

# A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

2013  
314

[www.jret.sze.hu](http://www.jret.sze.hu) | [www.ejtt.bme.hu](http://www.ejtt.bme.hu)

MÉRÉS ALAPÚ  
BALESETELEMZÉS

AGYMOTOROS  
HAJTÁSÚ JÁRMŰ

HIBRID-ELEKTROMOS  
HAJTÁSLÁNC KONCEPCIÓK

GÉPJÁRMŰVEK  
ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

3082 KM 1 LITER  
BENZINNEL

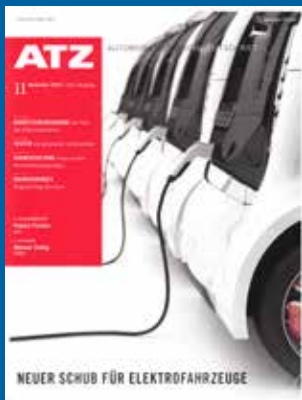


LEANLAB



Budapesti Műszaki Egyetem EJTT Járműipari Tudásközpont





**D**ie ATZ - 1898 gegründet - ist die älteste noch existierende Automobilzeitschrift der Welt. Im Mittelpunkt der Berichterstattung stehen Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung auf dem Gesamtgebiet der Personenwagen und Nutzfahrzeuge. Autoren aus Industrie und Wissenschaft berichten über einzelne Forschungsprojekte sowie über Serienentwicklungen von Fahrzeugen und ihren Komponenten.

Die ATZ berichtet technisch-wissenschaftlich fundiert und exklusiv über Fortschritte in der Kraftfahrzeugtechnik und dient als unentbehrliche Informationsquelle für alle Ingenieure im weltweiten Automobilbau.

Die „Deutsche Fachpresse“ zeichnete ATZ im Mai 2010 als „Fachmedium des Jahres 2010“ aus. Grund ist der Relaunch von ATZ, MTZ & Co. Schließlich präsentieren sich die Magazine seit Januar 2010 im neuen Design. Lesefreundlich, klar strukturiert und visuell noch ansprechender. Die neue und moderne Optik unterstützt dabei die eindeutig technisch-wissenschaftliche Ausrichtung der Zeitschriften und gibt fundierten Hintergrund-Informationen noch größeren Raum.

Auch auf Springer für Professionals haben Sie Zugriff auf das PDF-Fachartikelarchiv Ihrer Zeitschrift. Bitte beachten Sie, dass wir bestehende Accounts der bisherigen Webseiten aus datentechnischen Gründen nicht übertragen konnten. Daher haben Sie zwei Optionen:

1. Volles Leistungsspektrum inkl. Volltextzugriff kennenlernen Sie erhalten exklusiv als Zeitschriften-Abonnent 3 Monate kostenlosen Zugang und im Anschluss attraktive Sonderkonditionen: Jetzt Springer für Professionals Technik kostenlos testen
2. Zugriff lediglich auf Ihr Fachzeitschriftenarchiv Sie können sich unter Angabe der Kundennummer Ihres Zeitschriften-Abonnements kostenlos registrieren: Jetzt registrieren und Archiv freischalten. Sofern Sie bereits registriert sind, können Sie die Angabe Ihrer Zeitschriften-Kundennummer einfach nachholen unter Mein Profil ändern

MTZ - Motortechnische Zeitschrift ist immer eine Drehzahl schneller, wenn es um Motorenentwicklung und -technik geht. Gespickt mit detaillierten Ergebnissen aus Forschung und Entwicklung für hochspezialisierte Ingenieure. Seit mehr als 60 Jahren dokumentiert die MTZ Forschungs- und Entwicklungsergebnisse auf dem Gebiet der Verbrennungsmotoren. Mit Originalbeiträgen berichten Autoren aus Industrie und Wissenschaft über einzelne Forschungsprojekte und über Serienentwicklungen von Diesel- und Benzinmotoren sowie Bauteile und Zubehör.

Seit mehr als 60 Jahren dokumentiert die MTZ Forschungs- und Entwicklungsergebnisse auf dem Gebiet der Verbrennungsmotoren. In Originalbeiträgen berichten Autoren aus Industrie und Wissenschaft über einzelne Forschungsprojekte und über Serienentwicklungen von Diesel- und Benzinmotoren sowie über Bauteile und Zubehör. Eine kompetente Redaktion recherchiert weitere Themen aus Unternehmen und Instituten, die dem Leser für seine tägliche Arbeit von Nutzen sind. Abonnenten erhalten pro Jahr mind. 5 Sonderhefte zu neuen Modellen oder Spezialthemen im Rahmen ihres Abonnements. MTZ ist auch als englischsprachiges eMagazine verfügbar.

**Információ és előfizetés:**

<http://www.meinfachwissen.de/bestellung/abo/mtz-fuer-sie.html>

 Springer

**DR. LAKATOS ISTVÁN PH.D.**

tanszékvezető, egyetemi docens  
Széchenyi István Egyetem  
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék



# Köszöntő

„Navigare necesse est” – mondták az ókorban a rómaiak, és valóban akkor a hajózás jelentette a fenntartható fejlődés zálogát. Ma a közlekedés (ezen belül a közúti közlekedés) egésze nélkülözhetetlen, így fenntarthatóságát biztosítani kell, a környezetvédelmi szempontok maximális figyelembevétele mellett.

A fenntarthatóság egyik legfontosabb eszköze a diagnosztika, amelynek segítségével biztosítható a járművek megfelelő műszaki állapota.

A fenti gondolat jegyében a Széchenyi István Egyetem Közúti és Vasúti Tanszéke konferenciasorozatot indított, Járművel a zölddebb jövőért címmel. Az első rendezvényt 2013. november 4-ére szerveztük meg a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából, Járműdiagnosztikai és oktatási kihívások a 21. században címmel.

A konferencia nagyon jó lehetőséget kínált arra is, hogy kinyilvánítsuk tanszékünk együttműködési szándékát a meghívottak irányába, legyenek azok hatóságok, gazdasági társaságok, közlekedési vállalatok vagy oktatási intézmények. Nyitottunk az öregdiákjaink irányába is, mert az a tapasztalatunk, hogy ők maximálisan elkötelezettek alma materük iránt. Tanszékünk egyik fő stratégiai célja, hogy oktatási és kutatási téren is partnerséget kívánunk kialakítani a gazdaság szereplőivel, a hatóságokkal és az intézményekkel egyaránt.

A külső kapcsolatok mellett nagyon fontos az egyetemi együttműködések kialakítása és ápolása a Műszaki Tudományi Karon belül és kívül egyaránt. Így vagyunk képesek akár interdiszciplináris területeken is projekteket vállalni. Az egyetemen belül a legfőbb kutatási partnerünk a Járműipari Kutató Központ (JKK). A JKK-ban folyó projektek lehetőséget nyújtanak kollégáinknak a jövő szempontjából perspektivikus területek kutatására, tudományos (doktori) témák művelésére, és az általuk oktatott tárgyak anyagának korszerűsítésére.

A diagnosztika témáját tanszékünk a járművek üzemeltetésével összefüggésben kutatja. Erre a szakmai tudásra fokozott igény áll fenn a szervizek oldaláról, mind a márkaszervizek, mind a független autójavító vállalkozások részéről. Mértékadó statisztikai adatok alapján a szakmühelyekben, szervizekben a feladatok egyre nagyobb része kötődik a diagnosztikához. Talán nem meglepő, de főként a márkaszervizekben fordulnak elő legnagyobb arányban az ilyen típusú feladatok. Prémium kategóriás járművek esetében akár a vállalkozás összes tevékenységének 25%-át is meghaladhatja a diagnosztikai igény.

Nagyon fontos feladat a járműdiagnosztika fejlődési trendjének elemzése is, hiszen ebbe a folyamatba kell beillesztenünk saját kutatási és oktatási tevékenységünket. 1970–1990 között szinte kizárólag hibafeltáró céllal végeztek diagnosztikai vizsgálatokat. Ezt követően azonban egyre fontosabbá vált a fejlesztés irányába történő visszacsatolás.

A diagnosztikai módszerek és műszerek fejlődése két irányban is nagyon intenzíven zajlott, hiszen az utóbbi években erőteljesen fejlődött és fejlődik az informatika alkalmazása a diagnosztikai rendszerekben, illetve egyre inkább előtérbe kerülnek a logikai alapú diagnosztikai rendszerek. Szignifikáns irány tehát a szakértő rendszerek tapasztalat- és tudásalapú fejlesztése.

Egyet azonban soha nem szabad elfelejtenünk: ahhoz, hogy jó diagnoszták legyünk és jó diagnosztákat képezzünk, mindenképpen ismernünk kell a diagnosztika tárgyának (a járműnek) működését, elemeit, elrendezését, hibalehetőségeit. Azaz nem elégedhetünk meg a gépek, műszerek „kinyilatkoztatásaival”, szükség van a folyamatok mélyreható ismeretére is.

E területen óriási az oktatási – szakképzési vagy felsőoktatási – rendszer felelőssége. Ezek a feladatokon tehát keményen kell dolgozni aktív kapcsolatban partnereinkkel. Gyártófüggetlen járműves tanszékként tehát szeretnénk a szakmai közéletnek tevékeny részesei lenni, formálva azt, és „formálódni” is általa.

Konferenciasorozatunk jövőbeni irányát is kijelöltük, igazodva a járműves szakma aktuális témáihoz: jövőre az elektromos meghajtású járművek, a rá következő évben pedig a közlekedésbiztonság témakörét járjuk körbe.

Tanszékünk tevékenységében fontos szerepe van a beiskolázási folyamatnak is, hiszen a hozzánk érkező hallgatók mennyisége és minősége fontos számunkra. A minőség fontos követelménye, hogy milyen „alanyaggal” kell majd dolgoznunk, emiatt igyekszünk jó kapcsolatot ápolni a releváns középiskolákkal. A tehetséggondozás fontos alappillére munkánknak, hiszen nem elég hozzánk vonzani a tehetséges hallgatókat, további fejlődésükről is gondoskodni kell.

Ebben a munkában is jó partner a JKK, mert a legkiválóbb hallgatók futó projektekbe kapcsolódhatnak be, ahol már mérnöki munkát végezhetnek, és valódi kutatások részesei lehetnek.

A feladatok és a kihívások komplexitását tekintve, csak összefogva valósíthatjuk meg céljainkat. Ehhez kérjük a „járműves szakma” támogatását és együttműködését! ●

# Tartalom

- 5** **GUMIABRONCS DEFORMÁCIÓJÁNAK HATÁSA A JÁRMŰ KIS SEBESSÉGŰ KANYARODÁSÁRA**  
Szabó Bálint
- 10** **LÉGFÉKRENDSZER SZIVÁRGÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA**  
Dr. Balogh Levente, Szigeti Lilla
- 14** **PNEUMATIKUS MÁGNESSELEPEK I/O LINEARIZÁLÁSA**  
Szimandl Barna, dr. Németh Huba
- 23** **RANKINE-FOLYAMAT VIZSGÁLATA HASZONGÉPJÁRMŰVEKEN**  
Szűcs Gábor, dr. Németh Huba
- 30** **MÉRÉS ALAPÚ BALESETELEMZÉS**  
Hesz Mátyás, Szabó Bálint
- 34** **JÁRMŰDINAMIKAI SZABÁLYZÓK MŰKÖDÉSI TARTOMÁNYAINAK ELEMZÉSE HALMAZVIZSGÁLATI MÓDSZEREKKEL**  
Gáspár Péter, Keviczky László, Németh Balázs
- 38** **ESTABLISHING LEAN KNOWLEDGE AND LABORATORIES AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE, SLOVAKIA**  
Štefan Babjak, Katarína Senderská
- 42** **AGYMOTOROS HAJTÁSÚ JÁRMŰ ARCHITEKTÚRÁJA ÉS IRÁNYÍTÁSTERVEZÉSE**  
Bakos Ádám, Lang András, dr. Gáspár Péter
- 46** **HIBRID-ELEKTROMOS HAJTÁSLÁNC KONCEPCIÓK ÖSSZEVETÉSE OBJEKTÍV SZEMPONTOK ALAPJÁN**  
Bári Gergely, Varga Dávid, Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, dr. Ailer Pirooska
- 52** **HIBRID-ELEKTROMOS HAJTÁSLÁNC KONCEPCIÓK SZUBJEKTÍV TULAJDONSÁGAI**  
Varga Dávid, Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, dr. Ailer Pirooska
- 59** **GÉPJÁRMŰVEK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI**  
Dr. Lukács Pál
- 66** **GÉPJÁRMŰALKATRÉSZEK BIZTONSÁGKRITIKUS OPTIMÁLÁSA**  
Ficzere Péter, Török Ádám
- 71** **NEMESÍTETT ACÉL DUPLEX FELÜLETKEZELÉSE**  
Dr. Czinege Imre, dr. Csizmadia Ferencné
- 75** **GÉPJÁRMŰVEK EFFEKTÍV TELJESÍTMÉNYÉNEK DIAGNOSZTIKAI CÉLÚ MÉRÉSE**  
Dr. Lakatos István PH.D.
- 79** **LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK ÉLETTARTAMÁNAK MAXIMALIZÁLÁSA**  
Szeli Zoltán, Szakállas Gábor
- 83** **LEAN-LABOR LÉTREJÖTTE A BME JÁRMŰIPARI TUDÁSKÖZPONTBAN**  
Dr. Stukovszky Zsolt, Kádár Lehel, dr. Fülepp Tímea, Ászity Sándor
- 90** **AZ AUTÓIPAR ÚTJA A VÁLSÁGTÓL A FELLENDÜLÉSIG (2008–2013) – A KÍNAI SIKERTÖRTÉNET?!**  
Stukovszky Tamás
- 95** **FORMAKÖVETŐ HÚTÉSSSEL RENDELKEZŐ SZERSZÁMBETÉTEK GYÁRTÁSA LÉZERSZINTEREZÉSES TECHNOLÓGIÁVAL**  
Hatos István, Hargitai Hajnalka
- 98** **3082 KM 1 LITER BENZINNEL**  
Dr. Bagány Mihály, dr. Csák Bence, Kutasi Zoltán
- 108** **INNOVÁCIÓ ÉS MOBILITÁS**  
Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés

## IMPRESSZUM

# A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

### A JÖVŐ JÁRMŰVE JÁRMŰIPARI INNOVÁCIÓ

V. évfolyam, 2013/3–4. szám  
Alapítva: 2006  
Megjelenés: negyedévente  
HU ISSN 1788-2699

### ALAPÍTÓK:

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

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

**Széchenyi István Egyetem –  
Járműipari Regionális Egyetemi  
Tudásközpont (JRET)**

9026 Győr, Egyetem tér 1.  
Tel.: 96/613-680. Fax: 96/613-681.  
E-mail: jret@sze.hu

**X-Meditor Lapkiadó, Oktatás-  
és Rendezvényszervező Kft.**

9023 Győr, Csaba u. 21.  
Levelezési cím: 9002 Győr, Pf. 156  
Tel.: 96/618-062. Fax: 96/618-063.  
E-mail: aji@xmeditor.hu

### KIADÓ:

**X-Meditor Lapkiadó, Oktatás-  
és Rendezvényszervező Kft.**

Felölös kiadó: Pintér-Péntek Imre

### SZERKESZTŐSÉG:

**X-Meditor Kft., Autó üzletág**

Felölös szerkesztő: dr. Nagyszokolai Iván  
Lapmenedzser: Dudás Alexander  
Lapkoordinátor: dr. Komócsin Zoltán,  
Nagy Viktor  
Szerkesztő: Ódor Eszter  
Tel.: 96/618-074. E-mail: auto@xmeditor.hu

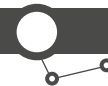
### A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

dr. Bercsey Tibor, dr. Bokor József,  
dr. Czigány 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





# Gumiabroncs deformációjának hatása a jármű kis sebességű kanyarodására

**SZABÓ BÁLINT**  
tanárság  
BME Gépjárművek és  
Járműgyártás Tanszék

Ebben a cikkben a járművek kis sebességű manővereinek elemzését mutatjuk be. A jármű mozgásának vizsgálatához egy többtest dinamikai modellt alkalmaztunk, amely a gumiabroncs erőviszonyain felül annak deformációjának számítására is alkalmas. A gumimodellt egy négykerekű járműmodellbe illesztve kétféle szimulációt végeztünk el. Elsőként azt vizsgáltuk, milyen hatása van a kezdeti gumiabroncs-deformációnak a jármű kanyarodására. A kezdeti gumiabroncs-deformációt állóhelyzeti kormányzással idéztük elő. A másik szimulációval a kormányrendszer geometriai hibáját elemeztük.

In this paper the low velocity cornering manoeuvres of a vehicle are analysed. For the analysis of the vehicle motions a multibody dynamical tyre model is introduced, which can compute the deformation of the tyre besides the force characteristics. Implementing the tyre model into a four wheeled vehicle model, two different simulations were performed. First, the effect of the initial tyre deformation on the cornering of the vehicle was analysed. The initial tyre deformation was generated by steering at standstill. During the second simulation the effect of the steering geometry error was investigated.

## BEVEZETÉS

### Pneumatikus gumiabroncs szerepe

A közúti járműveket több mint egy évszázada pneumatikus gumiabronccsal szerelik, és bár megjelenésük óta mind az anyagminőségük, mind a méreteik jelentős változáson mentek keresztül, fő feladatai ugyanazok maradtak. A gumiabroncsnak kell biztosítania a megfelelő súrlódási erőt a talaj és a kerék között, amely a jármű mozgatásához és irányításához szükséges. Ezen felül a gumiabroncsnak kell biztosítania a megfelelő felfekvő felületet egyenetlen úton is, valamint az útburkolat felől érkező rezgések egy részét is csillapítani kell. Az utóbbi két követelmény biztosítása igényli, hogy a gumiabroncs radiális irányban rugalmas legyen. Emiatt hossz- és keresztirányban is deformálódhat a gumiabroncs, utóbbi viszont negatív hatást gyakorol a jármű mozgására. A keresztirányú deformáció ferdefutást eredményez, vagyis a kerék hossz tengelye és a haladási iránya nem egyezik meg.

A keresztirányú merevség növelése a cél, főként a nagy sebességgel haladó járművek esetében. Ezt a megfelelő geometriai kialakítással lehet elérni, azaz kis profilmagasságú és széles gumiabroncsokat készítenek, amellyel a keresztirányú merevséget növelni tudják. De a profilmagasság csökkentése a radiális merevséget is növeli.

A járművek mozgásának modellezése, szimulációja során nem hagyható figyelmen kívül a gumiabroncs viselkedése, hiszen alapvetően ez határozza meg a jármű mozgásállapotát.

### Kis sebességű manőverek elemzése

Az elektronikus járműdinamikai rendszerek egyre több közlekedési szituációban avatkoznak be a jármű viselkedésébe. A közlekedés biztonságának növelése érdekében eleinte a nagy sebességű manővereket szabályozták segítségükkel, az utóbbi években viszont a vezetési kényelem fokozása miatt, és hogy a vezető esetleges tapasztalatlanságát kiküszöböljék, már kis sebességű manőverekre is automatizált rendszereket fejlesztettek ki. Ilyen rendszerek a parkolásszabályozó automatikák, vagy a telephelyen belüli járműirányítást végző szabályozások. Ezeknek a rendszereknek a fejlesztéséhez is szükség van járműmodellekre, amelyeknek segítségével a járművek kis sebességű mozgását szimulálni lehet.

Ezek a manőverek más megközelítést igényelnek, mint a nagyobb sebességű járműmozgások. Ha csak egy parkolást

vizsgálunk, könnyen beláthatjuk, hogy számos, a nagy sebességű manőverekhez hangolt modell által elhanyagolt, illetőleg nem vizsgált jelenséggel találkozunk. Ilyen az állóhelyzeti kormányzás, az indulás és a megállás, a nagy kormányzögekkel történő kanyarodás, valamint a kormányhiba hatása.

A kétféle sebességtartomány közötti különbség, hogy nagy sebesség esetén a mozgásállapot, míg a kis sebességű manővereknél a pozíció a szabályozás alapja. A fent felsorolt hatások viszont pont a jármű helyzetére vannak jelentős hatással. Egy parkolási manőver esetén néhány centiméteres eltérés már ütközést okozhat. Ezért fontos, hogy a fent leírt hatásokat megvizsgáljuk, azok milyen mértékben befolyásolják a jármű trajektóriáját.

## GUMIABRONCS ÉS JÁRMŰMODELL

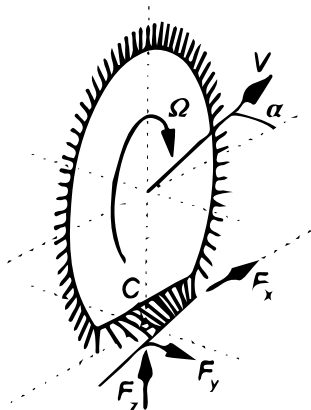
### Az empirikus modellek korlátai

A leggyakrabban alkalmazott gumiabroncsmodellek az empirikus elven működő, a gumiabroncs stacioner karakterisztikáit felhasználó modellek, mint a Pacejka-féle Mágikus Formula [1]. Nagy sebességek és kis kormányzögek esetén ezek a modellek kellő pontossággal működnek, de kis sebességű manőverek esetén nem mindig adnak megfelelő eredményt. Az empirikus modellek alapja a hossz- és keresztirányban meghatározott kerékszlip. De az indulás és a megállás pillanatában, amikor a jármű sebessége zérus, a szlip nem értelmezett, emiatt ezek a modellek addicionális megoldásokat igényelnek az indulás-megállás szimulálására. Ezen felül még több olyan egyszerűsítést is tartalmaznak, amelyek miatt nem alkalmasak a kis sebességű manőverek szimulációjára. Ezen felül ahhoz, hogy megértsük a gumiabroncsnak a jármű mozgáspályájára gyakorolt hatását, a gumiabroncs deformációját is vizsgálnunk kell.

### Többtest dinamikai deformációs gumimodell

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 anyag tulajdonságait. Amikor egy sörte belép a tapadási felületbe,

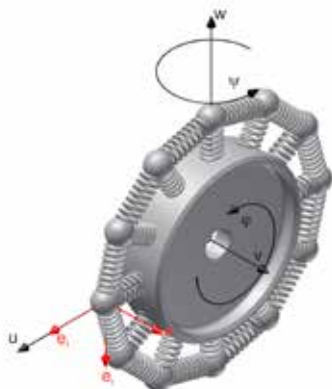
letapad, esetleg a talajon csúszik, majd amikor a tapadási felület végét eléri, újra szabaddá válik.



1. ábra: kefemodell

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 négyre csökkentettük. A kefemodell legnagyobb hátránya, hogy nem veszi figyelembe, hogy a gumibroncs kontinuum, ezt a tulajdonságát a térbeli diszkrétizálással elvesztette. Ha a korábbi két modell esetében egy gumielemet deformálunk, annak nem lesz hatása a környezetében lévő gumielemekekre, az egyes sörték egymástól függetlenül deformálódnak. A valós gumibroncs nem így viselkedik, hiszen, ha egy pontban deformáljuk, akkor annak egy bizonyos környezetében is deformáció ébred.

A többtest dinamikai modellnél a gumibroncsot anyagi tömegpontok építik fel, amelyek egymáshoz és a keréktárcsához is rugókkal, illetve csillapító elemekkel kapcsolódnak (2. ábra) [2]. 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 gumielemekek nem egyszerű rugók, hanem tömegpontok, ezért azok mozgását is dinamikai egyenletek írják le. Anyagi pontoknak térben 3 szabadságfoka van (piros nyilak az ábrán), esetünkben ezt kettőre redukáltuk, csak a kereszt- ( $e_v$ ) és érintő ( $e_r$ ) irányú mozgás van megengedve, radiális irányú ( $e_r$ ) mozgás nem lehetséges.



2. ábra: többtest dinamikai gumibroncsmodell

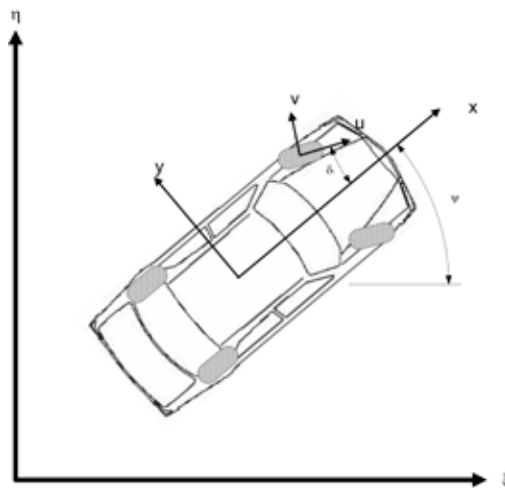
### Súrlódási modell

A kefemodell esetében a Coulomb-féle súrlódási modell kellő pontossággal alkalmazható. A gumibroncs sörtészerű 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 gumielemek és a talaj között fellépő maximális súrlódási erő a súrlódási tényező, és a normálerő szorzataként értelmezhető. A tapadási és a csúszósúrlódási tényezők közötti választást a gumielemek talajhoz viszonyított sebessége határozza 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 a köpenyen belül uralkodó nyomáson keresztül jelenik meg a teljes tapadási felületen. A normálerő ezek alapján nem egy koncentrált erő, hanem egy felület mentén megoszló terhelés. Mivel az alkalmazott modellek mindegyikénél a gumibroncs szélességét elhanyagoltuk, ezért esetünkben ez az erőrendszer vonal mentén megoszló erőrendszerre redukálódik. Pacejka [1] szerint ez az eloszlásfüggvény parabolikus. A megoszló erőrendszer maximuma a tapadási felület közepén található, és a tapadási felület két szélén pedig zérus értékű.

### Járműmodell

A bemutatott gumibroncsmodellt járműmodellbe implementálva felépíthető a teljes szimulációs környezet (3. ábra). Négykerékű járműmodellt alkottunk meg, mert olyan jelenségeket mint a kormányhiba hatása, csak négykerékű modellel lehet vizsgálni. 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 kocsitest síkbeli mozgásából származik 3 szabadságfok, ehhez adódik a kerekek révén a kormányzás, és mind a négy kerék forgása. A gumielemekeknek 2 szabadsági foka van, és kerekenként  $n$  gumielem van.



3. ábra: négykerékű járműmodell

### SZIMULÁCIÓK

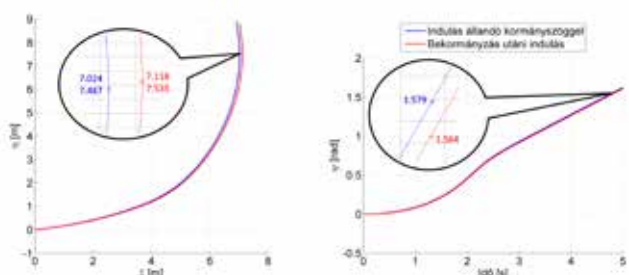
A szimulációk során a járműmodell bemeneteit gerjesztve vizsgáljuk, hogy mi lesz a rendszer válasza, vagyis esetünkben milyen pályát ír le a jármű, és milyen deformációt szenved a gumibroncs. A modellek gerjesztése hajtó-, fékező- és kormányzónyomatékkal történik. A gerjesztő függvények ezzel szemben sebesség- és kormányzószögprofilként vannak definiálva. Szükség van egy vezetőmodellre, amely szabályozza a jármű hajtó-, fékező-,



és kormányzónyomatékát, hogy a kívánt profilokat a jármű le tudja követni. Kétféle szimulációt végeztünk el: a kezdeti gumiabroncs-deformáció hatásának és a kormánygeometriai hiba hatásának a vizsgálatát.

**Kezdeti gumiabroncs-deformáció hatása**

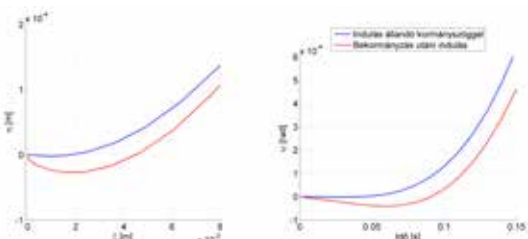
A kormányzási manőverek vizsgálata során két ívmeneti járműmozgást hasonlítottunk össze. Mindkét esetben 20 fokos kormányzógépet állítottunk be: az első esetben a szimulációt már ezzel a kormányzógéppel indítjuk, vagyis nincs kezdeti gumiabroncs-deformáció. A második esetben viszont egyenesmeneti helyzetből indulunk. A szimuláció első lépéseként álló helyzetben kormányozzuk el az első kerekeket, majd az előírt kormányzógépet elérése után indítjuk el a járművet. Azaz ebben az esetben van kezdeti gumiabroncs-deformáció. Ezekkel a szimulációkkal igazolható, hogy a jármű más pályán mozog, a kezdeti gumiabroncs-deformáció hatására.



4. ábra: A járműmodell trajektóriájának és orientációjának változása körpályás teszt során különböző kormányzási manőverek esetén

Az első következtetés, amit levonhatunk, hogy bár a szimulációt mindkét esetben már elforgatott kerekekkel indítottuk, a trajektória kezdeti szakasza mégsem körív alakú (4. ábra). Ennek az az oka, hogy függetlenül attól, van-e kezdeti deformáció vagy nincs, egyik esetben sem a körpályás mozgásnak megfelelő deformációja van a gumiabroncsnak. Amíg ez a körív alakú deformáció ki nem alakul, addig a járművek trajektóriája eltér a körívtől. Ehhez még hozzáadódik, hogy a járművet gyorsítani is kell, ami szintén megváltoztatja a gumiabroncs deformációját. Az állandó sebességű körpályás mozgás során a jármű szögsebessége is állandó, azaz az orientáció időfüggvénye lineáris kell hogy legyen. Ez 2,5 másodperc elteltével alakul ki. A kétféle szimulációt összehasonlítva, kismértékű eltérés figyelhető meg a trajektóriában és az orientációváltozásnál. Egy negyed kör megtételét követően 10,55 centiméteres távolság alakul ki a kétféle szimuláció esetén (1). Az orientációbeli eltérés nagyon kicsi, a negyed fordulat elérését követően kevesebb, mint egy fok (0.015 rad = 0.85°).

$$\sqrt{(7,118 - 7,024)^2 + (7,535 - 7,487)^2} = 0,1055m \tag{1}$$

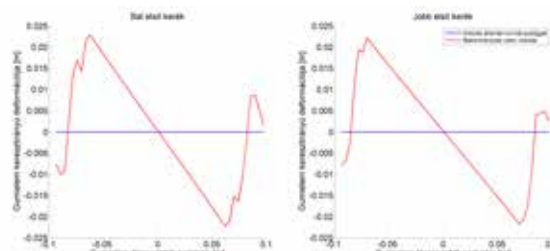


5. ábra: a járműmodell trajektóriájának és orientációjának változása az indulás pillanatában

A kétféle szimuláció során mind a trajektória, mind pedig az orientációbeli eltérést a mozgás kezdeti fázisában kialakuló eltérések okozzák.

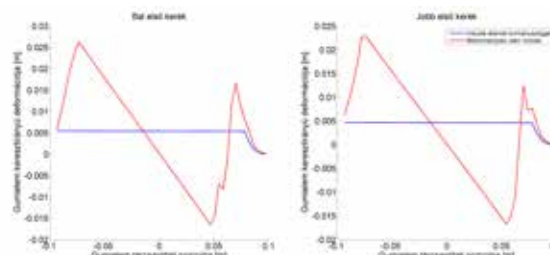
A szimulációk kezdeti szakaszában kialakuló eltérés látható az 5. ábrán. Míg a kezdeti gumiabroncs-deformáció nélküli esetben a jármű a vártan megfelelően rögtön pozitív irányba fordul, addig a kezdeti deformációval rendelkező esetben eleinte negatív irányba fordul a kocsitest, és csak 60–70 milliszekundum után lesz pozitív szögsebessége a járműnek. A magyarázathoz a gumiabroncs-deformációt kell megvizsgálni a szimuláció kezdetén.

A 6. ábra az elindulás előtti állapotot mutatja. Az első esetben (kék görbék) az első keréken nincs keresztirányú gumiabroncs deformáció, a másik esetben (piros görbék) viszont az állóhelyzeti kormányzáskor kialakuló deformációs képet látjuk. Az indulás pillanatában a hossz- és keresztirányú erő zérus lesz akárcsak a kezdeti deformáció nélküli szimulációnál, de itt a kormányzás miatt jelentős forgatónyomaték alakul ki mind a két első keréken. Ez a forgatónyomaték a kormányzás irányával ellentétes, negatív irányú. Vagyis hiába van pozitív orientációja az első kerekeknek, kezdetben negatív irányba fordul a kocsitest.



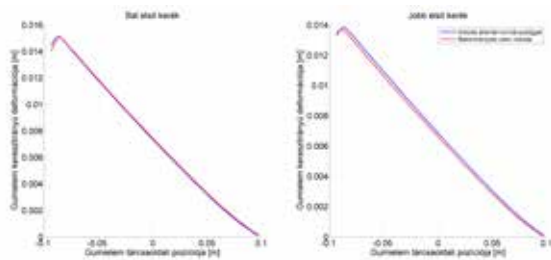
6. ábra: gumiabroncs keresztirányú deformációja a bal és jobb első keréken a 10. milliszekundumban, a két szimuláció esetén

A hátsó kerekekre működtetett hajtónyomaték hatására a kocsitest egyenesen előre, az orientációjának megfelelően halad, de mivel az első kerekek a kocsitesthez képest szögben állnak, ezért keresztirányú deformáció is megjelenik, mégpedig az induláskori deformációs alak tolódik el pozitív irányba (7. ábra). Az első esetben a deformáció végig zérus volt, ezért az elindulást követően konstans deformáció alakul ki. A második szimulációs esetben a szimuláció kezdeti lineáris deformációs képe is önmagával párhuzamosan tolódik el. Majd a kerekek elkezdnek forogni, a belépőnél újonnan belépő gumiélémekek már a körpályás mozgásnak megfelelő körív alakot vesznek fel. Másfél másodperc elteltével már mindkét esetben a körpályás mozgásnak megfelelő deformációs kép alakul ki, de még vannak eltérések a két eset között, ekkor még különböző sugáron fordulnak a járművek (8. ábra).

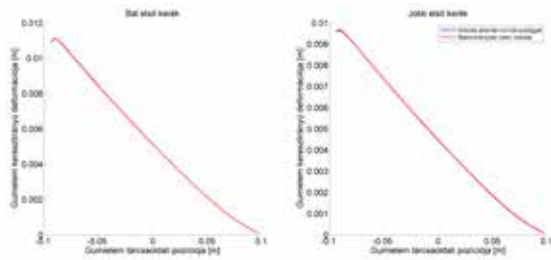


7. ábra: gumiabroncs keresztirányú deformációja a bal és jobb első keréken a 150. milliszekundumban, a két szimuláció esetén

Végül a negyedik másodpercben már megegyezik a két szimulációs eset deformációs képe (9. ábra), az egyes szimulációkban a járművek azonos sugáron fordulnak, azonban a szimulációk kezdetén kialakuló eltérések miatt a két trajektória már nem fedi egymást. [3]



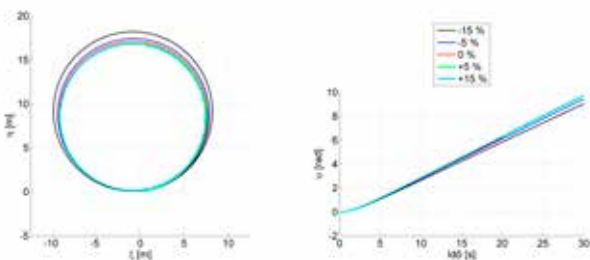
8. ábra: gumiabroncs keresztirányú deformációja a bal és jobb első keréken 1,5 másodperc után, a két szimuláció esetén



9. ábra: gumiabroncs keresztirányú deformációja a bal és jobb első keréken 4 másodperc után, a két szimuláció esetén

**Kormánygeometriai hiba hatásának vizsgálata**

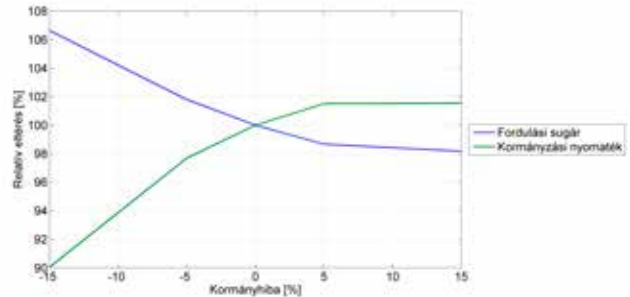
A kormánygeometriai hiba azt jelenti, hogy a kerekek elkormányzása során nem teljesül az Ackermann-geometria, vagyis kinematikai elven nem lehet meghatározni a jármű póluspontját. Ezek a szimulációk az előzőhöz hasonlóan állandó sugarú körpályán állandó sebességgel készültek. A kormányhibát a jobb első kerékre definiáltuk, vagyis – mivel a kanyarodás pozitív irányban történt – az ívkülső kerékre. A négykeresű jármű kormányműve egy virtuális középső első kerék elkormányzásából számítja a két első kerék valós szögelfordulását, az Ackermann-geometria alapján. Jelen esetben a jobb első kerék elkormányzását módosítjuk a kormányhiba mértékével.



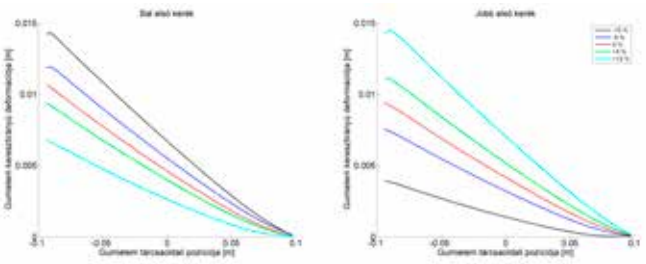
10. ábra: a járműmodell trajektóriájának és orientációjának változása különböző mértékű kormányhiba mellett

A kormányhiba hatására a jármű más-más sugarú körön fog haladni, ez mind a mozgáspálya, mind pedig az irányszög változásából látszik (10. ábra). A 11. ábra mutatja a fordulási sugarát és a kormányzási nyomaték relatív változását, a kormányhiba függvényében. Pozitív kormányhiba esetén csökken, negatív kormányhiba esetén pedig nő a fordulási sugar, a változás azonban nem szimmetrikus, de még csak nem is lineáris. A nyomatékváltozás pedig ennek pont az ellentettje. A pozitív kormányzási hibánál a jobb első kereket nagyobb mértékben fordítjuk el, mint az az Ackermann-geometria alapján szükséges lenne. Ezáltal a bal első kerék a helyes geometria szerinti sugáron fordítaná a járművet, a jobb első kerék viszont ennél kisebbben. Mivel a jármű négy kereke együttesen határozza meg a fordulási sugarat, ezért a valós érték valahol a kettő közé fog esni. Természetesen nem a két sugár középértékének megfelelő rádiuson fordul a jármű, a valós értéket a kerékterhelések, a

gumiabroncs-merevségek és a súrlódási viszonyok együttesen határozzák meg. Ugyanígy negatív sugár esetében a jobb első kerék az ideálisnál nagyobb íven szeretne fordulni, és itt ugyancsak egy köztes érték fog kialakulni, amely nagyobb lesz, mint az ideális sugár.



