatók. A modell Microsoft Excel 2010 programmal készült.

The financial planning is an essential element of investment projects. It is particularly important to create thorough, estimate with many parameters, when a high-value investment is planned, such as the existing vehicle fleet replacement, renovation, conversion or purchase of any new vehicle fleet. Despite the fact that corporate economic analysis has been for the past few decades evolving quickly and has uniformly accepted basics, there isn't a uniform methodology to find the best results immediately, only exemplary case studies may be used to create new calculation schemes. In this paper, we described a business model developed by the staff of BME EJJT, which allows the investigation of economic aspects of the operation of vehicles fleets and replacing vehicles with alternative-powered vehicles. The model is made with Microsoft Excel 2010 software.

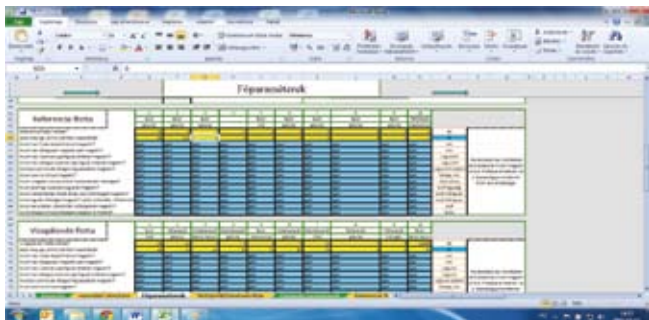
BEVEZETÉS

Szükségesnek láttuk egy olyan üzleti modell létrehozását, amely képes eltérő időtávokra, különböző járműtípusokból felépülő flották üzemeltetésének költségeit számítani és összehasonlítani azonos tüzelőanyagú, de más típusú vagy alternatív hajtású járművekből álló flotta üzemeltetési költségeivel. Az összehasonlítások esetén több lehetőség közül választható a flották üzemeltetési paramétereinek kapcsolódási pontja (szállítási kapacitás, futott kilométer, energiaigény stb.), amely adatok egyezése mellett elsősorban a flotta üzemeltetéséből eredő várható jövőbeni pénzáramlásokat számítja ki a modell, de a fennmaradó üzemeltetési paramétereket is összemérhetővé teszi. Ez rendkívül fontos, mivel így nem egy konkrét tervezett befektetés megtérülési idejét tudjuk meghatározni, hanem egy flotta paramétereit alapul véve, vizsgálni tudjuk tetszőleges helyettesítés esetére a megtérülési

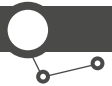
időt és olyan további, a befektetéssel kapcsolatos pénzügyi paramétereket, mint a nettó jelenérték (NPV), a belső megtérülési ráta (IRR), az éves egyenértékes (AE) és a megtérülési index (PI). Ezen mutatók várható értékeinek ismerete elengedhetetlen egy befektetés megvalósíthatóságának vizsgálatához, illetve láthatóvá válik, hogy az egyes alternatívák közül melyek kedvezőbbek pénzügyileg a többinél. A pénzügyi tervezés vállalt nagy súly terheli, mivel a legtöbb beruházás megvalósulásáról a várható pénzügyi mérleg alapján döntenek a tőketulajdonosok, ezért fontos, hogy átfogóan megvizsgáljuk az összes paramétert, ami szóba jöhet egy befektetéssel kapcsolatban, majd sorra meghatározzuk, hogy melyeknek milyen fontos a szerepe, milyen az eloszlása, és milyen a változási sebessége, mindezek ismeretében tudjuk beilleszteni a pénzügyi kalkulációba. Ha nem megfelelően választjuk meg a paramétereket, vagy nem ismerjük a jellemzőiket, félrevezethetjük az általunk kalkulált adatok felhasználóit. Esetünkben számtalan paramétert sorakoztattunk fel, de szabad kezet hagyunk a felhasználónak, hogy megválaszthassa a számára szükséges paramétereket és az adatszolgáltatás részletességét, amelyeket megad bemeneti adatként.

TÁBLÁZAT FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

A modell első adatbeviteli felületén megadhatók a számítás időparaméterei (tetszőlegesen választható a kezdőpont és a futamidő is), kiválasztható maximum 10-10 járműtípus és azok hajtásának típusa, ami 13 lehetőség közül választható ki, a vizsgálat alapját képező járműparkhoz (továbbiakban: referenciaflotta) és a hozzá hasonlítandó a befektetés tárgyát képező új járműparkhoz (továbbiakban: vizsgálandó flotta) is. Majd megválasztható, hogy



1. ábra: megadni kívánt adatok megválasztására szolgáló panel részlete



2. ábra: kiindulási adatok (üzemeltetési és az összehasonlítás alapját képező adatok) megadására szolgáló panel részlete

az előbb megadott járművek üzemeltetésével kapcsolatos, mely paramétereket kívánja a felhasználó megadni a későbbi adatbeviteli felületeken, az erre szolgáló panel egy részlete az **1. ábrán** látható.

Az előzőekben megadni kívánt adatok bevitelére és az összehasonlítani kívánt járműcsoportok kiválasztására szolgál a második adatbeviteli panel, melynek egy részlete a **2. ábrán** látható. A bevitt adatokat vagy a belőlük számított paramétereket minden esetben visszajelzi a modell az adatmegadás helye mellett, hogy azonnal láthatóvá váljon, hogy milyen adattal kerül be a kalkulációba. Azonos információtartalommal rendelkező adatok esetén egy az általunk meghatározott hierarchia szerint olvassa be az adatokat a modell, ezzel megakadályozva, hogy egymást kizáró adatok kerüljenek bevitelre. Nem triviális dimenziójú mennyiségek esetén jelentős számú lehetőség közül választhat a felhasználó, hogy milyen dimenzióban kívánja megadni az adott mennyiséget. Lehetőség nyílik ezek után, hogy az előzőleg megadott és paraméterezett járműtípusok közül kiválasszuk, hogy melyeket szeretnénk összehasonlítani, így többféle kombinációt vizsgálhatunk párhuzamosan. A felhasználó adatmegadási proceduráját és a tájékozódását a táblázatban egy egységes színek segíti, amely alapján minden celláról azonnal el tudja dönteni, hogy milyen funkciókat tölt be.

Itt adható meg a flották üzemeltetésének bevételi oldala, ahol figyelembe vehető, hogy az új járműveket szívesebben használják az utasok vagy a megrendelők, valamint a bevételi oldal kihasználtságható is tehető, és kalkulálni lehet azzal, hogy az új járművek alkalmazásával egy folyamatos kihasználtságnövekedés következik be, melynek mértéke szintén megválasztható.

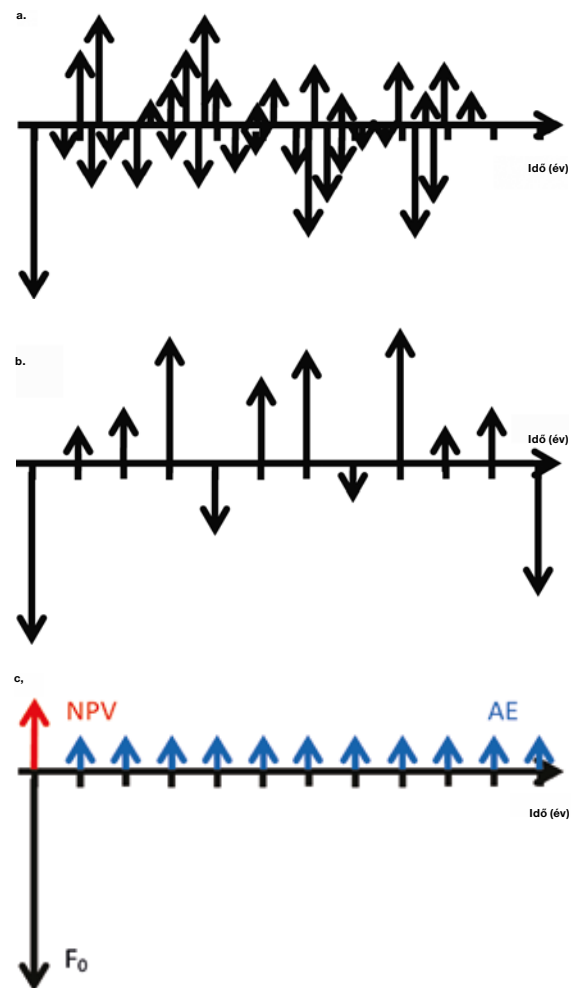


3. ábra: kiindulási adatok (gazdasági adatok) megadására szolgáló panel részlete

A gazdasági paraméterek megadására szolgáló panel részlete látható a **3. ábrán**, melyen az euróárfolyam és a reálkamat megadása mellett, a referenciaflottáról a vizsgálandó flottára történő áttéréssel járó beruházás értékét lehet megadni. A befektetési és fenntartási adatokat öt külön részre osztva adhatja meg a felhasználó, melyek a következők: primer energiaforrás előállításához kapcsolódó, szekunder energiaforrás előállításához kapcsolódó, tüzelőanyag felhasználási helyére történő szállítmányozásához

kapcsolódó, a felhasználás helyszínén történő tároláshoz és a töltéshez kapcsolódó és a járművek átalakításához vagy új járművek beszerzéséhez kapcsolódó költségek. Megadható az egyes beruházási tételek várható élettartama, ennek ismeretében az újrabeszerzések időpontját és várható értékét kikalkulálja a modell. Mindezek mellett bevezethető eseti egyszeri beruházások vagy vissza nem térítendő támogatások, hitelek ugyanezen a panelen.

Ezek után az eddig megadott adatokat és a belőlük kikalkulált értékeket időskálához rendezve megjeleníti a modell és lehetőséget ad az ellenőrzésre, áttekintésre és mind a referencia járműcsoportok, mind a vizsgálandó járműcsoportok esetében, a teljes kijelzett adatsor bármely diszkrét időponthoz tartozó értékének módosításához, vagy ha azt indokolja az adat változékonysága, akkor teljes adatsorok megadása is lehetséges minden időponthoz (ez adattípustól függően havi vagy éves részletezést jelent) egyedi értékkel.