11. ábra: a fordulási sugár és az első kerekek kormányzási nyomatékának relatív változása a kormányhiba függvényében

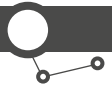


12. ábra: gumiabroncs keresztirányú deformációi a 8. másodpercben különböző kormányhibaértékek mellett

A gumiabroncsok deformációjánál csak a laterális irányt vizsgáljuk a két első keréken (12. ábra).

A kormányhiba nélküli deformációt (piros görbe) vizsgálva látható, hogy a gumiabroncs a pozitív forgásirányú kanyarodásnak megfelelően pozitív laterális deformációt szenved, ez a deformáció ív alakú, és monoton növekszik a belépőéltől egészen a kilépőélig (A monotonitás a kilépőélnél a megcsúszás hatására szakad meg.). Pozitív kormányhiba esetén a jobb első kereket az ideálisnál nagyobb mértékben kormányoztuk el. Ezzel gyakorlatilag egy összetartást definiáltunk az első kerekeknek, ami miatt a járműnek kinematikailag 2 külön póluspontot lehetne szerkeszteni. Természetesen a jármű csak egy valós fordulási pontja lehet, amely úgy alakul ki, hogy a gumiabroncsok az ideális, kormányhiba nélküli esethez képest eltérő módon deformálódnak, feloldva a kinematikai túlhatározottságot. A 12. ábra alapján például 15 százalékos pozitív kormányhiba esetén (türkiz görbe) a bal első keréken kisebb, a jobb elsőn pedig nagyobb deformációt szenved, a hibamentes esethez viszonyítva. Mivel a jobb oldali kereket nagyobb mértékben kormányoztuk el, ezért a bal oldali kerék kifelé tolná, azaz nagyobb sugarú körívre szeretné kényszeríteni a jobb oldali kereket. Ez egy negatív előjelű erőként jelenik meg a keréktárcsán, amely pozitív irányba növeli a gumiabroncs deformációját. Ehhez hasonlóan a jobb oldali kerék kisebb ívre szeretné kényszeríteni a bal első kereket, amely pozitív irányú oldalerozt eredményez, negatív irányba módosítva a deformációt. A negatív kormányhiba hatása pont ezzel ellentétes (kék és fekete görbék), ez az első kerekek széttartását eredményezi. A jobb első kerék az ideális körívhez képest kisebb, a bal első kerék pedig nagyobb sugarú ívre kényszerül. [4]





## ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott szimulációk jól szemléltetik, hogy a gumiabroncsnak a jármű mozgására nemcsak nagy, hanem kis sebességek mellett is jelentős befolyása van. Igaz ugyan, hogy a mozgáspályáról való eltérés csak kismértékű az egyes esetekben, de a kis sebességű manőverek esetén sokszor pár centiméteres eltérés is hibát okozhat a cél elérésében. A cikkben bemutattuk a kezdeti gumiabroncs-deformáció hatását a trajektóriára, aminek eredményeként igazoltuk, hogy kis sebességű manőverek esetén nem lehet

figyelmen kívül hagyni az álló helyzetben történő kormányzás hatását. Ismertettük, hogy a kormányhiba is pályaelhagyást eredményez, amit ugyancsak figyelembe kell venni a járművek nagy kormányzással történő kanyarodásakor, ugyanis ilyenkor a legnagyobb a kormányrendszer geometriai hibája.

A korszerű járműirányítási rendszerek egyre nagyobb mértékben átveszik a járművek feletti irányítást, amelynek előfeltétele, hogy az elektronikus rendszerek precízen tudják a járművet irányítani. Ehhez viszont ismernünk kell minden jelenséget, amely a jármű mozgásállapotára hatással van. ●

### IRODALOM

- [1] Pacejka, H. B.: Tyre and Vehicle Dynamics, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002
- [2] Szabó B.: Multibody Wheel Model Development for Simulating the Tire Deformations During Planar Motion, Pozsony, 2009, 12th European Automotive Congress, pp. 1-15.
- [3] Szabó B., Takács D.: Vehicle Model Design and Vehicle Motion Analysis for an Automatized Parking Manoeuvre, Budapest, 2008, Országos Gépészeti Konferencia, pp. 1-7.
- [4] Szabó B., Takács D.: Vehicle-motion Analysis for an Automatized Parking Manoeuvre, Belgrád, 2007, XXI International Automotive Conference: Science and Motor Vehicles, pp. 1-11.

# Légfékrendszer szivárgásának meghatározása

**DR. BALOGH LEVENTE**

senior mérnök  
Knorr-Bremse Kutatási és  
Fejlesztési Központ

**SZIGETI LILLA**

fejlesztőmérnök  
Knorr-Bremse Kutatási és  
Fejlesztési Központ

A tüzelőanyag-fogyasztás elleni harc egyik csatamezeje a fáradságos munkával előállított, nagy nyomású sűrített levegő elvesztésének megfigyelése és megakadályozása. Napjaink elektronikus gépjármű rendszerei számára hozzáférhető információk segítségével lehetőség nyílik arra, hogy az energia ilyen formájú pazarlásának idejében elejét vegyüek.

One field of the battle against the fuel consumption is the monitoring and prevention of the loss of high pressure compressed air, produced by energy consuming work. Nowadays the vehicle electronic systems have accessible information to prevent such a wasting of energy.

## PROBLÉMAFELVETÉS

A légfékrendszerekben fellépő szivárgás olyan energia-vesztést jelent, mely egy adott időpillanatra vetítve nem számottevő, viszont folyamatos jelenléte miatt az idő teltével számottevő mértékűvé integrálódhat. Ennek fedezetére a bemeneti oldalon, azaz a gépjármű tüzelőanyag-tartályában is forintosítható mennyiségű tüzelőanyagot kell biztosítani, mely tiszta veszteségként jelenik meg. Még nagyobb időablakot tekintve, lerövidülnek a sűrített levegő előállításához használt eszközök – különösen a cseredarabok (pl. légszárító patron) – élettartamai. Ugyanakkor a szélsőséges üzemi viszonyok és az ésszerű előállítási költség érdekében választott anyagok tulajdonságai miatt a szivárgás gyakori, esetenként természetes jelensége a légfékrendszereknek.

Mindezen megfontolások tekintetében azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a szivárgás megelőzése helyett annak mihamarabbi észlelése lehet egy optimális cél, melynek segítségével a számottevő veszteségek kiküszöbölhetőek.

Ehhez olyan módszerek megalkotására van szükség, melyek a gépjármű normál használata közben képesek a meglévő eszközrendszerrel becslést adni a rendszer tömítettségére.

## PEREMFELTÉTELEK

Ugyan az elektronika megjelenésével számos szenzor elhelyezésre került a gépjárművekben, és az ezek által szolgáltatott információk a kommunikációs buszokon keresztül minden elektronikai egység számára hozzáférhetővé váltak, korántsem ismert minden állapotváltozó a rendszerben. Ennek megfelelően nem ismert sem a légfékrendszer összes térfogatelemének nyomása, sem pedig az összes levegőáram mértéke. Korlátozott mennyiségű információ áll rendelkezésre a légfogyasztók állapotáról, miközben számosságuk jelentős, és ugyanúgy ismeretlen, mint a típusuk. Tehát az elérhető információk még a legkorszerűbb járműrendszerekben is korlátozódnak egy rendszernyomásra, egy légkompresszor fordulatszámra, környezeti hőmérsékletre, és a fő légfogyasztók, mint fék-, hajtáslánc-, felfüggesztésrendszer aktivitást jelző jeleire. Nem zárjuk ki új szenzor, illetve eszköz telepítésének lehetőségét sem, de ilyen irányban csak a szivárgásfigyelést végző rendszer bekerülési költségének 0,5%-áig érdemes gondolkodni.

Mivel a levegőrendszer a vizsgálat tárgya, a megfigyelést végző rendszer kiválasztására legalkalmasabbnak az elektronikus levegő-előkészítő rendszer adódik, mely a legtöbb vonatkozó információ birtokában van.

## CÉLKITŰZÉS

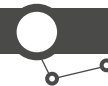
A peremfeltételek ismeretében két feladat végrehajtása mellett juthatunk el a megoldáshoz, azaz egy olyan módszerhez, mely észlelni képes a szivárgás megjelenését a légfékrendszerben. Az egyik feladat, hogy a rendelkezésre álló információkból következtetést vonjunk le a rendszerbe szállított levegő, a szándékolatlan elhasznált levegő és a rendszerben jelen lévő levegő mennyiségére vonatkozóan. Ugyanis szivárgásra egyrészt az ebben az összefüggésben észlelhető elváltozás utalhat, vagy olyan jelenség megfigyelése, amely az elérhető információkból levezethető, és a szivárgás egyedi tulajdonságára utal.

A második teendő tulajdonképpen az első feladat markáns alfeladata. Az észlelt levegővesztés szándékosságának meghatározása kulcskérdés ahhoz, hogy a rendeltetésszerű fogyasztások elkülöníthetőek legyenek a szivárgásoktól. Ezen túlmenően az észlelési módszertől függően számolnunk kell zavarásokkal, melyek igyekeznek – bennünket megtévesztve – szivárgásra utalni, azaz módszert kell kidolgozni azok elkülönítésére.

## SZÁNDÉKOLT FOGYASZTÁSOK AZONOSÍTÁSA

A szándékolt fogyasztások mértékének meghatározására nem áll rendelkezésre elegendő információ, olyan módszert nem alkalmazhatunk, ahol ezekkel számolunk. A rendelkezésre álló aktivitási jelekből csupán olyan következtetést vonhatunk le, hogy a szándékolt fogyasztás mértéke nem nulla. Ennek megfelelően a módszerek működését kell korlátoznunk azokra az üzemállapotokra, ahol a szándékolt légfogyasztást jelző változók mind inaktivitást mutatnak. A légfogyasztásokat két csoportra oszthatjuk a légfogyasztási aktivitás meghatározása szempontjából:

- közvetlenül meghatározott
- közvetett úton meghatározott.



**Közvetlenül meghatározott fogyasztás**

Egy adatbuszra csatlakoztatott elektronikus levegőfogyasztó-rendszer alapvető kimenete a rendszer aktivitását reprezentáló jel, mely a fogyasztásra ugyan nem, de a fogyasztás hiányára egyértelműen utal. A fékrendszer közli a fékkamrák nyomását, a fékpedál állását, a hajtáslánc jelzi a sebességváltó, a tengelykapcsoló állapotát, a felfüggesztés jelzi a légrugók töltési folyamatának aktivitását. Mindezek segítségével tehát azonosítható az a pillanat, amikor ezek a rendszerek nem fogyasztanak levegőt szándékoltan.

**Közvetett úton meghatározott fogyasztás**

Elektronikus vezérléssel és szenzorokkal nem rendelkező alrendszerek esetében is megállapíthatóak olyan jármű üzemállapotok, amikor nem számíthatunk szándékoltt, működtetésből származó fogyasztásra. Bizonyos járműsebesség felett nem kell gondolnunk gumiabroncs-töltésre, számottevő kabinrúgózás-fogyasztásra, a felépítményen elhelyezett speciális működtető berendezések fogyasztására, és a parkolófék működtetésére sem. Azaz a jármű üzemállapotára vonatkozóan definiálható olyan feltétel, amely meghatározza az algoritmus számára a szándékoltt levegőfogyasztás nélküli állapotot. Ilyen közvetett módszer az a speciális szűrési feltétel is, amikor a vizsgálódásunkat olyankor végezzük el, amikor a jármű használaton kívül van, azaz maga a jármű és az adatkommunikáció inaktivitása az, ami kizárja a szándékoltt levegőfogyasztást.

**ÉSZLELÉSI ÉS SZŰRÉSI MÓDSZEREK**

Az egyes észlelési módszerek eltérése abban mutatkozik meg, hogy milyen mértékben támaszkodik a szándékoltt fogyasztások elkülönítésére, vagy azok figyelembevételére, vagy esetlegesen az észlelési módszer maga hajtja végre az elkülönítést a szivárgásra jellemző egyedi tulajdonság alapján.

**Zárt rendszer nyomásának figyelése**

Az első módszer a lehető legnagyobb mértékben próbál élni azzal, hogy minden zavarást és ismeretlen változót kiküszöböljön a szivárgás meghatározásából. Ennek érdekében a vizsgálatot a jármű üzemén kívüli állapotára korlátozza kiküszöbölve minden szándékoltt levegőfogyasztást [1]. Kihasználja, hogy ebben az állapotban a jármű hosszú időt tölt el, mely alatt a szivárgások hatása érzékelhető mértékű változást eredményez a rendszer nyomásában még nagy tartálytérfogatok esetén is. Kiindulási alapja az így zártnak tekinthető rendszerben tárolt levegőre felírt általános gáztörvény (1).

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \tag{1}$$

Állandó térfogatot feltételezve, a rendszerből szivárgás által távozó levegőtömeg a rendszer levegőtömegét csökkenti, mely a nyomás és a hőmérséklet hányadosával lesz arányban (2).

$$\frac{p}{T} = \left( m_{kezdeti} - \int \frac{dm_{szivargas}}{dt} dt \right) \cdot \frac{R}{V} = \lambda \tag{2}$$

Szivárgás esetén ez a hányados csökken, mely állandó hőmérsékleten a nyomás csökkenését eredményezi. A csökkenő nyomás csökkenti a szivárgás mértékét is, azaz a hányadosban egy csökkenő tendenciájú változásra kell számítani. Erre a változásra jellemző időállandó az, ami a szivárgás mértékére irányadó.

Mivel a folyamatos megfigyelés a vizsgálat hosszú időtartama miatt nem biztosítható, az időállandót diszkrét mintavételezéssel kell meghatározni. Az „s” mintavételezési idővel, és a „k” mintasorszámmal a „t” időállandó meghatározható (3).

$$t_k = s \cdot \frac{\lambda_{k-1}}{\lambda_{k-1} - \lambda_k} \tag{3}$$

Ugyan a kifejezés közvetlenül mért nyomás és hőmérséklet alapján meghatározott, előfordulhatnak olyan zavarások a mintavételek során és a mintavételek között a rendszer zártságának feltételezésében, melyek nagyon kiugró eredményt szolgáltatnak, ellentmondva ezzel a szivárgás stacionárius jellegének. Az ilyen jellegű zavarások kiküszöbölésére nyújt lehetőséget az egyes minták egymással való összehasonlítása, mely alapján a nem plauzibilis minták eldobhatóak, vagy az időállandó számítása újraindítható.

**Nyitott rendszer légáram-plauzibilitásának figyelése**

Felhasználva az adatkommunikációs buszon elérhető, szándékoltt levegőfogyasztásra jellemző, közvetlen és közvetett információkat, a gépjármű üzeme közben is azonosíthatóak olyan állapotok, amikor nulla szándékoltt fogyasztás feltételezhető. A rendszer azonban nyitott, ugyanis a folyamatosan jelen lévő szivárgás időről időre a kompresszor bekapcsolását eredményezi, majd azt a légszárító regenerációjával járó szándékoltt levegőfogyasztás követi, mielőtt a rendszer – a szivárgástól eltekintve – újra zárttá válik. Ugyanakkor a megfigyelő rendszer kiválasztásával az előbb említett levegőáramlások ismertté válnak, hiszen az elektronikus levegő-előkészítő rendszer funkciójának ellátásához a töltési és a regenerációs levegőáramokat a rendszernyomásból és a motor fordulatszámából kiszámítja. Az ismert levegőáramok segítségével a rendszer nyomása minden időpillanatra számszerűsíthető, és a mért nyomással összevetve, jelzést ad a szivárgás jelenlétére. A módszer így kiküszöböli az előbbieken tárgyalt módszer hátrányos tulajdonságát; a vizsgálathoz szükséges nagy időigényt [2].

A kiindulási alap itt is az általános gáztörvény (1), melyből a nyomás kerül kifejezésre, a levegő-tömegáramok függvényében (4).

$$p = \frac{R \cdot T}{V} \cdot \int \sigma_{töltés} - \sigma_{regeneráció} - \sigma_{szivargás} \cdot dt \tag{4}$$

A töltési tömegáram a kompresszor karakterisztikájából ( $C_{kompresszor}$ ), az aktuális rendszernyomás (p), a motorfordulatszám ( $n_{motor}$ ) és a kompresszorstátusz ( $q_{kompresszor}$ ) függvényében meghatározott érték (5).

$$\sigma_{töltés} = C_{kompresszor} (p, n_{motor}, q_{kompresszor}) \tag{5}$$

A regenerációs és a szivárgási tömegáram kiszámításához kihasználjuk, hogy üzemi állapotban a rendszernyomás egy szűk tartományban szabályozott, magas érték, mely a környezeti nyomással kritikus nyomásviszonyt képez, a környezetet irányába hangsebességgel korlátos áramlást eredményezve (6) és (7) egyenletek szerint.

$$\sigma_{regeneráció} = A_{regeneráció} \cdot p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{(\kappa - 1) \cdot R \cdot T} \cdot \left( \Pi^{\frac{2}{\kappa}} - \Pi^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right)} \tag{6}$$

$$\sigma_{szivárgás} = A_{szivárgás} \cdot p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{(\kappa - 1) \cdot R \cdot T} \cdot \left( \Pi^{\frac{2}{\kappa}} - \Pi^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} \quad (7)$$

Az összefüggések rendezésével az ismeretlen szivárgási keresztmetszet kifejezhető ismert változók és paraméterek függvényében (8), mely némileg egyszerűsíthető az integrációs szakaszon állandó hőmérsékletet feltételezve.

$$A_{szivárgás} = \frac{\int C_{kompresszor}(p, n_{motor} \cdot q_{kompresszor}) \cdot dt}{\int p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{(\kappa - 1) \cdot R \cdot T} \cdot \left( \Pi^{\frac{2}{\kappa}} - \Pi^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} \cdot dt} - A_{regeneráció} + \frac{p \cdot V}{R \cdot T \cdot \int p \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{(\kappa - 1) \cdot R \cdot T} \cdot \left( \Pi^{\frac{2}{\kappa}} - \Pi^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} \cdot dt} \quad (8)$$

A módszer pontosságát jelentősen befolyásolja a számításban használt paraméterek pontossága, melyek közül elsőként a térfogat emelendő ki. Ugyan ismeretes egy jármű légtartályainak térfogatösszege, viszont a csövezéssel és az állandóan nyomás alatt lévő szeleptérfogatokkal együtt a teljes rendszertérfogat eltérő. Nagy toleranciával bír továbbá a kompresszor karakterisztikája is, mely az élettartam során további változásokon megy keresztül. Mindezek tekintetében, és tudva, hogy a rendszer vezérlése kizárja a regenerációt és a töltés egyidejűségét, továbbá biztosít olyan állapotot is, ahol mindkét tömegáram nulla, a (8) egyenlet az üzemi állapotok szerint három független egyenletre bontható. A három független egyenlet megoldást szolgáltat az ismeretlen szivárgási keresztmetszet mellett a rendszertérfogatra és a kompresszorkarakterisztika skálázó tényezőjére is.

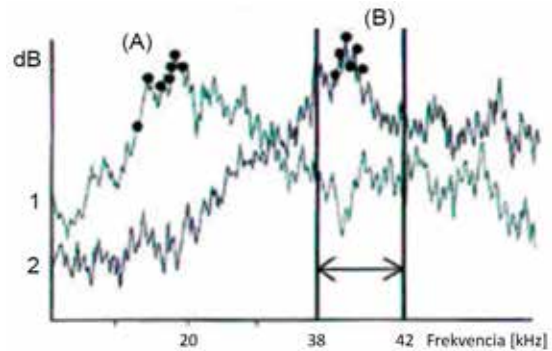
### Szivárgási zaj figyelése

Egy merőben más megközelítés, a szivárgás következtében létrejövő, gáz tágulása által létrehozott akusztikus jelenség megfigyelése. Nem járműipari területeken elterjedt módszer a szivárgás által keltett zaj hallható és ultrahangtartományba eső jelenségének érzékelése, a szivárgás létrejöttének megállapítására. A módszer előnye, hogy a szivárgás olyan tulajdonságát használja ki, mely független a gáz állapotától, és a környezettől elzárt légréndszerben végbemenő folyamatoktól.

A módszer megvalósításához bizonyos frekvencia-tartományra érzékeny mikrofonok szükségesek. Mivel az akusztikus szenzorok is a levegő nyomásával arányos elektronikus jeleket képeznek, megfelelő szenzorkialakítás egyben alkalmas lehet a szivárgás keltette nyomáslengések, és a szenzor környezetében jelenlévő gáz átlagos nyomásának meghatározására is. Azaz új szenzor telepítése helyett a meglévő nyomásszenzorok cseréje is megoldás lehet. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a szivárgási turbulens áramlás keltette zaj ultrahangtartományú összetevői csak egy, a rendszerhez képesti külső pontból megfigyelhetők [3], a rendszerben nem továbbíthatók, vagyis ilyen módszer esetében elengedhetetlen új szenzor telepítése.

### Ultrahangtartomány

Ultrahangtartományban megfigyelhetők a szivárgás okozta turbulens áramlásban fellépő, belső súrlódás által létrehozott hullámok. Az egyéb, környezetben fellépő zajok, frekvenciájukat tekintve alacsonyabb tartományba esnek. Ennek megfelelően az érzékelt hanghullámok frekvencia szerinti intenzitása alapján a szivárgás jelensége észlelhető, ahogy azt a 1. ábra is mutatja [3].



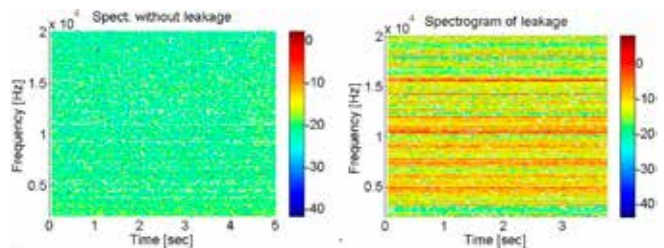
1. ábra: a háttérzajok és a szivárgás frekvenciaképe

Az 1-es görbe szerint a környezeti zaj az „A” tartományban, a 2-es görbe szerinti szivárgásé pedig a „B” tartományban domináns. A szivárgás tehát azonosítható a 40 kHz körüli hangintenzitások figyelésével.

### Hallható hangtartomány

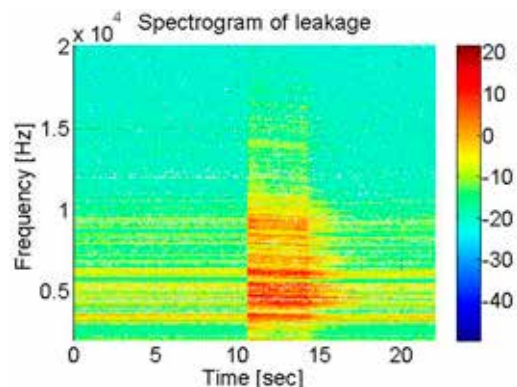
A hallható hangok tartományában a szivárgás másik egyedi jellemzőjét, annak állandó jellegét lehet kihasználni jelenlétének megfigyelésére. Állandósága két dimenzióban; időben és frekvenciában jelenik meg [4].

A szivárgás megjelenésével széles frekvenciatartományban jelennek meg komponensek, azaz a 0–20 kHz tartományban mindenhol megváltozik az intenzitás. Ha időben mindezt ábrázolni szeretnénk, arra kiváló eszköznek bizonyul a szenzorunk jeléből előállított spektrogram, mely az idő és a frekvencia függvényében reprezentálja a jel energiasűrűségét. A 2. ábra mutatja, hogy a szivárgás megjelenése a teljes hallható hang frekvenciatartományában energianövekedést okoz.



2. ábra: a természetes zaj és a szivárgás spektrogramja

A 3. ábrán a szivárgás megjelenési és megszűnési időpontját az időskála tartományába helyezve még szembeűnőbb a szivárgásra jellemző energiasűrűség-változás úgy is, hogy a mérés zajos környezetben végezzük el.



3. ábra: szivárgás megjelenése és megszűnése valós környezetben





Az ábrán jól kivehetők a környezeti zajok, mint például a gépjármű motorja által keltett hangok, melyek mind egy frekvenciasávra korlátozódnak, szemben a szivárgással, mely minden frekvencián megjelenik.

A szivárgás időbeli állandósága jól kimutatható a mintavételezett jelalak és annak időben eltoltt, késleltetett szekvenciájának korrelációjával [5]. Ezt a két, (9)-ben felírt „x”-szel és „y”-nal jelzett szekvencia kereszt- és autokorrelációjából képzett korrelációs „R” együtthatóval fejezhetjük ki.

$$R_{xy}(m) = \frac{C_{xy}(m)}{\sqrt{C_{xx}(m)C_{yy}(m)}} \quad (9)$$

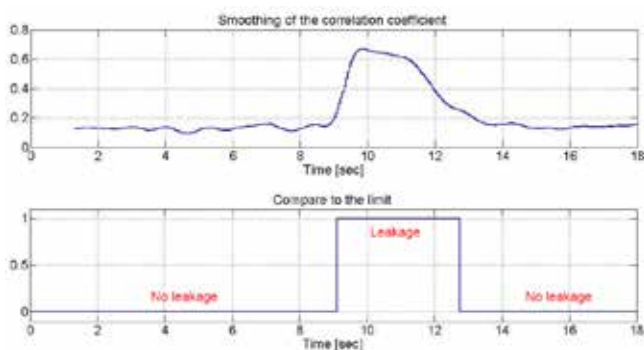
A kifejezés „C” kovariancia mátrixai a „μ<sub>x</sub>” középértékekkel képzett relatív szekvencia, és az „m” idővel eltoltt, szintén „μ<sub>y</sub>” középértékekkel képzett relatív szekvencia komplex konjugáltjából képzett szorzatainak várható értékeként adódnak (10), (11) és (12) összefüggések szerint.

$$C_{xy}(m) = E\{(x_{n+m} - \mu_x)(y_n - \mu_y)^*\} \quad (10)$$

$$C_{xx}(m) = E\{(x_{n+m} - \mu_x)(x_n - \mu_x)^*\} \quad (11)$$

$$C_{yy}(m) = E\{(y_{n+m} - \mu_y)(y_n - \mu_y)^*\} \quad (12)$$

A korrelációs együtthatót időben ábrázolva arra a tesztesetre, ahol a szivárgás megjelenik és megszűnik, a **4. ábrán** látható eredményt kapjuk.



4. ábra: szivárgás megállapítása korrelációs együtthatóval

## A MÓDSZEREK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA

A bemutatott eljárások más-más előnyök és hátrányok mentén adnak megoldást arra, hogy a légfékrendszerben fellépő nem szándékolt levegőfogyasztásokat, azaz szivárgásokat észleljük. Gyakorlatban való alkalmazásuk esetén szükségessé válik azok egymáshoz képesti értékelése, amit az **1. táblázatban** foglaltunk össze.

Szempont	Módszer		
	Zárt rendszermodell	Nyitott rendszermodell	Akusztikus
Reakcióidő	-	o	+
Hardware eszköz igény	o	+	-
Zavarérzékenység	+	-	o
Számítási erőforrás-igény	+	o	-
Szivárgás fizikai mértékének meghatározása	o	+	-
Járműparaméterek hatása	-	o	+

1. táblázat: a szivárgásérzékelés módszereinek értékelése

Az értékelés alapján nem tehető egyértelmű állásfoglalás egyik módszer mellett sem. Így a kiválasztás csak az adott konkrét felhasználás viszonyában lényeges szempontok súlyozásával segíthető elő. Ugyanakkor a leghatékonyabb és legrobosztusabb megoldást a három módszer együttes alkalmazása jelentheti, mely szintén nem egy valóságtól elrugaszkodott elképzelés.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a gépjárművek légfékrendszereiben gyakran fellépő szivárgások észlelésének problémakörét világítja meg, annak megvalósítási javaslatként több módszert megvizsgálva. Meghatározásra került a szivárgás jelenségének észlelési módszerein túl azon feltételrendszer is, mely a módszer alkalmazhatóságának megfelelő járműüzemállapotokat azonosítja.

Mivel a módszerek kidolgozását a mai modern járműrendszerek adta kötöttségekkel, mint peremfeltételekkel erősen korlátoztuk, logikus következményként állapítható meg, hogy nem áll rendelkezésre univerzális megoldás. Viszont ugyanezen korlátozás ad lehetőséget arra, hogy a módszerek kombinációjával egy nagy diagnosztikai lefedettséget biztosító, megbízható hibrid algoritmust hozzunk létre, különösebb additív materiális ráfordítás nélkül. ●

### IRODALOM

- [1] M. KOKES, A. SCHMIDT, Diagnosis of leakages in compressed air systems, particularly in utility vehicles, Worldwide patent WO2008148436A1
- [2] Z. BORDÁCS, M. KRABÓT, Method for monitoring air-tightness of a compressed air system and electronic device provided for said method, European patent EP1995140A2
- [3] A. PREGELJ, M. MOZETIC, Leak detection methods and defining the sizes of leaks, Application of Contemporary Nondestructive Testing in Engineering, 1997.
- [4] A. M. PAVAN, S. L. CRUZ, J. A. F. R. PEREIRA, Leak detection in pressure vessel. Sound analysis, 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 2005.
- [5] S. SHIMANSKIY, T. IJIMA, Y. NAOI, Development of Acoustic Leak Detection and Localization Methods for Inlet Piping of Fugen Nuclear Power Plant, Journal of Nuclear Science and Technology, 41:2, 183-195, 2004.

# Pneumatikus mágnesszelepek I/O linearizálása

**SZIMANDL BARNA**  
 ügyvivő szakértő  
 BME EJT

**DR. NÉMETH HUBA**  
 egyetemi docens  
 BME GJT

Cikkünkben bemutatjuk egy 2/2-es elektro-pneumatikus kapcsoló mágnesszelep bemenet-kimenet linearizálási eljárását. A bemenet-kimenet linearizálást a megnövekedett keresztmetszetű szelepek kapcsolásának jelentősen nemlineáris dinamikai viselkedése indokolja. Szimulációs környezetben megvizsgáltuk a szelepek átmeneti tulajdonságait, és a tapasztalatok felhasználásával két algoritmust javasoltunk a linearizálási probléma megoldására. A két megoldást egy elektro-pneumatikusan működtetett tengelykapcsoló előrecsatolt-visszacsatolt irányító algoritmusával ellenőriztük, és a tapasztalatokat összefoglaltuk.

This paper deals with a 2/2 electro-pneumatic switching solenoid valve input-output linearization. The motivation comes from the strongly nonlinear dynamic behaviour of the switching, caused by the increased streaming cross section of the valves. The switching transients have been analysed in simulation environment and we propose two solutions for the linearization. The solutions have been verified by a feed forward-feedback control of an electro-pneumatic clutch system. The experimental results have been evaluated.

## BEVEZETÉS

Haszongépjárművekben az egyik leggyakrabban alkalmazott működtető típusok a pneumatikus és elektro-pneumatikus működtetésűek, amelyek fékezés, szintezés, váltás, tengelykapcsolás stb. feladatokat látnak el. Ezek a beavatkozók a sűrített levegőben tárolt energiát használják az erőátvitelre. A pneumatikus működtetőkkel ellátott rendszerek előnyösen alkalmazhatók autóiipari környezetben, az alábbi sajátosságok miatt. A levegő mint munkaközeg, kevésbé van hőmérsékletkorlátok közé szorítva. Ellentétben a hidraulikus működtetők munkafolyadékaival, a működtetőből kilépő levegőt nem szükséges összegyűjteni, így a visszatérő vezetékek alkalmazása főlegessé válik. Továbbá a hosszú távú pneumatikus energiatárolás és a rendelkezésre álló energia meghatározása nem okoz problémát, nem úgy, mint az elektromos energia esetében, ahol az energiatárolás kémiai úton valósul meg. Mindemellett a pneumatikus működtetők fajlagos tömege kisebb, ill. a fajlagos energiasűrűsége nagyobb egy egyenértékű elektro-mechanikus működtetőénél. Ennek következtében számos ipari kutatási munka és tudományos publikáció foglalkozott elektro-pneumatikus rendszerek modellezésével és irányításával [1–3].

Ideális arányos mágnesszelepeket feltételezve, melyekkel tetszőleges légtömégáram valósítható meg, az elektro-pneumatikus működtetők modelljei felírhatók speciális nemlineáris állapotter alakban, ahol a bemenet lineáris kapcsolatban van az állapotváltozók deriváltjával [4] vagy linearizáció alkalmazásával felírhatók akár lineáris idő invariáns alakban is [5]. Mindkét esetben a modell bemenete a szelepek légtömégárama és az állapotváltozók rendre a kamranomás, dugattyú- sebesség és pozíció.

A valóságos kapcsoló mágnesszelepek nem tudnak folytonos légtömégáram-változtatást megvalósítani, ellentétben a drágább arányos mágnesszelepekkel, mivel a kapcsoló szelepek armatúrájának csak két stabilizálható állapota van. Az egyikben a szelep zárt, míg a másikban teljesen nyitott állapotú. Így az elmúlt évtizedben a modell megalkotásánál és az irányító algoritmusok tervezésénél a kapcsoló mágnesszelepeket ideális kapcsolóelemként vették figyelembe, ahol a szelep által megvalósítható légtömégáram két diszkrét értéket vehet föl az armatúra állapotának megfelelően. Az egyik érték a zérus légtömégáram zárt szelep, míg a másik a maximális légtömégáram nyitott szelep esetén. A kapcsolási idő a két

állapot között ideális esetben zérus értékű vagy olyan rövid, hogy elhanyagolható a rendszer fennmaradó dinamikájához képest.

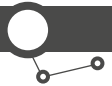
Az elmúlt években azonban egyre nagyobb áramlási keresztmetszetű mágnesszelepeket alkalmaztak az elektro-pneumatikus működtetőkben, hogy a megnövekedett teljesítményigényt ki tudják elégíteni a tervezők. Ez lehetővé teszi ugyan a nagy dinamika elérését, de a korábban alkalmazott modelleket pontatlanná teszi, mivel a megnövekedett áramlási keresztmetszet megváltoztatja a szelepek nyitási és zárási dinamikáját. Ráadásul a változás kedvezőtlen, ugyanis lerontja a légtömégáram adagolhatóságát is. Ezen felül a maximális légtömégáram a munkahengernyomás és a táplevegő vagy a környezeti nyomás viszonyától is függ, ráadásul diszkrét-folytonos módon, aminek hatása szintén nem elhanyagolható nagyobb áramlási keresztmetszetek esetén.

Így a légtömégáram adagolhatóságát pontosítani kell azért, hogy az elektro-pneumatikus beavatkozók teljesíteni tudják mind a dinamikai, mind a pontossági követelményeket. A légtömégáram adagolhatóságának pontosítására a kapcsolószelepekkel megvalósítható légtömégáramok kvantáltságán kellene finomítani, hogy ne csak két diszkrét érték legyen elérhető, úgy, hogy a kvantum lépcsők lehetőleg lineáris kapcsolatban legyenek a bemenettel. Ezért ebben a kutatási munkában nagy keresztmetszetű 2/2-es kapcsoló mágnesszelepek kedvező adagolhatóságának megoldását és ezen keresztül a bemenet-kimenet kapcsolat linearizálását tűztük ki célul.

A munka kezdetén felírtuk egy 2/2-es kapcsoló mágnesszelep matematikai modelljét, majd szimulációk segítségével megvizsgáltuk a modell viselkedését és a lehetséges bemenet-kimenet linearizálási megoldásokat. A következő fejezetben két megoldást dolgoztunk ki a bemenet-kimenet linearizálására. Az egyik esetben egy egyszerű szelepvariációt alkalmaztunk, míg a másikon empirikus adatok felhasználásával oldottuk meg a problémát. A kapcsolószelep bemenet-kimenet linearizálását egy konkrét példán keresztül ellenőriztük, és a tapasztalati eredményeket kiértékeljük.

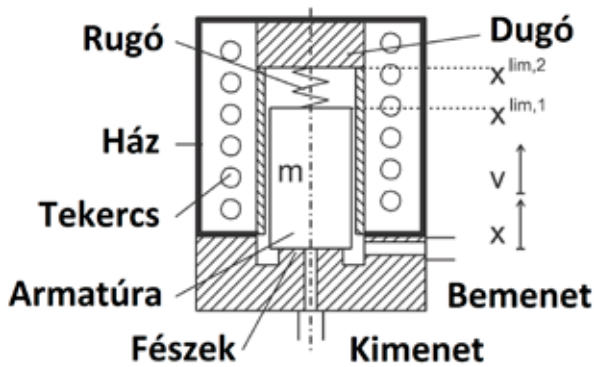
## A 2/2-ES KAPCSOLÓ MÁGNESSEZEP LEÍRÁSA

A vizsgált 2/2-es kapcsoló mágnesszelep sematikus rajzát az **1. ábrán** láthatjuk. A sűrített levegő a beömlő nyíláson



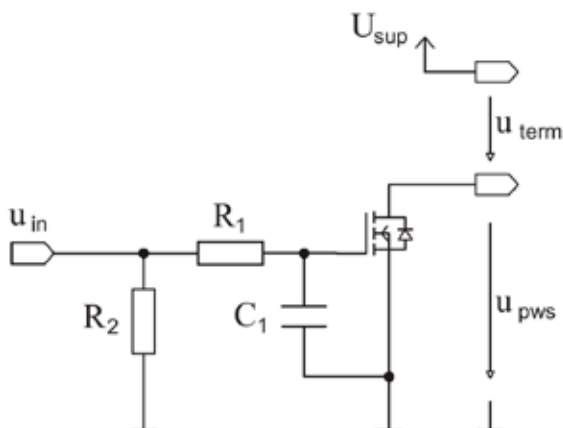
keresztül – röviden bemenet – áramlik a szelepcsatornába és a kiömlő nyíláson – röviden kimenet – áramlik ki onnan. A szelep armatúrája feszültségmentes állapotban elzárja a kimenetet, mert a visszatérítő rugó a szelepfészkekre szorítja azt. Az elektromos kapcsolatot két kapocs biztosítja a tekercs számára, amelyek a szelep tekercselésének a kivezetéseihez csatlakoznak. Ha a szelep tekercsét feszültség alá helyezzük, az elektromágneses erő az armatúrát kiemeli a fészkekből a rugó ellenében, és a kimeneten keresztül áramolni tud a sűrített levegő. Ha feszültségmentesítjük a tekercset, a rugó visszatéríti az armatúrát a fészkekre, és elzárja a kimenetet.