4. ábra: a modell számítási mechanizmusa (a pénzáramlások láthatóak az idő függvényében); (F_0 : kezdeti beruházás, NPV: nettó jelenérték, AE: éves egyenértékes)

E felett megadható a vizsgált hajtástípusok tüzelőanyagárainak várható alakulása a jövőben és az adott járműpark üzemeltetésével járó externális költségek várható értéke, illetve lehetőség van megválasztani, hogy a modell felhasználja a számításnál az externális költségeket vagy ne. Az externális költségek kalkulálásához a HEATCO-D5-2004 európai uniós projekt NFÜ által adaptált dokumentumai alapján tettünk javaslatot a felhasználónak az egyes értékekre, de természetesen ezeket az adatokat is megválaszthatja

JELÖLÉS	MEGNEVEZÉS	MÉRTÉKEGYSÉG	JELÖLÉS	MEGNEVEZÉS	MÉRTÉKEGYSÉG
NPV	nettó jelen érték	HUF	F ₀	kezdeti beruházás	HUF
IRR	belső megtérülési ráta	%	N	beruházás időtartama	év
PI	jövedelmezőségi index	-	E(F _n)	az n-edik év pénzáramlása	HUF
AE	éves egyenértékes	HUF	r _{alt}	kockázat nélküli alternatív befektetés hozama (kamat)	%

1. táblázat: (1)–(4) egyenletekben feltüntetett mennyiségek, jelölésük és dimenziójuk

saját maga a felhasználó is. A modell az externális költségek közül a légszennyezés és klímaváltozás externális költségeivel számol, mivel az összehasonlítandó járműflották hasonló útvonalakon közlekednek, a zaj, a rezgés és a balesetek externális költségei hasonlóak, így ezekkel nem számol a modell. Maga a számítási mechanizmus a **4. ábrán** látható, mely a pénzáramlásokat ábrázolja az idő függvényében. Az a. ábrarészen a megadott adathalmazt jelképezi, a **4. b. ábrarész** az időhöz rendezett összegzett pénzáramokat mutat be, a **4. c. az** eredményül kapott mutatókat ábrázolja.

A nettó jelen érték mutató a tőke költsége feletti teljesítményét, az értéktéremtést jelenti. Számításakor minden jövőbeli várható pénzáramot el kell osztani (diszkontálni kell) az egységnyi időre (egy évre vagy hónapra) megadott tőkeköltségnek a pénzáram bekövetkezéséig idejéhez illeszkedő hatványával (a kamatos kamatozás elvét követve), majd az így kapott értékeket összegezzük, a beruházás értékes, ha az NPV-je nagyobb zérusnál [1]:

$$NPV = F_0 + \frac{E(F_1)}{1+r_{alt}} + \frac{E(F_2)}{(1+r_{alt})^2} + \frac{E(F_3)}{(1+r_{alt})^3} + \dots = F_0 + \sum_{n=1}^N \frac{E(F_n)}{(1+r_{alt})^n} \quad (1)$$

Egy beruházás belső megtérülési rátája az a hozam, amellyel az adott időszakban befektetett egységnyi összegünket egységnyi időre átlagosan gyarapítottuk. Ha ezzel a hozammal diszkontálunk a beruházás pénzáramait, akkor a befektetett értéket kapunk vissza. Olyan r értéket keresünk tehát, amellyel a befektetett tőke nagysága és a beruházás jelenértéke megegyezik, vagyis, amelynél a beruházás NPV-je zérus lesz [1].

$$NPV = F_0 + \frac{E(F_1)}{1+IRR} + \frac{E(F_2)}{(1+IRR)^2} + \frac{E(F_3)}{(1+IRR)^3} + \dots = F_0 + \sum_{n=1}^N \frac{E(F_n)}{(1+IRR)^n} = 0 \quad (2)$$

Könnyen belátható, hogy az NPV és IRR szabályok ugyanazt a döntési eredményt adják egy projekt értékességének vizsgálatakor, hiszen amennyiben a tőkeköltsége kisebb, mint az IRR, akkor az NPV pozitív. Az IRR gazdasági mutatóként való használata igen egyszerű: valósítsunk meg minden olyan projektet, aminek IRR-je nagyobb a hasonló kockázatú alternatív befektetések hozamánál. Ez a megállapítás – ha helyesen értelmezik – teljes mértékben helytálló [1].

Amennyiben a rendelkezésre álló tőkének több felhasználási lehetősége is kínálkozik, szabad kapacitások allokálási problémájával állunk szemben. Ebben az esetben akkor járunk el helyesen, ha az alternatíva költségvetését követve, előbb a jövedelmezőségi index segítségével kiválasztjuk, hogy melyik projekt vagy esetleg projektek hasznosítják a legjobban a felhasználható szabad tőkét. Ehhez meghatározzuk a versengő j darab projekt NPV_j-it, az adott felhasználható tőkére vetítve [1]:

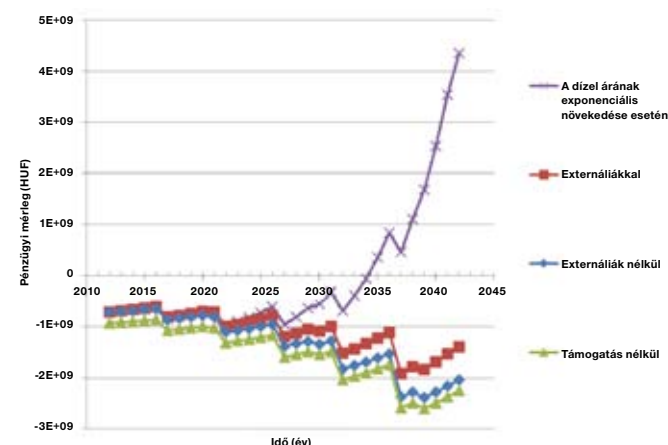
$$PI_j = \frac{NPV_j}{F_0} \quad (3)$$

Az éves egyenértékes eltérő időtartamú, láncszerűen megismételhető projektek összehasonlítására használjuk. Ezek esetében az éves pénzáram-egyenértékesek összevetésével tudunk dönteni. Mivel feltételezzük, hogy a kezdeti projektet – hasonló feltételekkel – újra meg újra meg tudjuk majd valósítani, így a projekt időtartama csak annyiban számít, hogy milyen gyakran kell a megújítást megtenni. Olyan éves egyenlő összegeket keresünk tehát, amelyek a projekt élettartamával megegyező ideig jelentkeznek és NPV-jük megegyezik a projekt NPV-jével. Lényegében „kisimítjuk” a beruházással járó, egyenetlenül jelentkező pénzáramokat. Az N évig tartó projekt esetén a következő képlettel számolhatunk [1]

$$AE = NPV \cdot \left[\frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \right] \quad (4)$$

Ha minden bemenő adatot megadtunk a modellnek, akkor az eredményeket ábrázoló munkafüzetre lapozva megtekinthetjük a kalkuláció eredményét diagramon ábrázolva, illetve a fontosabb információt hordozó kiszámított értékeket. Az eredménykijelzők bemutatásához végeztünk egy próbaszimulációt, melynek során két-két szülő helyi közlekedésben üzemelő autóbust hasonlítottunk össze. A vizsgálatban két dízelüzemű buszt cseréltünk le tüzelőanyag-cellás hidrogénüzemű autóbuszokra, melyekhez a hidrogén előállítását elektrolízissel vízből nyerjük, az elektrolízis melléktermékeként keletkező oxigént palackos formában értékesítjük és az elektrolízishez, illetve a további kiszolgálóberendezésekhez az elektromos energiát szélkerék biztosítja. Ezáltal egy költséges technológia segítségével jelentős környezetvédelmi előrelépés tehető. Mindezt 30 éves futamidőre 7% reálkamat mellett vizsgáltuk meg különböző feltételek mellett (**5. ábra**), melyek a következők:

- a sárga háromszöggel jelölt görbe mutatja a projekt pénzügyi lefutását, abban az esetben, amikor külső vissza nem téríten-



5. ábra: a próbaszimuláció eredményei diagramon ábrázolva (a modell egyik eredménykijelzője)



	BEFEKTETÉS NPV-JE	A ZÁRÓ ÉRTÉK NPV-JE	IRR	PI	AE	MEGTÉRÜLÉS	MEGTÉRÜLÉS ÉVE
	millió HUF	millió HUF	%	-	millió HUF	év	-
1. eset	-1 399	-296	-200	-	-113	-	-
2. eset	-1 188	-268	-171	-	-96	-	-
3. eset	-985	-184	-170	-	-79	-	-
4. eset	118	572	73	0,169	9,5	23	2035

2. táblázat: a szimuláció eredményei táblázatos formában

dő támogatást nem kap a projekt, a dízel üzemanyagárának NPV-je állandó és az externális költségeket nem vesszük figyelembe (1. eset)

- a kék rombuszsal jelölt görbe mutatja a projekt pénzügyi lefutását, abban az esetben, amikor 25%-os külső vissza nem térítendő támogatást kap a projekt, a dízel üzemanyagárának NPV-je állandó és az externális költségeket nem vesszük figyelembe (2. eset)
- a piros négyzettel jelölt görbe mutatja a projekt pénzügyi lefutását, abban az esetben, amikor 25%-os külső vissza nem térítendő támogatást kap a projekt, a dízel üzemanyagárának NPV-je állandó és az externális költségeket is figyelembe vesszük (3. eset)
- a piros négyzettel jelölt görbe mutatja a projekt pénzügyi lefutását, abban az esetben, amikor 25%-os külső vissza nem térítendő támogatást kap a projekt, a dízel üzemanyagárának NPV-je a jelenlegi szintről a 30 év alatt 6500 HUF-ra nő (egy exponenciális karakterisztika mentén) és az externális költségeket is figyelembe vesszük (4. eset)

Az ábrán látható, hogy a külső támogatás kizárólag a görbe elhelyezkedésén (1. és 2. eset közti különbség) módosít a lefutásán nem, tehát a külső támogatás segítségével csak akkor tehetjük a projektet megvalósíthatóvá, ha az elegendő mértékű ahhoz, hogy a görbe utolsó pontja a nulla pont felé emelkedjen, azaz a befektetés összege felett termelt veszteség mennyiségét is kompenzálja. Az externális költségek hozzászámításával (2. és 3. eset közti különbség) már befolyásolható a görbe alakja és csökkenthető a veszteség mértéke, de nem került a befektetés a megvalósítandó kategóriába. Viszont ha a gázolaj árát jelentősen megnöveljük, ami azt jelenti, hogy a gázolaj árának NPV-je 6500 HUF-ra nő, ami azt jelenti, hogy 2042-ben 49 480 HUF-ba kerülne 1 liter gázolaj, akkor látható (4. eset), hogy a befektetés a megvalósítandó kategóriába esik, és jelentős haszonnal zárulhatna. A pontos összegeket táblázat formájában adja eredményül a modell, mivel a diagramról a jellegek és a beruházás megvalósíthatósága jól látszik, de a pontos összegek nem.

A 2. táblázatban szerepelnek a fent részletezett gazdasági mutatók és a diagramon látható görbék legfontosabb pontjainak adatai. A táblázatban közölt adatokból is jól látszik, hogy az üzemanyagár jelentős növelése az, aminek köszönhetően pozitív NPV-jű lehet a beruházás.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során egy megfelelően flexibilis modellt hoztunk létre, melyben kellően nagy a szabadon megválasztható paraméterek száma ahhoz, hogy tetszőleges járműflotta üzemeltetési költségeit számítani lehessen vele és vizsgálható e járműflotta átalakításának vagy új járműflotta (akár alternatív hajtású) és kiszolgálórendszer beszerzési beruházási költségének megtérülése, melyet várhatóan az átállásból adódó üzemeltetési költség-csökkenés termel ki. Így közúti járműflották költségeinek modellezésével kapott eredmények alapján vizsgálhatóvá válik, hogy egy járműflottát milyen formában (milyen átalakítások után) érdemes tovább üzemeltetni vagy milyen járművekkel érdemes helyettesíteni. Fontos kiemelni, hogy kezelni tud a modell komplex, azaz több különböző típusú járműből álló flottákat. Mivel a modell több összehasonlítást képes párhuzamosan végezni, a megadott alapadatok alapján könnyen összehasonlíthatóvá válnak a vizsgálandó alternatívák.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fejlesztés a GUTS projekt keretein belül jött létre.

A GUTS projektet a Közép-Európa Program keretében, az Európai Unió és Magyarország támogatja

Project GUTS is co-funded by the European Union and Hungary under the Central Europe Programme



IRODALOM

[1] Dr. Andor György – Dr. Tóth Tamás, Vállalati pénzügyek I., Budapest, 2010

Lean creative automotive product design (LCAPD)

ŠTEFAN BABJAK

egyetemi tanársegéd
TU Kassa, Szlovákia

ŠTEFAN KENDER

egyetemi tanársegéd
TU Kassa, Szlovákia

MICHAL DŮBRAVČÍK

egyetemi tanársegéd
TU Kassa, Szlovákia

Cikkünk az autóiipari termékfejlesztés általunk elképzelt innovatív megközelítésének filozófiájával és annak oktatásával foglalkozik, amelyet Lean kreatív autóiipari termék tervezésnek (LCAPD) neveztünk el, és amely kihasználja az innovatív módszerek, technikák és eszközök használatának szinergiáját a komplex terméktervezési folyamat minden aspektusának (tervezés, menedzsment, termékfejlesztés, prototípus-készítés) Lean szempontú megközelítésével. Az elméletet egy kísérleti autó, ICAR 2010 bemutatásán keresztül demonstráljuk, a szlovákiai Kassai Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán.

Submitted article deals with the philosophy and training of the own proprietary innovative approach to Product design for automotive industry called Lean creative automotive product design (LCAPD), which profits from the benefits of the synergic effect of utilizing the innovative methods, techniques and tools within the integrated model of complex product development, combined with lean and/or agile approach to each aspect of the process (design, management, product development, prototyping). The paradigm is demonstrated on the examples from the project of experimental car ICAR 2010 at the Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice, Slovakia.

1. INTRODUCTION

The automotive sector is facing advanced challenges arising from global changes in the technical, economic and social environment. Trend, referred to as the "agile manufacturing" represents the ability to survive and prosper in a competitive environment of continuous and unpredictable changes. It means to respond quickly and effectively to changing markets, produce goods and services according to customer needs via maintain the continuous product innovation, manageable number of product variants, fulfilling the unpredictable requirements of customers, shortening product life cycle and respond to significant fluctuations in sales.

Agile production is different from the lean in the sense that lean production is oriented on the repetitive manufacturing environment with focus on high-volume and low mix, since the agile production is applicable to low-volume and high mix. It is suited to an environment where configurable or specialized products offer a competitive advantage [1].

In the present and medium term perspective in the future, the mechanical engineering and other industrial branches are facing advanced challenges arising from global changes in the technical, economic and social environment. They are influenced by the previous financial crisis, followed by the debt crisis (pressure to reduce costs, entering the new markets, innovation and so on).

2. INNOVATION MODEL FOR THE SOLUTION

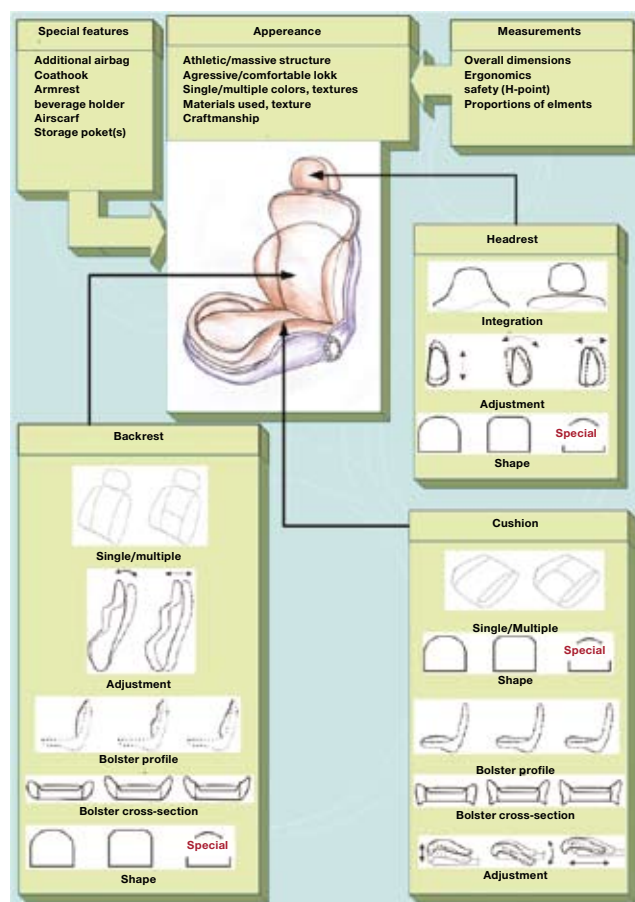
An important part of the preparatory phase of the project is the analysis of innovation models and selection of the preferred model. Models of innovation inherently respond to changes in the innovation environment, so there are many different models. Basically, there can be distinguished 2 main groups and 5 basic generations of models, as follows [2]:

Traditional linear models of innovation:

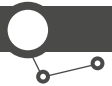
- Push model: Science initiates innovation (new knowledge – innovative design – production – customer)
- Pull model: Demands of potential customers – innovation comes from the unmet needs of customers (customers – innovative design – production)

Interactive models: Combination of push of science and pull of customer demands through the feedback loop. Research, development and marketing are in balance.

- Coupling model: interactions between the different elements and feedback between them



1. Morphologic map – example



- Parallel model: integration between the companies, linking with key suppliers and active customers, emphasis on bindings and alliances, system integration, large networks, flexible and tailored response to continuous innovation.
- Network model: system integration, wide networks, flexible and tailored reactions of radical innovations.

The transformation from traditional, closed innovation to modern, open and performed within the network, is not without problems. Trend is to work also with partners with not clearly and poorly structured problems related to innovation, comprehensive thinking on innovation with a strong focus on future developments and the possible needs of potential users. The challenging tasks of design of innovation processes in the network are:

- Knowledge of integration across the organizations
- Format of partnership for innovation in the network
- Identification of strategic partners
- Balancing the goals and future vision for innovation in the network
- Team structures for innovation in the network
- Skills and practices for innovation networks
- Model for network innovation

3. INNOVATION TECHNIQUES AND TOOLS INTEGRATION APPROACH FOR AN EFFECTIVE PRODUCT DESIGN

Experience from development projects proved that for innovation process in the field of automotive components is the integrated portfolio of innovation methods and techniques an excellent way to gain the benefits of lean approach. The recipe for successful portfolio mixture must consist of four essential ingredients:

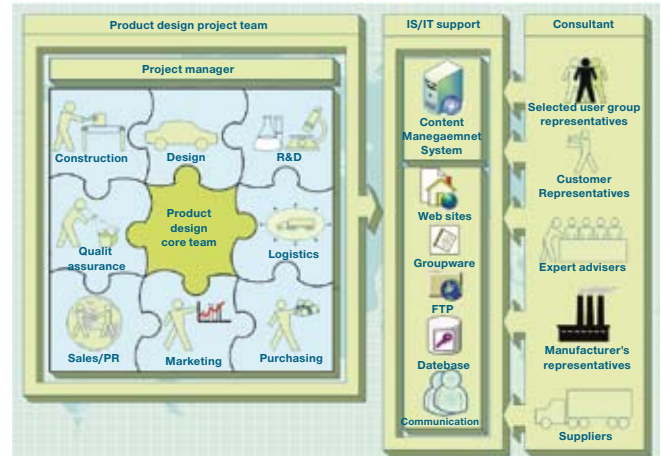
1. Analytic innovation methods and techniques

They are intended for gathering and evaluation of source data for innovation process and its particular phases launch, including i.a.:

- Surveys: marketing surveys for future product users, surveys for branch experts, etc. As a tool of open and user innovation they are helping to refine the product innovation according to user needs and demands. In combination with taking the opinions or suggestions branch specialists into account provide the unique tool to adjust the product bespoke target user groups and assure the competitive success.
- Benchmarking of competitive products. Helps development teams become familiar with the bill of materials, part count, features etc. of competitive products in the appropriate segments in order to understand how to improve the engineering and/or design of the product and trends in the area. The more complex, detailed and numerous (in terms of examined competitive products) the benchmarking is, the better. There is also recommended to perform the examination outside the product segment's boundaries, in order to explore and identify key differentiating features as the optional areas for improvements.
- Innovation intelligence focused on inspiration suggestions (product architecture, new functions, materials, technologies, fields of application, etc.) partially utilizes benchmarking results, which, combined with new knowledge can be the source of new innovation ideas.