A szelepet meghajtó végfok kapcsolási rajzát a 2. ábrán láthatjuk. A tekercs egyik kapcsa a tápfeszültséghez ( $U_{sup}$ ) kapcsolódik, míg a másik kapocs a végfok kapcsolóeleméhez. A végfok kimeneti feszültsége ( $u_{pws}$ ) határozza meg a tekercs kapcsolófeszültségét ( $u_{term}$ ) és áramát. Ezt az elrendezést alsó-, vagy földoldali kapcsolásnak nevezzük, mert a kapcsolóelem az alacsonyabb potenciálú kapcsát kapcsolja a tekercsnek. Ez a kapcsolás előnyösen alkalmazható beágyazott környezetben, mivel a vezérlőjelek kisfeszültségű tartományba esnek magas kapcsolt feszültségek esetén is.



1. ábra: 2/2-es kapcsoló mágnesszelep sematikus rajza

A végfok kimeneti feszültsége bekapcsolt állapotban megegyezik a kapcsolóelem ellenállásán eső feszültséggel, míg kikapcsolt állapotban a tápfeszültséggel egyenlő. A lekapcsolási tranzienstben a végfok feszültségét a tekercs önindukciós feszültsége határozza meg, amit a védelem letörési feszültsége ( $U_{BR}$ ) korlátoz. A végfok bemeneti feszültségét ( $u_{in}$ ) a szelepparancs ( $u_v$ ) határozza meg. Utóbbi logikai magas értéke tartozik a szelep bekapcsolásához, míg logikai alacsony értéke a szelep kikapcsolásához.



2. ábra: a szelepet meghajtó végfok kapcsolási rajza

## ÁLLAPOTTÉR MODELL

Mivel a modell állapottér leírása nem egyedi, több ekvivalens reprezentáció adható meg egy adott dimenzióban egy rendszer azonos bemenet-kimenet leírására. Ezért a kapcsoló mágnesszelep modell leírása során úgy választottuk meg a változókat, hogy a változók megőrizzék a fizikai tartalmukat. Így a modellt leíró differenciál-algebrai egyenletrendszeréből az állapotvektort az alábbi differenciálváltozókból komponáltuk meg:

$$\mathbf{x} = [ i \quad v \quad x ]^T \quad (1)$$

Ahol  $i$ ,  $v$  és  $x$  rendre a tekercs árama, az armatúra sebessége- és pozíciója.

A zavarásbemenetek alkotják a zavarásvektort, mely tartalmazza a tápfeszültséget, a szelep bemenetére kapcsolódó sűrített levegő nyomását és hőmérsékletét, valamint a szelep kimenetére kapcsolódó sűrített levegő nyomását:

$$\mathbf{d} = [ U_{sup} \quad p_m \quad T_m \quad p_{out} ]^T \quad (2)$$

Az irányító bemenet a mágnesszelep parancs:

$$\mathbf{u} = [ u_v ]^T \quad (3)$$

A szimuláció során figyelembe vett kimeneti vektor a tekercs kapcsolófeszültségét és áramát, az armatúra sebességét és pozícióját valamint a szelep légtömegáramát tartalmazza:

$$\mathbf{y} = [ u_{term} \quad i \quad v \quad x \quad \sigma ]^T \quad (4)$$

Egy általános diszkrét-folytonos nemlineáris állapottér felírható egy halmazzal, ahol a halmaz elemeinek a száma megegyezik a különböző diszkrét módok számával [6]. Továbbá az állapottér állapotegyenletei és kimeneti egyenletei általános nemlineáris alakra hozhatók, ha az egyenletek felírhatók a következő formában:

$$\frac{d\mathbf{x}^{(k)}}{dt} = \mathbf{f}^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}, \mathbf{u}^{(k)}) \quad (5)$$

$$\mathbf{y}^{(k)} = \mathbf{h}^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) \quad (6)$$

A kapcsoló mágnesszelep esetében a koordinátafüggvények az alábbi alakban írhatók fel, ahol a diszkrét tulajdonsággal rendelkező változókat kerettel jelöltük:

$$f_1^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = - \frac{vi}{\left(\mathcal{R} - \frac{x}{\mu_0 A}\right) \mu_0 A} + \frac{\left(\mathcal{R} - \frac{x}{\mu_0 A}\right) \left(U_{sup} - Ri - u_{pws}\right)}{N^2} \quad (7)$$

$$f_2^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = \frac{\frac{(Ni)^2}{2\left(\mathcal{R} - \frac{x}{\mu_0 A}\right)^2} \frac{1}{\mu_0 A} - s(x + x_0) - kv - F_{lim}}{m} \quad (8)$$

$$f_3^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = v \quad (9)$$

Koordináta függvényei rendre:

$$h_1^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = U_{sup} - u_{pws} \quad (10)$$

$$h_2^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = i \quad (11)$$

$$h_3^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = v \quad (12)$$

$$h_4^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = x \quad (13)$$

$$h_5^{(k)}(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{d}^{(k)}) = \alpha_{lin} A_{lin} p_{lm} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \frac{1}{RT_{lin}} \left( \Pi^2 - \Pi^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} \quad (14)$$

A modell három független diszkrét-folytonos változót tartalmaz. Az első a feszültségésés a végfokon ( $u_{pws}$ ), mely három független diszkrét módot vehet föl:

$$u_{pws} = \begin{cases} U_{sup}(1 - u_v) + r_{DS(on)} i & u_v > 0 \\ U_{BR} & u_v = 0 \text{ and } i > 0 \\ U_{sup} & u_v = 0 \text{ and } i = 0 \end{cases} \quad (15)$$

A következő az armatúralökötet korlátozó erő ( $F_{lim}$ ) és az áramlási keresztmetszet ( $A_{lin}$ ), melyek együtt négy független diszkrét módot alkotnak:

$$F_{lim} = \begin{cases} c_1(x - x^{lim,1}) + k_1 v & x < x^{lim,1} \\ 0 & x^{lim,1} \leq x < x^{lim,2} \\ c_2(x - x^{lim,2}) + k_2 v & x^{lim,2} \leq x \end{cases} \quad (16)$$

$$A_{lin} = \begin{cases} 0 & x < x^{lim,1} \\ x d \pi & x^{lim,1} \leq x < \frac{d}{4} \\ \frac{d^2 \pi}{4} & \frac{d}{4} \leq x \end{cases} \quad (17)$$

A harmadik a szelep bemenetére és kimenetére kapcsolódó sűrített levegő nyomásviszonya:

$$\Pi = \begin{cases} \frac{p_{out}}{p_m} & 1 \geq \frac{p_{out}}{p_m} > \Pi_{crit} \\ \frac{p_{out}}{\Pi_{crit} p_m} & \frac{p_{out}}{p_m} \leq \Pi_{crit} \end{cases} \quad (18)$$

ahol

$$\Pi_{crit} = \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (19)$$

a hangsebességre vonatkozó kritikus nyomásviszony.

A modellegyenletekből jól látható, hogy az egzakt bemenet-kimenet linearizálás állapot-visszacsatolással [7] nem oldható meg, mert a diszkrét-folytonos viselkedés miatt az állapottér modell nem írható föl input-affin alakban. Ezért valamilyen alternatív megoldást kell keresni, de ehhez előbb érdemes megvizsgálni a kapcsoló mágnesszelep bemenet-kimenet viselkedését.

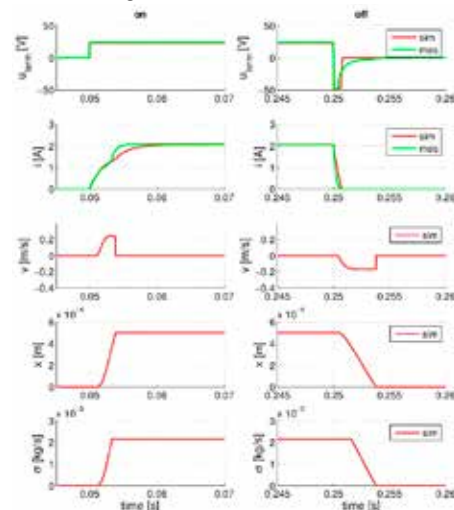
### BEMENET-KIMENET VIZSGÁLAT

A valós mágnesszelep viselkedését szimuláció és mérés segítségével is megvizsgáltuk. A szimulációnál figyelembe vett és a mérés során alkalmazott mágnesszelep paramétereit, valamint a zavarásvektor értékeit az **1. táblázatban** gyűjtöttük össze.

Elnevezés	Szimbólum	Érték	Mértékegység
Adiabatikus exponens	K	1,4	-
Vákuum-permeabilitás	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	Vs/Am
Specifikus gázállandó	R	287,14	J/kgK
DS bekapcsolási ellenállás	$r_{DS(on)}$	0,071	$\Omega$
Letörési feszültség	$U_{BR}$	71	V
Beömlőnyílás-átmérő	d	0,0015	m
Armatúra-átmérő	$d_{arm}$	0,01	m
Rugómerevség	s	489	N/m
Rugó-előfeszítés	$x_0$	0,0102	m
Ülékpozíció	$x_{1,lim}$	0	m
Lökorkorlát	$x_{2,lim}$	0,0005	m
Armatúratömeg	m	0,012	kg
Tekercsmenetek száma	N	600	-
Tekercsellenállás	R	11,24	$\Omega$
Tekercs-rektancia	R	$1,2 \times 10^7$	A/Vs
Kontraktációs tényező	$\alpha$	0,63	-
Armatúracsillapítás	k	30	Ns/m
Ülékmerevség	$c_1$	$1 \times 10^7$	N/m
Lökorkorlát-merevség	$c_2$	$1 \times 10^7$	N/m
Ülékcsillapítási tényező	$k_1$	$1 \times 10^7$	Ns/m
Lökorkorlát-csillapítás	$k_2$	$1 \times 10^7$	Ns/m
Tápfeszültség	$U_{sup}$	28	V
Abszolút tápnyomás	$p_{in}$	$7 \times 10^5$	Pa
Abszolút környezeti nyomás	$p_{out}$	$1 \times 10^5$	Pa
Táphőmérséklet	$T_{in}$	293	K

1. táblázat: paraméterek és zavarások listája

Aszimulációs vizsgálat első lépésében megvizsgáltuk a modellezett mágnesszelep dinamikus viselkedését, és összehasonlítottuk a modell kimeneteit a mágnesszelepen mérhető jelekkel. A **3. ábrán** a nyitási és a zárási transzienseket ábrázoltuk az idő függvényében. A szeleppmodell kimenetei közül a tekercs kapcsai között mérhető feszültséget és a tekercsáramot tudtuk mérni. Összevetve a mérési eredményt a szimulációval, elmondható, hogy a modell jól közelíti a valóságot, annak ellenére, hogy a nagyobb áramok tartományában a szimuláció és a mérés értékei eltérnek. Ennek az az oka, hogy a mágneses tér telítődése miatt a lineáris összefüggéssel modellezett mágneses tulajdonságok eltérnek a valóságtól. Az ábrából továbbá ki lehet olvasni a mágnesszelep jellegzetes viselkedését, például az armatúra mozgás hatására létrejövő mozgási indukció hatását a tekercs áramára, amiből következtetni lehet az armatúra felültökésére. Egy másik jellegzetesség a légtömegáram diszkrét folytonos viselkedése a d/4 löketnél, ahol az áramlási keresztmetszet a (17) egyenletnek megfelelően változik.

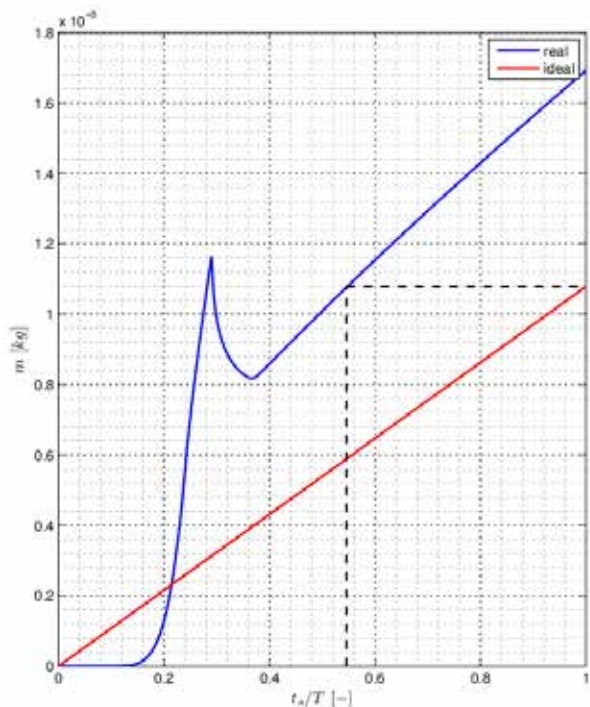


3. ábra: a nyitási és a zárási transziensek





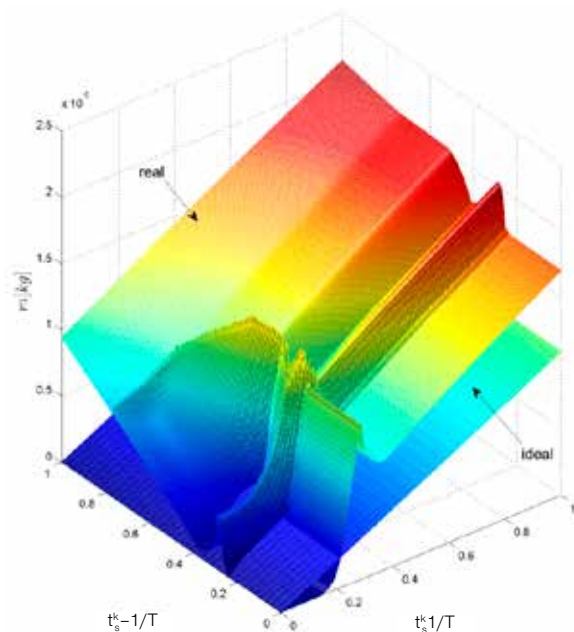
A szimulációs vizsgálat második lépésében megvizsgáltuk, hogy a modellezett mágnesszelep  $t_s$  bekapcsolási idő hatására mekkora tömegű sűrített levegőt szállít az adott zavarásvektor esetén. A **4. ábrán** a szállított sűrített levegő tömeg görbéjét láthatjuk a  $t_s/T$  függvényében, ahol  $T$  a szelepparancs frissítési periódusa.



4. ábra: a szállított sűrített levegő tömeg görbéje

Az ideális szelep lineáris összefüggésben van a bekapcsolási idővel, és az egyenes meredeksége megadja a légtömegáramot. A valós mágnesszelep görbéje nem lineáris a  $t_s/T$  függvényében, mert a nyitási és zárási transziens befolyásolja a szállított sűrített levegő tömegét. A nemlinearitást az áram felfutásának és az armatúrának a dinamikája okozza, mert az áramnak el kell érnie a visszatérítő rugó erejének megfelelő nyitási értéket ahhoz, hogy gyorsítani tudja az armatúrát, és ez késleltetést okoz. A másik nemlinearitás a tekercs mozgási indukciójából adódik, ugyanis az armatúra mozgása olyan irányú feszültséget indukál, ami csökkenti a tekercs áramát, így a hosszabb bekapcsolási idő ellenére erről a csökkent áram értékről lekapcsolva hamarabb elejt a szelep, és kevesebb levegőtömeget szállít. Ez a jelenség adja a nem monoton jellegét a karakterisztikának. Továbbá a nyitási idő növelésével a valóságos szelep egy idő után már nem tud visszazárni  $T$  perióduson belül, és ennek következtében  $t_s/T = 0.546$  nyitási időtől kezdve már több levegőt szállít a valóságos szelep, mint amennyit egy ideális szelep szállítana  $T$  periódus alatt (szaggatott vonal). Megfelelő hosszú nyitási idők után a két görbe párhuzamosan halad tovább, mert a transziensek különbségének a hatása egyre kisebbé válik.

Mivel a szeleppnyitás hatása valós szelep esetén nem csak a  $T$  perióduson belül fejt ki hatását ellentétben az ideális szeleppel, újabb szimulációkat végeztünk, és megvizsgáltuk a valós szelep levegőtömeg átbocsátását abban az esetben, ha a vizsgált periódus előtt is volt szeleppkapcsolás. Így a kapcsolási idők rendre  $t_s^{k-1}$  és  $t_s^k$  a  $(k-1)$ . és a  $k$ . periódusban. Az **5. ábrán** a levegőtömeg átbocsátási felületből látható, hogy a  $(k-1)$ . periódusban létrehozott bekapcsolás hatással van a következő periódusban létrehozott bekapcsolás levegőtömeg átbocsátásának értékére, ahogy azt vártuk a valós szelep esetében.



5. ábra: a szállított sűrített levegő tömeggörbéje két egymást követő kapcsolás esetén

Az átbocsátási felületen mind  $t_s^{k-1}/T$  és  $t_s^k/T$  tengelyek irányában jelentkeznek a mozgási indukció által létrehozott nemlinearitások (hegygerinc)  $0.29$ -es  $t_s^{k-1}/T$  és  $t_s^k/T$  értékeknél. Egy további érdekesség, hogy a  $t_s^{k-1}/T$  tengellyel kezdetben párhuzamos hegygerinc miután metszi a másik hegygerincet a  $t_s^{k-1}/T = t_s^k/T = 0.29$  pontban, már nem párhuzamosan halad a tengellyel. Ez az armatúra mozgási energiájának a hatásából ered, ugyanis a löketkorlát felé mozgó nagy sebességű armatúrának több időre van szüksége ahhoz, hogy visszatérjen az ülésre, mintha a löketkorláttól zérus kezdeti sebességgel indult volna, és ez a jelenség elferdíti a hegygerincet.

A valós szelep gáztömeg-átbocsátási felülete mellett az ideális szelep gáztömeg átbocsátási felületét is megjelenítettük. Utóbbi egy olyan sík, amely rajta fekszik a  $t_s^{k-1}/T$  tengelyen, és a meredeksége megegyezik a szelep légtömegáramával. Az eltérés az ideális és a valóságos szelepek nyitási dinamikája között jól látható a két felület különbségéből. Az egyik legjelentősebb viselkedésméltósági különbség az, hogy a valóságos szelep esetén a  $(k-1)$ . periódusban létrehozott kapcsolás jelentős tömegszállítást eredményez a  $k$ . periódusban még akkor is, ha ez utóbbi periódusban nem volt szeleppkapcsolás.

További szimulációk segítségével sikerült azt is bebizonyítani, hogy van olyan eset, amikor nemcsak a  $(k-1)$ , hanem a korábbi periódusban létrehozott kapcsolások is hatással vannak a  $k$ . periódusban létrehozott kapcsolás levegőtömeg átbocsátására. Így a bemenet-kimenet linearizálás során érdemes több egymás utáni periódusban megvalósított kapcsolást figyelembe venni.

## BEMENET-KIMENET LINEARIZÁLÁS

A megvalósítható légtömegáram kvantáltságának finomítására és ezzel egy lineáris bemenet-kimenet jelleg közelítésére egy megoldás lehet, a kapcsoló mágnesszelepek számának növelése. Ebben az esetben a megvalósítható kvantumszintek száma  $n$  db egyforma átbocsátási keresztmetszetű szelep esetén  $n+1$  vagy  $n$  db különböző átbocsátási keresztmetszetű szelep esetén  $2^n$ . Ezzel a kvantáltság ugyan javítható, de a szelepek beépítési költsége és geometriája a szelepek számával nő. Ezen felül az irányító algoritmusnak magas frissítési rátájának kell lennie, hogy a szelepeket kellő gyorsasággal tudja kapcsolni. Előny viszont, hogy

a szelepek terhelése a szelepszámmal csökken és a redundancia is biztosított.

Egy másik megoldás lehet a kvázi pulzus szélesség modulált (qPWM) módszer, vagy más néven alacsony frekvenciás PWM módszer, ahol a frekvencia az áramszabályozás frekvenciájához képest alacsony. Ez a módszer az integrálszámítás középértéktételét használja föl, ugyanis a T periódus alatt átlagos légtömégáram  $\bar{\sigma}_T$ , amelyet egy arányos szeleppel könnyedén be tudunk állítani, a megvalósítható légtömégáram K db szakaszonként folytonos függvényéből:

$$\bar{\sigma}_T = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{K-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \sigma^{(k)}(t) dt \quad (20)$$

Ideális kapcsoló mágnesszelepek esetén, ahol a kapcsolási idő zérus és a két megvalósítható légtömégáram zérus  $\sigma^{(0)} = 0$  és a maximális  $\sigma^{(1)} = m(t)$ :

$$\bar{\sigma}_T = \frac{1}{T} \int_0^{t_s} \sigma_m(t) dt \quad (21)$$

ahol a bekapcsolási időtartam  $t_s = i \times t_q$  a végfok legkisebb kapcsolási időlépésének ( $t_q$ ) és az időlépés számláló értékének (i) szorzata. Ha  $\sigma_m(t)$  konstans, akkor az átlagos légtömégáram a kitöltési tényező ( $t_s/T$ ) értékével arányos lesz, azaz  $\bar{\sigma}_T = \sigma_m \cdot (t_s/T)$ , és innen származtatható a PWM elnevezés.

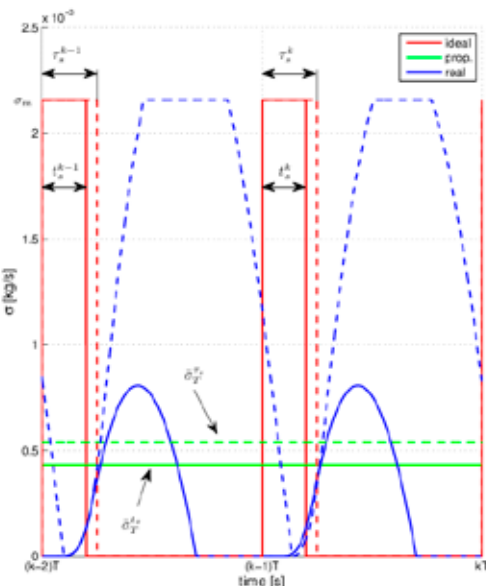
Ezzel a megvalósítható kvantumlépcsők száma egyenlő a végfok legkisebb kapcsolási időlépésének és a választott pulzus szélesség modulálás periódusidejének hányadosával. Így n db egyforma keresztmetszetű szelep esetén a kvantumlépcsők száma:

$$q = n \cdot t_q/T + 1 \quad (22)$$

ill. n db különböző keresztmetszetű szelep esetén:

$$q = (2^n - 1) \cdot t_q/T + 1 \quad (23)$$

A 6. ábrán két egymás utáni periódusban láthatjuk a kialakult légtömégáramokat az idő függvényében arányos, ideális kapcsoló és valóságos kapcsoló szelepek esetén  $t_s^{k-1} = t_s^k = 0.2$  (folytonos vonal) és  $\tau_s^{k-1} = \tau_s^k = 0.25$  (szaggatott vonal) bekapcsolási idők hatására.



6. ábra: a légtömégáramok alakulása arányos, ideális kapcsoló és valóságos kapcsoló szelepek esetén

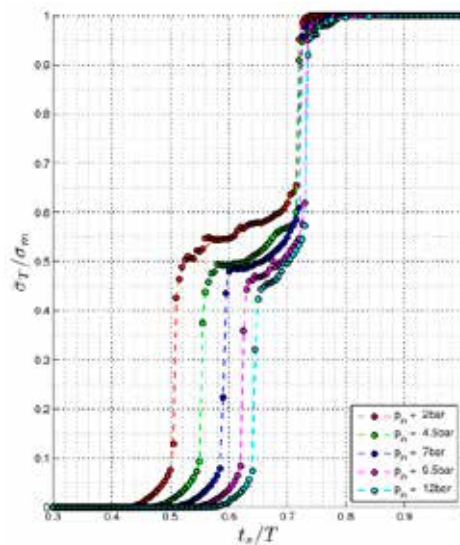
Az ábrából leolvasható, hogy az arányos szelep és az ideális kapcsoló szelep T periódusra vett átlag légtömégárama azonos, míg a valós kapcsoló szelepe eltérő. Továbbá az is jól látható, hogy kis kapcsolási idő növelése esetén a valós szelep légtömégáramának időfüggvénye nagyot változik. Ezért a valós kapcsoló szelep adott átlagos légtömégáramához szükséges bekapcsolási időtartamát valamilyen alkalmas módszerrel meg kell meghatározni.

Valós mágnesszelep esetén a kapcsolás dinamikája az (5)-(19) egyenletekkel írható le, ahol az aktuális légtömégáram  $\sigma^{(k)}(t)$  szakaszonként folytonos függvényei közötti váltás nemcsak a szelepkapcsolástól, hanem az állapot- és a zavarásvektortól is függ. Így a (14) egyenletből az adott légtömégáramhoz szükséges bekapcsolási időtartam analitikus úton nem határozható meg vagy olyan számításigényes, hogy beágyazott környezetben nem alkalmazható.

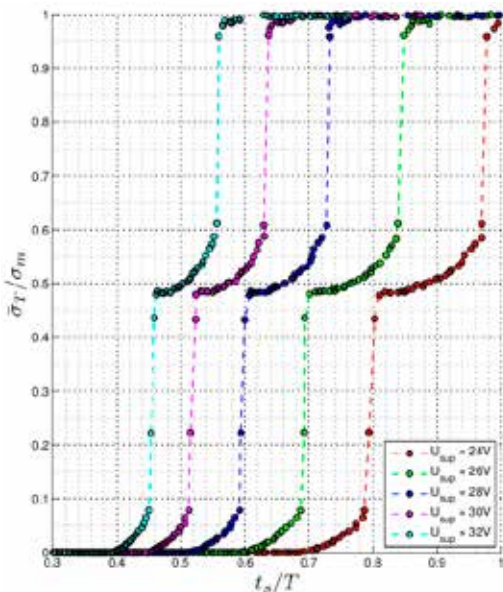
Az adott légtömégáramhoz szükséges bekapcsolási időtartamot empirikus úton is meghatározhatjuk. Mérési sorozat segítségével különböző szelephúzási időkhöz tartozó légtömégáramból a zavarások figyelembevételével rekonstruálni lehet a (20) egyenlet megoldását és abból az integrálási határokat, azaz az adott időtartamra vett átlagos légtömégáram létrehozásához szükséges kapcsolási időt. Ahogy azt az előző fejezetben említettük, a kialakuló légtömégáram, ill. az időegység alatt átbocsátott légtömég nemcsak az utolsó periódusban alkalmazott bekapcsolási időtől függ, hanem az azt megelőzőektől is. Ezért a mérések során több periódust kell figyelembe venni.

Mivel a mágnesszelepek dinamikája általában jóval nagyobb a pneumatikus munkahengerek dinamikájánál, ezért feltételezhetjük, hogy  $t_s$  értéke kellően lassan változik ahhoz, hogy a  $t_s^{k-1} = t_s^k$  feltételezéssel élhessünk. Ezzel a feltételezéssel olyan mérési sorozatokat készíthetünk, ahol nT periódus alatt  $t_s$  bekapcsolási idővel, azaz  $t_s/T$  kitöltési tényezővel megkapjuk az átlagos légtömégáramot, ügyelve arra, hogy n kellően nagy legyen a kívánt pontosság eléréséhez. A mérés esetében nem a szállított légtöméget, hanem a légtömégáramot ábrázoltuk, ellentétben a szimulációval, mert a további felhasználás során a légtömégáramra lesz szükségünk.

A zavarásvektorból az áramló sűrített levegő hőmérsékletét és a kimenet nyomását állandónak véve az alábbi két ábrán látható görbesereget kaptuk. A 7. ábrán, a  $p_n$  és a 8. ábrán, az  $U_{sup}$  zavarások különböző értékeivel ábrázoltuk a  $\bar{\sigma}_T/\sigma_m$  értékeket a  $t_s/T$  függvényében.



7. ábra: a légtömégáramok alakulása a  $t_s/T$  függvényében, különböző  $p_n$  zavarások esetén



8. ábra: a légtömégáramok alakulása a  $t_s/T$  függvényében, különböző  $U_{sup}$  zavarások esetén

Érdekes, hogy a mért karakterisztikáknál csekély mértékben jelentkezik a mozgási indukció hatása. Ez itt azzal magyarázható, hogy az áram növekedésével a mágneses tér telítődésbe megy és ez csökkenti a mozgási indukció hatását. Ahogy azt korábban említettük, a telítődés hatását a szimulációban elhanyagoltuk, így a szimuláció esetében a mozgási indukció hatása jól megfigyelhető volt.

Megvizsgálva a nyomásból származó zavarás hatását megállapíthatjuk, hogy a bemenetre és a kimenetre ható nyomások különbsége erősen nemlineáris kapcsolatban van a kialakuló légtömégárammal. Ez azzal magyarázható, hogy a nagyobb nyomáskülönbség egyre erősebben szorítja az armatúrát az ülékre és ahhoz, hogy a mágneses erő a rugó és a nyomás ellenében ki tudja mozdítani az armatúrát az ülékből, egyre nagyobb áramokra van szükség. Ráadásul a megnövekedett áram telítésbe viszi a mágneses teret, ami szintén erősíti a nemlinearitást.

Van egy harmadik tényező is, aminek hatása tovább rontja a helyzetet. A nyomásból származó erő az armatúra üléről való elmozdulásának pillanatában nagy dinamikával lecsökken, és a rugóerő mellett már csak az armatúrára torlóhatásból származó jóval kisebb erő hat az áram által keltett mágneses erővel szemben és ez azt eredményezi, hogy az armatúra hirtelen megindul. A görbék kezdeti kisebb meredekségű szakasza a nyomáskülönbség leépüléséig tart. A nyomáskülönbségből származó erő leépülésével az armatúra pozíciója olyan értékig növekszik, hogy a kialakult áram által létrehozott mágneses tér ereje és a rugó visszatérítő ereje egyensúlyban legyen. Természetesen az armatúra pozíciójának növekedésével a légtömégáram is megnövekedik, ami az első meredek szakaszok jelenlétét magyarázza.

A görbék második meredek szakasza azzal magyarázható, hogy hosszabb bekapcsolási idők után az armatúra már nem tud visszatérni az ülékre, és így a bemenet és a kimenet közötti nyomáskülönbség nem tud újból fölépülni, tehát a mágneses erő gyorsító hatása már csak a rugó és a nyomásból származó erő ellenében hat, ezért az armatúrát nagy dinamikával mozgatja a löketkorlát felé. Nyilvánvaló, hogy a nyomásfelépülés hiányából adódóan a görbék közötti eltérés lecsökken, és csak az áramlás különbségének hatásából adódik némi eltérés a görbék között. A fent említett jelenségek okozzák azt, hogy a kapcsoló szelepek armatúráját csak két állapotban lehet stabilizálni.

A tápfeszültség változásának hatása a kialakult légtömégáramra egyszerűbben magyarázható. A tápfeszültség változása a tekercs áramának dinamikájára hat a (7) egyenlet alapján. Szerencsére a tápfeszültség változásával a tekercs áramának dinamikája közel lineáris kapcsolatban van. Továbbá az armatúra dinamikája négyzetesen arányos a tekercs áramával a (8), (9) egyenletek alapján. Így a (14) egyenlet, azaz a légtömégáram alakulása is négyzetesen arányban lesz a tápfeszültség változásával, ahogy azt a 8. ábrán is láthatjuk.

Az eredményeket felhasználva elkészítettük a bemenet-kimenet linearizálást, úgy, hogy a bemenetre és a kimenetre ható nyomások különbsége szerinti görbéket memóriatáblában tároltuk, és a tápfeszültség változásának hatásával korrigáltuk a memóriatáblából kinyert függvény értékét. A memóriatáblában úgy tároltuk az adatokat, hogy a tábla címző bemenete a kívánt légtömégáram és a nyomáskülönbség legyen. A kimenete pedig az ehhez szükséges  $t_s/T$  értékek. Itt arra kellett ügyelni, hogy a címek értékeinek monotonnak kellett lenniük, hogy a hozzárendelés egyértelmű legyen. Ezzel az alábbi egyenlet szerinti megoldáshoz jutottunk:

$$t_s = T \cdot f(\bar{\sigma}_T / \sigma_m, \Delta p) \cdot \left( \frac{U_{sup}^{nom}}{U_{sup}^{act}} \right)^2 \quad (24)$$

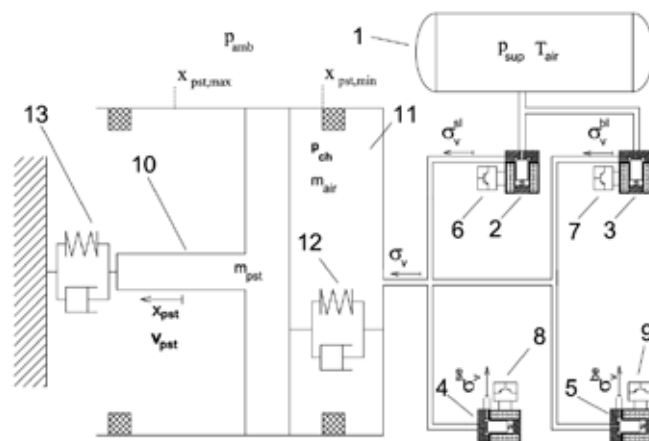
ahol  $U_{sup}^{nom}$  a névleges- és  $U_{sup}^{act}$  az aktuális tápfeszültséget jelöli.

Így interpoláció segítségével tetszőleges zavarás mellett a kívánt légtömégáramhoz tartozó bekapcsolási időt meg tudtuk határozni, és a szelepparancsot a bekapcsolási időnek megfelelően tudtuk alakítani. Tehát eredményül azt kaptuk, hogy a kívánt és megvalósult légtömégáram között a kapcsolat közel lineáris. A számítási igény memóriatáblában tárolt adatok és lineáris interpoláció alkalmazásával alacsony értéken tartható, és ezzel a megoldással beágyazott környezetben futtatható algoritmushoz jutottunk.

### TAPASZTALATI EREDMÉNYEK

A tapasztalati eredményeket egy elektro-pneumatikus tengelykapcsoló működtető rendszer irányító algoritmusán keresztül mutatjuk be.

Az elektro-pneumatikus tengelykapcsoló (CBW – Clutch-by-Wire) sematikus rajzát a 9. ábrán láthatjuk, mely a következő elemekből áll.



9. ábra: az elektro-pneumatikus tengelykapcsoló (CBW) sematikus rajza

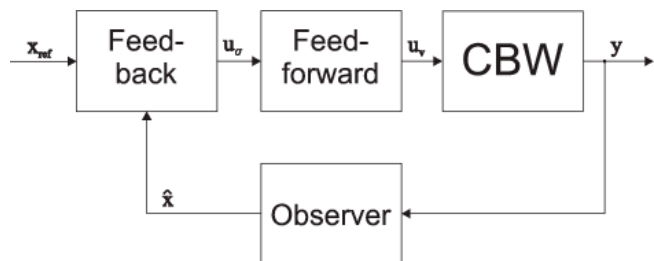


Egy sűrített levegős tartály (1) biztosítja a tápnyomás állandó értéken tartását. A működtetőbe négy darab 2/2-es kapcsoló mágnesszelepet integráltak. Ezekből kettőt (2, 3) a tartály és a kamra (11) közé, a másik kettőt (4, 5) pedig a kamra és a környezet közé. Így az első kettő szelep töltő, míg a második kettő ürítő feladatot lát el. A mágnesszelepek geometriája azonos, kivéve az átbocsátási keresztmetszetet, ugyanis két darab nagyobb és két darab kisebb keresztmetszetű szelepet tartalmaz a működtető. Így a négy szelepet a következő indexeléssel különböztetjük meg: sl, bl, se, be aszerint, hogy kisebb vagy nagyobb átbocsátási keresztmetszetűek, ill. töltő vagy ürítő feladatot látnak el. Minden mágnesszelephez tartozik egy végfok (6–9), melyek a szelepparancsokat transzformálják megfelelő kapcsolóesztétéssé. Ez a struktúra biztosítja a negatív és pozitív irányú elmozdulását a dugattyúnak (10), amely a kinyomó csapágyat mozgatja. A működtető tartalmaz továbbá egy rögzítő rugót (12), amely nekilöki a dugattyút a tengelykapcsoló mechanizmusának, ezáltal megszüntetve a légrést a kettő között. A fő terhelést a tengelykapcsoló szerkezetének tányérrugója (13) hozza létre a működtető ellenében.

A funkcionális követelmény egy tengelykapcsoló-működtető irányító algoritmussal szemben az, hogy a tengelykapcsoló által átvitt nyomatékot kontrollálni lehessen. Az átvitt nyomaték függvénye a működtető dugattyú pozíciójának, ezért a pozíciószabályozáson keresztül nyomatékszabályozást lehet megvalósítani.

A kapcsoló szelepekkel ellátott elektro-pneumatikus működtetésű tengelykapcsoló pozíciószabályozásának előírásai és kényszerei nagyban befolyásolják az alkalmazható irányító algoritmus típusát. Az elmúlt évtizedben több publikáció is megjelent a témában, például Lyapunov-függvény alapú kapcsolóirányítás [8, 9, 10, 11] vagy explicit modell prediktív irányítás [12, 13, 14]. Ezeket az irányító algoritmusokat még kisebb átbocsátási keresztmetszetű szelepekkel szerelt tengelykapcsoló-működtetők irányítására dolgozták ki.