2. Creative methods and techniques

In the beginning of the innovation process are used to generating innovation ideas, their evaluation and transformation to innovation opportunities, and also in concept creation. Some of them play in the next phases the role of stimulating pulses for subsequent appropriate outputs routine. Here belongs a number of methods and techniques, i.a.:



2. Generic paradigm of a network for product design

- Brainstorming (brainwriting). Spontaneous and quick random generating of number of ideas can be useful for almost each problem solving. For example, within the many projects were solved the questions of conceptual frame, original shape design, etc. this way.
- TRIZ. Uses algorithmic approach (unlike random in brainstorming) to solve the contradictions using the typical solutions where the ideal final result is predetermined (set within the statement of work - SOW, according to customer standards, legal regulations etc.). Within the project development can TRIZ be used to solve the contradictions in interfaces between existing platform and new shapes, where particular elements are defined by customer as not changeable.
- Morphologic tables / morphologic map. As illustrated on figure 1 in an example of automotive seat development, this tool is intended to quick design alternatives creation. It has shown very useful by generating headrest, lumbar bolster shape, and additional features.

3. Control and testing methods and techniques

Their role is to reveal risks and possible weaknesses of actual state before and during the phases of innovation process help to eliminate them, and provide the boundaries of the acceptable innovation. For example:

- Quality function deployment (QFD) is an extremely powerful catalyst for driving in quality at all stages of the product life cycle. It integrates quality throughout the value chain by starting with the Voice of Customer (VOC) and working with quality until the positive impact on customer satisfaction is achieved. The VOC (customers' requirements as expressed in their own terms) is translated into final product characteristics expressed in technical terms with help of the series of matrices.



3. Škoda Fabia 1.9 TDi, production year 2001



4. Initial sketching

- Failure mode and effect analysis (FMEA) reveals the potential weaknesses of the analyzed system and suggest the recommended actions towards the critical and significant characteristics. The Design FMEA (DFMEA) in product design must primarily take into account following groups of product functions (ordered by descending importance): legal (legislation and standards), safety, operational (basic functionality), comfort of use, manufacturing and assembly feasibility, ergonomics, robustness (reliability and durability), and haptic and optic functions.
- Cause – effect diagram is the fishbone shape diagram heading to negative state and describing the groups of negative factors leading to the negative state. The more clearly and accurate reason is defined, the best chance is to eliminate it fast and cheap.
- Design to cost (DTC), Design for manufacturing/assembly (DFM/A), etc. are so called “design for X” methodologies, where X may correspond to one of dozens of quality criteria such as reliability, serviceability, environmental impact, manufacturability, etc., or particular costs within specified boundaries. Basic general principles for achieving any of the Xs in DFX are: detail design decisions can have substantial impact on product quality and cost; development teams face multiple, and often conflicting, goals; it is important to have metrics with which to compare alternative designs; dramatic improvements often require substantial creative efforts early in the process. A well defined method assists the decision-making process.
- SWOT analysis despite the lack of measurement accuracy, it can be very useful e.g. for technical meetings for brief description of actual results.

4. Support techniques and tools

- CA technologies accelerate, simplify, and enhance quality of outputs of routine procedures, and allow limited testing via simulations.
- Integrated cycle of shape design refinement: Optimization – Model fabrication, prototyping – Reverse engineering. As soon as the geometry is defined, the physical model can be built as a first visualization. There are a number of methods and techniques available to make a mock-up, e.g. clay modeling, foam blocks hand tooling, epoxy resin laminating, silicone



5. CAD modelling (CATIA)

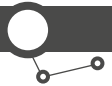
molding and urethane casting etc. For the further development of the car, the CAD model is needed. To get a CAD model, the reverse engineering phase has to be performed. This involves the preparation of the model (fixing the mock-up and the definition of the reference points in order to stitching the surfaces correctly), digitizing (obtaining the point cloud) and final corrections and conversion (smoothing and stitching the surfaces and export to the interchangeable CAD file format).

- Rapid prototyping means not only use of computer-aided manufacturing (whether CNC machining or layered manufacturing), but the quickest and cheapest way of fabrication of prototypes (or mock-ups) with optimum quality, which means to sufficiently fulfill the needs in current state of product development. In addition to conventional technologies and materials, the use of easy formable materials (polyurethane or polystyrene foams and blocks) makes good.



6. Final CAD model

- Network-based development represents one of the paradigms of innovative approaches to product development in cooperation with various partners within the network. Selected of involved partners are engaged in the individual phases and there are created virtual sub-teams ad hoc in order to create outputs needed (concept frame, QFD, benchmarking, FMEA, analyses, surveys, documentation, optimizing, etc.). General paradigm of such as network for product design is shown on figure 1. Advantage of this approach is lean and flexible team with clearly defined competences and responsibility of each team member. Result is the save of time since every member takes part only on assigned work tasks. Thanks to IT support is each involved partner informed about current progress of single tasks, which can comment, or consult the correspondence with own task results and further proceedings. Combined with parallel solving of several partial tasks is there applying the simultaneous engineering approach that brings saves of time and costs, and brings competitive advantage in terms of advanced design robustness.
- E-community. According to purpose of the community and structure of the team, the specific needs and requirements, as good as the levels of utilization of the specific tools often vary. The reasons are various: sometimes are the skills of the team members insufficient to use some of the tools, the nature of the project may not allow using them or it will only complicate the work, or the specific tool may be too simple to support the solution of advanced tasks or it doesn't provide the results as it is required and needed. That's why the crucial role of the community manager (project team leader), in addition to planning, scheduling and coordinating the community activities and motivating the team members, is to adjust the environment and available tools to gain an optimum profitability. The software support of e-community can be also various according to the conditions mentioned above. The highest and most complex level of integration of these tools is within the frame of so called CMSs (Content management systems).



7. Mockup fabrication (scale 1:4)

4. PRODUCT DESIGN CASE STUDY: COMPLEX PRODUCT – EXPERIMENTAL CAR ICAR 2010

The main goal of the development of experimental vehicle ICAR 2010 was to design and realize a functional prototype of a sports car for leisure. Within the frame of the project were involved student teams under the leadership of assistants and researchers of the Department of technology and materials and Innovation centre of automotive production at Faculty of Mechanical Engineering, Technical university of Kosice., automotive and department of innovation centers. The statement of work for team tasks contained well-defined procedures for the development. Among the car body components under the development were e.g. front and rear hood, bumpers, fenders and car skeleton. There have also been proposals for the interior, which got a corresponding new look in order to match the new look of the exterior. Adjustments did also not avoid the vehicle chassis and engine with the exhaust system, which was completely rebuilt. The whole project was based on the chassis and basis of the body frame of Skoda Fabia 1.9 TDi, production year 2001 (Fig. 3). Since it was a prototype vehicle, the body was made of fiberglass and composite materials, followed by surface coating in order to gain the ultimate visual experience.

Philosophy, design and development process

In the beginning of the development of concept were clarified certain ideas to project kick-off. The car should have sporty roadster look with dynamic features, aggressive grille and also should excel in elegance that would have taken every sports car enthusiast. Pilot task in project management was to divide the different roles, respon-



8. Platform preparation

sibilities and hierarchical positions of the development core team. The production itself was preceded by a series of developmental preparation with concept design frame of the overall shape of the car. An analysis of competing solutions from different designers from around the world brought to the process of design an inspiration that led to the exact specifications of the design boundaries. It was important vehicle to maintain the linear structure of the two-seat roadster, obviously with regard to performance, safety and future operation of the car. There was crucial to keep these features within the boundaries of limited resources (budget and available means of production – tools, technologies, etc.).

The core team in this phase consisted of 6 members. The initial brainstorming included the assignment of responsibilities for certain project parts / car components of each team member. The car body as a system was divided into separate parts (front, rear, doors), each part was assigned to two team members.



9. Model fabrication and preparation of laminating molds (scale 1:1)

The specific parts were solved individually in a number of variants. The solutions were subsequently integrated using the technique of morphology. By eliminating the unsatisfactory combination was refined the conceptual overall look of the vehicle. After the evaluation and assessment of the proposals was approved the final design as the basis for start-up of the prototype fabrication. An important part of this project phase was the choice of material and technologies.

Based on the selection of appropriate solution was realized the manufacturing process of body construction. There were defined enhanced teams with identification of positions in the workplace and set the production schedule. The precise scheduling of work was an important part of production in order to coordinate the specific activities. In the case, when delay in specified deadlines occurred, was necessary to find the cause and subsequent solution and further prevention of the problem. It was also necessary to ensure logistic flow of material for the production of components and functional units.

Technical preparation of manufacturing included set of technical, technological, organizational and economic measures, intended to gain the excellent technical level of the results, streamline the organization of the prototype fabrication, optimal economic results, and to keep the scheduling of manufacturing of required components just in time. Before the manufacturing kick-off were set the control milestones. A failure to meet these deadlines would result in a problem, so in such cases the root cause had to be detected and the appropriate measures were taken. This way, the student teams were able to verify the functionality of the system in real conditions and on real product. If any conflict situation, or a variety of issues related to realization of such an extensive project occurred, each team member was able to directly intervene in the manufacturing process and thus affect the outcome of both his



10. Dashboard fabrication

own work and the work of the whole team, or even other teams on the other hand.

The next step was the distribution of labor in the workplace individually for each member of each team. Finally, it was necessary to ensure the logistics of manufacturing that included the continuous supply of material to prevent the waste of time and ensure the continuous workflow. It should be appreciated the cooperation of the management of the Faculty of Mechanical Engineering, under auspices of which was this project realized. The project was financed solely by the faculty, without any sponsorship donations, since it was an effort to gain the clean, independent design and realization without the external interventions, as the original work of students and staff of the Department of Technology and Materials and Innovation center of automotive production.