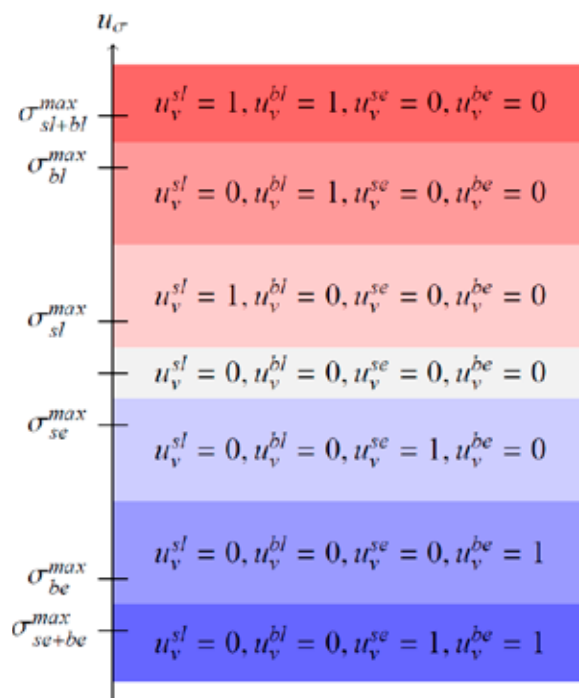
Az általunk javasolt irányító algoritmusok, a lineáris kvadratikus szervo és a csúszó mód irányítások már lehetővé teszik, hogy nagyobb átbocsátási keresztmetszetű szelepeket alkalmazzunk a kívánt dinamika és jelkövetési pontosság eléréséhez. Ezek a megoldások magukban foglalják azt, hogy az irányító algoritmus struktúrájának a kaszkád előre-csatolt-visszacsatolt irányító algoritmusok családjába kell tartozniuk, ahol a visszacsatolás biztosítja a jelkövetést, a stabilizálást és a zavarelnyomást. Továbbá az előre-csatolás lehetővé teszi a szelepek megfelelő kapcsolását [4, 5]. Az előre-csatolt-visszacsatolt irányító algoritmus struktúráját a **10. ábrán** láthatjuk, ahol a teljes állapot visszacsatolást megfigyelő alkalmazásával valósítottuk meg, mivel a rendelkezésre álló érzékelőkkel nem lehetett az összes állapotot mérni.



10. ábra: az előre-csatolt-visszacsatolt irányító algoritmus struktúrája

A szabályozás bemenete a referenciapozíció ( $x_{ref}$ ), melyből az adott állapotnak megfelelően a visszacsatoló algoritmus meghatározza a kívánt légtömegáramot ( $u_v$ ), majd az előre-csatoló algoritmus megvalósítja azt a megfelelő szelepparancsokkal ( $u_v$ ).

A pozíciószabályozás előírásának megfelelően, mely szerint töltő- és ürítőszelep nem kapcsolható egyszerre, a legegyszerűbb megoldás a kívánt légtömegáram megvalósításának közelítésére, hogy felhasználjuk a szelepkapcsolások variációit, a különböző szeleppátbocsátási keresztmetszeteknek megfelelően. Így három különböző légtömegáramot tudunk megvalósítani töltő és ürítő irányba. A megvalósítható légtömegáramszinteket és a megfelelő szelepparancs-variációkat a **11. ábrán** láthatjuk.

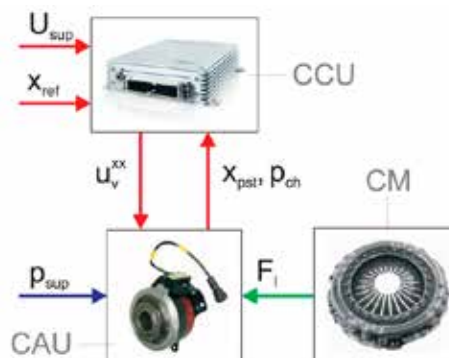


11. ábra: a megvalósítható légtömegáramszintek és a megfelelő szelepparancsok variációi

Ez kvantáláshibát fog okozni a kívánt és a megvalósított légtömegáram között, de ha a szelepparancsok frissítése kellően gyakori, a rendszer irányítható marad.

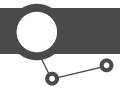
A másik megoldás az előző fejezetben tárgyalt qPWM-módszer, ahol az előre-csatolás T periódusidővel a kívánt légtömegáramnak, a zavarásoknak és a szelep karakterisztikájának megfelelően végrehajtja a szelepparancsot, amely  $t_s$  ideig magas szintű, majd alacsony szintű a periódus végéig. Így a visszacsatoló algoritmus elég, ha T periódusidejű frissítéssel fut, ami nagyban csökkenti a számítási költséget.

Az elektro-pneumatikus tengelykapcsoló működtető egysége (CAU) integrált végfokokkal, szelepblokkal és központi kinyomó csapágygal, a tengelykapcsoló mechanizmusa (CM), valamint az irányítóegység (CCU) a **12. ábrán** látható.



12. ábra: elektro-pneumatikus tengelykapcsoló rendszer



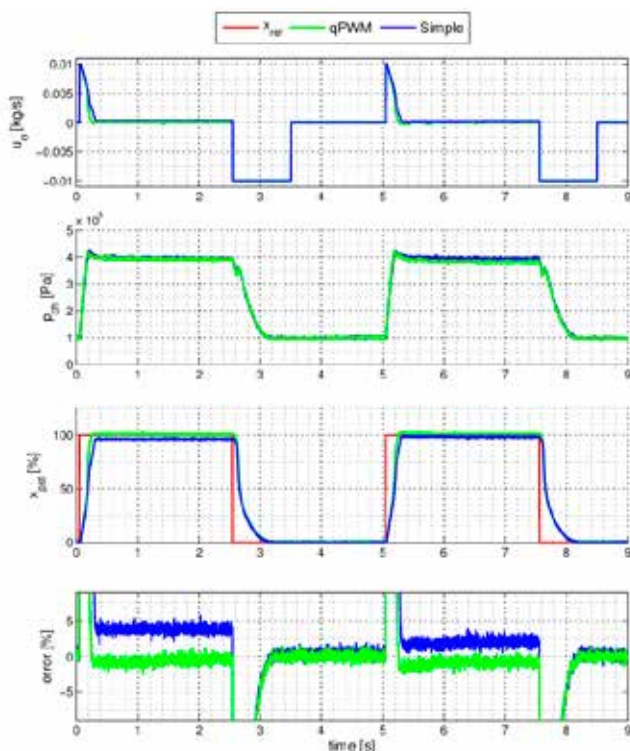


A működtetőt pozícióérzékelővel szereltük, így mérni tudtuk a dugattyú aktuális pozícióját, amely közvetlen kapcsolatban van a kinyomó csapággal. Továbbá egy nyomásérzékelőt kapcsoltunk a működtető kamrájához, hogy mérjük a kamra aktuális nyomását is. A CAU 9.5 bar abszolút nyomású táptartályról tápláltuk. Egy mérő PC segítségével generáltuk a referenciajelet a tengelykapcsoló irányító egységnek (CCU). Ezzel egy elektro-pneumatikusan működtetett tengelykapcsoló (CBW) rendszert kaptunk, amellyel tetszőlegesen tudjuk változtatni a működtető dugattyújának pozícióját és ezen keresztül az átvitt nyomatékot. Így a referenciajel ( $x_{ref}$ ) az egyik bemenete a CCU-nak, emellett a CCU megkapja az aktuális pozíciót ( $x_{pst}$ ) és a kamranyomást ( $p_{ch}$ ), amelyek a visszacsatolások a CAU-tól. A CCU kimenetei a szelepparancsok ( $u_v^{xx}$ ). A működtető által létrehozott erő a terhelés ( $F_l$ ) ellen hat és a kívánt pozícióba kényszeríti a tengelykapcsoló mechanizmusát (CM), és ezzel megvalósítja a kívánt tengelykapcsolást.

Az egyszerűbb előreccsatolás esetén a teljes irányító algoritmus 1 ms frissítéssel futott és 1 ms-onként adta ki a szelepparancsot. Továbbá a **11. ábrának** megfelelően kvantált légtömegáramot valósított meg.

A qPWM előreccsatolás esetén az irányító algoritmus  $T=5$  ms frissítéssel határozta meg a bekapcsolási időt ( $t_p$ ), amit a szelep meghajtó szoftver megszakítás segítségével  $t_q=1 \mu s$  pontossággal valósított meg. A szelepparancsokra vonatkozó megkötés miatt (23) összefüggés nem alkalmazható közvetlenül, viszont szelepenként számolva ( $n=1$ ) 5001 kvantumlépcső adódik, ami azt eredményezi, hogy töltő, ill. ürítő irányba összesen 10001-10001 kvantumlépcső lesz elérhető, ha kis légtömegáramok esetén csak a kis átbocsátási keresztmetszetű szelepeket alkalmazzuk, ill. nagy légtömegáramok esetén a megfelelő kis szelep folyamatos nyitása mellett a nagy átbocsátási keresztmetszetű szelepeket is kapcsoljuk.

Így a második esetben a számítási költség jóval kedvezőbb alakult, mint az elsőben. Az ellenőrző mérés során a pozíciószabályozást megvalósító visszacsatoló algoritmusként csúszó mód irányítást (SMC) alkalmaztunk [4].



13. ábra: a pozíciószabályozás válaszai ugrás függvények esetén

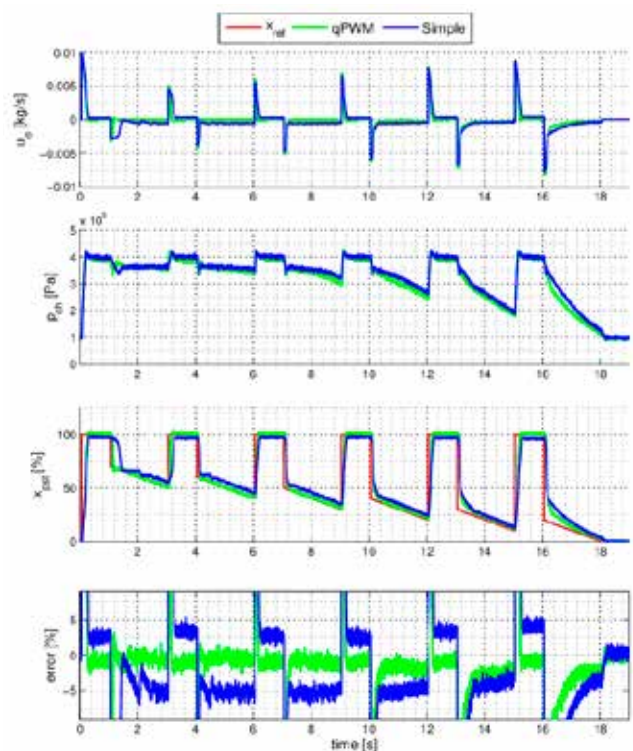
A mérés céljából azt tűztük ki, hogy bemutassuk a két előreccsatoló algoritmus viselkedési sajátosságát, és hatását a tengelykapcsoló előreccsatolt-visszacsatolt pozíció szabályozásának dinamikájára. Ezért a teljesítmény mérőszámának a zárt hurkú szabályozási kör referenciapozíció követési képességét választottuk.

Két tesztesetet hajtottunk végre a jelkövetési képesség vizsgálatára. Az első esetben két 100% löketű ugrásfüggvényt alkalmaztunk a beállási idők mérésére, míg a második esetben tipikus tengelykapcsoló összezárás/csúsztatás függvényeket valósítottunk meg különböző löketek mellett, hogy megvizsgáljuk a beállási idejét a csúsztatási fázisoknak és elkapjuk a kritikus túllövések értékeit.

Az ugrásfüggvények esetén négy időtartamot különböztettünk meg az indulási és elérési löketeknek megfelelően (**13. ábra**). A kiértékelés során a két ugrásfüggvényen mért megfelelő időknek vettük a számtani közepeit, és összefoglaltuk azokat a **2. táblázatban**. A megfelelő indulási és elérési löketek értékeit az alsó indexben tüntettük fel ( $T_{xx-xx\%}$ ).

A második tesztesetben hat összezárást végeztünk. Mindegyik 100% löketről indult, majd azt követően pillanatszerűen leugrott 70%, 60%, 50%, 40%, 30% és 20% löketre, majd egy lineáris rámpán haladt lefelé, további 20% löketet megtéve 2 másodperc alatt (**14. ábra**). Minden rámpa esetén meghatároztuk az időtartamát a leugrás utáni hiba 5% alá csökkenésének ( $T_r-T_e$ ), valamint a kritikus túllövéseket ( $s_1-s_6$ ) a rámpák mentén. Az idő és túllövés faktorok mellett a jelkövetési hibát is kiértékeljük mindkét tesztesetre  $L_2$ -es normában.

A mérési eredmények alapján láthatjuk, hogy mindkét előreccsatolás esetén jó jelkövetést értünk el, és az előírt értékeket teljesítettük. Továbbá összehasonlítva a mérőszámokat elmondható, hogy a qPWM előreccsatolás esetén mind a beállási idők, mind a jelkövetési hibák kedvezőbb alakultak. Ennek az a magyarázata, hogy a csúszó mód irányítás nem tartalmaz integrátort, ezért a maradó hiba a legkisebb kvantumlépcsővel lesz arányos. Mivel a qPWM előreccsatolással pontosabb kvantálást tudunk megvalósítani, a maradó hiba is kisebb értékű lett.



14. ábra: a pozíciószabályozás válaszai csatolás/csúsztatás függvények esetén

Faktor	Előírás	Egyszerű	qPWM	Mértékegység
		előreccsatolás	előreccsatolás	
$T_{0-95\%}$	0,2	0,22	0,193	s
$T_{100-95\%}$	0,04	0,035	0,037	s
$T_{0-5\%}$	0,04	0,032	0,031	s
$T_{100-5\%}$	0,5	0,395	0,398	s
$L_2$ norma	8	7,02	6,84	-
$T_1$	0,1	0,374	0,042	s
$T_2$	0,13	0,118	0,077	s
$T_3$	0,15	0,168	0,063	s
$T_4$	0,2	0,276	0,085	s
$T_5$	0,25	0,514	0,13	s
$T_6$	0,3	1,216	0,192	s
$s_1$	3	0,5	2,86	%
$s_2$	3	0	1,75	%
$s_3$	3	0	0,71	%
$s_4$	3	0	0,12	%
$s_5$	3	0	0	%
$s_6$	3	0	0	%
$L_2$ norma	4	3,7	3,39	-

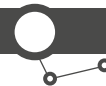
2. táblázat: a pozíciószabályozás faktorai

## ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott kutatási munkában egy elektro-pneumatikus 2/2-es kapcsoló mágnesszelep bemenet-kimenet linearizálását valósítottuk meg. Szimulációs környezetben megvizsgáltuk a szelepek tranziens tulajdonságait, és részletesen kiértékeljük a szelep bekapcsolási idő hatására létrejövő légtömeg átbecsátási görbéit. A tapasztalatok felhasználásával két algoritmust javasoltunk a linearizálási probléma megoldására. A két megoldást egy elektro-pneumatikusan működtetett tengelykapcsoló előreccsatolt-visszacsatolt csúszó mód irányító algoritmusával ellenőriztük. Az eredményeket kiértékeljük és arra a következtetésre jutottunk, hogy a bemenet-kimenet linearizációra javasolt qPWM-módszer kevesebb számítási igény mellett kedvezőbb eredményeket hozott, mint az egyszerű szelepváriációs megoldás. ●

## IRODALOM

- [1] A. Mehmood, S. Laghrouche, M. E. Bagdouri, Modeling identification and simulation of pneumatic actuator for VGT system, Sensors and Actuators A: Physical 165 (2011) 367 – 378.
- [2] K. Khayati, P. Bigras, L.-A. Dessaint, LuGre model-based friction compensation and positioning control for a pneumatic actuator using multiobjective output-feedback control via LMI optimization, Mechatronics 19 (2009) 535 – 547. Robotics and Factory of the Future, New Trends and Challenges in Mechatronics INCOM 2006.
- [3] F. Xiang, J. Wikander, Block-oriented approximate feedback linearization for control of pneumatic actuator system, Control Engineering Practice 12 (2004) 387 – 399. UKACC Conference Control 2002.
- [4] B. Szimandl, H. Németh, Sliding Mode Position Control of an Electro-Pneumatic Clutch System, in: System, Structure and Control, Vol. 5, Part 1, Grenoble, France, pp. 707–712.
- [5] B. Szimandl, H. Németh, Optimal position control of an electro-pneumatic clutch system, in: Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'12), Seoul, Korea.
- [6] P. I. Barton, C. C. Pantelides, Modeling of combined discrete/continuous processes, AIChE Journal 40 (1994) 966–979.
- [7] A. Isidori, Nonlinear Control Systems, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 3rd edition, 1995.
- [8] H. Sande, T. Johansen, G.-O. Kaasa, S. Snare, C. Bratli, Switched backstepping control of an electropneumatic clutch actuator using on/off valves, in: American Control Conference, 2007. ACC '07, pp. 76–81.
- [9] H. Langjord, T. Johansen, J. Hespanha, Switched control of an electropneumatic clutch actuator using on/off valves, in: American Control Conference, 2008, pp. 1513–1518.
- [10] H. Langjord, T. Johansen, C. Bratli, Dual-mode switched control of an electropneumatic clutch actuator with input restrictions, in: European Control Conference, 2009, pp. 2085–2090.
- [11] H. Langjord, T. Johansen, Dual-Mode Switched Control of an Electropneumatic Clutch Actuator, Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on 15 (2010) 969–981.
- [12] A. Grancharova, T. Johansen, Explicit Approximate Model Predictive Control of Constrained Nonlinear Systems with Quantized Input, in: Nonlinear Model Predictive Control: Towards New Challenging Applications, volume 384, pp. 371–380.
- [13] A. Grancharova, T. Johansen, Explicit Model Predictive Control of an Electropneumatic Clutch Actuator Using On-Off Valves and Pulse-width Modulation, in: European Control Conference, 2009, pp. 4278–4283.
- [14] A. Grancharova, T. Johansen, Design and Comparison of Explicit Model Predictive Controllers for an Electropneumatic Clutch Actuator Using On/Off Valves, Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on 16 (2011) 665–673.



# Rankine-folyamat vizsgálata haszongépjárműveken

**SZÜCS GÁBOR**

PhD-hallgató  
BME Gépjárművek és  
Járműgyártás Tanszék

**DR. NÉMETH HUBA**

egyetemi docens  
BME Gépjárművek és  
Járműgyártás Tanszék

A napjainkban meg tapasztalható olajár-növekedés és az intenzív törekvések a károsanyag-kibocsátás csökkentését eredményezik, veszteség-hő újrahasonítási technikák jelentek meg a belső égésű motorok hatásfokának javítására. Nehézkategóriás teherautók esetén erre a célra a Rankine-körfolyamat ígérkezik a legjobb megoldásnak, ezért ebben a cikkben erre fókuszálunk. Rövid kitekintést követően az elméleti háttér, majd a járműves felhasználás korlátairól esik szó. Ezt követően először az elpárologtatót, majd a teljes rendszert vizsgáljuk, a szabályozási paraméterek függvényében. Végül meghatározzuk a legkedvezőbb szabályozási paramétereket.

With increasing oil price and growing interest in cutting greenhouse gases emissions, waste heat recovery techniques appear as promising path to enhance the thermal efficiency of internal combustion engine drivelines. The Rankine-cycle is showing promising results for waste heat recovery on long haul truck application. This paper focuses on the Rankine-cycle system for heavy duty application. After a brief introduction, the theoretical background and the constraints are highlighted inherent to commercial vehicles. First the evaporator, then the whole cycle is analyzed regarding the effects of the control parameters. As conclusion, the most preferable control parameters are determined.

## BEVEZETÉS

A napjainkban meg tapasztalható gazdasági bizonytalanságok, a növekvő olajárak, valamint a szigorodó emissziós előírások arra ösztönzik a haszongépjármű-gyártókat, hogy versenyképességük növelése érdekében, egyre hatékonyabb rendszereket fejlesszenek. A teherautó-üzemeltetők számára a sofőr fizetése után a második legmagasabb költségvetést a tüzelőanyag jelenti [1], ezért a legjelentősebb fejlesztési irány a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése. Ezen kívül a jövőben várható CO<sub>2</sub> törvényi előírások teljesítésére szintén a fogyasztás csökkentése az egyik fő lehetőség.

A gépjárművek hatásfokát vizsgálva megfigyelhető, hogy jelentős mennyiségű energiát disszipál a környezetbe közvetlenül a kipufogógázokon keresztül, vagy közvetett módon a járművön található hőcserélőkön keresztül (1. ábra).

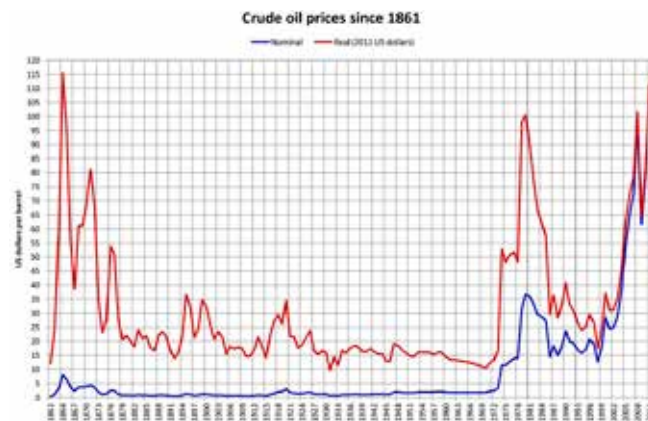


1. ábra: egy belső égésű motor veszteségeinek Sankey-diagramja [2]

Az említett gazdasági és törvényi nyomások hatására fejlesztések indultak ennek a veszteség-hőnek a kiaknázására. A hő legeredményesebb felhasználására a Rankine-körfolyamat tűnik a legalkalmasabbnak a hatásfokot, valamint a megvalósíthatóságot figyelembe véve. Az említett körfolyamat egy termodinamikai folyamat, mely egy külső hőforrást használ a zárt körben lévő munkaközeg melegítésére. Az elpárologtatott folyadék segítségével egy expanziós gépen keresztül mechanikai munkát nyerünk.

A járművek veszteség-hőjének újrahasonítása nem újszerű ötlet, már a '70-es évek végén tanulmányokat írtak ennek lehetőségeiről teherautó-motorok esetén [3, 4]. A következő jelentős

kutatások már az ezredforduló utáni időszakra tehetőek, amikor mind haszongépjárművek [5, 6], mind személygépjármű esetén [7] jelentős kutatási eredmények jelentek meg. Érdekes összefüggést lehet megfigyelni az olajár alakulása és a fejlesztési periódusok között (2. ábra). A '70-es években az olajválság hatására, valamint a 2000-es évek gazdasági világválságának köszönhetően a kőolaj ára jelentősen megugrott. Feltehetően ennek volt köszönhető, hogy a válság időszakában kezdtek el foglalkozni a veszteség csökkentésére irányuló fejlesztésekkel.

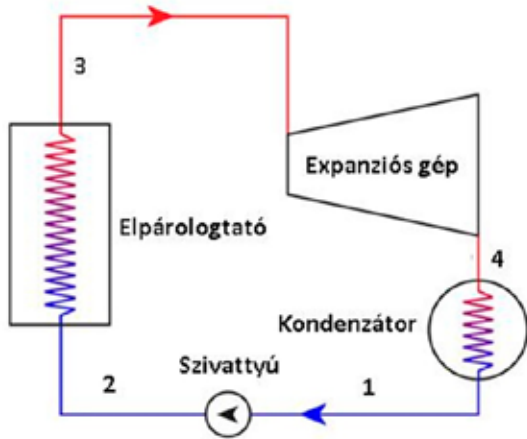


2. ábra: olajárak 1861 és 2011 között. A kék görbe a mindenkori árat jelöli, a piros az inflációval számított (2011-es amerikai dollárral számítva) [8]

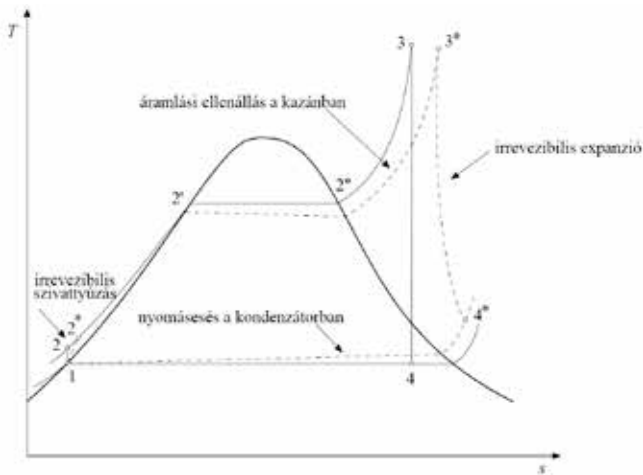
A továbbiakban először a Rankine-körfolyamat elméleti háttérével foglalkozunk, majd a rendszer járműves alkalmazásának korlátairól esik szó. Ezt követően az elpárologtató viselkedését vizsgáljuk a munkaközeg tömegáramának és nyomásának függvényében, kísérleti eredmények alapján. Ezután modell alapú szabályozási hatásvizsgálatokkal foglalkozunk.

## A RANKINE-KÖRFOLYAMAT

A Rankine-körfolyamat négy főbb komponensből épül fel: szivattyú, elpárologtató, expanziós gép és a kondenzátor. A folyamat jobb megértése érdekében a körfolyamatot a 4. ábra T-s diagramban ábrázolja.



3. ábra: a Rankine-körfolyamat sematikus vázlata



4. ábra: a Rankine-körfolyamat T-s diagramban [9]

Az 1. pontban a folyadék alacsony nyomáson van, melyet a szivattyú egy magasabb nyomású szintre emel (2. pont). A szivattyút követően a munkaközeg az elpárolgatóba kerül, ahol a külső hőbevitel hatására elpárolg (3. pont). A fázisátalakulást a T-s diagramban vízszintes izoterma mutatja (2'-2"). A 2" pont utáni rész a túlhevítési fázis, amikor a száraz telített gőz hőmérsékletét növeljük. A nagy nyomású gőz az expanziós gépben leexpandál, melynek eredményeként hasznos munkát kapunk. A leexpandált közeg a kondenzátorban lehűl, és folyadék állapotba kerül (4. pont). Ezután a folyamat előlől kezdődik. A 4. ábrán szaggatott vonallal látható a valós körfolyamat, melyet a feltüntetett hatások befolyásolnak.

Az elméleti gőzkörfolyamat számítása [10] szerint, a tömegegységre vonatkoztatott hőmennyiségek:

$$|q_{be}| = h_3 - h_2 \quad (1)$$

$$|q_{ki}| = h_4 - h_1 \quad (2)$$

Ahol h az entalpia, az indexben található jelölés pedig a T-s diagramban (4. ábra) jelölt állapotot jelenti.

A körfolyamatból nyert fajlagos munka:

$$|w_h| = |w_{ki}| - |w_{be}| = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) \quad (3)$$

A körfolyamat termikus hatásfoka pedig:

$$\eta_{th} = \frac{|w_{ki}| - |w_{be}|}{|q_{be}|} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \quad (4)$$

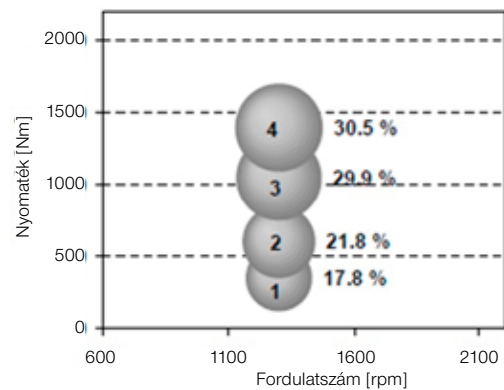
A képleteket elemezve megállapítható, hogy a termikus hatásfok úgy növelhető, ha a hőbevitel magas hőmérsékleten, a hőelvonás pedig alacsony hőmérsékleten történik.

## A VESZTESÉGHŐ ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁNAK KORLÁTAI HASZONGÉPJÁRMŰVEK ESETÉN

A Rankine-körfolyamatot széles körben alkalmazzák az iparban veszteség-hő újrahasonosítására, azonban járműves alkalmazásban számos korlátozással kell szembenézni, melyek közül néhányat a következőkben tárgyalunk.

### Hőforrás

Nehézkategóriás teherautók üzemállapotuk jelentős hányadában közel stacioner módon üzemelnek, egyenletes sebességgel (5. ábra), ahol alapvetően csak a motorterhelés változik az útellenállás függvényében. Ennek köszönhetően tartós stabil hőforrást jelentenek a körfolyamat számára.



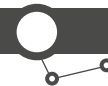
5. ábra: egy nehézkategóriás haszongépjármű motorjának regisztrált munkapontjai, és azok eloszlása egy adott útszakaszon [11]

A hőforrás tekintetében a járművön három lehetőséget lehet számításba venni: a motor hűtőköre, a feltöltő levegő hője (CAC), valamint a kipufogógázok hője. A hűtőkör maximális hőmérséklete nagyjából 100 °C, a töltőlevegő pedig maximálisan 130–170 °C. Ezeknél a kipufogógázok hőmérséklete lényegesen magasabb, a feltöltő turbínája előtt 300–800 °C, a turbina után 250–650 °C. Egy nehézkategóriás dízelmotor kipufogógázában rejlő energia potenciálja az 1. táblázatban látható.

MUNKAPONTOK	A25	A100	C25	C100
EGR-hűtő energiája/Tüzelőanyag-energia [%]	9,8	9,9	13,6	11,6
Hasznos kipufogóenergia/Tüzelőanyag-energia [%]	21,5	21,5	21,4	22,1
Turbina előtti kipufogógáz exergiája [kW]	9	43	20	71
Turbina utáni kipufogógáz exergiája [kW]	13	59	18	81
Teljes elérhető exergia a Rankine-körfolyamat számára [kW]	22	73	38	152

1. táblázat: a kipufogógázból kinyerhető energia adott ESC-vizsgálatai a ciklus néhány munkapontjában [12]





Lényeges exergiája a kipufogógáznak van, ezért hatékonyan csak ennek a hőjét lehet felhasználni. Két potenciális helyen lehet a hőt visszanyerni: turbina előtt és turbina után. Turbina előtti kipufogógáz esetében a hőmérséklet magasabb, azonban a tömegárama általában alacsonyabb a turbina utáni esethez képest.

A cikk további pontjaiban mind a tömegáram, mind a hőmérséklet hatását vizsgálni fogjuk. Természetesen a két hőforrás (turbina előtti EGR-hűtő és turbina utáni hőcserélő) együttes alkalmazása is lehetséges, azonban a több komponens, valamint a rendszer bonyolultsága miatt a költségek jelentősen nőnek.

### Hőelvonás

A Rankine-körfolyamat alkalmazásával a járművön az elvonandó hő mennyisége megnő a kondenzáció során felszabaduló hő mennyiségével. A hőelvonás történhet közvetlen és közvetett módon. Közvetlen esetben a közeget a levegő hűti. Közvetett esetben egy köztes munkaközeg, mely esetében egy kiegészítő hőcserélőre van szükség. Előbbi előnye, hogy a kondenzáció alacsonyabb nyomáson mehet végbe. Utóbbi esetben a kiegészítő hőcserélő miatt a hőcserélő mérete kisebb, de a kettős hőátadás miatt a hatásfoka rosszabb. [11]

### Energiafelhasználás

A körfolyamat által nyújtott hasznos mechanikai energiát különbözőképpen lehet felhasználni, melyet erősen befolyásol az expanziós gép fajtája. Térfogat-kiszorításos expanderek (dugattyús, csavar, spirál) esetében a fordulatszám alacsonyabb, ami lehetővé teszi a közvetlen kapcsolódást a motor főtengelyére. Turbógépek esetében a fordulatszám jelentősen magasabb, ezért itt köztes hajtóműre van szükség. A térfogat-kiszorításos gépek másik nagy előnye, hogy kevésbé érzékenyek az expanzió során létrejövő folyadékcsappекre, melyek turbógépek esetén a lapátozást károsíthatják.

Villamos generátor meghajtása nyújthat még megfelelő alternatívát, azonban az expanziós gép szabályozását meg kell oldani vagy a fordulatszám szabályozásával, vagy a munkaközeg mennyiségének a szabályozásával megkerülő szelep alkalmazásával [11]. Valamint ebben az esetben a többszöri energiaátalakítás révén a hőhasznosítás romlik.

### Munkaközeg megválasztása

A munkaközeg alapjaiban határozza meg a körfolyamatot. Nemcsak termikus tulajdonságai fontosak az alkalmazás szempontjából, hanem a kémiai stabilitás is magas hőmérsékleten. Magas kritikus pont ajánlott, hogy minél szélesebb nyomás és hőmérséklet-tartományban lehessen üzemeltetni a folyamatot. A munkaközegnek kompatibilisnek kell lennie az érintkező anyagokkal, a korrózió, valamint az anyag stabilitása miatt. Járműves alkalmazás miatt nem elhanyagolható a környezeti hatás, valamint a biztonság mérlegelése sem.

Érzelhető, hogy a sok kritérium mellett kompromisszumra kell törekedni, járműipari kutatások alapján nehézkategóriás dízel-motorok esetén a víz, valamint az etanol lehet a legmegfelelőbb munkaközeg [14].

## ELPÁROLOGTATÓ VIZSGÁLATA

Ebben a bekezdésben kísérleti eredményeket vizsgálunk meg az elpárologtató viselkedésével kapcsolatban. A kísérlet során egy nehézkategóriás teherautóra implementálták a körfolyamatot, a munkaközeg pedig víz volt [14]. Az eredmények az európai stacioner ciklus (ESC) A100 munkapontjára vonatkoznak.

A munkaközeg energiáját az elpárologtató után a következő egyenlettel lehet kifejezni [14]:

$$E_{g\ddot{o}z} = \dot{m}_{mk} \cdot (h_2 - h_1) \quad (5)$$

Ahol  $\dot{m}_{mk}$  a munkaközeg tömegárama, a  $h_{foly}$  a víz entalpiája folyadék állapotban, értékét pedig a következő egyenlettel lehet számítani:

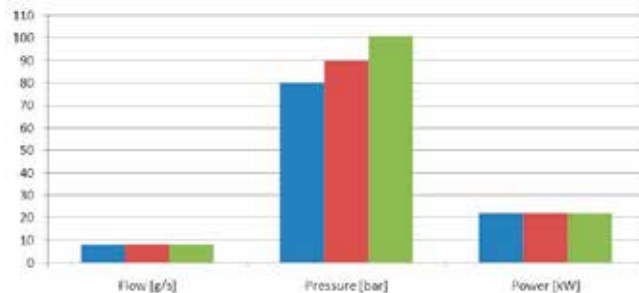
$$h_1 = h_{20^\circ C} + v_{viz} \cdot (p_{g\ddot{o}z} - p_{viz}) \quad (6)$$

Ahol  $h_{20^\circ C}$  a víz entalpiája 20 °C-on,  $v_{viz}$  a víz fajtérfogata,  $p_{foly}$  a víz nyomása gőz állapotban,  $p_{foly}$  a víz nyomása folyadék állapotban.

A  $h_{g\ddot{o}z}$  a gőz entalpiája, értékét pedig a Mollier-féle diagramból lehet kivenni, mivel a gőz hőmérséklete és nyomása ismert.

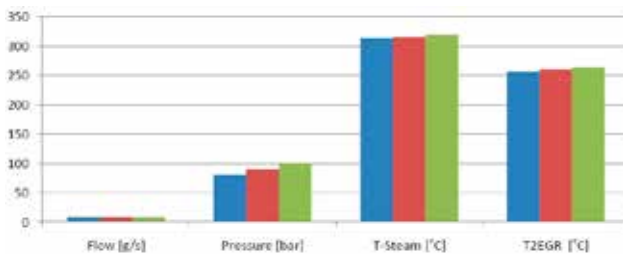
### A munkaközeg tömegárama állandó

Első lépésként a munkaközeg nyomásának hatását vizsgáljuk, miközben a tömegáram állandó volt. A **6. ábrán** látható, hogy a gőzteljesítményre nem volt hatással a nyomás változtatása.



6. ábra: nyomás változásának hatása az elpárologtató teljesítményre állandó tömegáram mellett [14]

Alacsonyabb nyomás esetén ugyanis nő a hőátadás, az EGR kimeneti kipufogógáz-hőmérséklete is csökken. Azonban a nyomás növelésével a gőz hőmérséklete nő, és ezáltal a termikus hatásfok javul, mint ahogy a bevezetőben láthattuk.



7. ábra: a nyomás változásának hatása a gőz és az EGR kimeneti hőmérsékletére állandó tömegáram mellett [14]

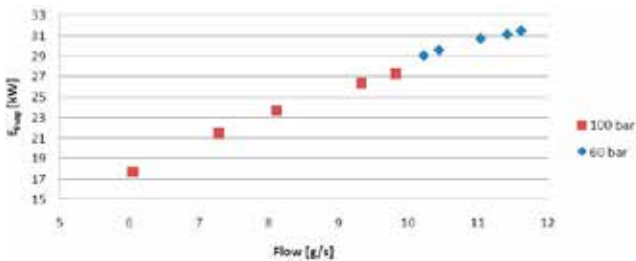
### A munkaközeg nyomása állandó

A következő lépés a tömegáram hatásának vizsgálata, miközben a nyomás állandó. Az elpárologtató (evaporátor) teljesítménye:

$$E_{evap} = \dot{m}_{mk} \cdot \Delta h_{evap} = \dot{m}_{mk} \cdot c_p \cdot (T_{g\ddot{o}z} - T_{viz}) \quad (7)$$

Ahol  $c_p$  a víz állandó nyomáson vett fajhője,  $T_{gőz}$  a víz hőmérséklete gőz állapotban,  $T_{foly}$  a víz hőmérséklete folyadék állapotban.

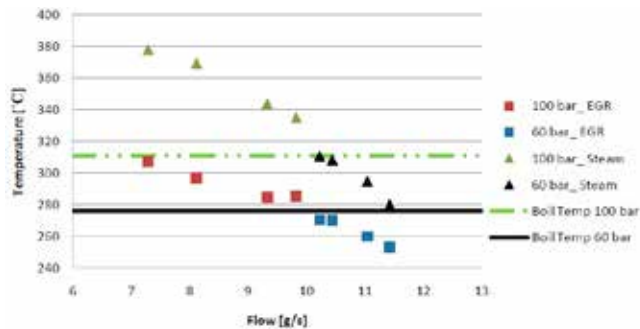
A **8. ábra** szerint a tömegáram növelésével a teljesítmény adott nyomáson növekszik. Tehát megállapítható, hogy a tömegáramnak nagyobb hatása van a munkaközeg energiájára, mint a gőz hőmérséklet-változásának.



8. ábra: az elpárolgatóból kilépő munkaközeg teljesítményének változása a tömegáram függvényében, különböző nyomásokon [14]

A másik lényeges megfigyelés, hogy a nyomás csökkentésével a teljesítmény nő. Ez annak köszönhető, hogy alacsonyabb nyomáson a víz forráspontja alacsonyabb, így nagyobb tömegáram alkalmazható.

A harmadik megfigyelés, hogy a tömegáram növelésével a kipufogógáz hűtése intenzívebb, ezt mutatja az EGR kimeneti hőmérsékletének esése. Ennek köszönhetően több energiát tudunk kinyerni a kipufogógázból.