Characteristics of the experimental vehicle

- As the platform was chosen Škoda Fabia
- Designed and manufactured new styling of car body and interior
- Duration of preparatory activities, concept creation a technology preparation: 1 school year
- Duration of manufacturing: 1 school year
- Materials used: glass and carbon fiber laminates, urethane foam, polystyrene foam

Specific features

- Type: two-seat roadster
- Original car body with wing doors, built-in steel reinforcements, laminated body parts – glass fiber and carbon fiber
- Original interior
- Enhanced engine power



11. Dashboard – final look

TECHNICAL PARAMETERS

Length/width/height [mm]	4180/1700/1395
Wheelbase axle [mm]	2462
Track width front/rear [mm]	1485/1475
Cylindres/valves/fuel	4/8/D
Engine displacement [cm3]	1896
Engine power [kW/HP]	88/120

5. LAYOUT, PRODUCTION AND FINAL VERSION OF ICAR



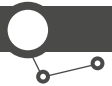
12. Interior ergonomics evaluation



13. Finished vehicle – front view



14. Driving tests

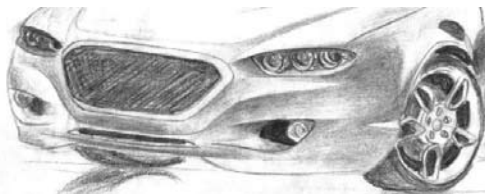


15. Core development team

6. PRODUCT DESIGN CASE STUDY: COMPONENT – FRONT BUMPER DESIGN FOR ICAR 2010

Design development process

After defining the basic requirements (mission statement) were generated various proposals and visualized in the form of sketches. It was crucial to take into account the default dimensions of the body and individual body elements of the Skoda Fabia. It has to be avoided excessive expansion or contraction of the component. To ensure the overall concept of the car, it was necessary to decide on the overall appearance using the pre-drawn quick proposals. Final selection was based on the evaluation of three proposals that were shortlisted from number of the original proposals. Crucial criteria were to reflect the overall shape, which had to correspond with the rest of the body and form optically one whole, and of course, to take into account the functionality of the various elements that had to be implemented in the area of the front bumper. The proposals selected for complete evaluation already included slight differences, but also gave more space for corrections in the draft.



16. Quick design proposal No. 1

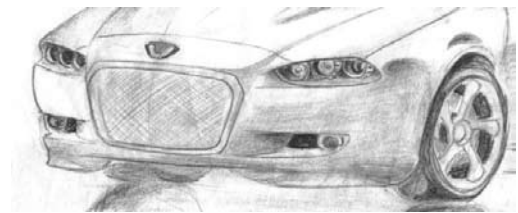
In this phase, the bumper has been appropriately adapted to hood and fenders. The hood should be characterized by a slight curve, which smoothly passes through to the bumper (**Fig. 16**). At the bottom of the bumper on both sides were strong lines that extended the spoiler. At the bottom sides, the bumper passed in the middle up from bottom, making the impression of spoiler. There were anticipated the large holes for fog lights.

Other proposal for the evaluation presented a significant and massive bumper with a massive grille (**Fig. 17**). This proposal required the shortened hood, thus the front bumper continuously run into it. Lights in the proposal were embedded inside, and therefore the forehead of the bumper on both sides turned toward the grille. Fog lights were outlined in a narrow hole at the bottom.

Using the gallery tool combined with concept testing and evaluation tools mentioned above, was decided that the ultimate final proposal suitable for elaboration and realization will be design solution, as shown in **Fig. 18**. As shown, this proposal has a smooth shape of the front bumper. Its clearance is based on the original design, the bumper outer curve continues fluently through

the fender area to lamp holes, where it allows setting off the hood. Headlamps are slightly vanishing into the bumper holes and slightly hidden under the bonnet. The curves of the bonnet continuously disappear in curves of the grille, which has a symmetrical shape. Conspicuous are also the holes for fog lights that are embedded and vanish in the bumper in the middle of its cross-section.

Based on the selection of appropriate proposal, the next phase was the manufacturing of the bumper. Team members were delegated with the work positions, competencies and the responsibilities within the prototyping process and the work schedule was set. The schedule was integrated into the main overall schedule in order to coordinate with design and manufacturing processes of other parts.



17. Quick design proposal No. 2

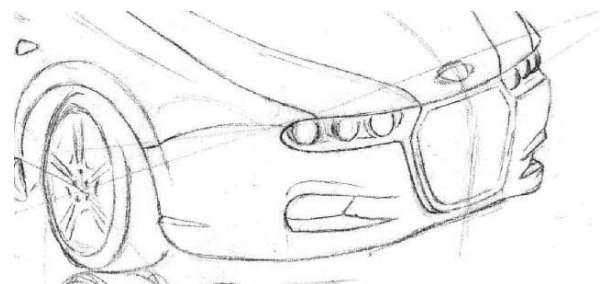
Manufacturing

Manufacturing of the front bumper consisted of several stages. The first phase was the preparation of the polystyrene model, a template, as the basis for the next stage of prototyping. There was used the polystyrene block (**Fig. 19**) created from polystyrene plates glued together. The glued block had to cure until the next day to gain the optimal quality for further treatment of the material. Subsequently, the desired shape outline of the bumper was drawn on the material block.

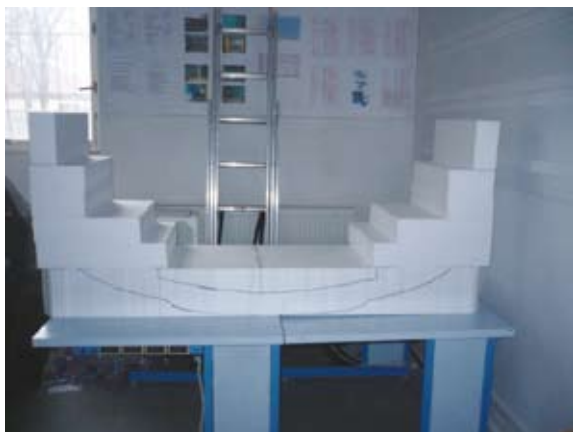
Next phase included the cutting of the rough shape of the bumper using the resistance wire. The rough shape had to keep the machining allowance of about 20 mm. Next phase was to refine the rough shape and create the basic features - front mask, grille opening, and suction and lamp holes.

The next task was to solve the mounting of the bumper on the car body. It was necessary to propose mounting elements and whole construction to ensure rigidity and stiffness of the cross girder and assembly node on the bumper brackets. The stiffness of the bracket was ensured by designing the supporting structure with dilatation girders.

In the next phase was realized a number of adjustments to balance the trade-offs between initial concept design and issues from prototyping (design for manufacturing/assembly optimization) to get the final design of the bumper. There was adjusted the side length, car was optically lowered by reducing the gap between fender arches and wheel, and the bottom section has been sunk inwards to set off the contrast and thus enhance the aggressive sports look of the vehicle.



18. Quick design proposal No. 3



19. Initial shape of the polystyrene block, prepared for further processing

The most difficult part of the process was the final phase of this stage; here was a crucial issue of the trade-offs between the surrounding components had to be solved. There is an area, where hood, fender, and bumper join together. Another critical part was to balance the shape of bonnet with bumper and headlamp holes. Moreover, there was necessary to adjust the fog light holes, curved at the ends to semicircle to receive a follow-up to the curve shape. All these issues had to be solved in unified procedures, the same way, what required more effort to manage and coordinate.

In the end of this phase was the polystyrene model of the bumper adjusted to its final shape and thus was ready for the final stage of its manufacturing (Fig. 20). After applying the basic coating color was model finished and ready for use as a mold for laminating, using the epoxy resin and glass or carbon fiber.

7. FURTHER DEVELOPMENT OF THE LCAPD APPROACH THROUGH THE ONGOING PROJECTS

The further development of the LCAPD approach, as well as the research development in the field of lean and agile methods, techniques and tools generally, continues in several dimensions, within the frame of several active projects. First to mention is the project "Centre for research of control of technical, environmental and human risks for permanent development of production and products in mechanical engineering", where are the corresponding activities focused on obtaining the new knowledge in the field of Product Design generally, as well as optimizing using the DFM/A (Design for manufacturing/assembly) approach and knowledge-intensive services for Product Design support. The next project "Competency Centre for



20. Finished polystyrene model of the bumper

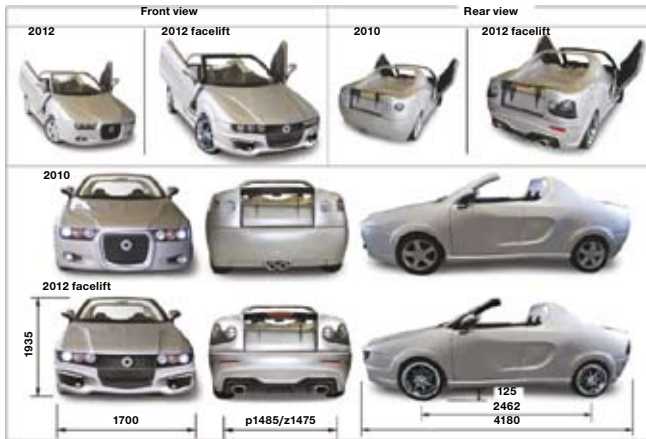
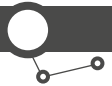
Knowledge technologies applied in Innovation of Production Systems in Industry and Services", is focused on creating and development of the technology-oriented knowledge intensive services supporting the product innovation through the common platform, integrating innovation intelligence, TRIZ method, innovative approaches in Product design and knowledge intensive services, allowing rapid and consistent preparation and validation of product innovations. Project also includes adapting the laboratory capacities for development, preparation and testing of product prototypes, and also the creation of the new techniques, supporting Product design, prototyping and testing focused on processing the progressive materials and lean and agile production.

As for the project of student car ICAR 2010, its development continues. The project passed to the next phase, which is preparation of the facelift. In 2012, there was elaborated a designer's study ICAR 2012 and the vision of the next generation ICAR 2015, within the frame of master's degree diploma thesis (see figure 21 – 23) [11].



21. Vision of the future development of the ICAR

The goal of the next project "Establishing LEAN knowledge and laboratories", or shortly "LEANLAB", currently in the launching phase, is the research of the knowledge preparation for training purposes and training the lean techniques with primary focus on the manual assembly. Project activities include also establishing and equipment of the training centre with workstations, allowing analyzing the manual assembly operations and processes. Modern approaches in manufacturing and assembly technologies are focused i. a. on the CAx support, simulation and structure planning. Most of them are realized for the purpose of increasing the productivity and quality. Nowadays all modern manual assembly workstations are equipped with sensors that monitor and control the assembly process. They are assigned also for proper assembly process execution, for checking of prescribed assembly operation parameters, for obtaining information about the state of checked equipment, blocking the execution of operation in the event of a fault or incorrect parameter settings, incorrect tools, fixtures etc. These sensors are a part of a complex assembly workstation and serve primarily to ensure the quality of the final assembled products. When they are used for the assembly process analysis and evaluation then special software designed just for this particular application will be created. Among various assembly workstations there exist great differences and it is very difficult to obtain a universal basis for the analysis and evaluation. Due to the reasons mentioned above, there is rising a need to propose a system that can eliminate these differences. Furthermore, there is also a need to analyze the assembly procedure of different products in laboratory conditions at a modular assembly workstation. The main requirements for such a method include in the first place the independence from the assembled product and specific sensors installed at the workstation. The analysis must be also independent from types



22. Facelift ICAR 2012

of assembly workstations and their interactions. The system planned for the project should be also entirely independent from a specific workstation control system. The solution is based on philosophy and concept [12], where on-line manual assembly workstation analysis is based on obtaining the information from sensors installed at a manual assembly workstation. In case there are no sensors installed at the assembly workstation, other inputs which give the same information about the assembly process can also be used. The on-line analysis in fact answers at least five basic questions:

- Is the product present at the assembly workstation?
- Has the assembly begun?
- Has the assembly process ended ok?
- Has the assembly ended?
- Has the assembled product left the workstation?

The maximum number of sensors at one workstation depends on the complexity of the assembly process, detail level of information required, capabilities of the data collecting and processing system, and other factors. The minimum number, in order to obtain proper information based on reality, must not be less than five. Optional additional sensors will give the information about the state of the selected devices or assembly process execution and this system can either immediately stop the whole assembly system or wait for a defined time dedicated for the identified error remedy. In case the manual workstation will be equipped with sensors for assembly control, the appropriate sensors can be selected and their signals can be used also for the on-line analysis. In the case that the sensors are not installed in the manual workstation, the workstation can be additionally equipped with sensors only for the purpose of the on-line analysis. The third possibility is a combination. The concept is intended for a maximum of 5 workstations linked together (see **figure 24**).

The main characteristics of this system are modular structure, universal usage, possibility of further upgrade, possibility of incorporating the on-line analysis into the complex procedure, and variant usage of the obtained data. The proposed system is designated for individual or joint assembly workstations involving a sitting or standing worker position, for small or middle size products, with the number of assembled parts being up to about 50 pieces (e.g. pump, buffer cylinder, etc.).

The prototype of the hardware units has already been realized and their function verified at a common personal computer within the frame of master's degree thesis. At the present, the second step in solving this task, the development of appropriate software tool using Microsoft Visual Basic: NET programming language in

the Microsoft Visual Studio 2008 development environment, is in progress. The first results indicate both the interesting application possibilities and a possibility of variant usage. A 3D model of a manual assembly workstation with a planned arrangement of 5 main sensors (s1 to s5) required for the on-line analysis is presented in the figure 25. The sensor type is not significant for this analysis. Either a peripheral unit or a software input can be used for assembly process analysis.

Development of a new analytic software module based on the same philosophy as the presented on-line analysis is also considered in this context. The signal from the installed sensors will be used in a real assembly process. The future direction of the development can reside in the use of various data sources (sensors, peripheral device or software) for the same assembly process. This can bring interesting results that have to be carefully analyzed and interpreted. The developed concept and tools can be used for assembly process monitoring, evaluation and analysis for all purposes that correspond to the defined range of application.

In the context of LEANLAB project, the most significant benefit of the system, is the possibility of exploration, identification and elimination of time wasting within the assembly process, as well as helping the identification of the root causes resulting to other types of wasting in the process, so there can be taken the countermeasures, and thus to help pushing the whole process quality towards the lean. As is mentioned above, for the purposes of the LEANLAB project is planned establishing and equipment of the training centre with four workstations and maximum of 12 persons simultaneously involved in the training at once (3 persons per workstation – one as the workstation operator – worker, one as the observer, and one as the support). Except the field of manual assembly, the system can be used or even enhanced and refined to on-line analysis of the manual fabrication of the models, samples and prototypes of components, used in the new generation of ICAR vehicle, e.g. for optimizing the component design according to DFM/A requirements.

8. CONCLUSION

There is a growth in the need for products with higher added value, based on new knowledge implemented from research. It seems to be the only way to compete with the mass production of low-cost countries and changes in the field of technology. Lots

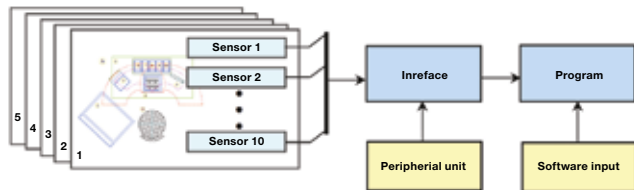


23. Facelift ICAR 2012

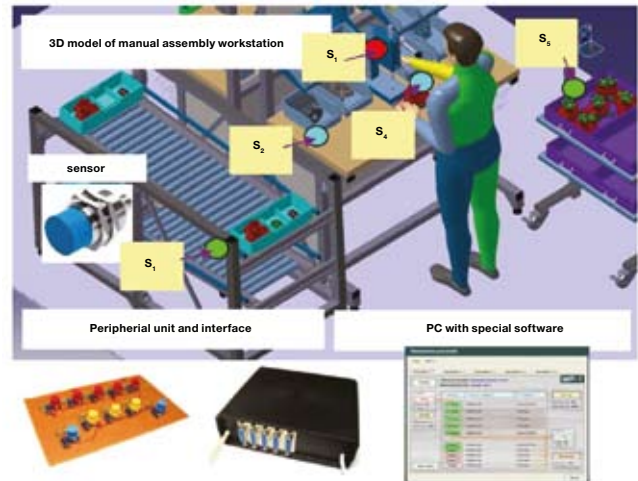
of renowned analyses worldwide indicate that currently there is a technological turning point, which is e.g. in the automotive industry the biggest over the past 50 years. To adapt quickly to changing market conditions is in this case "sine qua non". For companies, this means maintain the continuous product innovation, manageable number of product variants, fulfilling the unpredictable requirements of customers, shortening product life cycle and respond to significant fluctuations in sales.

The driving forces behind the network innovations are growing difficulties to maintain competitiveness in the field of technology and product development. Product life cycles are becoming shorter due to rapid technological developments and change of customer preferences. At the same time, the cost of R & D and technical requirements for new products are increasing, the availability of talented workers is decreasing and the degree of specialization increases. These three forces increase the pressure on the efficiency of research and development.

As shown in the case studies, in the beginning of the development of concept are certain ideas to be clarified before the project kick-off. The more specific is the initial vision of the project proceedings, the less space it remains for creativity, and vice versa, so it is crucial to find the just right balance for each project. Pilot task in project management is to divide the different roles, responsibilities and hierarchical positions of the development core team and maintain an open and communicative atmosphere, leading to quick and satisfactory solutions of various issues. Project realization must be preceded by a series of developmental preparation with concept design frame. An analysis of competing solutions from different external and internal resources around the world brings to the



24. The concept of manual assembly workstation on-line analysis



25. The principle of the on-line analysis based on assembly workstation in 3D mode

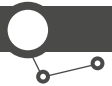
process of design an inspiration that lead to the exact (or well refined, at least) specifications of the design boundaries. It is necessary prerequisite to elaborate a file of evaluation criteria that help to keep the project within the boundaries and gain the intended goals.

Paper is the result of the Project implementation: Competency Centre for Knowledge technologies applied in Innovation of Production Systems in Industry and Services, ITMS: 26220220155, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

A „LEANLAB” a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mint vezető partner által a Magyarország – Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 keretében folytatott – Establishing LEAN knowledge and laboratories című – HUSK/1101/1.6.1/0161- azonosítószámon nyilvántartott projekt. A projekt szlovákiai partnere: Kassai Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kara

PREFERENCES

- [1.] SANCHEZ, L. M., NAGI, R.: A review of agile manufacturing systems, Int. J. Prod. Res., 2001, vol. 39, no. 16, ISSN 3561 3600
- [2.] ZHANG, J., GU, J., LI, P., DUAN, Z. Object-oriented modeling of control system for agile manufacturing cells Int. J. Production Economics 62 (1999), pp. 145-153
- [3.] SPENCE, A. D.: Mechanical engineering – Product design. USA: McGraw-Hill Primis, 2008. 321s. ISBN-13:978-0-39-044050-1.
- [4.] KOVÁČ, M., DÚBRAVČÍK, M.: Automobil ICAR 2010, 2011. In: Ai Magazine : automotive industry magazine. Roč. 4, č. 1 (2011), s. 84-85. - ISSN 1337-7612
- [5.] DÚBRAVČÍK, M., KENDER, Š.: Technické parametre študentského auta, 2011. In: Auto masters. Č. marec (2011), s. 40. - ISSN 1338-3434
- [6.] MASAÁKI, I.: KAIZEN: Metóda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku. Computer Press, 2007. 272 s. ISBN 80-2511-621-0
- [7.] KOVÁČ, M., LEŠKOVÁ, A.: Inovačné projekty – Six Sigma a Lean Production. Košice, SJF TU v Košiciach, edícia Equal, 2006. ISBN 80-8073-684-7
- [8.] GÖZÜM. M. S. - LÜTFİ KIRDAR L.: Networked Innovation:Generating & Exploiting Ideas in the 21stCentury Organization, Proc. Congres Networked innovation, November 28, 2007
- [9.] VINDING, A. L., DREJER, I.: The Further the Better? Knowledge intensive service firms' collaboration on innovation. Danish Research Unit for Industrial Dynamics, Aalborg O, Denmark. ISBN 87-7873-223-9. [cit. 2011-10-17]. Online: <http://www3.druid.dk/wp/20060031.pdf>
- [10.] Inovation models patterns. Online: www.uio.no/.../2%20meeting%20-%20Innovation,%20models,%20patterns.ppt
- [11.] SIM, P.: Facelift of student car ICAR. Košice, KTaM SJF TU v Košiciach, 2012.
- [12.] Senderská, K. – Mareš, A. – Zajac, J.: Hardware of manual assembly workstation online analysis. In: Scientific Bulletin: Series D: Mechanical Engineering. Vol. 74, no. 2 (2012), p. 103-110. - ISSN 1454-2358