9. ábra: az EGR-ből kilépő kipufogógáz, valamint az elpárolgatóból kilépő gőz hőmérsékletének változása a munkaközeg tömegáramának függvényében [14]

Összefoglalva, a maximális elpárolgató teljesítmény eléréséhez az elpárolgató nyomását csökkenteni, a tömegáramot a lehetőségeknek megfelelően növelni kell.

### RANKINE-KÖRFOLYAMAT VIZSGÁLATA

Ebben a szakaszban a körfolyamatot szimulációs modell alapján értékeljük. A hőforrás, egy haszonjármű motorjának EGR-hőcserélője, a munkaközeg pedig víz. Az expanziós gép egy dugattyús expander, azonban a modellépítésnél az egyszerűség miatt egy folytonos üzemű turbinával volt helyettesítve [14]. A vizsgálat az előző szakaszban alkalmazott munkapontra vonatkozik.

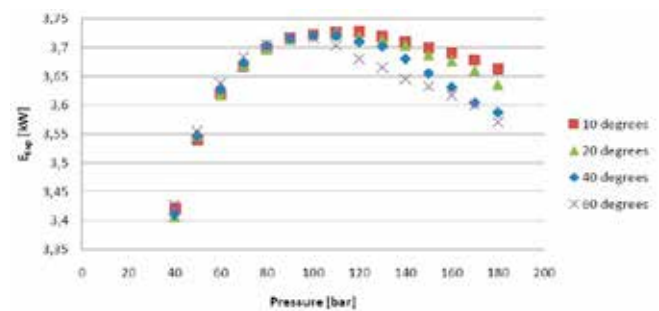
A Rankine-körfolyamat alkalmazásánál az elsődleges célkitűzés az expanziós gép teljesítményének a maximalizálása.

Az expander teljesítménye a következő összefüggéssel adható meg:

$$E_{exp} = \Delta h \cdot \eta_{iz} \cdot \dot{m}_{mk} \quad (8)$$

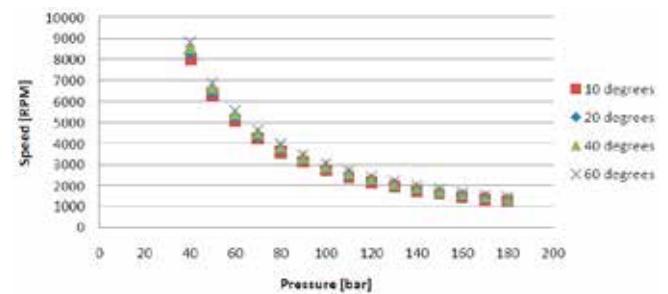
Ahol  $\Delta h$  a fajlagos entalpia változása az expanderen keresztül,  $\eta_{iz}$  pedig az expanziós gép izentropikus hatásfoka. A szimulációban az elpárolgató utáni nyomás és hőmérséklet változik és ennek hatását vizsgáljuk, miközben a bemeneti energia konstans. A következő szakaszban példát látunk arra, hogy ezeket a paramétereket milyen módon lehet szabályozni a valós rendszeren.

Ahogy az elpárolgató vizsgálatánál láhattuk, a tömegáram növelése esetén a gőz hőmérséklete csökken és az elpárolgató teljesítménye javul. Azonban az expanderhez érkező magasabb energiájú munkaközeg nem eredményez magasabb expander-teljesítményt. A **10. ábra** az expander teljesítményét mutatja a nyomás függvényében, valamint a különböző mértékű túlhevítés hatását. Látható, hogy minden munkaponthoz rendelhető egy optimális nyomás, melynél a leadott teljesítmény maximális.



10. ábra: az expanziós gép teljesítménye a nyomás függvényében, különböző mértékű túlhevítéssel [14]

Az expander teljesítménye függ az izentropikus hatásfoktól, melynek értéke csökken a volumetrikus hatások növekedésével. Ez a veszteségekkel magyarázható, ami fokozódik a tömegáram növekedésével. A modellben egy turbina szerepel, melynek sebességével jellemezhető a volumetrikus hatásfok. Ha a sebesség csökken, akkor az izentropikus hatásfok is csökken. Tehát a **11. ábra** alapján a nyomás növelésével az izentropikus hatásfok nő, ami az expander teljesítményét javítja, a fordulatszám pedig csökken a fajtér fogat növekedése, ezáltal a sebességek csökkenése által.

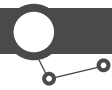


11. ábra: az expanziós gép sebessége a nyomás függvényében, különböző mértékű túlhevítéssel [14]

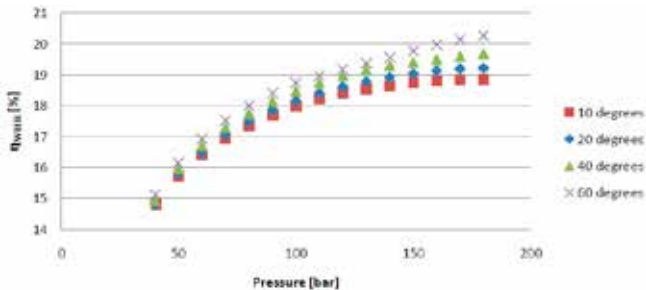
A körfolyamat termikus hatásfokát a következő összefüggéssel lehet megadni:

$$\eta_{WHR} = \frac{E_{exp} - E_{sziv}}{E_{Gőz}} \quad (9)$$

Ahol  $E_{sziv}$  a szivattyú teljesítménye.



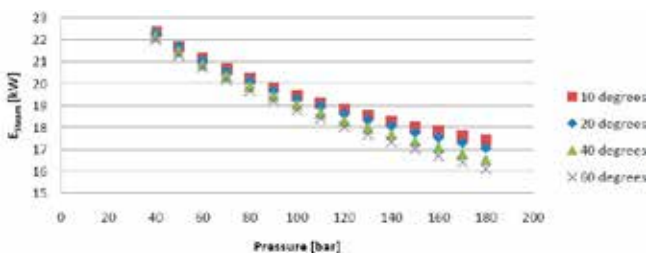
A termikus hatásfok nő a nyomás növekedésével. Alacsony tömegáram esetén a gőz hőmérséklete emelkedik, a szivattyú teljesítménye, valamint a gőz energiája csökken. Így minél nagyobb a túlhevítés mértéke, annál jobb a hatásfok.



12. ábra: a körfolyamat termikus hatásfoka a nyomás függvényében, különböző mértékű túlhevítéssel [14]

Azonban az expanderbe jutó gőz energiája csökken. Minél alacsonyabb a nyomás, annál alacsonyabb a víz forráspontja.

Ezért alacsony nyomásokon a tömegáramot növelni lehet, ami a gőz energiájának növekedését eredményezi. Ennek köszönhető, hogy a maximális teljesítmény nem a maximális nyomásnál található.



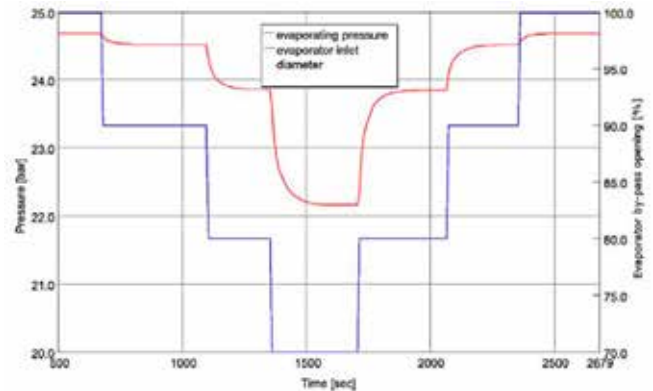
13. ábra: az expander előtti gőz teljesítménye a nyomás függvényében, különböző mértékű túlhevítéssel [14]

A túlhevítés hatását elemezve, a turbina sebességére csak kis hatással van. A hatásfok és a gőz teljesítményére ellentétesen hat. Összességében az expander teljesítményét elemezve, alacsony nyomásokon a túlhevítés mértéke nem mérvadó, magasabb nyomástartományokban azonban minél kisebb a túlhevítés, annál magasabb a teljesítmény, ami a magasabb tömegáramnak köszönhető.

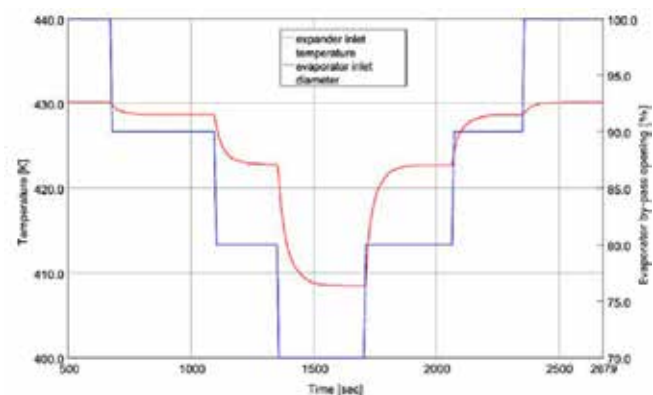
## A RANKINE-KÖRFOLYAMAT SZABÁLYOZÁSA

Ebben a szakaszban egy tranzien szimuláció eredményeit értékeljük [15]. A Rankine-körfolyamat járműves alkalmazása esetén a szabályozás lehetőségei korlátozottak. Ennek elsődleges oka a hőelvonás nehézsége. A rendszerbe bevitt hőmennyiség szabályozását az elpárologtatónál alkalmazott megkerülő szeleppel szabályozhatjuk. Ezen kívül a szivattyú fordulatszámát és az expanziós gépnél alkalmazott megkerülő szelep hatását vizsgáljuk.

Az elpárologtató megkerülő szelepeinek mind a hőmérsékletre, mind az elpárologtató nyomására hatása van (14–15. ábra). Megfigyelhető, hogy a két vizsgált paraméter változásának jellege hasonló. Minél jobban nyit a szelep, a változás annál nagyobb.

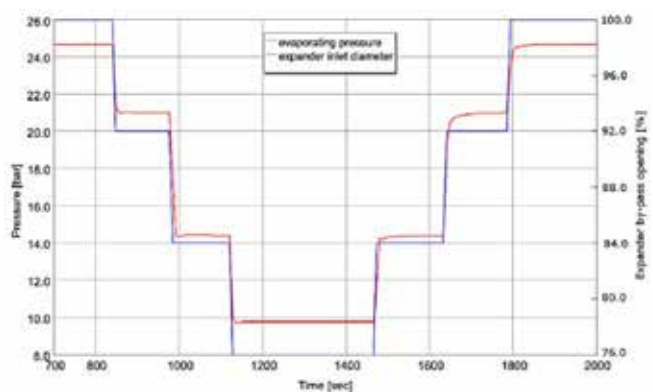


14. ábra: az elpárologtató megkerülő szelep nyitásának (kék görbe) hatása az elpárologtató nyomására (piros görbe) [15]



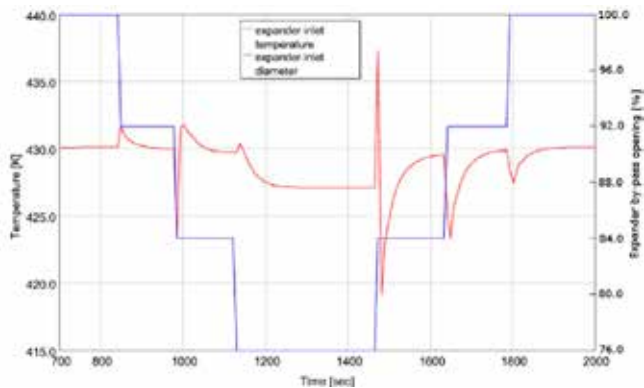
15. ábra: az elpárologtató megkerülő szelep nyitásának (kék görbe) hatása az expanziós gép bemeneti hőmérsékletére (piros görbe) [15]

Az expander megkerülő szelepeinek jelentős a hatása az elpárologtató nyomására (16. ábra). A szelep keresztmetszetének változását azonnal követi a nyomás változása, ellentétben az előző esettel, amikor nagyjából 100 másodpercet volt szükség az adott állapot beállításához. A hőmérséklet csak kis mértékben változik, az állandósult állapotot tekintve.

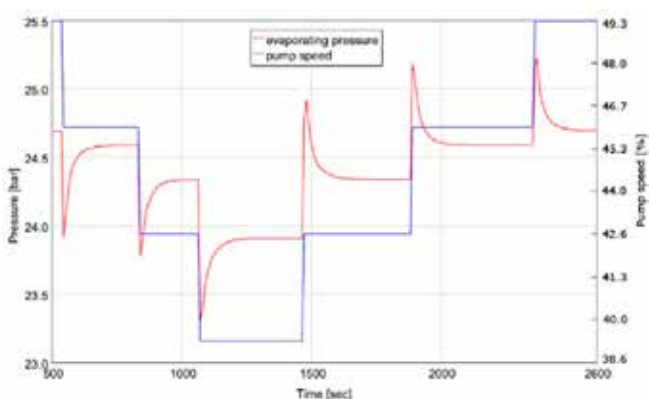


16. ábra: az expander megkerülő szelep nyitásának (kék görbe) hatása az elpárologtató nyomására (piros görbe) [15]

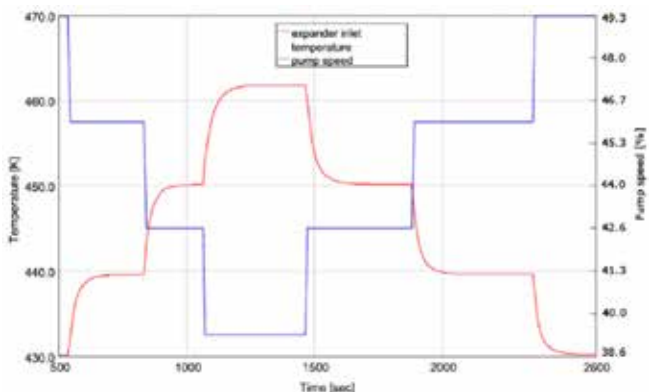
A szivattyú fordulatszámának változtatása a nyomást csak kis mértékben befolyásolja. Azonban a hőmérséklet gyorsabban reagál a fordulatszám változtatására, mint az elpárologtató megkerülő szelep esetében.



17. ábra: az expander megkerülő szelep nyitásának (kék görbe) hatása az expanziós gép bemeneti hőmérsékletére (piros görbe) [15]



18. ábra: a szivattyú sebességének (kék görbe) hatása az elpárologtató nyomására (piros görbe) [15]



19. ábra: a szivattyú sebességének (kék görbe) hatása az expanziós gép bemeneti hőmérsékletére (piros görbe) [15]

Értékelve a szabályozási paraméterek hatását látható, hogy az elpárologtató megkerülő szelep keresztmetszetének változása során mind a nyomás, mind a hőmérséklet válasza lassabb, mint a másik kettő vizsgált beavatkozó jel esetében. Az eredmények alapján az expander megkerülő szelep és a szivattyú-fordulatszám együttes alkalmazása ajánlott, ugyanis előbbi keresztmetszetének változására reagál a nyomás a legjobban, de a hőmérsékletre csak kis mértékben hat. Utóbbi hatása fordított, így a nyomás- és a hőmérsékletszint egymástól szinte függetlenül szabályozható.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Egyes tanulmányok alapján [16] még 2020 előtt bevezetésre kerülhet nehéz-haszongépjárműveknél a Rankine-körfolyamat alapú veszteség-hő újrahasznosítása. A versenyképesség megőrzéséhez a jövőben egyre szigorodó előírásokon kívül a vevők üzemeltetési költségeinek további csökkentésére vonatkozó igényeit is ki kell elégíteniük.

A gépjárművek veszteség-hője jelentős mennyiségű energia, melynek kiaknázása potenciált mutat a fent említett célok eléréséhez. Ehhez kedvező és megvalósítható megoldást kínál a Rankine-körfolyamat. Különböző ipari területeken (erőművek, energetika) találhatunk példákat, azonban járműves alkalmazás esetén számos korlátozásba ütközünk.

A hőforrás tekintetében gazdaságosan csak a kipufogógáz hőjét vehetjük számba, ugyanis ez rendelkezik elegendő exergiával. A két lehetséges hely, ahonnan a hőt ki lehet nyerni a turbina előtti (EGR-hűtő) és a turbina utáni részek. A kettőt lehet kombinálni is, azonban a rendszer bonyolultsága miatt a költséghatékonyságot meg kell vizsgálni.

A munkaközeg megválasztása alapvetően meghatározza a körfolyamat hatékonyságát. Járműves alkalmazás esetében azonban figyelembe kell venni a környezeti hatást és a biztonságot. A hivatkozott kutatások alapján, ha expanziós gépként turbinát alkalmazunk, akkor a legmegfelelőbb munkaközeg az etanol; dugattyús expander esetén etanol vagy víz.

Az egyik legkomolyabb korlátozás a hőelvonás, ugyanis a járművön korlátozott hely áll rendelkezésre megfelelő hűtés kialakítására. Ezért a rendszerbe bejutó energia szabályozását a körfolyamatba épített szelepek segítségével oldják meg.

Az elpárologtató kísérleti vizsgálatából kiderült, hogy a maximális elpárologtató teljesítmény eléréséhez a munkaközeg nyomását csökkenteni kell. A tömegáram növelésével ugyan a hőmérséklet csökken, azonban a teljesítmény nő.

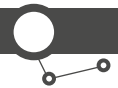
A Rankine-körfolyamat vizsgálatából megállapítható, hogy az expander maximális teljesítménye egy optimális nyomáson lesz. A rendszer hatásfoka a nyomás növelésével azonban monoton nő.

A beavatkozó paraméterek szabályozását vizsgáló transziens szimulációból megállapítható, hogy a nyomás szabályozására az expander megkerülő szelepe a legjobb módszer. A hőmérséklet szabályozására pedig a szivattyú fordulatszáma. ●

## IRODALOM

- [1] Comite National Routier. „CNR-indexes” Online: <http://www.cnr.fr/en/Indexes-Statistics/Long-haul-40-T>
- [2] Online: <http://chethoughts.com/?p=637>
- [3] Platell O. B., Progress of Saab Scania's Steam Power Project, SAE paper, 760344, 1976
- [4] Leising, C. J., Purohit, G. P., DeGrey, S.P. and Finegold, J.G., Waste heat recovery in truck engines. SAE paper No. 780686, 1979
- [5] Teng, H., Regner, G., Cowland, C., Waste heat recovery of heavy-duty diesel engines by organic Rankine cycle part1, SAE paper 2007-01-0537, 2007
- [6] Nelson, C., Waste heat recovery, DEER Conference, 2008



**IRODALOM - FOLYTATÁS**

- [7] Freymann, R., Strobl, W., Obieglo, A., The Turbostremer: a system introducing the principle of cogeneration in automotive applications, MTZ, 69, 20-27, 2008
- [8] Online: [http://en.wikipedia.org/wiki/Price\\_of\\_petroleum](http://en.wikipedia.org/wiki/Price_of_petroleum)
- [9] Szabó, G., Péter Szabó, I., Alkalmazott műszaki hőtan, Egyetemi jegyzet, 2003
- [10] Környei, T., Termodinamika, Műegyetemi kiadó, 2005
- [11] Espinosa, N., Tilman, L., Lemort, V., Quoilin, S., Lombard, B., Rankine cycle for waste heat recovery on commercial trucks: approach, constraints and modelling, Engineering, computing & technology: Energy, 2010
- [12] Nathan Subramanian, S., Heavy Duty Roots Expander Heat Energy Recovery, 2013 DOE Vehicle Technologies, 2013
- [13] Seher, D., Lengenfelder, T., Gerhardt, J., Eisenmenger, N., Hackner, M., Krinn, I., Waste Heat Recovery for Commercial Vehicles with a Rankine Process, 21st Aachen Colloquium, 2012
- [14] Naowar, H., Houssam, A., Waste heat recovery, KHT Industrial Engineering and Management, 2011
- [15] Espinosa, N., Gil-Roman, I., Didiot, D., Lemort, V., Lombard, B., Quoilin, S., Transient Organic Rankine cycle Modelling for Waste Heat Recovery on a Truck, Engineering, computing & technology : Energy, 2011
- [16] Gruden, I., Allaing, M., Savonen, C., Road mapping engine technology for post-2020 heavy duty vehicles, DEER proceedings, 2011

# Mérés alapú balesetelemzés

## HESZ MÁTYÁS

PhD-hallgató  
BME Gépjárművek és Járműgyártás  
Tanszék

## SZABÓ BÁLINT

tanársegéd  
BME Gépjárművek és Járműgyártás  
Tanszék

A blokkolásgátló és elektronikus menetstabilizáló rendszerek megjelenésével egyre kevesebb értékelhető fékezési és sodródási nyom marad hátra a balesetek helyszínén. Az ütközés maga, illetve a kifizési szakasz megfelelő valószínűségi szinten véleményezhető, főbb műszaki paraméterei meghatározhatók. Az ütközés előtti szakasz azonban egyre kevésbé tárható fel, annak ellenére, hogy a járművekben minden évvel finomodnak a menetstabilitást támogató elektronikai rendszerek. Ezen rendszerek adataira támaszkodva, közelebb kerülhetnénk a baleset valós okainak meghatározásához.

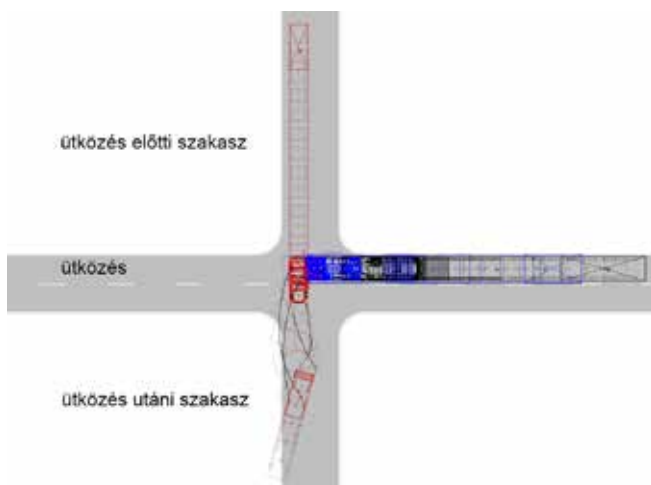
With the appearance of Anti-Lock Braking and the Electronic Stability Program, less and less appraisable braking and drift tracks are left behind at the scene of an accident. The post-collision path of the vehicle and the collision itself can be judged with a sufficient certainty additionally the main technical parameters can be determined. Tracing however, the pre-collision path of the vehicle back, is less and less possible, despite Electric Stability Programs becoming more and more sophisticated every year. Based on the data of these systems, retrieving and understanding the real causes of the accidents would be significantly easier.

## BEVEZETÉS

A közúti közlekedés elkerülhetetlen velejárója a közlekedési baleset. Az ütközés, illetve a baleseti mozgássor rekonstrukciója elemi igényként jelentkezik, azzal együtt, hogy egy ütközésnek vagy egy magános balesetnek lehet egy, vagy akár több közvetlen kiváltó előzménye is. A balesetben részes felek közrehatásának meghatározásán túl a szakemberek elemzéseket végezhetnek a közlekedési környezet kialakításának megfelelőségéről, és ha van rá lehetőség, akkor kereshetnek műszaki hibát is a járműveknél. Az elemzési irányok tudományterületenként különböznek.

## BALESET-ELEMZÉSI ELJÁRÁSOK

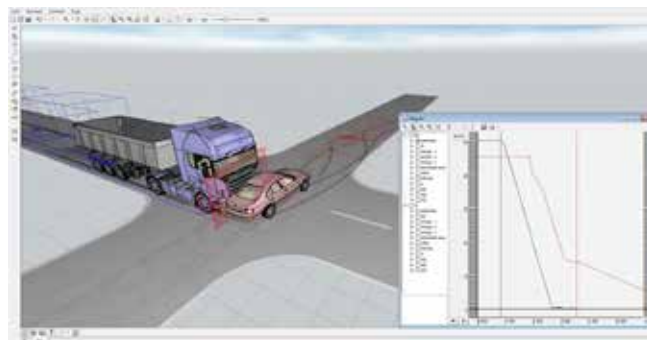
Első és legfontosabb célként nevezhető meg a jármű közvetlen ütközés előtti sebességének meghatározása és ütközés előtti haladási iránya. Ezen adatokból következtetni lehet a korábbi haladási sebességre, illetve irányra is. A baleset folyamatát az elemzés szempontjából célszerű három részre osztani: az ütközés előtti szakaszra, az ütközésre és az ütközés utáni, kifizési szakaszra (1. ábra).



1. ábra: az ütközési folyamat szakaszai.

A kifizési szakasz végén kerül nyugalomba a jármű. A kézi számítások és szerkesztések döntő többsége visszafelé történő baleset-rekonstrukciót tesz lehetővé, azaz a kifizési véghelyzetből indulva, az ütközés utáni mozgásállapotokból határozzuk meg

az ütközés előttiakat. A számítógépen futtatott szimulációs programok előrefelé történő számítási módot valósítanak meg, ahol a járműsebességeket, mint bemeneteket kell megadnunk, és ezekből számol a szoftver ütközés utáni, szétválási sebességeket. Mindkét számítási módnak van előnye és hátránya is. A számítógéppel végzett elemzés kiemelkedő és utolérhetetlen előnye, hogy sok számítás futtatható egymás után rövid idő alatt, míg ugyanekkora számítás mennyiség kézi módszerrel kifejezetten időigényes lenne. Vannak olyan kézi számítási módszerek, melyekkel egy-egy baleset-elemzési momentum ugyan gyorsabban kidolgozható mint szimulációs programmal, azonban komplex vizsgálatot manapság szinte csak szimulációs szoftverrel végeznek. Nem beszélve a korszerű programok által biztosított, eredményt szemléltető lehetőségekről (diagramok, animációk stb., 2. ábra).



2. ábra: Virtual CRASH balesetelemző program.

## AZ ELEMZÉSHEZ HASZNÁLHATÓ ADATOK

Egy szakszerű rendőrségi helyszínelés a következőkben részletezett módon történik. Az eljárás során több, balesetelemzés szempontjából kiemelkedően fontos információ kerül feljegyzésre.

Rögzítik, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján hol, mikor, miért történt a baleset, kik a résztvevői és milyen minőségben (pl. járművezető, utas, gyalogos stb.), mely járművek vettek részt az eseményben. Tisztázni kell, hogy a helyszínen történt-e valamilyen változás, változtatás. Amennyiben történt, mi változott, mit változtattak, azt ki és milyen okból tette.

Az eljárás során rögzíteni kell a helyszínen a szemle végrehajtásakor, illetve a baleset bekövetkezésekor meglévő



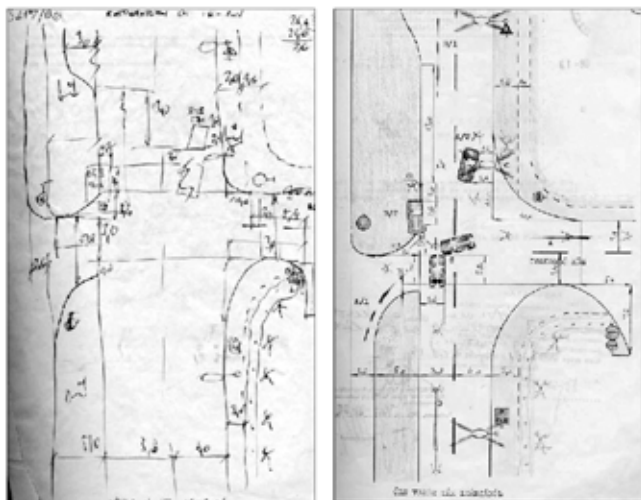
sajátosságait. Így különösen:

- a baleset pontos helyét,
- az időjárási, látási, forgalmi és útviszonyokat,
- a baleset helyszínének általános és speciális jellemzőit,
- a baleset helyszínének méreteit,
- a látást, láthatóságot, észlelést, észlelhetőséget befolyásoló körülményeket,
- a megvilágítás jellemzőit,
- a közlekedési pálya méreteit, minőségét, állapotát, esetleges hibáit,
- a forgalomszervezés sajátosságait, kitérve a közlekedést szabályozó jelzésekre, azok meglétére, esetleges hiányára,
- a forgalomirányítás módját és annak rendjét, a forgalom jellemzőit, összetételét,
- a járművek, forgalomtechnikai objektumok, elhunyt személyek elhelyezkedését.

Az eljárás során fel kell kutatni a helyszínen lévő nyomokat, elváltozásokat, rongálódásokat és anyagmaradványokat. Ennek során kiemelt jelentőséget kell tulajdonítani a baleset bekövetkezési körülményeire (pontos helyére, a járművek helyzetére stb.) közvetlenül utaló nyomok felkutatására, rögzítésére.

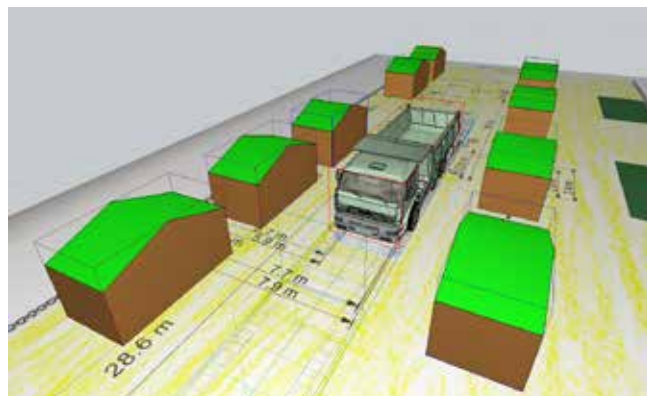
A baleset helyszínén keletkező nyomok, elváltozások kutatásakor arra is figyelemmel kell lenni, hogy a nyomok jellegéből fakadóan vannak csak rövid ideig fellelhető (pl. vizes útfelületen keletkező keréknyom) és állapotukat elfogadható mértékben tartósan megőrző (pl. száraz útfelületen, blokkolásgátló nélkül történt vészfékezés nyoma) nyomok is.

A nyomok egy része csak a helyszínen, más része akár a helyszínelés után is értékelhető. A nyomok között általában van szabad szemmel érzékelhető, és speciális felszerelést igénylő nyom is. Az adatokat és információkat jegyzőkönyvben, helyszínrajzon és fényképfelvételeken örökítik meg (3. ábra).



3. ábra: helyszínelő által a helyszínen készített vázlat (balra), a vázlat alapján megrajzolt méretarányos helyszínrajz (jobbra).  
Forrás: dr. Melegh Gábor – Gépjárműszakértés [1]

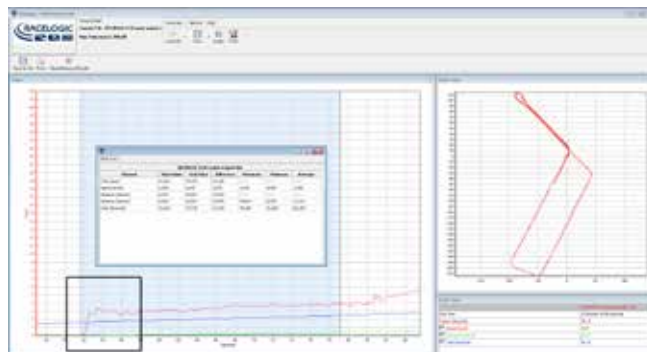
Ezen adatok halmazából kell kiszűrnie az elemzést végző szakembernek azokat, amelyek a szimulációs szoftverben lévő járműdinamikai modell bemeneteit, járművezetői beavatkozásait képezhetik, annak érdekében, hogy az előre felé történő számítás futtatható legyen. A beállított pedálállásra és kormányzási mértékre, intenzitásra integrálási lépésközönként számolja a program a jármű súlypontjának helyzetét és aktuális mozgásállapotát. Egyik eredményként kirajzolódik a gépjármű haladási folyosója, mely összevethető a rögzített nyomokkal (4. ábra).



4. ábra: a rögzített nyomok és a járműmodell haladási folyosójának összevetése.

A nyomrögzítés történhet helyszínrajzon és fényképfelvételen egyaránt. Szerencsétlen esetben előfordulhat hibás nyomrögzítés is. Vizsgálendő, hogy a nyomhagyással nem kísért szakaszra milyen ellenőrzési lehetőség kínálkozik a szimulációban szereplő és a valóságos mozgásfolyamat összevetésére. Az elmondásokból kiszűrni, műszaki tartalmat hordozó előadások szubjektív adatforrásként kezelendők.

Bizonyítási kísérlet alkalmával a balesetben részes felek utólagosan bemutatathatják, hogy hogyan történt az adott ütközés, baleset. Az 5. ábrán látható adatrögzítés GPS-vevővel történt, egy bizonyítási kísérlet alkalmával. A baleseti mozgássor bemutatásakor fokozott figyelemmel kell lenni arra, hogy újból anyagi kár vagy személyi sérülés ne következhesen be. Ennél fogva az ütközést közvetlen megelőző szakasz nem lehet azonos a balesetivel. A baleset inkább jellegében, sem mint számszerű műszaki paramétereivel vizsgálható.



5. ábra: utólagos bemutatás alkalmával rögzített sebességprofil és nyomvonal.

Mérésen alapuló baleset-rekonstrukció mutat az objektív elemzés irányába.

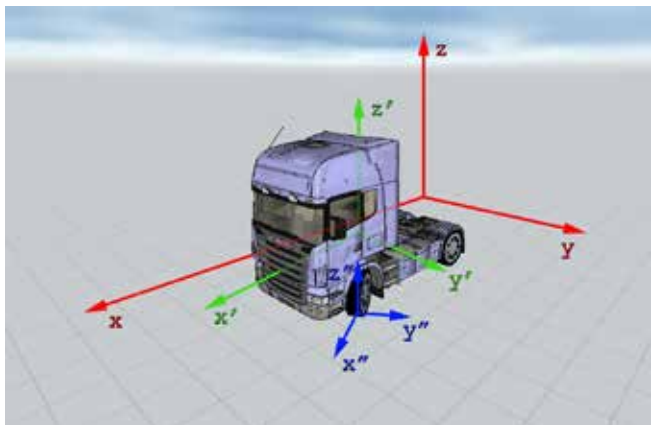
## SZIMULÁCIÓS PROGRAM

Vizsgálataimat Virtual CRASH balesetelemző programmal végeztem, és mielőtt meghatároznom az elemzéshez szükségszerűen mérendő adatok körét, röviden ismertetem a szimulációs szoftver működését. Háromfajta koordináta-rendszer került definiálásra a programban (6. ábra):

1. Rögzített, globális koordináta-rendszer (x, y, z). Középpontja a program indításakor a képernyő középpontja.
2. Járműhöz kötött koordináta-rendszer (x', y', z'). Középpontja a jármű súlypontjában van, az x' a gépkocsi hossz tengelyébe

esik és előrefelé mutat. Az  $y_1'$  a haladási irányt alapul véve balra, míg a  $z_1'$  tengely felfelé mutat.

3. Gumiabronchhoz kötött koordináta-rendszer ( $x_1''$ ,  $y_1''$ ,  $z_1''$ ). Középpontja a gumiabroncs és a szimulációs felület érintkezésében helyezkedik el, az  $x_1''$  a jármű hosszirányú tengelyével párhuzamos, és előrefelé mutat. Az  $y_1''$  irány balra, míg az  $z_1''$  felfelé mutat. Értelemszerűen minden gumiabroncs definiál egy-egy ilyen koordináta-rendszert.



6. ábra: virtual CRASH program koordináta-rendszerei.

A kocsiszekrény mozgását egyértelműen leírja a jármű tömegközéppontjának aktuális helyzete, és a járműhöz rögzített koordináta-tengelyek körüli elfordulásának mértéke.

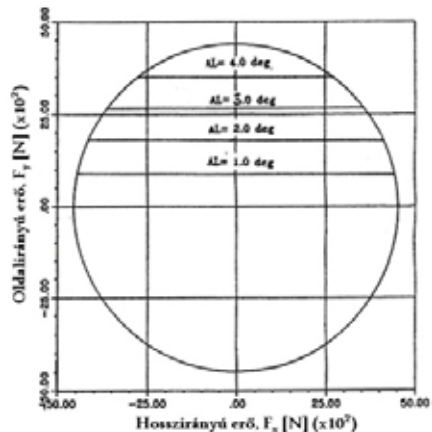
A szimuláció, azaz az előrefelé történő számítás a következő pontok alapján történik:

1. A hosszirányú és oldalirányú kerék-talaj kapcsolati erőket ferdefutási szögéből és a fékező- illetve gyorsítóerőkből számolja a program.
2. A súlypont gyorsulása, valamint a karosszéria szöggyorsulása a külső erőkön alapulva kerül kiszámításra. Ezek a felépítmény koordináta-rendszerében vannak meghatározva.
3. A gyorsulásokat ezután a globális koordináta-rendszerbe transzformálja.
4. A mozgásegyenleteket numerikusan integrálja, előre megadott időközönként.
5. A sebességváltozás és a súlypont új koordinátái kiszámításra kerülnek.
6. A lengéscsillapítási és rugózási paraméterek alapján adódnak az új gumiterhelések minden egyes kerékre.

A számítási menet a következőképpen részletezhető:

1. A kerék-talaj kapcsolati erőket három komponensre bontja:
  - Az  $F_z$  normálerő alaphelyzetben a jármű súlyából adódó statikus terhelésből számítható. A program figyelembe veszi a dinamikus kerékterhelés-változásokat, úgymint a gyorsításból, fékezésből, kanyarodásból eredő átterhelődéseket, valamint az útpálya szögének változását. A kerék normálerője a dinamikus hatások miatt változhat.
  - A gumira ható  $F_x''$  hosszirányú erő az  $F_z''$ -től és a meghatározott  $F_b$  fékező-, vagy  $F_a$  gyorsítóerőtől, az S ferdefutási szögtől, valamint a  $\mu$  súrlódási együtthatótól függ.
  - Az oldalirányú  $F_y''$  gumiabroncsra ható erő szintén az  $F_z''$ ,  $F_b$  vagy  $F_a$ , S és a  $\mu$  függvénye.

A lineáris gumimodell magában hordozza azt, hogy az oldalirányú és hosszirányú kerék-talaj kapcsolati erők nem haladhatják meg a helyi súrlódás által biztosított maximumot:



7. ábra: az oldal- és hosszirányú erők viszonya lineáris gumiabroncs-modell esetén.

## 2. Jármű-gyorsulások:

A felépítmény koordináta-rendszerének három tengelye  $x'$ ,  $y'$  és  $z'$ . A koordináta-rendszer origója a jármű súlypontjában van. A Virtual CRASH az impulzus ( $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ) és a perdület ( $J_x'$ ,  $J_y'$ ,  $J_z'$ ) mindhárom komponensével dolgozik. A perdület minden egyes összetevője a járműfelépítmény súlyponti tengelyeire vonatkozik.

- $J_x'$  – perdület a járműfelépítmény hosszirányú tengelyén,
- $J_y'$  – perdület a járműfelépítmény oldalirányú tengelyén,
- $J_z'$  – perdület a járműfelépítmény függőleges tengelyén.

3. A helyi koordináta-rendszerből a globális koordináta-rendszerbe történő transzformáció:

Mielőtt a mozgásegyenletek integrálásra kerülnek, a program transzformálja őket a helyi járműfelépítmény koordináta-rendszeréből a globális koordináta-rendszerbe, azért, mert a számítás végén a vizsgálatot végzők a globális koordináta-rendszerbeli értékekre kíváncsiak (pl. sebesség, járműhelyzet stb.).

4. A mozgásegyenletek numerikus integrálása/közelítő integrálása:

A differenciálegyenleteket explicit algoritmusok alapján oldja meg. A Virtual CRASH 5 ms-os integrálási lépésközt használ alapbeállításként, ami változtatható.

5. A súlypont következő időlépésbeli helyét meghatározó koordináták kiszámítása:

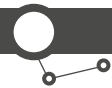
Az integrálás eredményeként a következő időlépésbeli sebességek és súlypontkoordináták kerülnek kiszámításra.

6. A következő időlépésbeli kerék-talaj kapcsolati erő kiszámítása: A jármű következő integrálási lépésben érvényes elfordulási szögének és a súlypont új helyzetének ismeretében a program kiszámolja a rugózás merevségéből és a csillapításból a be- és kirugózás mértékét és annak sebességét, majd ezekből az értékekből a kerékre ható terheléseket.

## JÁRMŰVEZETŐI BEAVATKOZÁSOK

A vezető beavatkozásait a szimulációs program bemeneteinek megfelelően célszerű rögzíteni. A Virtual CRASH járművezetői beavatkozásai gyorsításban, fékezésben és kormányzásban merülnek ki. Elméletileg a tényleges, balesetkörülmények adatokkal táplált számítógépes szimulációs modell a valóságos járműviselkedést követi le. Ezt az állítást fenntartásokkal kell kezelni, mégpedig azért, mert a szoftveres járműdinamikai modell a valósághoz képest szükségszerűen egyszerűsítéseket tartalmaz. Minden baleseti esemény egyedi esetként kezelendő, ugyanis minden vizsgálat folyamán figyelembe kell venni azt, hogy a balesetben





részes jármű a szimulációs programban lévő modellhez képest valamilyen mértékben eltér. A járműdinamikát befolyásoló paramétereket a lehetőségekhez képest minél jobban egymáshoz kell hangolni, a tökéletesebb reprodukció érdekében. Vannak azonban olyan tényezők, melyek pl. a gépjármű rongálódásai miatt még csak nem is becsülhetők a baleset után.

Az előzmények értékeléséhez a vezető beavatkozásain kívül más adatforrásból származó információk is támogathatják a szimuláció pontosságát, tudva azt, hogy a szoftverben szereplő modell csak ritkán egyezik tökéletesen a valóságos jármű tulajdonságaival.

Az aktuális pedálállások, a gyorsulás és a súlypont körüli elfordulásértékek, a kormányzójeladó adatain kívül célszerű lenne rögzíteni a jármű térbeli helyzetét, nagy pontosságú GPS-eszközzel.

A gyorsulásérzékelő adataiból kidolgozható lenne egy jármű-haladási nyomvonal, amely összevethető a GPS által szolgáltatott adatokból kirajzolódó nyomvonallal. Az esetleges eltérés okának felderítése részletes vizsgálatot igényel. Szerepet játszhatnak a vezetőt támogató aktív biztonsági rendszerek, amelyek beavatkozása elképzelhető közvetlenül baleset, ütközés előtt. Arról, hogy mely rendszer milyen mértékű beavatkozást végzett, további adatokra van szükség, amelyeket elemezni és a vizsgálat részévé kell tenni.

További kutatást és mérési eredmények értékelését igényli annak megállapítása, hogy a szimulációs programban lévő járműmodellt milyen adatforrásból származó adatokkal vezéreljük. A helymeghatározás alapú (GPS) nyomvonalat elfogadva, akár a kinematika szabályait szem előtt tartva is irányíthatjuk járműmodellünket az ütközési pontig, ahonnan a kinetika szakaszába lépve rábízzuk a jármű további mozgását a szimulációs programban lévő járműmodellre.

## KITEKINTÉS

Az irodalomkutatásom során feldolgozott anyagokkal összhangban megállapítható, hogy egységesíteni kellene a járművek baleset esetén rögzített adatainak tárolóelemeit.



8. ábra: a rögzített nyomok és a járműmodell haladási folyosójának összevetése.

Az Amerikai Egyesült Államokban 2014. szeptember 1-jétől csak olyan járművet lehet forgalomba hozni, amelyben van baleseti adatrögzítő (Event Data Recorder – EDR, **8. ábra**).

A National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) közleménye szerint az adatrögzítőre vonatkozó szabvány az alábbi adatokat rögzíti:

- járműsebesség,
- történt-e fékezés közvetlenül az ütközés előtt,
- a járműre ható gyorsulások az ütközés pillanatában,
- gázpedálállás,
- légzsáknyitás és a légzsák működőképessége,
- a járműben utazóknak be volt-e kapcsolva a biztonsági övük.

Véleményem szerint a baleset rekonstrukciója szempontjából mindenképpen hasznosak lennének még a kormányzójeladó adatai, egy GPS-vevő által rögzített nyomvonal, valamint a járműstabilitást támogató rendszer aktivitásának rögzítése. ●

## IRODALOM

- [1] Melegh G.: Gépjárműszakértés, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2004
- [2] Vári M.: Balesetelemző szoftverek összehasonlítása konkrét ütközési eseteken keresztül, BME GJT Szakdolgozat, Budapest, 2011

# Járműdinamikai szabályozók működési tartományainak elemzése halmazvizsgálati módszerekkel

**GÁSPÁR PÉTER  
NÉMETH BALÁZS**  
MTA SZTAKI  
Rendszer- és Irányításméleti  
Laboratórium

**KEVICZKY LÁSZLÓ**  
Széchenyi István Egyetem  
Multidiszciplináris Műszaki  
Tudományi Doktori Iskola Vezetője

A cikk vizsgálati lehetőségeket mutat be gépjárműirányító rendszerek működési tartományainak meghatározására és elemzésére. Előbb a Lineáris Változó Paraméterű (LPV) elméleten alapuló elérhetőségi invariáns halmaz típusú módszer, majd a Sum-of-Squares (SOS) programozásra épülő invariáns halmaz típusú módszer kerül részletezésre. Az elemzés eredményei lehetőséget adnak a beavatkozók szimultán tervezésén keresztül a rekonfigurációs és hibátűrő irányítás megvalósítására. A halmazvizsgálati módszerek illusztrálása egy jármű-irányítási példán keresztül történik.

The paper focuses on the analysis of operation regions vehicle actuators. The first method illustrates the approximation of reachable sets based on Linear Parameter Varying (LPV) theory. The second method presents the determination of controlled invariant sets based on Sum-of-Squares (SOS) programming method. The results of the analyses can be built in the reconfiguration and fault-tolerant strategy of the integrated vehicle control. The methods are illustrated through lateral dynamics of vehicles.

## AZ INTEGRÁLT IRÁNYÍTÁS JELENTŐSÉGE

Az elmúlt évtizedben számos jelentős új kutatási és fejlesztési tevékenység kapott kiemelt hangsúlyt a gépjárműiparban. Ezek homlokterében többek között a közlekedés biztonságának növelése, az alternatív üzemanyagok, járművek együttes irányítása és a városi közlekedés fenntartható fejlődési koncepciója áll. A járműrendszerekkel szemben támasztott elvárások egyre növekednek és az elektronikus járműirányítási rendszerek gépjárművekben betöltött szerepe egyre jelentősebb. Számos aktív elektronikus komponens kerül a gépjárművekbe beépítésre, melyek különböző járműirányítási feladatokat látnak el.

A komponensek növekvő száma miatt az integrált gépjármű-irányításhoz kapcsolódó kutatások jelentősége egyre növekszik. Ezek célja a járműben használt elektronikus szabályozórendszerek összehangolása egy optimális működés elérése érdekében. Az egyedi járműkomponensek integrálásával olyan feladatok is megoldhatók, melyekre az egyedi elemek önmagukban nem képesek, vagy csak részlegesen képesek. Példaként említhetők a kritikus menetdinamikai helyzetek, illetve a komponens-meghibásodások kezelése.

A gépjármű menetdinamikai szabályozórendszerek sok esetben egymáshoz hasonló módon hatnak a jármű mozgására. Ilyen például a kormányrendszer és a differenciális fékezés. Emiatt a különböző egyedi rendszerek hatása között dinamikai összefüggések is felírhatók, melyek megteremtik a beavatkozók közötti integrálás lehetőségét. Szükséges figyelembe venni továbbá, hogy a gépjármű felépítményének tömegközéppontja nem feltétlenül esik a jármű szimmetriatengelyeibe. Emiatt a járműfelépítmény tehetetlenségi tenzora a főátlón kívül is tartalmaz nem zérus elemeket – tehát a különböző irányú dinamikák nem függetlenek egymástól. Integrált járműirányítással az a kapcsolat elvileg kihasználható. A járműbe épített beavatkozók hatékonysága és gyorsasága, a kifejthető hatás nagysága is eltérő lehet, ennél fogva egy integrált irányítási rendszernek szükséges a részrendszerek eltérő tulajdonságait kezelni.

Az integrált irányítás egy fontos motivációja, hogy a részrendszerek

meghibásodása esetén fellépő negatív hatások kezelhetők, és a gépjármű stabilitása megőrizhető. Mivel a járműdinamikai beavatkozók járműmozgásra gyakorolt hatása hasonló lehet, ezért a részben vagy egészében meghibásodott beavatkozók működése helyettesíthető egy, az integrált rendszeren belüli másik beavatkozóval. Így a beavatkozó hibái ellenére a járművel szemben támasztott minőségi követelmények kielégíthetők.

A cikk beavatkozók rekonfigurációját támogató beavatkozási tartomány vizsgálat két új megközelítési módját mutatja be egy járműirányítási példán keresztül. Az első esetben a kormány és fékrendszer beavatkozóinak működési tartományai Lineáris Változó Paraméterű (LPV) elméleten alapuló módszerrel, míg a második esetben polinomiális rendszerosztályok kezelésére alkalmas Sum-of-Squares (SOS) optimalizálási eljárással.

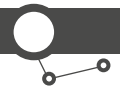
## BEAVATKOZÁSI TARTOMÁNY MEGHATÁROZÁSÁNAK LPV ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉSE

A vizsgált gépjármű oldalirányú dinamikai modellje az **1. ábrán** látható. A gépjármű mozgását az oldalirányú erők és a függőleges tengellyel párhuzamos irányú nyomatékok dinamikai egyenletei írják le az alábbi formában:

$$\begin{aligned} J\ddot{\psi} &= F_1(\alpha_1)l_1 - F_2(\alpha_2)l_2 + M_{br} \\ m\nu(\dot{\psi} + \dot{\beta}) &= F_1(\alpha_1) + F_2(\alpha_2) \end{aligned} \quad (1)$$

ahol  $\psi$  a jármű legyezési szöge,  $\beta$  a jármű oldalkúszási szög,  $m, J, l_1, l_2$  járműparaméterek,  $M_{br}$  pedig a differenciális fékezésből származó aktív nyomaték.

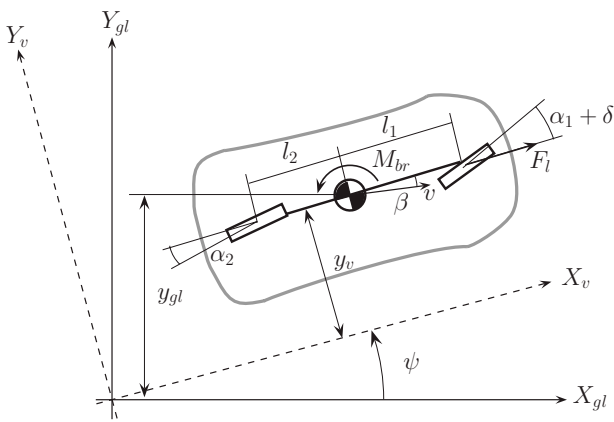
A modellezés során az  $F_1(\alpha_1), F_2(\alpha_2)$  első, illetve hátsó tengelyeken ébredő oldalirányú erőknek alapvető jelentőségük van. A klasszikus lineáris járműirányításban a kerékerőket az  $\alpha$  oldalkúszások függvényében lineárisan szokás felvenni. Az első kerekek oldalkúszási szöge egyidejűleg tartalmazza a kerekek  $\delta$  elorkormányzását, továbbá a  $\nu$  sebességet is [1].



A mozgást leíró (1) dinamikai egyenlet a legyezési szögsebességet és a jármű oldalkúszási szöget állapotként felvéve átírható az alábbi Lineáris Változó Paraméterű alakra:

$$\dot{x} = A(\rho)x + B(\rho)u \quad (2)$$

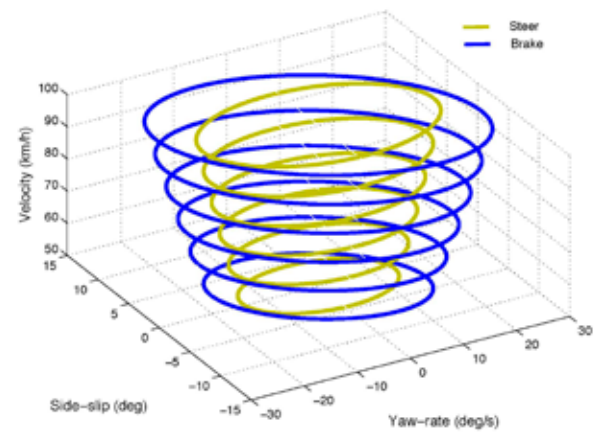
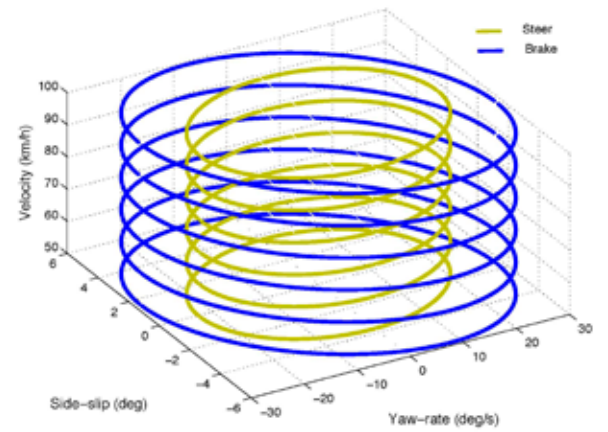
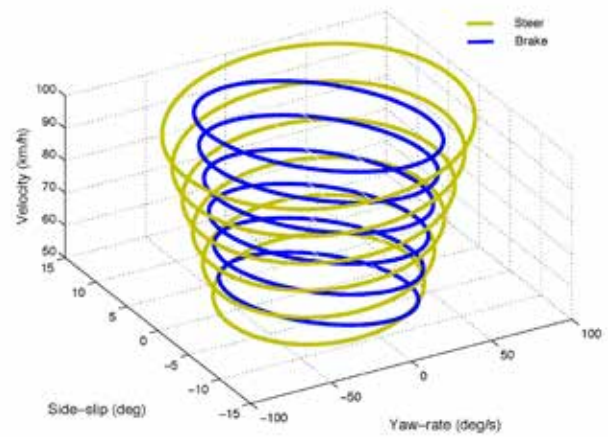
ahol  $\rho=v$  az LPV-rendszer paramétere, az  $u$  irányítójel pedig a  $\delta$  kormányzással, illetve az  $M_{br}$  aktív nyomatékmal egyezik meg egyes esetekben. Ezekkel az irányítójelekkel a gépjármű oldalirányú dinamikája hatékonyan befolyásolható azok működési tartományában. Tekintetbe véve, hogy mindkét beavatkozó véges irányítójelet képes kifejezni, a működési tartományok meghatározása kiemelt jelentőségű, a megfelelő beavatkozó rekonfigurálásának biztosítása végett.



1. ábra: gépjármű oldalirányú dinamikai modellje

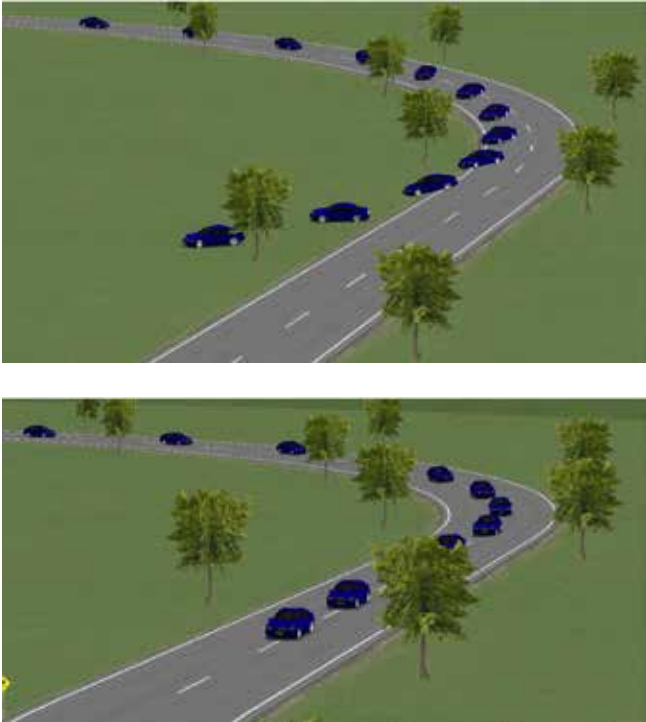
Az alábbiakban a működési tartományok vizsgálatára az elérhetőségi invariáns halmazok számítása kerül felhasználásra. Egy  $\dot{x} = A(\rho)x + B(\rho)u$  folytonos LPV-rendszer  $u$  beavatkozó jelére legyen érvényes az  $u^T u \leq 1$  korlátozás, továbbá az  $x(0)=0$  kezdeti érték. A rendszer elérhetőségi invariáns halmaza azon legbővebb  $x(T)$  állapotok halmaza, amely állapotokra  $T \geq 0$  esetén az előbbi feltételezések igazak [2]. LPV-rendszerek elérhetőségi invariáns halmaz számításai olyan Lineáris Mátrix Egyenlőtlenségekre (LMI) vezetnek, amelyek végeredménye egy paraméterfüggő Lyapunov-függvény [3]. Az LMI-feladatok megoldására a MATLAB Robust Control Toolbox biztosít lehetőséget [4].

A 2. ábra egy személygépjármű példáján keresztül szemlélteti a kormányrendszer és a fékrendszer elérhetőségi invariáns halmazait, különböző tapadási viszonyok mellett. Ezek alapján belátható, hogy a fék- és kormányrendszer beavatkozási korlátjai és ezek egymáshoz való viszonyai a járműsebességtől, a kerék-talaj kapcsolat minőségétől és a járműtípustól jelentősen függenek [5]. Látható, hogy a sebességek és a tapadási tényező növekedésével az elérhetőségi halmazok méretei is növekednek. Továbbá megfigyelhető, hogy nagyobb tapadási tényezők mellett a kormányrendszerrel érhető el nagyobb beavatkozási tartomány, míg alacsonyabb  $\mu$  esetén mindkét rendszernél léteznek olyan állapotok is, melyek csak az adott rendszer használata mellett érhetőek el. A különböző tényezők változása tehát szükségessé teszi az egyes beavatkozók rekonfigurálását.



2. ábra: kormány- és fékrendszer elérhetőségi invariáns halmazai, egy személygépjármű példáján szemléltetve ( $\mu = 0.85; \mu = 0.6; \mu = 0.4$ )

A halmazvizsgálat irányításban való alkalmazását szemlélteti a 3. ábra. Ebben a szimulációban a személygépjármű nagy sebességgel haladva alacsony tapadású úton egy kanyarhoz érkezik, melyet az integrált szabályozó nélkül a vezető nem képes bevenni. A fékrendszer és a kormányrendszer működési tartományain alapuló rekonfiguráló integrált irányítással viszont létezik olyan irányítási stratégia, amelynek segítségével a vezető manővere hatékonyan támogatható.



3. ábra: szabályozatlan és rekonfigurációs stratégián alapuló irányítással ellátott gépjármű szimulációs esetei

### BEAVATKOZÁSI TARTOMÁNY MEGHATÁROZÁSÁNAK SOS ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉSE

Az alábbi fejezetben a fék- és kormányrendszer működési tartományának vizsgálatára egy további módszer kerül bemutatásra. Az LPV-módszerrel számított elérhetőségi invariáns halmazon alapuló megközelítésnek ugyanis vannak bizonyos hiányosságai:

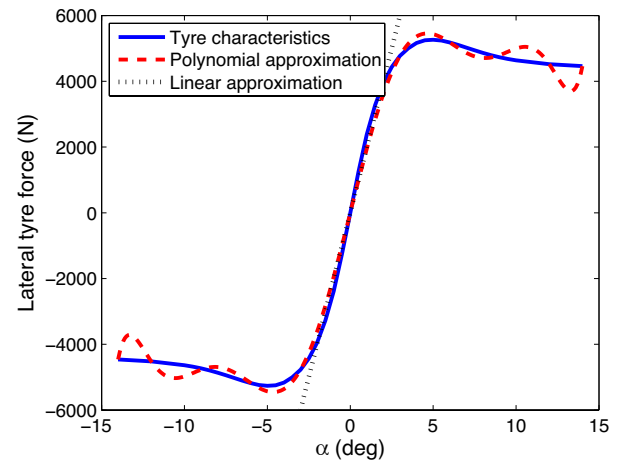
- az elérhetőség csak a stabil tartományon belül értelmezhető, a stabilitás helyreállítása nem vizsgálható vele;
- a sebességfüggéssel kapcsolatos trendek nem terjeszthetők ki az instabil, de véges irányítójellel stabilizálható állapotterezségekre, mert az így kapott eredmények ellentmondának a tapasztalatoknak;
- a működési korlátok szempontjából igazán fontos nemlineáris tartomány kimarad a vizsgálatból. A lineáris tartományokban jellemzően a vezető maga is képes a manővereket végrehajtani.

A hiányosságok mellett az elérhetőségen alapuló megközelítés előnyeként azonban elmondható, hogy az előző fejezetben bemutatott módszer matematikailag egyszerűbb eszközöket használ, a módszertan könnyebben elsajátítható. Továbbá éppen ezen tulajdonságok miatt a járműmodell sebességfüggésének kezelésére is alkalmas.

Az (1) egyenletrendszer a gépjármű oldalirányú mozgását írja le. Az LPV-megközelítés során az (1)-ben szereplő  $F_1(\alpha_1), F_2(\alpha_2)$  oldalirányú erők az oldalkúszás függvényében lineárisan változva lettek modellezve. A Sum-of-Squares optimalizálási módszertanon alapuló megközelítés viszont lehetővé teszi, hogy a kerék karakterisztikáját polinomiális rendszerként modellezve egy nagyobb tartományon vegyük figyelembe. A 4. ábrán egy személygépjármű-keréknek a névleges terhelés mellett vett oldalirányú erő kifejtése került ábrázolásra. A karakterisztika a következő, tizedfokú polinommal közelíthető:

$$F(\alpha) = c_1\alpha + c_2\alpha^2 + \dots + c_{10}\alpha^{10} \quad (3)$$

A közelítésben kapott oldalirányú erő a kerék valós viselkedését  $\alpha = \pm 12^\circ$  oldalkúszási szögtartományban megfelelő pontossággal írja le.



4. ábra: gépjárműkerék-deformációból származó oldalirányú erejének közelítése

Az alábbiakban a működési tartomány vizsgálatához az irányítási invariáns halmazok meghatározása szükséges. Ennek előfeltétele, hogy létezzen az (1) és (3) alapján létrehozott

$$\dot{x} = f(x) + gu \quad (4)$$

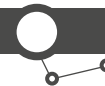
polinomiális rendszerhez úgynevezett Control Lyapunov Függvény. A sima, proper és pozitív-definit  $V: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  a rendszer egy Control Lyapunov Függvénye, ha teljesül

$$\inf \left\{ \frac{\partial V}{\partial x} f(x) + \frac{\partial V}{\partial x} g \cdot u \right\} < 0 \quad (5)$$

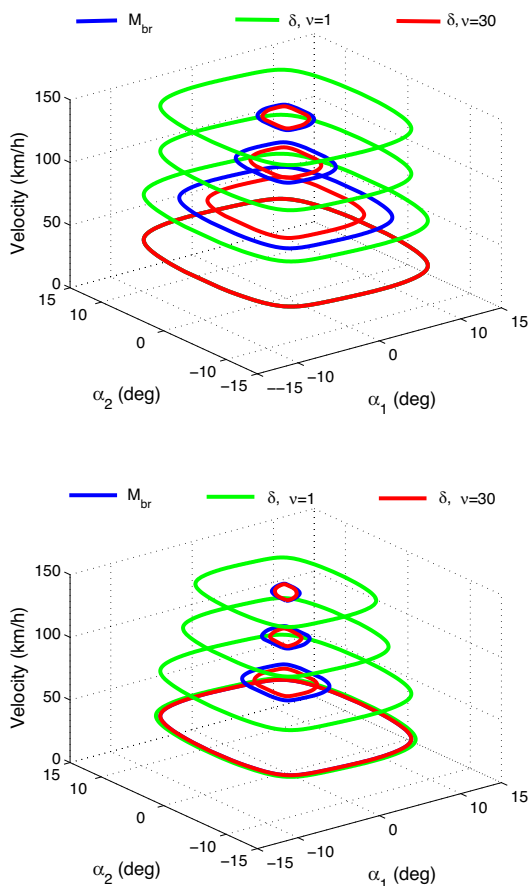
egyenlőtlenség minden nem zérus állapotra [6]. A rendszer irányítási invariáns halmaza definíció szerint a  $V=1$  szintvonal zárt görbéje. A Control Lyapunov Függvény meghatározása polinomiális rendszerek esetén SOS programozási feladatként megfogalmazható optimalizálási feladatra vezet [7]. Ennek megoldására a MATLAB Sum-of-Squares Optimization Toolbox hatékonyan alkalmazható [8].

Az SOS-optimalizáláson alapuló irányítási invariáns halmazok számításának eredményeit szemlélteti egy személygépjármű példáján keresztül az 5. ábra. A kormányrendszer esetében több eset különíthető el, ugyanis a kormányzás dinamikája egy  $v$  paraméterrel került figyelembevételre. A  $v$  paraméter értéke azt határozza meg, hogy a kerékelfordítás szögsebességének maximális értéke hányszorosa a maximális kerékelfordítás szögértékének. Amennyiben  $v$  értéke nagy, az a kormányzott kerekek hirtelen elfordítását jelenti – szemben az alacsony  $v$  értékkel, ami lassú kormányzási dinamikát reprezentál. Az ábrából látható, hogy nagyobb sebességek mellett a kormányrendszer működési tartományának nagyságát jelentősen befolyásolja, hogy milyen gyorsasággal történik a kormánybeavatkozás: lassú kormányzás esetében nagyobb működési tartományok növekedését vonják magukkal. Ennek eredményeképpen a személygépjármű nagy sebességek mellett hirtelen kormánybeavatkozással könnyebben kerülhet instabil helyzetbe. A fékrendszer beavatkozása kapcsán megállapítható, hogy a gyors kormányzási esetenél nagyobb, de a lassú dinamikájú esetenél kisebb állapotterezsége fedhető le vele.





A sebességek növekedésének hatása a stabil tartományok méretére a tapasztalatoknak megfelelő, ugyanis a tartományok mindegyik beavatkozó esetében csökkennek. A kerék-talaj kapcsolat minőségének romlása ugyancsak a stabilizálható tartományok méretének csökkenését okozza.



5. ábra: kormány- és fékrendszer irányítási invariáns halmazai, egy személygépjármű példáján bemutatva ( $\mu = 1; \mu = 0.4$ )

A 6. ábra egy irányítási invariáns halmazon alapuló irányítási példát mutat be. A szimuláció során a vezetőnek egy úton lévő akadályt kell hirtelen kikerülnie. A kormány hirtelen elrántása a gépjármű kerekeinek nagymértékű oldalkúszását eredményezi. Abban az esetben, amikor a gépjárművön nem működik szabályozó (zöld jármű), a rendszer instabil tartományba kerül, aminek következménye az úttest elhagyása. A másik esetben az irányítási invariáns halmazokon alapuló fékrendszer-irányítás a stabilizálás érdekében beavatkozik (fekete jármű), ezért a gépjármű az úton tartható és az akadály kikerülhető.



6. ábra: irányítási invariáns halmaz vizsgálaton alapuló rekonfiguráló szabályozás hatékonyságának bemutatása

## ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk járműdinamikai beavatkozók működési tartományainak vizsgálatát mutatta be, a fékrendszer és a kormányrendszer példáján keresztül. Az LPV megközelítésen alapuló elérhetőségi invariáns halmaz vizsgálat a gépjármű mozgásának egy szűkebb tartományában érvényes, míg az SOS-optimalizáláson alapuló polinomiális megközelítés egy nagyobb oldalkúszási szög tartományban alkalmazható. A bemutatott példák alapján megállapítható, hogy a két módszertan alkalmazható az integrált járműirányítás rekonfigurációs stratégiájának kidolgozását célzó kutatásokban.

## IRODALOM

- [1] Rajamani R. Vehicle dynamics and control. Springer, 2005.
- [2] Boyd S., Ghaoui L. El, Feron E., and Balakrishnan V.. Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1997.
- [3] Shin J.Y.. Analysis of linear parameter varying system models based on reachable sets. American Control Conference, Anchorage, 1:35–40, 2002.
- [4] Balas G., Chiang R., Packard A., Safonov M. MATLAB Robust Control Toolbox User's Guide. Version 3. 2005.
- [5] Németh B., Gáspár P. Analysis of Vehicle Actuators Based on Reachable Sets. In.: 12nd IEEE European Control Conference. Zürich, Switzerland. 17.07.2013-19.01.2013.
- [6] Sontag E.D. A „universal” construction of Arstein's theorem on nonlinear stabilization. Systems & Control Letters, Vol 13. pp. 117-123. 1989.
- [7] Tan W., Packard A. Stability region analysis using polynomial and composite polynomial Lyapunov functions and Sum-of-Squares programming, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 53, no. 2, pp. 565–571, 2008.
- [8] Papachristodoulou A., Anderson J., Valmorbida G., Prajna S., Seiler P., Parrilo P.A. SOSTOOLS Sum of Squares Optimization Toolbox for MATLAB User's guide. Version 3.00. 2013.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

# Establishing LEAN knowledge and laboratories at the Technical University of Košice, Slovakia

**ŠTEFAN BABJAK**

Egyetemi tanársegéd  
TU Kassa, Szlovákia

**KATARÍNA SENDERSKÁ**

Egyetemi tanársegéd  
TU Kassa, Szlovákia

Submitted article introduces the project „Establishing LEAN knowledge and laboratories” (HUSK/1101/1.6.1/0161) supported by the Hungary – Slovakia Cross-border Co-operation Programme 2007-2013, funded by the ERDF, which is realized as the cooperation between BME EJTT and the Faculty of mechanical engineering, Technical university of Košice. The paper presents the idea, scope, approach, methodology, results, and options for utilization, dissemination, and further development within the environment of Slovak universities and industrial practice. The benefits of the project are not limited by the area of Lean manufacturing and automotive engineering and production, but innovative learning approach and experience can reach all areas related to education and training, both students and employees, to enhance their value for current and possible employers, and thus enhance their competitive ability on the labour market. As such, it is one among the steps towards the knowledge economy, an important goal across all EU countries, as a mean to deal with the economical crises and battle the competitive advantage of low-cost countries.

## 1. IDEA AND SCOPE OF THE PROJECT

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 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.

Similar to fact that the army is only as good as their soldiers are, also the success of the business company stands on the well-trained and motivated employees. A lot of patents and new technologies, viewed as milestones in automotive technology, make new training systems necessary. New materials utilization, progressive IT tools for computer aided engineering works, advances in safety optimization, intelligent drive systems and integration of mobile communications are just a few examples of the changes occurring in automotive engineering profession, e.g. in the field of R&D, design, manufacturing, testing, maintenance etc. The enormous demands placed on automotive trainees today involve correspondingly modern and practical hands-on systems of instruction. One of the most important training objectives is to enable participants to work independently in a professional manner.

In Slovakia, as well as in Hungary and all the V4 countries, there was recently a big boom in the automotive industry, as the worldwide car makers have here built and opened their production facilities. As they came in region, accompanied with global Tier 1 suppliers, a number of new and existing domestic companies have restructured their production to become the suppliers on lower tiers. The lean approaches, based on Lean manufacturing and Toyota Production System are used in manufacturing plants and in the automotive industry, as well as in other sectors. The

problem in our region is that university education is lagging technical specialization in this field. Theoretical material’s and methodologies availability are limited to paid study programs or courses, and full-time students do not receive in this area very less or no information. Equal opportunities could be in this direction greatly improved, so engineering graduates could be immediately usable with their knowledge on the Lean way production management.

## 2. PHILOSOPHY AND APPROACH

The main objective of the project was to develop a methodology for teaching Lean Management, which provides the options for engineering graduates to immediately enter the industrial practice with knowledge of management, which is provided by Lean Management. Currently, there are very less such teaching forms, or at least they are difficult to access. Production engineers are not familiar with the knowledge, which is only available in the factory environment, for example the issues of manufacturing cells and their management. Within the preparatory phase of the project were outlined the obligatory features of the learning system:

- Theoretical knowledge base which covers as many known Lean methods, techniques and tools as possible, at least briefly introduced, to stimulate and motivate the course participants to combine them and to gain the benefits of synergy.
- Learning by doing approach to transform theoretical knowledge into practical experience through specifically oriented courses.
- Project based learning approach – creating the teams and solving the specified problem within the team should stimulate the team cooperation and mutual responsibility in order to achieving the goals. Additional benefit of this approach is added value that reflects not just in ability to solve the problem, but also in stimulation, motivation, and learning, how to organize small operational teams in practice (e.g. quality circles, implementation of TPM, Kobetsu-Kaizen, Jishu Hozen, etc.).
- Training facility (laboratory), which in the case of FME TU Košice, will be primarily oriented on the lean manual assembly, which was chosen due its relatively simple feasibility and wide



scope available for demonstration. Other important group of activities is oriented on lean product design, as it corresponds with the profile of the activities of the Automotive section of the Department of Technology and Materials FME TUKE.

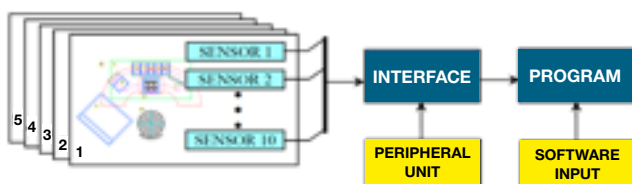
#### Target groups:

- Engineering university students
- Engineers in postgraduate study – PhD. candidates
- Engineers and lower-level production managers (e.g. line or facility supervisors) from industrial practice, especially from SME (small and medium enterprises) automotive suppliers

### 3. IDEAS BEHIND THE LABORATORY FACILITY AND KNOWLEDGE BASE DEVELOPMENT

Lean production training focuses on system performance, identification and elimination of waste, elimination of sources of variability, and good understanding and use of the principles of operations management. For the project purposes, there was decided to choose training the lean techniques with primary focus on the manual assembly.

The solution is based on philosophy and concept, where on-line manual assembly workstation analysis is based on obtaining the information from sensors installed at a manual assembly 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 1).



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

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.).

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. The training centre is equipped with four workstations and maximum of 12 persons simultaneously involved directly or indirectly 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.

### 4. TRAINING COURSES

Laboratory of lean assembly is designed to solve the problems of manual assembly or product subassemblies of low and medium complexity using the methods and tools of lean manufacturing. The concept allows:

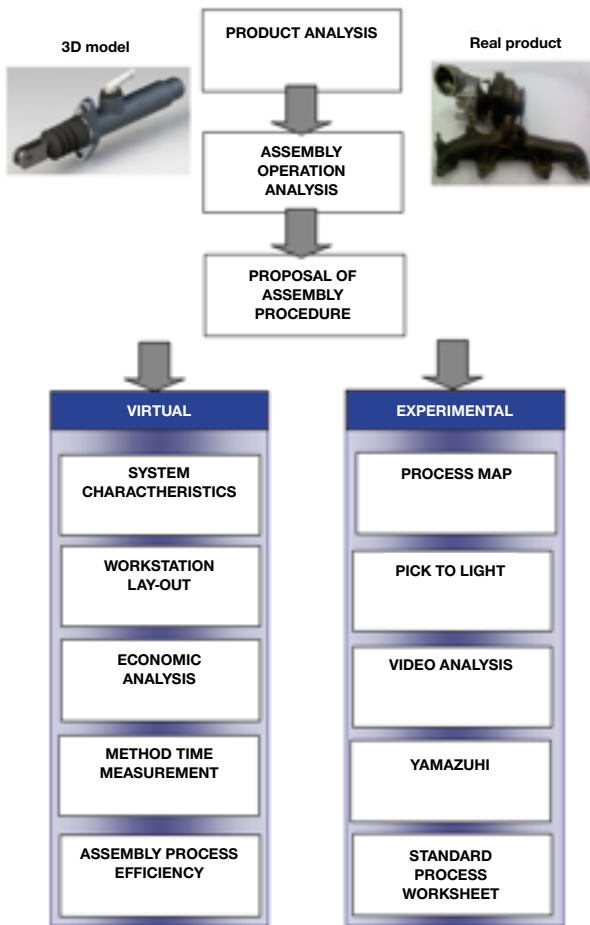
- Connect so called virtual proposal with real implementation of assembly process in the laboratory
- Integrated application of methods for lean assembly
- The possibility of individual application of each method based on the requirements
- Comparison of virtual (simulation) and experimental section

Figure 2 shows a flow diagram of the procedure showing methods for virtual methods and the implementation in the laboratory.