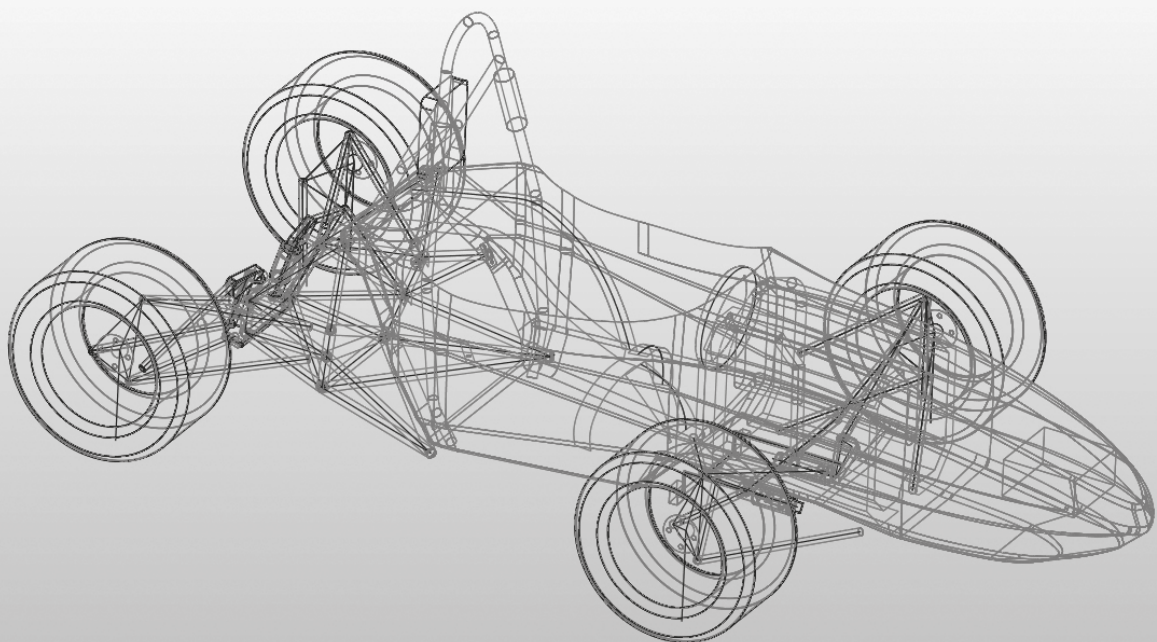
BME Formula Racing Team Design Freeze 2012

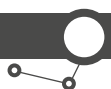
Magazinunk olvasói már ismerhetik a Formula Student versenysorozatot, melynek résztvevői felsőoktatásban tanuló diákok. Ők egy olyan konstruktóri versenyen vesznek részt, melyben egy formula típusú versenyautó megépítése és versenyeztetése a célja. A világ több pontján (Győrben is) rendeznek számukra versenyeket, ahol egyszerre 40–120 csapat vesz részt, így akár 3000 mérnök is összejöhet egy versenyhétvégére, hogy az éves munkájuk minél előrébb végezzen az 1000 pontos versenyen. A műegyetemisták csapata a jövő nyári sikerek zálogaként idén, december 20-án Design Freeze-t tart. Mit is jelent ez?

Ugorjunk vissza az időben 2007-be, amikor Bári Gergely a Gépjárművek Tanszék doktorandusza mert egy nagyot álmodni, és a német verseny beszámolóját olvasva elhatározta, hogy a BME-n is Formula Student csapatot kell alakítani. Az év első hónapjaiban megalakították a csapat jogi hátterét, valamint kidolgoztak egy projekttervet, melynek fontos része a mai napig az oktatás színvonalának javítása, és a hallgatók felkészítése egy „igazi” vállalatnál való munkára. 2008-ban lépett először pályára BME FRT versenyautó, melyből azóta készült 5 benzines és 2 elektromos hajtásláncú. A versenyautók tervezése és gyártása a magas műszaki színvonal, és a tervezők számának növekedésével megköveteli egy magas szintű projektmenedzsment megtervezését és betartatását. Ebben a projekttervben a csapat időterve szeptember és augusztus között kerül kialakításra. A megfelelő struktúrálhatóság érdekében a csapat számára különböző milestone-ok definiálására van szükség. Ilyenek a Concept Freeze, Skeleton Freeze, Design Freeze, Roll out és a versenyek. Szeptember első két hetében a csoportvezetők feladata a következő autó koncepciójának megálmódása, majd szeptember végéig a nagyobb egységek

műszaki tartalmának körvonalakban való megtervezése. Ezt követően a csapatnak három hónapja van, hogy a versenyautó minden alkatrészét, részegységét megtervezze. A tervek befagyasztására idén december 20-án egy nyilvános rendezvényen kerül sor, mely a tervezési időszak végét, és egyben a gyártási időszak megkezdését is jelenti.

A versenysorozat céljához hasonlóan a csapat célja nem a fej-fej melletti küzdelem, hanem az oktatás, a műszaki színvonal fejlesztése és a vállalatokkal való közvetlen megismerkedés. Így a tervezési fázis különösen nagy értéket képvisel mind a hallgatók, mind pedig a csapat számára. Az egyetemi oktatásban való integráció tervezési feladatok, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozatok, diplomamunkák révén valósul meg. A csapat mérnökei a tervezési időszakban folyamatos konzultációkon vesznek részt egyetemi tanárokkal, motorsportban dolgozó szakértőkkel, K+F vállalatok konstruktöreivel, valamint az alkatrészek gyártását biztosító vállalatok gyártástervezőivel. Ez a magas színvonalú kooperációs munkával hozzáadott tudás az autó végső formájában, részleteiben, és végeredményben a minőségében mutatkozik meg.



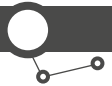


A csapat számára a dokumentálás két okból is kiemelkedően fontos. Egyfelől a csapattagok évről évre változnak, jellemzően 2-3 évig csapattag valaki. Másfelől az ipar állította elvárások nagy részével a hallgató már a munkájuk megkezdése előtt találkozik, hiszen a tervező- és csoportmunka-támogató szoftverek használatán kívül a dokumentációk elkészítése a mérnöki munkaórák nagy számát teszik ki. Ahhoz, hogy ez a dokumentálási eljárás hatékonyan működjön, a csapatstruktúra átszervezésére is szükség volt. A csapat 3 fő részből áll, Tervező, Gyártó és Operatív csapatrészekből. Az Operatív csoport fogja át a menedzsment, pénzügy és minden, nem műszaki jellegű terület feladatait. A tervezőrésszel vezetője a csapat tervezési főmérnöke, Klajbár Csaba, aki összefogja a különféle részegységek tervezésén dolgozó csoportok munkáját, irányítja az egész autó megtervezését. Az ő munkája különösen fontos, hiszen az egész évad sikeressége nagyban múlik a Design Freeze-en bemutatásra kerülő tervek kidolgozottságán, azok átgondoltságán.

A BME FRT 3. elektromos versenyautója – FREC-003 – nagyban eltér az eddigiektől. Legfőbb innovációs fejlesztésünk a váz újragondolása. Az eddig acél csővázból készült elem és a hozzátartozó burkolat mind tömegében, mind pedig műszaki színvonalban megérett a cserére. Az idei évtől kezdve egy karbon-kompozit monocoque fogja az autó alapját adni, melyben a hajtásláncot tartalmazó egység egy hozzácsatolt acél csőváz lesz. Ez a megoldás egy szendvicsszerkezetet takar, melyben prepreg rétegek között maganyag található. A konstrukció pontos felépítése, a gyártási metódus annyira összetett és érzékeny a részletekre, hogy ennek további taglalása az egész újság keretein túlhaladna. (A technológia további ismertetésére a rendezvényen természetesen sor kerül.) A futómű-geometria újratervezése során

nagyban segítették a futóműcsoport munkáját a korábbi évek alatt összegyűlt logok. Ezek a tesztek, versenyek alatt megszerzett eredmények tényleges gyakorlati adatok, a szimulációkkal együtt egy, a korábbiakhoz nem hasonlíthatóan kifinomult futóművet eredményeznek, mely minden paraméterében nagyon finom lépésközökkel állítható. Egy ilyen megoldás például az elektromos stabilizátor, melynek beállítása a korabbinál sokkal rugalmasabb, és akár menet közben a pilóta számára is elérhető. Az autó hajtásáról gondoskodó Emrax motorok a tavalyi autóból átemelésre kerülnek, a Piktronik vezérlés pedig átalakul. Nem csak a dobozolása, hanem bizonyos alkatrészeinek kicserélésével könnyebb, kompaktabb konstrukciót jelent. A vezérlés paramétereizhetősége, mint a villamos hajtású versenyautó építésének legfőbb érve egy ún. „intelligens differenciálművel” egészül ki. Ez azt jelenti, hogy a jármű mozgását rögzítő szenzorok jeléből szoftveresen megvalósításra kerül a hajtott kerekek között egy olyan differálás, ami a kormányelfordulás sebességének vagy akár az elfordulás gyorsulásának függvényében változtatja a kerekre jutó nyomatékot külön-külön. Ez a gyakorlatban olyan kanyarteknikában valósul meg, ahol a kanyarok ki- és bejáratában az autó másképp viselkedik, a kigyorsítási szakasz pedig már korábban megkezdődik. Ez a rendkívüli megoldás talán a leglátványosabb elektronikai fejlesztésünk, melyet természetesen számos biztonsági és monitoringrendszer egészít ki és támogat adatokkal.