Designing of the assembly process starts with the analysis of the assembled product. This analysis is possible even if the input is only the CAD model of the product. Analysis process includes the decomposition of the product and the analysis of individual components of the product, as well as the identification of sub-assemblies of the product, i.e. also focuses on the structure of the product. An important part of this analysis is to decide how and whether all the sub-assemblies are installed in the so-called final assembly; if there are several possible assembly sequences needed at this stage, it will be chosen one sequence, or else the sequence of assembly operations will be carried out subsequently. This decision is output of the analysis of the assembly operations. The design (proposal) of the technological process of the assembly is carried out starting from product analysis and sequence of the assembly operations. Technological process of assembly connects the structure of the product, i.e. individual components, parts and sub-assemblies with assembly operations i.e. activities to be undertaken and displays them in standardized graphical manner.

In the next part of the procedure it is necessary to identify the system characteristics of the manual assembly workplace (cell), such as the degree of concentration of assembly operations per worker or expected cycle time. In the case of more than one assembly workstations, it is necessary to assign the assembly operations to individual workstations. This also defines the necessary interconnection of individual workplaces.

The next part of the procedure is necessary to develop lay-out of the workplace, or workplaces. There is the detaile



2. The diagram of methods and tools within the designing of the lean assembly

3D model of the facility available, which can be used. If it is necessary another workstation, it can be added using specialized software – configurators, such as MTpro, or it can be created a completely new custom design. The proposal involves placing trays, instruments and tools as well as other equipment.

This 3D model of workplace is the basis for ergonomic analysis, which is available in most CAD programs. For example, in CATIA it is possible to gradually perform the analysis of transferring loads, push – pull and RULA analysis of human positions. In case of any problems it is necessary to modify the workstation and perform the ergonomic analysis again.

The last stage of the virtual design is to calculate the time of assembly, using any of the methods that are based on predetermined time sequences, for example MTM - Time Measurement Method. On this basis, it is then possible to determine the assembly process efficiency factor as the ratio of effective and ineffective components of the time (value adding, non-value adding and possible waste). By changing the assembly procedure or rearrangement of work may be the unsatisfactory result changed in positive manner. If there are several proposals of assembly workstations, the efficiency factor may be one of the criteria for selecting the optimal alternative.

After completing the virtual phase, we can proceed to so called experimental phase. At this stage it is necessary to perform the assembly step-by-step in the laboratory, and also implement the methods, techniques and tools of lean manufacturing approach.

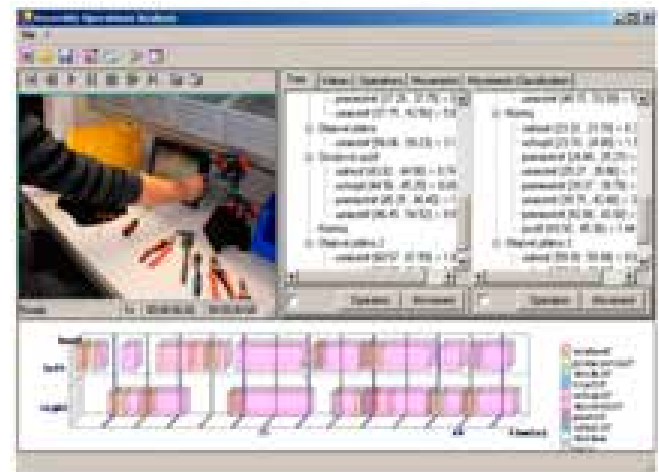
Each of the methods described in following can also be used individually, without the virtual stage design. The first method is to develop process maps, most commonly implemented in the form of a flowchart. Process map gives the worker detailed instructions for performing the process including alternatives for decision-making situations, and also identifies the type of process steps – typically, differs between value adding and non-value adding operations.

In the laboratory of lean assembly, there is implemented Pick to Light System (figure 3), based on monitoring the putting the hand into the trays, where are the components placed. A part of the training is to define the pick to light system, its debugging and evaluation of data, which are at the end of the installation process available in Excel format.



3. Screen of the Pick to light system monitor

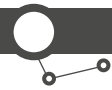
Video analysis (fig. 4) as a method of analysis based on the captured video, allows getting detailed information about the temporal characteristics of the activities in the workplace. Depending on the classification system, the analysis can be detailed as analysis MTM, or operation by operation which may serve as input for Yamazumi diagram.



4. Screen of the AOA software – video analysis of the manual assembly

Yamazumi diagram (fig. 5) can serve as a tool for identifying or losses (or waste), or for balancing lines, and it can have the input from a variety of sources. In the conditions of lean assembly laboratory, this diagram can be used to analyze the value adding operations and waste at the assembly workplace, or to balancing four manual assembly workplaces, where the assembly of one product be carried out on more than one workplace. Input data





can be obtained by measuring the time with stopwatch, as well as the data obtained from MTM or video analysis.



5. Yamazumi diagram for 4 assembly workplaces

In the final stage can be processed so called Standard process worksheet and other outputs defining detailed proceedings of assembly process, as well as time data and characteristics, and much more. The next step varies according to specific courses, and can include training of various lean methods, techniques and tools, such as 5S, Kaizen event, Stand in the circle, Ishikawa, VSM, TPM, etc. At the fig. 6 and 7 are presented two from four laboratory workstations. The first workstation one is equipped by Pick-to-light system, the second is dedicated for the product design activities.

## 5. CONCLUSION

Getting trainees and students up to speed, cultivating their enthusiasm for new technologies and providing them with the tool set needed for a successful future career – these are today's automotive training challenges for tomorrow. Only well-trained, committed specialists are able to cope with new challenges and promote innovation.

To ensure not only theoretical knowledge of many Lean Production methodology and techniques, but also practical



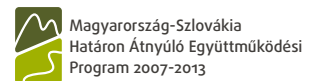
6. Laboratory of Lean assembly – workstation with Pick to light system



7. Laboratory of Lean assembly – workstation for product design

experiences that are available directly in the production and training laboratories. Some Lean Production tools and methodologies can be presented in a classroom; some must include exercises, a practical portion of training and the others can learn only by applying them - learning by doing at workstations. All training activities must conclude with a demonstration by participants that they have learned and understand how to use the new process or the new toll.

In course about Lean Production, by using Learning by doing method can be imitate On-the-Job Training way. Schooling will consist to training on how to perform some specific job, e.g. also on the proper use of tools, equipment, observation of safety rules, quality procedures, preventive maintenance, ordering materials and reporting problems. It requires practical knowledge of the workplace in laboratory. Every training module or a topic presented in a classroom must be followed by a realistic and practical exercise in simulated environment. Participants have a chance to observe the current situation, identify waste, collect and analyze data and recommend solutions. ●



Partnerséget építünk

### IRODALOM

- [1] BABJAK, Štefan - KENDER, Štefan - DÚBRAVČÍK, Michal: Lean creative automotive product design (LCAPD) In: A Jövő Járműve Vol. 5, no. 3/4 (2012), p. 70-78 ISSN: 1788-2699
- [2] KOVÁČ, Juraj – STEJSKAL, Tomáš: Modernization of production bases with the use of knowledge information In: International Scientific Herald. Vol. 3, no. 2 (2012), p. 116-122. - ISSN 2218-5348
- [3] MONKA, Peter - MONKOVÁ, Katarína: Individual application system for computer aided process planning In: WCE 2012 : proceedings: July 4-6, 2012, London ISBN: 978-988-19252-2-0
- [4] RUDY, Vladimír - ŠESTÁK, Ján: Modeling in design of modular manufacturing workplaces - PLM modular system Technomatix In: Manažment podnikov. roč. 3, č. 2 (2013), s. 99-102. - ISSN 1338-4104
- [5] SENDERSKÁ, Katarína - LEŠKOVÁ, Andrea - MAREŠ, Albert: Design characteristics of manual assembly workstation system in the Lean production structures In: Journal of Production Engineering. Vol. 16, no. 1 (2013), p. 87-92. - ISSN 1821-4932
- [6] SENDERSKÁ, Katarína - MAREŠ, Albert - ZAJAC, Ján: 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
- [7] VÁCLAV, Štefan, - BENOVIČ, Martin: Simulácia montáže vo výučbe In: Journal of Technology and Information Education Vol. 3, no. 1 (2011), p. 17-21 ISSN: 1803-537X

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Paper is the result of the Project implementation: „Establishing LEAN knowledge and laboratories" (HUSK/1101/1.6.1/0161) supported by the Hungary – Slovakia Cross-border Co-operation Programme 2007-2013, funded by the ERDF.

# Agymotoros hajtású jármű architektúrája és irányítástervezése

## BAKOS ÁDÁM

tudományos segédmunkatárs  
MTA SZTAKI

## LANG ANDRÁS

fejlesztőmérnök  
MTA SZTAKI

## DR. GÁSPÁR PÉTER

tudományos tanácsadó  
MTA SZTAKI

A cikk bemutatja az elektromos járművek hajtására alkalmas agymotoros technológiát és tervezési metodikát. Részletesen ismerteti egy agymotoros hajtású jármű fedélzeti rendszer architektúrájának tervezését és fejlesztését, a szabályozástervezési szempontokat, valamint a hierarchikus irányítástervezés lépéseit.

The article presents the wheel hub motor technology suitable for driving electronic vehicles, together with the design methodology. It presents in detail the design and development of a wheel hub motor driven vehicle's architecture, the aspects of control design, and the steps of the design of the hierarchical control.

## BEVEZETÉS AZ AGYMOTOROS TECHNOLÓGIÁBA

### Az agymotor rövid bemutatása

A kerékagymotoros hajtás gondolata a 19. században indult útjára, az első agymotoros járművet Ferdinand Porsche tervezte. Az autó az 1900-ban rendezett Párizsi Világkiállításon megnyerte a kiállítás különdíját, majd szériagyártásba került, és Lohner-Porsche néven vált híressé. Ebben a járműben jelent meg először a kerékagymotor, melyben a tekercselés került a motor belső részébe, míg az állandó mágnesek a külső gyűrűre. A kerékagyba építhető motor koncepciója a benne rejlő lehetőségek miatt újból és újból felkelti a mérnökök érdeklődését, ám elterjedni még nem tudott.

### Az agymotoros hajtás járműdinamikára gyakorolt hatásai

Az agymotoros hajtás három alapvető módon jelenhet meg a gépjárművekben. Alkalmazható első-, hátsó-, vagy négykerék-hajtásra. Kiváltható vele a belső égésű motortól a hajtórudakig a teljes hajtásrendszer, ám a súlyos motorok miatt hátrányokkal is számolni kell [4]..[6].

A jól szabályozható agymotorokkal egy megfelelően működő súrlódásmérő rendszer esetén igen jól kihasználható a tapadási tartomány, valamint az ESP-rendszerrel összekapcsolva jelentősen javíthatók a gépjármű legyezési dinamikai tulajdonságai. A fékezés a motorok generátorüzemben történő alkalmazásával jól szabályozható módon megvalósítható, s csak a megállás előtti kis sebességnél, valamint rögzítésnél kell mechanikai féket alkalmazni. A mechanikai összeköttetések számának csökkentésével a manőverezési tulajdonságok javulása a nagyobb szögben kifordítható kerekeknek köszönhető, melynek a parkolásnál lehet nagyobb jelentősége.

Az agymotorok jelentős súlya a gépjármű rugózatlan tömegeinek számottevő emelkedését okozza, mely jelentősen rontja a lengéskényelmi tulajdonságokat, s többek között emiatt nem terjedt el az agymotoros technológia, egyelőre.

A járműirányító komponensek összehangolásával, valamint az integrált járműirányítás tervezésével többen foglalkoztak az irodalomban. Néhány példát megadunk az irodalomjegyzékben [1]..[3].

## AGYMOTOROS JÁRMŰ FELÉPÍTÉSE

Jelen cikkben egy kísérleti járműként megvalósítható négykerék-meghajtású agymotoros autó tervezett felépítése, elektronikai rendszerének architektúrája és irányításának tervezése kerül bemutatásra.

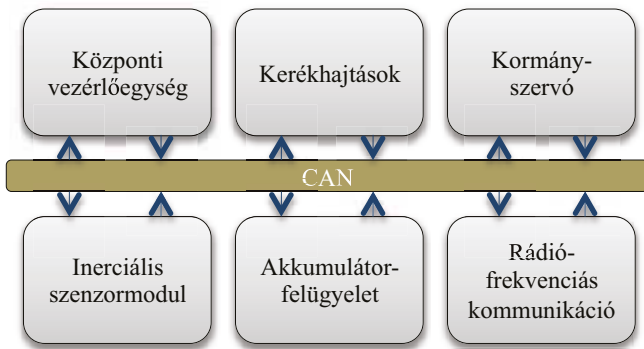
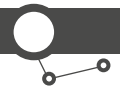
### A fedélzeti elektronikai rendszer architektúrája

A fedélzeti rendszer architektúrájának kialakításakor moduláris felépítés alkalmazása ajánlott, így az egyes részegységek egymástól függetlenül tervezhetőek és kezelhetőek. A jármű hat nagyobb egységre történő bontása ajánlott, melyek az alábbiak: egy központi vezérlőegység, kerék-hajtások, egy kormányszervo, egy inerciális mérés-eket megvalósító szenzormodul, egy akkumulátor- és energiafelügyeleti egység, valamint egy rádiófrekvenciás kommunikációs modul (**1. ábra**).

Bekapcsoláskor elsőként az akkumulátorfelügyeleti egység lép működésbe. Miután elvégezte az akkumulátorok állapotának feltérképezését, tápfeszültséget ad a többi egység számára is. Amikor minden egység vezérlője elindult és jól működik, a hajtások is tápfeszültséget kapnak, és az autó működésre készen áll.

A központi vezérlőegység funkcióját egy Raspberry Pi mikroszámítógép látja el, mely a CAN kommunikációs protokoll alkalmazásával tartja a kapcsolatot a többi egységgel.

Ezen a platformon a kommunikáció mellett implementálva van a szabályozó, mely a beérkező vezérlőjelek és a kért szenzorjelek függvényében a motorok számára a nyomatékigényt, míg a szervónak a kormányzó kivant értékét küldi ki. Minden egyes motorhoz külön szabályzóegység tartozik, mely gondoskodik arról, hogy a kért nyomaték a motorokon megjelenjen, valamint a központi egység számára a szögsebesség aktuális mért értékét továbbítja. A szervo a kért kormányzójelet az első kerekeken realizálja. Az autó legyezési szögsebességét az inerciális szenzormodul méri, a referenciajelet pedig a rádiófrekvenciás modulon keresztül kapja a rendszer, mindkettő a CAN-hálózaton keresztül kommunikál a központi egységgel.



1. ábra: agymotoros hajtású jármű rendszerarchitektúrája

### A KERÉKHAJTÁSOK

A kísérleti jármű hajtására külső forgórészű, állandómágneses szinkronmotorok lettek kiválasztva. A hajtás mezőorientált áramszabályozást alkalmaz, vagyis a tápláló áramok fázishelyzetét a forgó rész aktuális szögének figyelembevételével állítja elő, tehát az áramot a forgó rész mindenkor szögéhez orientálja. Ez a módszer több előnyös tulajdonsággal is rendelkezik, a különböző motorszabályozási technikákkal szemben. Egyik előnye, hogy adott áram hatására ezzel a módszerrel érhető el a legnagyobb nyomaték. Másik előnyös tulajdonsága, hogy a nemlineáris karakterisztikákkal rendelkező motorral szemben a szabályozott hajtás kívülről már lineáris tulajdonságot mutat. További előnye, hogy a motor álló állapotban is képes nyomatékot kifejteni, és nem eshet ki a szinkronból. Ez utóbbi lehetőség az autó indításánál kap fontos szerepet.

A motorok táplálását biztosító teljesítményelektronika egy MOSFET-ekből felépített, kapcsolóüzemű, PWM-vezérléssel rendelkező áramkör. A motorok nyomatéka a tápláló áramok amplitúdójával a mezőorientált szabályozás miatt egyenesen arányos. A motor és a szabályozás alkotta közös rendszer így egy nyomaték-bemenettel és fordulatszám-kimenettel jellemezhető rendszerként működik, így a nyomatékból adódik a fordulatszám.

### HIERARCHIKUS IRÁNYÍTÁSTERVEZÉSI STRUKTÚRA

Az irányítástervezés lépéseinek szétválasztása céljából hierarchikus struktúra alkalmazása ajánlott. Ekkor a felső szintű irányítás feladata a jármű mozgásának figyelembevételével a két beavatkozó jel (kormányzóg és legyezési nyomaték) számítása, s ezt a nyomatékot az alsóbb szintű szabályozás osztja szét az egyes kerekek között. Az ily módon kapott motoronkénti nyomatékigényt a legalsó szintű hajtásszabályozások realizálják.

### MOZGÁSEGYLETEK, ÁLLAPOTTÉR REPREZENTÁCIÓ

A jármű dinamikai modellje a 2. ábrán látható úgynevezett biciklimodell alapján írható fel:

$$mv(\dot{\psi} + \dot{\beta}) = c_f \alpha_f + c_r \alpha_r \quad (1)$$

$$J * \ddot{\psi} = c_f l_f \alpha_f - c_r l_r \alpha_r + M_z \quad (2)$$

ahol az első és hátsó kerekek oldalkúszási szöge

$$\alpha_f = \delta - \beta - \frac{\dot{\psi} l_f}{v} \text{ és } \alpha_r = -\beta + \frac{\dot{\psi} l_r}{v}$$

A modell az alábbi állapotér-reprezentációban foglalható össze:

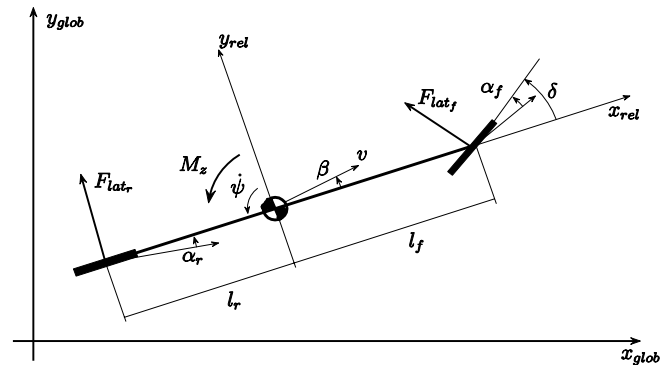
$$\dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u \quad (3)$$

ahol  $u = [\delta \ M_z]^T$  az irányítás és  $w$  az állapotzaj.

A minőségi jellemezők és a mért jelek:

$$z = C_1 x + D_{12} u \quad (4)$$

$$y = C_2 x + D_{21} w \quad (5)$$



2. ábra: biciklimodell

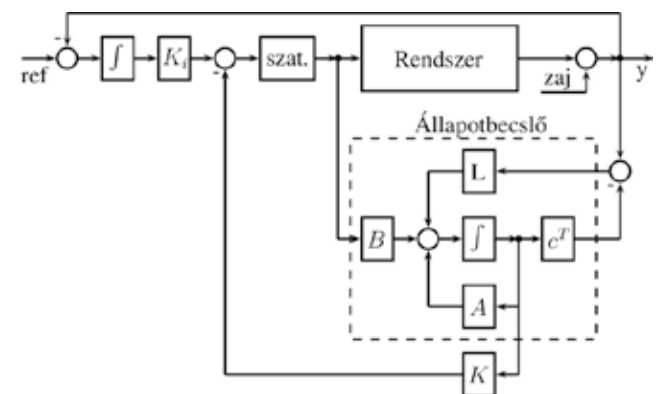
### Felső szintű irányítástervezés

A szabályozási cél referencia legyezési szögsebesség követése:

$$\text{Min} \{ (\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref})^2 \} \quad (6)$$

minimális túllendülés és beállási idő mellett a szenzor zaj, valamint az aktuátorok energiakorlátozottságának figyelembevételével.

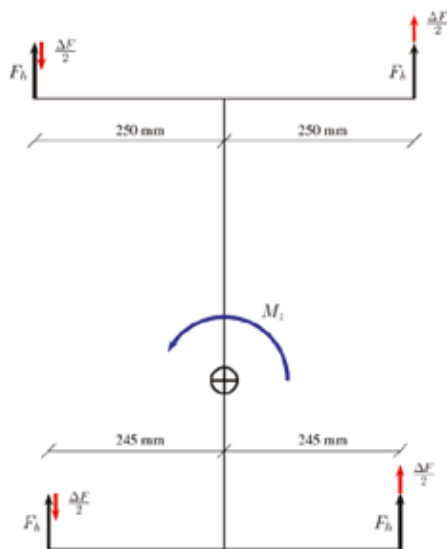
A szabályozási feladat megoldására egy lehetséges módszerként az LQ-(Linear Quadratic) módszer javasolható. A referencijel-követés érdekében struktúramódosítás módszerrel alkalmazható, a 3. ábrán illusztrált módon.



3. ábra: a jelkövető szabályozási struktúra klasszikus módszere

### Nyomatékszétosztás a tervezés második szintjén

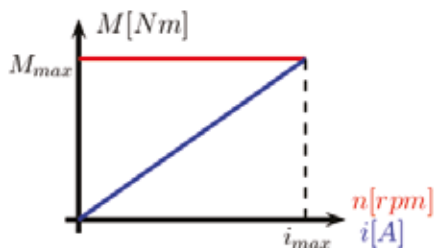
Amíg a gépjármű egyenesen halad, a kerekek fordulatszáma megegyezik. Amennyiben ezt a sebességet kell tartani ívmenetben is, a belső kerekeknek kisebb, míg a külsőknek nagyobb fordulatszámon szükséges forogniuk. A nyomatékok elosztása is ezt követi, vagyis ívmenetben a külső kerekeknek nagyobb nyomatékot kell kifejteniük, ezzel segítve a kormányzást. A legyezési nyomatékot adó oldalankénti keréktalpponti erők különbsége a nyomtávok figyelembevételével számítható úgy, hogy közben az oldalankénti erők elől-hátul megegyeznek, valamint a keréktalpponti erők eredője végig konstans maradjon (4. ábra).



4. ábra: a nyomatékok elosztása

**Nyomatékok realizálása a motorokon**

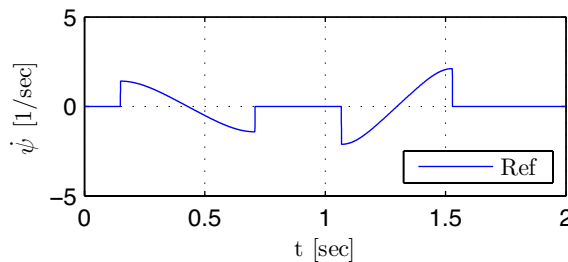
A nyomatékok realizálását a korábban leírt, mezőorientált szabályozású hajtások végzik. A mezőorientált áramszabályozás következtében a motor nyomatéka az áram nagyságával arányos, így az áramszabályozás egyben nyomatékszabályozást is megvalósít. Ezt szemlélteti az 5. ábra kék színű görbéje. A szabályozott nyomaték következtében a motor kialakult fordulatszámát külső tényezők (terhelő nyomaték, gördülési ellenállás, súrlódás stb.) határozzák meg, vagyis egy előírt nagyságú nyomaték létrehozható bármely fordulatszámon. Ezt az 5. ábra piros görbéje szemlélteti. A fordulatszám-független nyomaték kifejtésének azonban a gyakorlatban a teljesítményelektronikai kapcsolás telítődése szab határt. Egy bizonyos fordulatszám felett ugyanis az indukált feszültség növekedése miatt már nem biztosítható a konstans áram fenntartásához szükséges beavatkozó feszültség.



5. ábra: a motorok nyomaték jelleggörbéi

**SZIMULÁCIÓS PÉLDA**

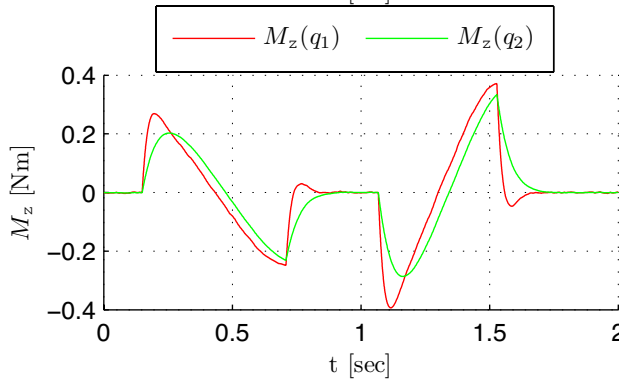
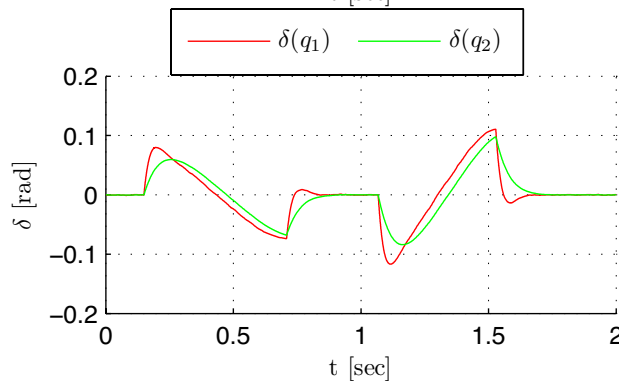
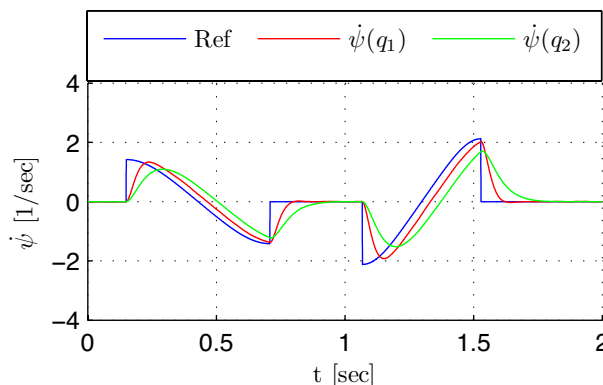
A szimulációs példában egy legyezési szögsebesség-referencia követési feladatot oldunk meg, négykerék-meghajtású agymotoros járművel. A referencia-szögsebesség a 6. ábrán látható. A felső szintű szabályozó MATLAB/Simulinkben történő elemzésével kimutatható, hogy a referenciajel-követés megvalósul, a minőségi tulajdonságok pedig a tervezéshez használt költségfüggvény súlyozó mátrixainak változtatásával hangolhatóak. Az állapotokat eltérő módon súlyozó függvények eredményeként adódó referenciajel-követés, valamint a tervezett beavatkozó jelek (kormányzóg és legyezési nyomaték) a 7. ábrán láthatók. A hibajel nagyobb mértékű büntetésével a követési hiba csökken, de ezzel egyidejűleg mindkét aktuátornál megnövekedett beavatkozási igényel kell számolni.



6. ábra: a szabályozó referenciája

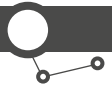
**TOVÁBBLÉPÉSI IRÁNYOK**

Az agymotoros hajtás sarkalatos pontja a felső szintű szabályozó kimenetét jelentő legyezési nyomaték elosztása az egyes kerekeken. A megvalósított szabályozó még nem garantálja minden egyes kerék tapadását, ugyanis előállhatnak olyan helyzetek, amikor valamely kerék kipörög vagy megcsúszik. Ezen állapotok elkerülése és a tapadás biztosítása rendkívül fontos, így a szabályozó továbbfejlesztési iránya is e cél felé mutat.



7. ábra: a felső szintű szabályozó kimeneti függvényei, valamint a beavatkozó jel igények különböző q súlyozó mátrixok esetén



**IRODALOM**

- [1] Gáspár P., Németh B. and J. Bokor, Design of a supervisory integrated control for driver assistance systems, Conference on Decision and Control, Maui, Hawaii, US, 2012.
- [2] Gáspár P., Szabó Z. and J. Bokor, LPV design of reconfigurable and integrated control for road vehicles, Conference on decision and control, Orlando, Florida, 2011.
- [3] Hirano Y. Integrated vehicle control of an in-wheel-motor vehicle to optimize vehicle dynamics and energy consumption. In 10th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2012.
- [4] Fahimi F. Full drive-by-wire dynamic control for four-wheel-steer all-wheel-drive vehicles. Vehicle System Dynamics, 51(3):360-376, 2013.
- [5] Osborn R.P. and T. Shim. Independent Control of all-wheel-drive torque distribution. Vehicle System Dynamics, 44(7):529-546, 2006.
- [6] Wang R., H. Zhang and J. Wang. Linear parameter-varying controller design for four wheel independently-actuated electric ground vehicles with active steering systems. Control Systems Technology, IEEE Transactions on, 2013.

**KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

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

# Hibrid-elektromos hajtáslánc koncepciók összevetése objektív szempontok alapján

**BÁRI GERGELY**

tudományos segéd munkatárs  
Kecskeméti Főiskola

**VARGA DÁVID**

hallgató  
BME

**KOCSIS BENCE**

ügyvivő szakértő  
BME EJJT

**TRENCSÉNI BALÁZS**

tanársegéd  
BME KSK

**DR. AILER PIROSKA**

rektor  
Kecskeméti Főiskola

A projekt célja egy korszerű hibrid hajtáslánc struktúra kiválasztása, és az együttműködő belső égésű és villamos gépek intelligens szabályzásának megoldása. A projekt jelenlegi szakaszában a négy modell szimulációs eredményeinek objektív alapon történő, összehasonlító elemzésére került sor. Objektív szempontok alatt jelen kutatásban a tüzelőanyag-fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás mennyiségét, azok mérhetőségét és egyenlő mérce szerinti összehasonlíthatóságát értjük. A kiértékelés vezérlő elve az említett szempontok minimalizálása a modellek esetében egyenként és egymáshoz mérten is.

Aim of the project is to select an up-to-date hybrid drive-train structure, and to provide an intelligent control of both internal combustion engine and electric machine(s). In the current part of the project, simulation results of the four models are subject of a comparative evaluation, on a strictly objective basis. Under objective evaluation, in the current research the ability to compare and measure in an even manner, the amount of fossil fuel consumption and greenhouse gas emission is understood. The guiding principle behind the objective evaluation is the minimization of aforementioned consumption and emission, for each model and compared to each other, as well.

## MOTIVÁCIÓ

Manapság folyamatos fejlődésen és átalakuláson megy keresztül a személygépjármű fogalma, hogy képes legyen a jelenkor elvárásainak, kihívásainak megfelelni. Olyan járműre van szükség, amelynek alacsony a fogyasztása és károsanyag-kibocsátása, elfogadható menetdinamikai tulajdonságokkal és megfelelő hatótávolsággal rendelkezik, mindemellett az alapvető komfortigényeknek is meg tud felelni.

A modellspecifikáció során a cél egy olyan optimális hajtáslánc megalkotása, amely a hagyományos és a teljesen elektromos hajtás között helyezkedik el – eltérő mértékű hibridizáció, különböző architektúrákban. Az egyes hajtásláncok (modellek) menetciklusok alapján történő összehasonlításával lehetőség nyílik az optimális hajtáslánc meghatározására. Ezt követően a megfelelő vezérlés és az energiafelhasználásnak a hajtásláncok megfelelő paraméterezésével történő optimalizálása a feladat. Ehhez egy olyan kontrollere van szükség, amely a vezető által támasztott pillanatnyi teljesítményigényt a hajtásláncok pillanatnyi állapotának és paramétereinek függvényében ki tudja szolgálni. A vezérlés tovább finomítható a navigációs rendszerből érkező jelek felhasználásával, azaz a jármű lehetséges jövőbeni sebességével számolva optimalizálhatja annak energiafelhasználását.

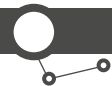
Részcélunk a hibrid hajtásláncok AVL Cruise-ban történő implementációja, amely jármű és hajtáslánc

szintű analízist tesz lehetővé. Mindegyik a korábbi projekt-fázis során megalkotott hibrid modell kezelésére alkalmas. A szimulációhoz szükséges egy egyszerűsített energiamenedzsment megalkotása, amellyel kapcsolatban az egyik legfontosabb elvárás, hogy nagyjából megegyezzen mind a négy hajtásláncmodell esetében, amire az igazságos összehasonlíthatóság miatt van szükség.

Ha a modell és a modellezési környezet rendelkezésre áll, a szimulációs eredményeket szisztematikusan össze kell gyűjteni. A legfontosabb kimenetek a tüzelőanyag-fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás.

A koncepciók és szimulációs eredményeik részletes kiértékelésére van szükség, miután a specifikációknak való megfelelés alapján a kiválasztott koncepció további részletes analízise következik.

A modellspecifikáció alkalmával meglehetősen kevés és csak rövid múltra visszatekintő adat, statisztika és kimutatás áll rendelkezésre a magyarországi gépjárműhasználattal kapcsolatban. Ennek egyik kézzelfogható része, hogy az egy napos utazások közel felét a társadalom még mindig személyautóval abszolválja, a másik pedig, hogy ezen utazások mind időben, mind távolságban kellően limitáltak. Célunk tehát, hogy a viszonylag rövid utakon (munkába járás) magas energiahatékonyságot tudjunk biztosítani, de a hosszabb (hétvégi) utazásokra is megfelelő hatótávolság álljon rendelkezésre.



## HIBRID-ELEKTROMOS HAJTÁSRENDSZEREK

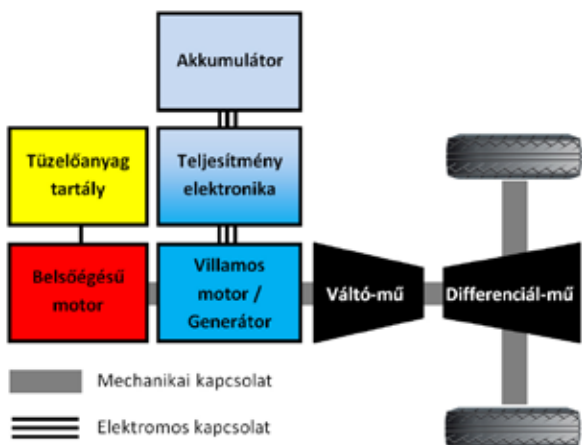
A hibrid hajtáslánckokat megkülönböztethetjük a technológia kialakítása alapján (**1. ábra** függőleges tengely) és/vagy a hagyományos és hibrid teljesítmény arányában (**1. ábra** vízszintes tengely). Ezek ismeretében, az ábrázolását követően akár előzetes megállapítások is tehetőek.



1. ábra: koncepciók grafikus összehasonlítása

Az egyik legegyszerűbb kialakítás, a mikro hibrid (K3). Jelen esetben egy megnövelt teljesítményű generátor az, mely a kiegészítő hajtást bizonyos korlátozások mellett biztosítani képes. Mivel a beépített villamos teljesítmény – önmagában és a beépített hagyományos teljesítményhez mérten is – alacsony, ezért mikro hibridről beszélünk. A konfiguráció előnye egy hagyományos rendszerhez képest az energia-visszatáplálás lehetősége, továbbá, hogy start-stop rendszer megvalósítására is alkalmas. Ezzel tüzelőanyag-megtakarítás válik lehetővé az elindulás, valamint az üresjáratok során.

Párhuzamos hibrid kialakításról (K3) akkor beszélhetünk, ha mechanikai kapcsolat áll fenn a hajtáslánc elemei, a villamos gép(ek) és a belső égésű motor között.

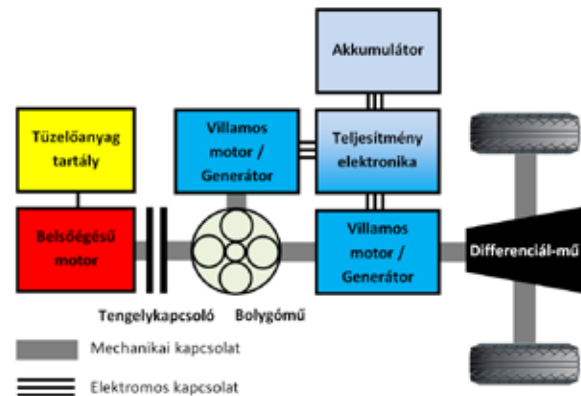


2. ábra: párhuzamos hibrid hajtáslánc blokkvázlata

Ez hátrányokat jelenthet, mind a dinamika (azonos tengelyfordulat, állandó áttétel esetén), a hatásfok (vonzolt tömeg) és a kialakítás (rendszer merevsége) tekintetében, az egyéb hibrid hajtáslánckhoz viszonyítva. Egy hagyományos hajtásláncokhoz képest azonban már jelentős tüzelőanyag-megtakarítás érhető el.

Mild hibrid rendszerek esetében (K2) az általában csökkentett teljesítményű belső égésű gép teljesítménye megegyezik a beépített villamos gép(ek)ével. Ezáltal nagyságrendileg azonos tüzelőanyag-megtakarítás érhető el, mint a mikro hibrideknél. Ezek a rendszerek nem képesek önálló, csak a villamos gép által megvalósított haladásra.

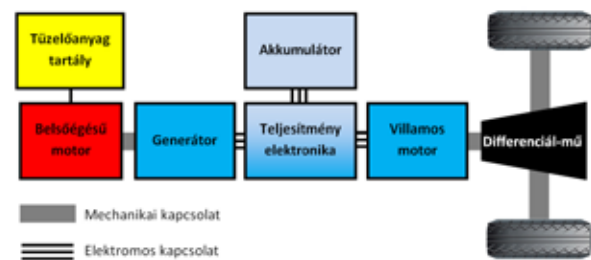
A vegyes (full) hibrid hajtáslánc (K2) lehetővé teszi a párhuzamos és soros hibridek előnyeinek kihasználását. Ez ugyan egy jóval bonyolultabb és összetettebb rendszerkialakítást eredményez, azonban a megtakarítás mértéke is jóval nagyobb lesz.



3. ábra: vegyes hibrid hajtáslánc blokkvázlata

A strong hibrid hajtáslánc (K1) esetében a villamos gépek teljesítménye jóval meghaladja a belső égésű motor teljesítményét.

Soros hibrid hajtáslánc (K1) esetében a hajtó villamos gép és a belső égésű motor között nincs mechanikai kapcsolat. Ez jóval nagyobb szabadságfokot tesz lehetővé a jármű kialakítása során, ezen felül a mechanikai kapcsolatok hiánya (alacsonyabb száma) miatt az összhatérfok is jobb. A jármű gyakorlatilag elektromos autóként működik, mindaddig, míg az akkumulátor egy bizonyos szintig le nem merül. Ekkor lép működésbe a belső égésű motor, amelynek használata ugyan emisszióval jár, de a kevés, előre definiált és hatékony munkapontban való működés a lehető legkevesebb emissziót eredményezi.



4. ábra: soros hibrid hajtáslánc blokkvázlata

Mindhárom hibrid modell képes a regeneratív fékezésből származó többlet energia hasznosítására, tárolására.