A Design Freeze alkalmával legújabb versenyautónk műszaki megoldásaival, a csoportok munkájával közelről is megismerkedhetnek az érdeklődők, valamint a tervezési metódus, az általunk használt V-modell BME FRT-ben alkalmazott metódusa is prezentálásra kerül. Szeretettel várunk minden kedves érdeklődőt 2012. 12. 20-án 18.00-tól a BME K.I.72-ben! ●



Akinek benzin folyik az ereiben

Szöveg:
BAUDENTISZTL FERENC

Fotó:
**LAPOSA TIBOR
MOLNÁR MÁTÉ**

Dr. Wolfgang Demmelbauer-Ebner, az Audi Hungaria Motor Kft. Motorfejlesztés vezetője Széchenyi István születésének évfordulóján a legnagyobb magyarról elnevezett egyetem legrangosabb kitüntetését vehette át. Ez adta elsődlegesen az apropóját a magazinunknak adott interjúnak, amelyből többek között az is kiderül, hogy mit tart fontosnak az, akinek benzin folyik az ereiben, s hogy mi jelenti az első lépcsőfokot az élethosszig tartó tanulásban.

– A XIX. Akadémiai Napon vehette át a Széchenyi István Egyetem legrangosabb kitüntetését, a Pro Universitate Díjat. Mit jelent ez az elismerés az Ön számára?

– Szívesen dolgozom hallgatókkal, emiatt gyakran találkozom is velük az egyetemen. Nagyon örülök annak, hogy a törekvésem gyümölcsét láthatom ebben az együttműködésben. Minden bizonnyal a Pro Universitate kitüntetés is ennek megerősítése az egyetem részéről, ami nagy büszkeséggel tölt el.

– Immáron bő egy évtizede működik az Audi Hungariánál a motorfejlesztő-központ. Az azóta eltelt időszakban milyen pluszt tudtak adni a munkában a Széchenyi-egyetem jelenlegi és volt hallgatói?

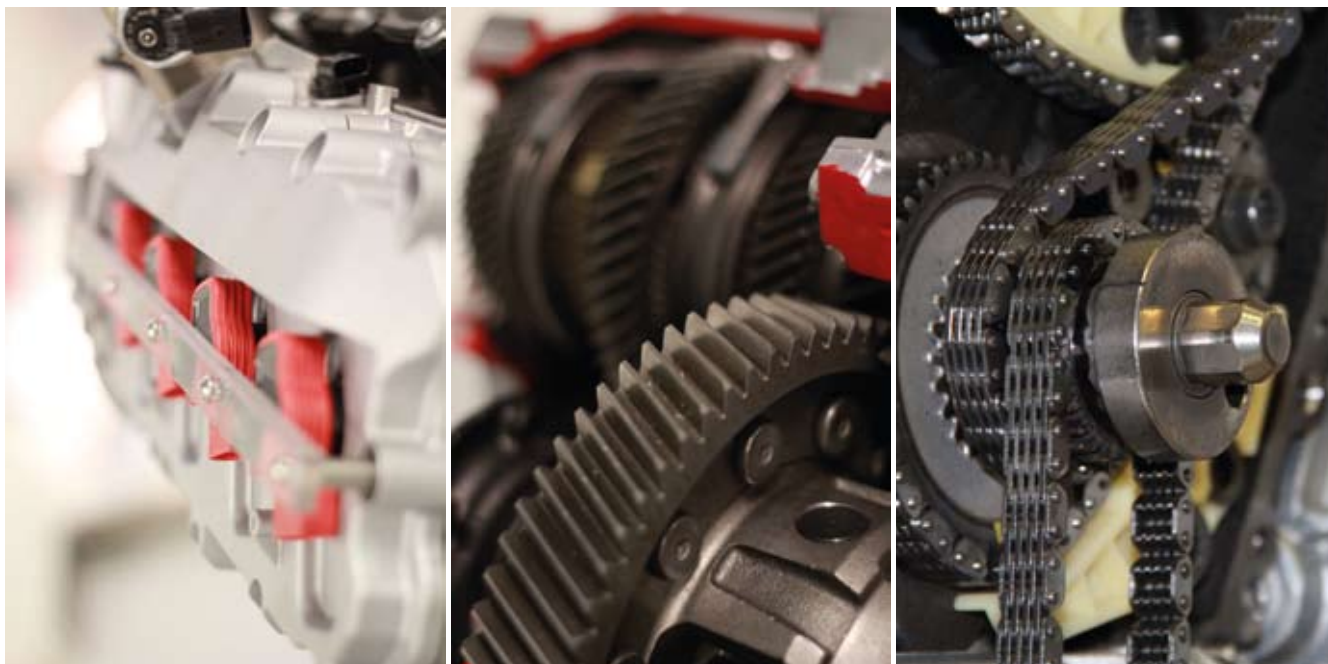
– Fejlesztőközpontunk sikere végső soron a gyárunkat elhagyó prémiumminőségű termékekben is megmutatkozik. A motorfejlesztő központ jelentősége folyamatosan nő, mára például már teljes mértékben mi felelünk a szériagondozásért szinte az összes Audi motor esetében a gyártás kezdetétől fogva – ehhez pedig szükségünk van magasan képzett és motivált mérnökökre, akik nagyrészt a Széchenyi István Egyetemről kerülnek ki.

– Mit jelent a Széchenyi István Egyetem, azon belül is az egyedülálló felszereltségű Audi-tanszék a kutatás-fejlesztés terén?



– Egyetemekkel és tanszékekkel dolgozunk együtt a legkülönbözőbb, technológiailag sokrétű projekteken. Az a tapasztalat, hogy a hallgatók, az egyetemek és mi is sokat kamatoztathatunk ebből az együttműködésből. Ezt tovább szeretnénk folytatni, il-



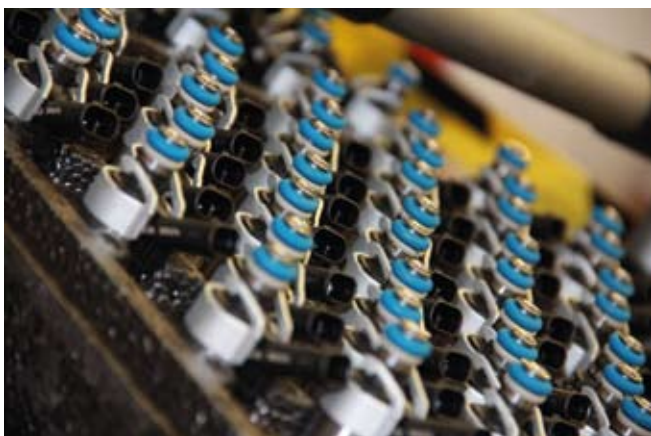


letve intenzívebbé kívánjuk tenni a kapcsolatokat. A felsőoktatási együttműködésekben továbbra is kiemelt szerep jut az Audi Belső Égésű Motorok Tanszéknek.

– *Hogyan jellemezné egyetemünk hallgatóinak, diplomásainak szakmai tudását, felkészültségét, hozzáállását? Mi az, amiben elsődlegesen változniuk kellene?*

– Általánosságban az oktatásban a legnagyobb kihívást a változás gyorsaságában látom. Már most konkrét célokkal, kompetenciákkal és gyakorlati tudással kellene rendelkezni azoknak a hallgatóknak, akik majd öt év múlva végeznek az egyetemen. Ha visszagondolunk, hogyan is nézett ki néhány éve a világ, ez a fajta változás és dinamizmus korábban egyszerűen elképzelhetetlen volt. Bizonyára nagy segítséget jelent a hallgatóknak, hogy egy erős, innovatív és folyamatosan fejlődő vállalat segítségével fejleszthetik tudásukat és szerezhetnek szakmai tapasztalatokat. Azt is fontos hangsúlyozni a fiatal mérnököknek, hogy a korszerű egyetemi tananyag elsajátítása jelenti az első lépcsőfokot abban a folyamatban, amely az élethosszig tartó tanuláshoz vezet.

– *A világ nagyvárosai túlnépesednek, a kőolaj ára emelkedik, ezért elengedhetetlen az új utak keresése: a benzinre alapozott TFSI és a dízelre épülő TDI-motorok mellett egyre nagyobb szerepet kapnak az alternatív üzemanyagok, valamint az elektromos hajtás. Hogyan látja Ön a jövőt, amely a fejlesztésben már a jelent jelenti?*



– Az Ön által említett globális kihívások hatalmas erőfeszítést követelnek meg. A meghajtási rendszerek további optimalizálásához abból indulunk ki, hogy a hajtások villamosítási foka tovább terjed, ettől függetlenül a hagyományos belső égésű erőforrások sem szorulnak háttérbe, hanem ezekkel együtt fejlődnek. Az is-



mert üzemanyagok aránya változni fog, ez például a gázüzemű autók elterjedését és a megújuló energiák erőteljesebb felhasználását jelenti. Mindemellett a törvényi előírások is szigorodnak, ezért speciális piacokon kell reagálnunk a különleges előírásokra, mint például az eltérő üzemanyag-minőségre. Ezek a fejlesztések munkatársainktól hatalmas teljesítményt, kompetenciát és rugalmasságot kívánnak.

– *A Motorfejlesztés vezetőjeként mit üzenne a Széchenyi István Egyetem mérnökhallgatóinak, miért érdemes a jövőjüket illetően az Audi Hungariában gondolkodniuk?*

– Úgy látom, hogy az Audi melletti érvek ugyanazok, mint amelyek húsz évvel ezelőtt engem erre a pályára ösztönöztek. Olyan termékekkel dolgozni, melyek lelkesítenek és prémiumminőséget képviselnek, egy globálisan sikeres vállalatban rejlő perspektívák – mai meglátásom szerint – a legjobb lehetőség egy jó munkához, legalábbis azoknak, akiknek benzin folyik az ereiben. ●

**FORMULA
STUDENT
HUNGARY**



2013. 08. 22. - 2013. 08. 25.
GYŐR-GÖNYŰI KIKÖTŐ
hu.fshungary.hu

FORMULA STUDENT ENGINE SYMPOSIUM

23-24 of April 2013
GYŐR, HUNGARY

*Don't get stuck
between the cogs!*



For more information go to: www.fses.hu