## KÖVETELMÉNYRENDSZER

Az egynapos utazások időben és távolságban is (13 perc, ill. 22 km) kellően korlátozottak tehát ahhoz, hogy egy olyan hibrid modellt lehessen alkotni, amely csak az ennek az időtartamnak és/vagy távolságnak megfelelő hibridizációval van ellátva, vagy a hibridizáció foka nagyságrendileg nem haladja meg az ezekhez az értékekhez szükséges műszaki teljesítményt.

En egyszerűsíti és költséghatékonyabbá is teszi a modelleket. Egyúttal egy esetleges megvalósítás lehetősége is jóval valószínűbb, mint egy sokszorosan túlméretezett hibrid technológiával ellátott modell esetén.

Amennyiben a megvalósíthatóság szóba került, úgy nem mehetünk el a jármű használhatósága mellett sem. Az ennek való minél jobb megfelelés érdekében, a modell egy nagy (tengelytáv  $2600 \pm 100$  mm) szedán karosszériát, kielégítő menetdinamikát ( $v_{max}$  185 km/h) biztosító hajtást, rövid idő alatt ( $\leq 10$  perc) 80 százalékra tölthető akkumulátorcsomagot és komfortberendezéseket (légkondicionáló) kapott.

A hatótávolsággal kapcsolatban adja magát az a kézenfekvő megállapítás, hogy a fedélzeten tárolt többlet fosszilis tüzelőanyag hosszabb út megtételét teszi lehetővé. Mivel a kutatásban a hibrid hajtásláncok által a fogyasztásban és így a kibocsátásban okozott trendekre voltunk kíváncsiak, nem pedig a hatótávolság maximalizálása volt a cél, a hibrid modellek egységeseen 14 liter tüzelőanyaggal rendelkeztek a szimuláció indításakor. Ugyan egy 31 literes térfogat – amely már 500 km-es hatótávot tenne lehetővé – érdemben növelné a hatótávolságot, a trendeket éppen ellenkezőleg, nem befolyásolná a 13 kg-os többlet tömegével. Azaz a hatótávolságot, amelyet leginkább az individuuum igénye befolyásol, egyénre szabottan lehet változtatni, az eredmények nagyságrendi változása nélkül.

## MODELLALKOTÁS ÉS IMPLEMENTÁCIÓ

Már a modellalkotást kezdetén kitétel volt, hogy a jármű döntő többségében városi használatban fog üzemelni, s így a távolsági közlekedés és az általa támasztott feltételrendszer is csak befolyásoló tényezőként érvényesülhet.

A modellalkotás az előző projekt fáziseredményeiből indul ki, melynek során meghatároztuk a jármű specifikációját. A döntően városi használat ellenére, a használhatóságot szem előtt tartva, a modellek összesített (ha lehetséges) villamos és fosszilis hatótávolsága 500 km-ben lett meghatározva.

**A járműfelépítmény** mind a négy esetben ugyanazokkal a paraméterekkel rendelkezik, azaz 1200 kg önsúly, 2600 mm tengelytáv, négyajtós szedán elsőkerék-hajtással. Mivel ezek a paraméterek már kellően körülhatárolják a járműkategóriát, így a további paraméterek, mint például tömegközéppont, bőlíntás középpontja, tüzelőanyagtank-térfogat, gumiabroncsnyomás, légellenállási tényező, homlokfelület az ennek az osztálynak megfelelő átlagokkal lettek meghatározhatóak.

A modell a légellenállásból (2), szintemelkedésből (3) és további relatív erőkből ( $k_{v,add,trac}$ ,  $k_{v,add,push}$ ) álló összellenállás erőt (1) a következőképpen veszi számításba:

$$F_{V,res} = F_{V,air} + F_{V,incl} + (k_{v,add,trac} + k_{v,add,push}) \cdot m_{V,act} \cdot g \quad (1)$$

ahol

$$F_{V,air} = -0,5 \cdot c_{\omega} \cdot A_v \cdot \rho_{U,air} \cdot v_{U,rel}^2 \quad (2)$$

$$F_{V,incl} = m_{v,act} \cdot g \cdot \sin \alpha_U \quad (3)$$

A **kerekek** mérete egységeseen 185/65R15, melyeknek a gördülésből származó deformációját figyelembe veszi a modell, a gördülési ellenállás sebességtől való függése pedig egy nemlineáris tényezőt keresztül került beépítésre.

Adott megcsúszás mellett, a maximális útra átvihető erő:

$$F_{V,a,lim} = C_{w,lim} \cdot F_{W,pot} \quad (4)$$

**A fékek** szintén, az ennek a járműosztálynak megfelelő fékrendszer tulajdonságaival lettek felruházva. A meghatározott paraméterek a fékdugattyú mérete, fajlagos fékerő, súrlódási együttható, hasznos súrlódási sugár, valamint a tárcsa tehetetlenségi nyomatéka.

**A differenciálmű** kis tehetetlenségi nyomatékú, elsősorban az elsőkerék-hajtású hajtáslánc miatt.

**A katalizátor** hagyományos három utas kivitel, mivel a hőmérséklet nagyon fontos a jó és hatékony működéséhez, a hőátadás folyamatait számtalan paraméter beállításával lehet meghatározni.

**Az egyfokozatú lassító áttétel** nem minden modell esetében szükséges. Tehetetlenségi nyomatéka a középkategóriás modellekének megfelelő, de az egyes változó áttételeknek megfelelően került az értéke megállapításra. Míg a 97 százalékos hatékonysága a technológiának inkább csak a középmezőnyét képviseli.

**A belső égésű motor** esetében egy egyszerűsített statikus modell kerül alkalmazásra, mellyel az állandó állapotú működés könnyebben leírható, ugyanakkor nem alkalmas a tranzienst állapotok leírására. Eltérő motorok esetén a hengerek száma és úrtartalma került átállításra, míg a teljesítmény és emissziós görbék lineárisan arányosítva lettek.

**A villamos gépek** (villamos motor és generátor) alapbeállításai mindegyik modell esetében megegyeznek, míg a teljesítmény és egyéb mutatók itt is lineáris arányosításon mentek keresztül.

**A kuplung** egy teljesen hagyományos egytárcsás-súrlódó lemezes, száraz tengelykapcsoló, az ennek megfelelő paraméterekkel. A nyomatékátvitel a programban a nyomóerővel van kifejezve.

**A tengelykapcsoló** a programban pusztán áttételi fokozatokkal van meghatározva. A sebességváltásból származó tehetetlenségi-nyomaték változások nem lettek figyelembe véve, a teljes hajtásláncához mért elhanyagolható nagyságrendjük miatt. A mechanikus hatásfok mindössze 95 százalék, amely a technológián belül már egy gyenge érték.

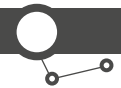
**A hajtásakkumulátorok** hibrid járművek esetében 300–400 V tartományon belül érhetők csak el. A jelenlegi egyik legfejlettebb technológia lítium-vas-foszfát (LiFePo) cellákra épül. A modellek kapacitását e cellák számossága fogja meghatározni.

**A műszerfalmodul** a vezetőspezifikus interfészeket tartalmazza, így például a sebességfokozatok számát, a pedálkarakterisztikákat (melyek az egyszerűség kedvéért mind lineárisak) stb.

**A monitormodul** a modell futásának ellenőrzését szolgálja, melyet az alábbi paramétereken keresztül valósít meg:

- jármű gyorsulása
- jármű sebessége
- jármű által megtett távolság
- motor terhelése
- motor sebessége





**A kipörgésgátló** egy kontroller a programban, amely megakadályozza, hogy a hajtott kerék magas értéket érjen el. Mivel csak a funkcionalitására volt szükség a modellben, a lehető legegyszerűbb paraméterekkel került beállításra.

**A PID-kontroller** a belső égésű motor munkapontjait vezérli. Ebben a projektben kétfajta terheléssel számolhatunk, az egyik a belső égésű motor terhelése, a másik a teljes hajtásrendszeré, így a villamos motoré is.

**A fékezéskontroller** a regeneratív fékezést vezérli, azaz a villamos gép és a mechanikus fék nyomatékfelvételének az arányát.

**A hajtáskontroller** a modellnek a menetcikluson való lefuttatásához szükséges, ez generálja a terhelési jeleket pl. a motoroknak és a fékeknek.

**A range extender kontroller** szabályozza, hogy a belső égésű motornak mikor kell bekapcsolnia és töltenie az akkumulátort.

**A bolygó** csak a harmadik koncepció sajátja, értékei a program által kínált gyári alapbeállítások, változtatást nem igényelnek.

**A MatLab-kontroller** szintén csak a harmadik koncepció sajátja, itt a korábbi vezérlések egy valamivel összetettebb formában, egy MatLab.dll-en keresztül kerültek implementálásra.

**A nyomatékkülönbség-kontroller** csak a negyedik modell sajátja (párhuzamos hibrid), ez vezérli, hogy mekkora nyomatékot szállítson a belső égésű motor és a generátor.

**A fékezéshez szükséges nyomatékkülönbség kontroller** akkor lép működésbe, ha a villamos gép által kifejtett terhelés nem elég a fékpedáljeladóból érkező kívánt célérték eléréséhez szükséges lassuláshoz.

**A nyomatékösszegző kontroller** a belső égésű motor és generátor nyomatékait összegzi a gázpedálállás (és sebesség) függvényében.

Az AVL Cruise moduláris felépítéséből következően, bármilyen jármű-konfiguráció modellezésére alkalmas. A program kezelőfelületébe a különböző hajtáslánc elemeket (modulok) bele lehet húzni (drag and drop), ahol ezt követően a közöttük lévő kapcsolatot kell csak definiálni. Az egyes modulokat a program készen tartalmazza, de lehetőség van a paramétereik változtatására, illetve teljesen új modulokat is létre lehet hozni.

## TESZTESETEK

Az objektív összehasonlítás alapját a fogyasztási és emissziós adatok képezik. A szimuláció során a következő kimenetek születtek:

- a belső égésű motor energiateljesítménye [kWh]
- a villamos gép(ek) energiateljesítménye [kWh]
- a NO<sub>x</sub>-emisszió [g]
- a CO-emisszió [g]
- a HC-emisszió [g]

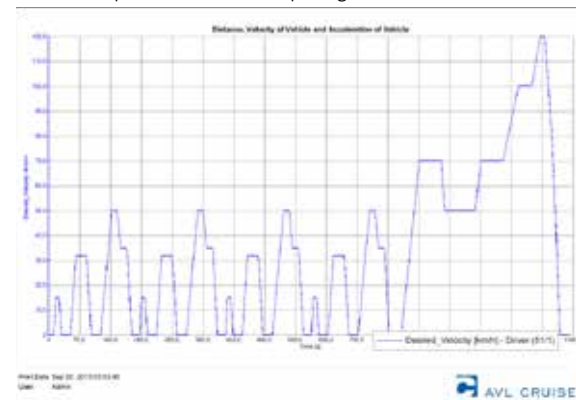
A kimenetek az alábbi három teszteseten való lefuttatást követően születtek:

- NEDC – Városi-elővárosi
- HTDC – Városi
- LDDC – Távolsági

A több eltérő menetcikluson való futtatásra azért volt szükség, hogy képet kaphassunk a modellek különböző forgalmi helyzetekben való viselkedéséről, még akkor is, ha leginkább a városi közlekedés favorizált.

## NEDC

Azaz New European Driving Cycle, a jelenleg érvényes hivatalos európai menetciklus, iparági standard.



5. ábra: NEDC sebességprofil az idő függvényében

Ettől függetlenül a ciklus a valós felhasználással (legyen az városi vagy elővárosi) sajnos kevés hasonlóságot mutat. Jól láthatóan a városi rész ugyanannak a négy menetciklus-szakasznak az ismétléséből áll.

NEDC – VÁROSI RÉSZ		
Időtartam	780	[s]
Távolság	4067	[m]
Átlagsebesség	18,77	[km/h]
Maximális sebesség	50	[km/h]
Maximális gyorsulás	1,5	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximális lassulás	-1,5	[m/s <sup>2</sup> ]
Megállások száma	12	[alkalom]
Megállás közeli állapot	0	[alkalom]
Megállások gyakorisága	2,95	[alkalom/km]

6. ábra: NEDC városi részének statisztikai adatai

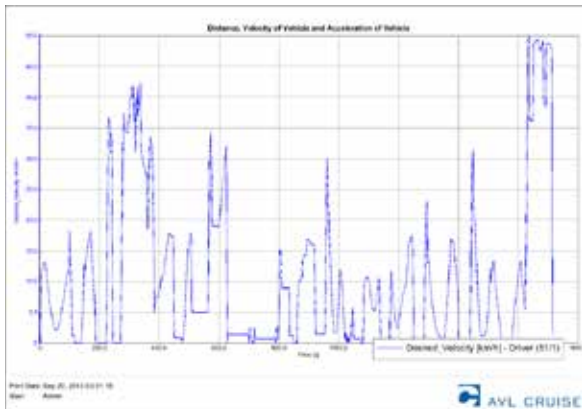
Az elővárosi szakasz is túlságosan rövid időtartammal bír, ezen túlmenően a megállásokra vonatkozó részek a 7. táblázatban nem elérhetőek, hiszen ez a része a menetciklusnak nem tartalmaz megállásokat, ez nem is célja.

NEDC – ELŐVÁROSI RÉSZ		
Időtartam	400	[s]
Távolság	6956	[m]
Átlagsebesség	62,6	[km/h]
Maximális sebesség	120	[km/h]
Maximális gyorsulás	2,8	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximális lassulás	-4,0	[m/s <sup>2</sup> ]
Megállások száma	-	[alkalom]
Megállás közeli állapot	-	[alkalom]
Megállások gyakorisága	-	[alkalom/km]

7. ábra: NEDC elővárosi részének statisztikai adatai

## HTDC

Azaz Heavy Traffic Driving Cycle, városi menetciklus, amely valós forgalomsűrűségi és lámpabeállítási adatokkal elvégzett szimuláció eredménye. Az adatok egy munkanap, reggeli (8:00) csúcsgalimi időszakát reprezentálják a József körúton (Petőfi híd – Oktogon). A szimuláció a KRESZ előírásait betartva 50 km/h felső sebességgel rendelkezik.



8. ábra: HTDC sebességprofil az idő függvényében

Ez a korlátozó tényező azonban csak egyetlen alkalommal lép életbe a félórás út során, azaz nem életszerű ennek a sebességnek a belvárosi csúcsgalimban való elérése, legalábbis a külső forgalmi sávban, a szimuláció során ugyanis sávváltásra nem került sor.

HTDC		
Időtartam	1800	[s]
Távolság	3300	[m]
Átlagsebesség	6,6	[km/h]
Maximális sebesség	50	[km/h]
Maximális gyorsulás	1,8	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximális lassulás	-3,8	[m/s <sup>2</sup> ]
Megállások száma	14	[alkalom]
Megállás közeli állapot	13	[alkalom]
Megállások gyakorisága	4,24	[alkalom/km]
Megállások gyakorisága	8,18	[alkalom/km]

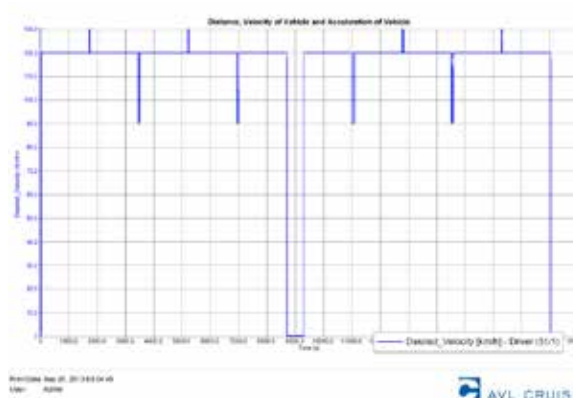
9. ábra: HTDC statisztikai adatai

A 8. ábrán tisztán látható, hogy a profil jóval tagoltabb, mint az 5. ábrán látható profil esetében. Ennek megfelelően az átlagsebessége is majdnem harmada, míg a fajtájú megállások száma is közel 50 százalékkal több. Ha az 5 km/h sebesség alá lassítást is megállásnak tekintjük, úgy közel háromszoros ez az érték.

## LDDC

Azaz Long Distance Driving Cycle, autópálya-használatot bemutató menetciklus. Itt egy előre ütemezett tízperces pihenő került beiktatásra, a megállás elég hosszú ahhoz, hogy tankolást/újrátöltést is el lehessen végezni ez idő alatt.

A menetciklusban több lassítás (pl. belső sávban haladó busz miatti fékezés) és gyorsítás (lassabban haladó jármű előzése) is található, melyekkel a lehetséges változó forgalmi helyzetekre próbáltunk válaszolni.



10. ábra: LDDC sebességprofil az idő függvényében

A szimuláció a KRESZ előírásait betartva 130 km/h felső sebességgel rendelkezik.

LDDC		
Időtartam	18000	[s]
Távolság	500	[km]
Átlagsebesség	100	[km/h]
Maximális sebesség	130	[km/h]
Maximális gyorsulás	2,6	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximális lassulás	-7,0	[m/s <sup>2</sup> ]
Megállások száma	-	[alkalom]
Megállás közeli állapot	-	[alkalom]
Megállások gyakorisága	-	[alkalom/km]

11. ábra: LDDC statisztikai adatai

Mivel ebben a menetciklusban nem életszerű (ideális esetben) a nem tervezett forgalmi okból bekövetkező megállások kezelése, ezért ilyeneket nem is tartalmaz. A tervezett megállást éppen ezért nem vesszük számításba, mivel az logikailag ellentétes lenne a többi menetciklussal, ahol a forgalom által előidézett megállásokról van szó.

Ebből adódóan nincs értelmezve a 11. táblázat utolsó három sora.

## MODELLVALIDÁCIÓ

A szimulációs eredmények valós körülmények között, fékpadi mérésen keresztül kerültek validálásra.

A méréshez használt eszközök a következők voltak:

- Mérési szabvány: ENSZ=EGB83, ENSZ=EGB101
- Fékpád: SZFP-20
- Kipufogógáz-analizátor: Pierburg AMA 2000

A méréshez szükséges járműparamétereket a kocsiját CAN-rendszeréből volt lehetőség hívni. Ehhez a fékpádot rá kell csatlakoztatni a kocsira az OBD-n keresztül.

A mérés során először egy gurulópróba kerül elvégzésre, amelynek segítségével a hajtáslánc tehetetlensége határozható meg. Erre a megfelelő mértékű fékezónyomaték teszt során való alkalmazása miatt van szükség. A tesztre 20 °C -os környezeti hőmérsékleten, üzemlevegő motor mellett kerül sor.

A károsanyag-kibocsátást az adott menetciklus szakasz során begyűjtött kipufogógáz-frisslevegő keverék károsanyag-tartalma alapján lehet meghatározni. Minden egyes mért szakasz során újabb és újabb minta kerül levételre, az emisszió pedig a minta kipufogógáz-tartalmának és a megtett szakasz hosszának a hányadosa lesz.

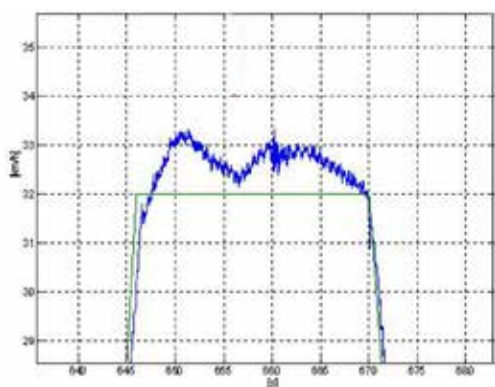


A tüzelőanyag-fogyasztás az előző gondolatmenetet továbbbővíve határozható meg, a tüzelőanyag sűrűségének függvényében.

	KIBOCSÁTÁS			FOGYASZTÁS [L/100 KM]
	NO <sub>x</sub>	CO	HC	
Szimuláció	0,038	0,084	0,012	4,15
Mérés	0,033	0,183	0,013	4,97
Δ	-15%	54%	5%	16%

12. ábra: a szimulációs és mért eredmények különbségei

A károsanyag-kibocsátások átlagosan 26 százalékkal, míg a fogyasztási adat 16 százalékkal tér el, ami a jelen kutatás során elfogadható. A hiba elsősorban a sebességprofil elégtelen lekövetéséből adódik.



13. ábra: fékpadi mérés profilhibája

A szimuláció során a vezérléskontroller, míg a mérés folyamán a sofőr feladata a profil minél pontosabb követése, ez azonban egyik esetben sem valósul meg maradéktalanul. Állandó sebességű haladás folyamán a hiba 1 km/h belül marad, ugyanakkor a tranzienst állapotoknál ez az érték magasabb. Figyelembe kell venni ugyanakkor, hogy pl. gyorsítás folyamán a nagyobb hiba jóval meghatározóbb mértékben befolyásolja a végeredményt, mint pl. egy állandó sebességű üzemiállapot során feltételezhető mérsékelt hiba.

A modell megfelelően leírja a valóságot ahhoz, hogy azt az elemzéshez fel lehessen használni.

## SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Az adott modell eredményességét kifejező fajlagos mérőszám az összes kibocsátás és az összes energiafelhasználás hányadosa. Minél kisebb az érték, annál jobban szerepelt az adott modell.

Bizonyos általános következtetések már ekkor levonhatóak, azaz a hibrid hajtás előnyei elsősorban a városi forgalomban mutatkoznak meg. Illetve autópálya-használat során még mindig a hagyományos hajtáslánc a legkedvezőbb, hiszen itt gyakorlatilag egy állandó munkapontban üzemel a belső égésű motor, azaz a hibrid hajtás nem tud a tranzienst üzem kiváltásán keresztül hozzáadott értéket biztosítani.

## SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK OBJEKTÍV ÖSSZE-HASONLÍTÁSA

Mivel a modellalkotást megelőzően kikötöttük, hogy a távolsági használat nem lesz meghatározó, így súlyokkal differenciálunk az egyes menetciklusok között. Indokolja továbbá mindezt, hogy

	KO KONCEPCIÓ		K1 KONCEPCIÓ		K2 KONCEPCIÓ		K3 KONCEPCIÓ	
NEDC	IM	5,16 [kWh]	IM	0,00 [kWh]	IM	6,41 [kWh]	IM	3,95 [kWh]
	EM	0,00 [kWh]	EM	0,97 [kWh]	EM	0,46 [kWh]	EM	0,03 [kWh]
	ΣE	5,16 [kWh]	ΣE	0,97 [kWh]	ΣE	6,87 [kWh]	ΣE	3,98 [kWh]
	NO <sub>x</sub>	0,04 [g]	NO <sub>x</sub>	0,0001 [g]	NO <sub>x</sub>	0,11 [g]	NO <sub>x</sub>	0,04 [g]
	CO	0,13 [g]	CO	0,0002 [g]	CO	0,27 [g]	CO	0,09 [g]
	HC	0,02 [g]	HC	0,0001 [g]	HC	0,04 [g]	HC	0,01 [g]
		0,0368 [g/kWh]		0,0004 [g/kWh]		0,0611 [g/kWh]		0,0352 [g/kWh]
HTDC	IM	5,12 [kWh]	IM	0,00 [kWh]	IM	1,32 [kWh]	IM	4,07 [kWh]
	EM	0,00 [kWh]	EM	0,31 [kWh]	EM	0,19 [kWh]	EM	0,03 [kWh]
	ΣE	5,12 [kWh]	ΣE	0,31 [kWh]	ΣE	1,51 [kWh]	ΣE	4,1 [kWh]
	NO <sub>x</sub>	0,01 [g]	NO <sub>x</sub>	0,0009 [g]	NO <sub>x</sub>	0,01 [g]	NO <sub>x</sub>	0,027 [g]
	CO	0,10 [g]	CO	0,0021 [g]	CO	0,02 [g]	CO	0,068 [g]
	HC	0,02 [g]	HC	0,0011 [g]	HC	0,00 [g]	HC	0,008 [g]
		0,0255 [g/kWh]		0,0013 [g/kWh]		0,0199 [g/kWh]		0,0251 [g/kWh]
LDDC	IM	231,79 [kWh]	IM	500,14 [kWh]	IM	714,78 [kWh]	IM	461,69 [kWh]
	EM	0,00 [kWh]	EM	0,29 [kWh]	EM	0,55 [kWh]	EM	0,03 [kWh]
	ΣE	231,79 [kWh]	ΣE	500,43 [kWh]	ΣE	715,33 [kWh]	ΣE	431,72 [kWh]
	NO <sub>x</sub>	4,37 [g]	NO <sub>x</sub>	3,92 [g]	NO <sub>x</sub>	7,39 [g]	NO <sub>x</sub>	5,03 [g]
	CO	7,36 [g]	CO	22,52 [g]	CO	19,86 [g]	CO	7,99 [g]
	HC	0,92 [g]	HC	0,87 [g]	HC	1,48 [g]	HC	0,95 [g]
		0,0546 [g/kWh]		0,0546 [g/kWh]		0,0576 [g/kWh]		0,0324 [g/kWh]
Σ		0,0390 [g/kWh]		0,0188 [g/kWh]		0,0462 [g/kWh]		0,0309 [g/kWh]

14. ábra: a szimuláció számszerű eredményei

az NEDC ugyan városi ciklus, de vajmi kevés köze van a valós felhasználás körülményeire, így kevésbé reprezentatív volta miatt alacsonyabb súllyal szerepel, mint a HTDC.

A koncepcióválasztás módszere, hogy a koncepciók szimulációs eredményeit egy súlyértékekkel transzformáljuk, ahol a kedvezőbb eredmények magasabb súllyal (legfeljebb 4), míg a kedvezőtlenek alacsonyabb súllyal (legalább 1) kerülnek felvételre.

		TULAJDONSÁGOK	SÚLY	KONCEPCIÓK			
				KO	K1	K2	K3
OBJEKTÍV TULAJDONSÁGOK	NEDC	Elektromos energia fogyasztás	2	4	1	2	3
		Fosszilis energia fogyasztás	2	1	4	3	2
		CO-kibocsátás	2	3	4	2	1
		HC-kibocsátás	2	2	4	3	1
		NO <sub>x</sub> -kibocsátás	2	1	4	3	2
		NEDC súlyozott összpontszám		22	34	26	18
OBJEKTÍV TULAJDONSÁGOK	HTDC	Elektromos energia fogyasztás	4	4	1	2	3
		Fosszilis energia fogyasztás	4	1	4	3	2
		CO-kibocsátás	4	3	4	2	1
		HC-kibocsátás	4	3	4	2	1
		NO <sub>x</sub> -kibocsátás	4	2	4	3	1
		HTDC súlyozott összpontszám		52	68	48	32
OBJEKTÍV TULAJDONSÁGOK	LDDC	Elektromos energia fogyasztás	1	4	2	1	3
		Fosszilis energia fogyasztás	1	4	1	3	2
		CO-kibocsátás	1	4	1	2	3
		HC-kibocsátás	1	3	4	1	2
		NO <sub>x</sub> -kibocsátás	1	3	4	1	2
		LDDC súlyozott összpontszám		18	12	8	12
Teljes súlyozott összpontszám			92	114	82	62	

15. ábra: objektív kiértékelés

Így számszerűen összehasonlítható lesz az egyes koncepciók jósági foka a három különböző menetciklus, és azok súlyozott összegének tekintetében is. Minél több pontot ér el egy koncepció, annál jobban szerepel.

Elektromos energia fogyasztásból a K0 kapja a legmagasabb súlyt, hiszen ez az érték esetében nulla, NEDC és HTDC alatt egyaránt. K3 súlya három, mivel itt csak minimális növekedésről van szó a mikroszintű hibridizációból adódóan. K1 és K2 esetén már jelentős felhasználásról van szó, mivel azonban K1 gyakorlatilag elektromos járműként funkcionál, ott lesz magasabb ez az érték, ami mindkét városi ciklusra igaz.

A fosszilis energia felhasználás az elektromos energia felhasználás fordítottja lesz, azaz, ahol előzőleg magas volt, ott most alacsony lesz. Mind NEDC és HTDC esetében is igaz ez.

Kibocsátás tekintetében már nemcsak az egyes koncepciók, de a két városi menetciklusban elért eredmények között is lesznek különbségek, noha a nagyságrend nem fog változni.

A legkedvezőbb emissziós értékekkel a K1 koncepció rendelkezik, ebben található a legkisebb belső égésű motor, és ez fogyasztja a legkevesebb fosszilis tüzelőanyagot (NEDC és HTDC).

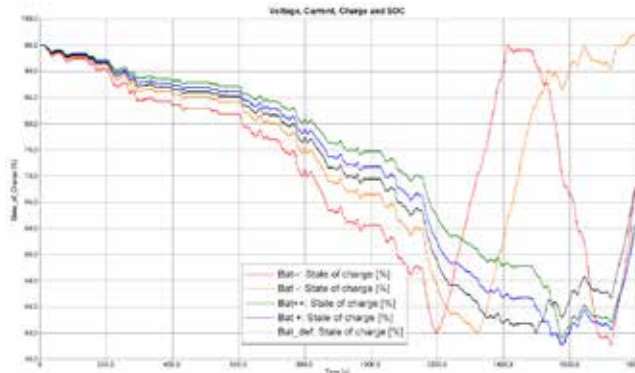
A K0 esetében jól látható az emissziós értékek romlása. Amíg az NEDC csak egy gyenge közelítése a valós felhasználásnak, a HTDC során a megállásokkal és gyakori alacsony sebességre történő lassításokkal megsokszorozott transziens üzemállapot eredményezi a romló kibocsátási értékeket.

Ennek éppen az ellenkezője figyelhető meg K2 és K3 esetében, ahol a hibrid hajtáslánc profitál az előbb említett menetciklus-sajátosságából, ami javuló emissziós értékekhez vezet.

A távolsági ciklusban megmutatkoznak a hibrid hajtások gyengeségei. K0 közel állandósult üzemállapotban teljesíti a ciklust, a hibridek a belső égésű motorok ki-be kapcsolása (K1) és/vagy az energiaátalakítási veszteségekből fakadóan (K2), továbbá, hogy nem nagy sebességű haladásra vannak optimalizálva, rosszabb emissziós értékeket érnek el.

## RENDSZERKORLÁTOK, SAJÁTOSÁGOK

A városi ciklusok (sajnos vagy szerencsére) elegendően rövidek ahhoz, hogy már ezek, a korlátozott beépített villamos kapacitással rendelkező hibridek is teljesíteni tudják, pusztán elektromos energiára alapozva. Mivel kellően modern akkumulátortípust feltételeztünk, az számottevően nem növelte meg a jármű tömegét, ami közrejátszott az imént leírtakban. Kezdeti feltétel volt még, hogy az akkumulátor töltöttsége (SOC – State of Charge) 95 százalékos legyen. Ez nem feltétlenül jelent egy reprezentatív összehasonlítást, ugyanakkor továbbra sem tekinthetünk el attól a tényről, hogy az autóval naponta munkába



16. ábra: akkumulátor töltöttség állapota az idő függvényében

ingázók meghatározó része csak minimális időt tölt el az autóban és/vagy csak minimális távolságot tesz meg vele.

Jól láthatóan a vezérlés 40 százalékos töltöttségnél (SOC) kapcsolja be a belső égésű motort (K1 koncepció).

Azaz a vizsgált menetciklusok időben (20, ill. 30 perc időtartammal) mindenféleképpen, távolságban (11, ill. 3,3 km) pedig részben megfelelnek az említett kritériumoknak.

## KONKLÚZIÓ

Mivel a validálás megmutatta, hogy a fékpadi mérésekkel kapott eredmények és a modellel kapott szimulációs eredmények összhangban vannak, ezért a továbbiakban megalapozottan feltételezhetjük, hogy a szimulációs környezetben felépített járműmodellek megfelelő választ adnak a bemeneti gerjesztésre, vagyis azok alkalmasak az összehasonlító elemzés elvégzésére.

Az összehasonlító elemzés célja az volt, hogy a legalkalmasabb modellt pusztán az objektív szempontok alapján értékelje. Ezek a szempontok a tüzelőanyag-fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás voltak. A legfontosabb irányelvek az összehasonlító elemzés során az eredmények egzakt mérése és azonos feltételek mellett való összehasonlíthatósága voltak.

Ehhez egy összehasonlító alaplmodellre és több menetciklus alatt tesztelt hibrid modellekre volt szükség, amelyek meszszemenőn figyelembe veszik a modellalkotás során megfogalmazottakat. A modellek az előzetes feltételezéseknek, elvárásoknak megfelelően viselkedtek.

Már ez alapján is lehetőség lenne a további munka – kontroller tervezése – elkezdésére, azonban hátra van még az egyes modellek szubjektív szempontok szerinti kiértékelése. Erre azért van szükség, mert a paraméterek döntő többségét az ebben a cikkben foglaltakhoz hasonlóan mérni, szimulálni nem lehet. ●

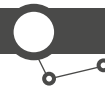
### IRODALOM

- [1] Bári Gergely, Varga Dávid, Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, Dr. Ailer Piroska - TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012 Vehicle Specification and hybrid drive-line concepts, 31. March 2013.
- [2] AVL Cruise – Users Guide
- [3] Bede Zsuzsanna – Változtatható irányú forgalmi sávok analízise nagyméretű közúti közlekedési hálózatokon, PhD Disszertáció, BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Budapest, 2013

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a „TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások” című alapvetési pályázat keretében jött létre.





# Hibrid-elektromos hajtáslánc koncepciók szubjektív tulajdonságai

## BÁRI GERGELY

tudományos segéd munkatárs  
Kecskeméti Főiskola

## VARGA DÁVID

hallgató  
BME

## KOCSIS BENGE

ügyvivő szakértő  
BME EJT

## TRENCSÉNI BALÁZS

tanársegéd  
BME KSK

## DR. AILER PIROSKA

rektor  
Kecskeméti Főiskola

Jelen cikk tárgya, hogy bemutassa a projekt modellezési részének szubjektív kiértékelését, az objektív elemzést kiegészítendő, amellyel a korábbi cikkben foglalkoztak. A projekt célja egy korszerű hibrid hajtáslánc struktúra kiválasztása, és az együttműködő belső égésű és villamos gépek intelligens szabályzásának megoldása. A projekt második szakaszában a négy modell szubjektív összehasonlító elemzéssel egészül ki a korábbi objektív összehasonlítást követően.

Aim of the current article is to introduce the subjective evaluation of the modeling within the project, a vital complement to the objective elaboration, dealt with in a previous article. Aim of the project is to select an up-to-date hybrid drive-train structure, and to provide an intelligent control of both internal combustion engine and electric machine(s). In the second part of the project, the four models are subject of a subjective comparative evaluation, complementing the objective one.

## MOTIVÁCIÓ

Az objektív kiértékelés folyamán a modelleknek mindössze a fogyasztási és kibocsátási értékei kerültek összehasonlításra, amely azonban, noha jól kifejezi azokat, nem elegendők ahhoz, hogy teljes és átfogó képet kapjunk arról, hogy megfelelően alkalmazhatók-e a céljainkra.

A felhasználás körülményei, így például a földrajzi elhelyezkedés (elektromos autók fűtése-hűtése), domborzati viszonyok (rekuperáció, járműdinamika), a felhasználás módja (gyakoriság, időtartam, megtett távolság, utasok száma), illetve az egyéni igények döntő mértékben befolyásolják egy adott koncepció megfelelését.

Ebből adódóan szükség van a fent említett szubjektív (és éppen ezért nem, vagy körülményesen mérhető) paramétereknek a felhasználási igények szerinti kiértékelésére.

## MODELLEZÉSI KÖRNYEZET

Az AVL Cruise egy járműhajtásrendszer modellezést és elemzést támogató szoftvercsomag. A hagyományos hajtáslánc-elemeket éppúgy lefedi, mint a korszerű elektromos (EV), illetve hibrid-elektromos (HEV) hajtáslánc-részrendszereket. Az egyes elemek tulajdonságait közelíti objektumorientált fizikai modellekkel, melyek felhasználásával a valós rendszer topológiája felépíthető. Koncepciók vizsgálatához, paraméter-optimalizációhoz, komponensillesztéshez egyaránt alkalmazható. Fő felhasználási területei a hajtáslánc- és motorfejlesztés, illetve e komponensek szabályozóinak fejlesztése minden

járműkategóriában, tekintettel az energia-felhasználásra és a vezethetőségre valamilyen menetciklusban. Alkalmazható hajtáslánc-koncepciók értékelésére, sebességváltó-felépítések és szabályozási stratégiák kidolgozására, hajtáslánc torziós lengések számítására dinamikai terhelés mellett, termikus analízisre és termál-menedzsment stratégiák kidolgozására, energiafolyam-és hajtáslánc-komponensek teljesítményviszonyainak és veszteségeinek vizsgálatára.

A hajtáslánc és a járműdinamikai szimuláció, valamint a szabályzó tervezés a két platformon (AVL Cruise + Matlab/Simulink) részletes interfészen kapcsolható össze. Ez a megoldás lehetővé teszi az egyes járműkomponensek többdimenziós viselkedésének és veszteségeinek szimulációját valós menetszituációkban. Az integrált eszköz a hatékony energiafelhasználásban rejlő lehetőségek kihasználását támogatja, a járműbiztonság és a komfortmegfontolások egyidejűleg történő figyelembevétele mellett. Valóság-hű menetszituációkban szolgálja az optimum megtalálását minden lényeges járműrészrendszer veszteségének kalkulációjával, mint a felfüggesztés, kormánymű, fékrendszer, gumibroncsok, tömegek, légellenállás, valamint a motor, sebességváltó, differenciálmű, kiegészítő berendezések és akkumulátorok. Az egyes részrendszerek, komponensek egymásra hatása vizsgálható e szimulációs környezetben, illetve a hajtáslánc-elemek és a járműdinamikai rendszerek jellemzői állíthatók be egymáshoz képest. Ez az egységessített platform biztosítani tudja jármű, vezető és útviszonyok (útvonal, útfelület, forgalom) zárt hurokba csatolását (igény esetén nyílt hurkú vezetői manőverekkel), mely lehetővé teszi számunkra annak részletes elemzését, hogy az egyes járműrészrendszerek hogyan befolyásolják a tüzelőanyag-fogyasztást, az energiafelhasználást, az energiahatékonyságot különböző forgalmi szituációkban, mint

például városi araszolás (stop-and-go), emelkedőn, kanyarban vagy egyenletes sebességnél. Ez az egységesített platform tehát mind a koncepciófejlesztésnek, mind a funkciófejlesztésnek megfelelő MiL (model-in-the-loop) és SiL (software-in-the-loop) környezetet nyújtani tudja. A megalkotott modellek és kiegészítő berendezések felhasználásával pedig viszonylag egyszerűen HiL (hardware-in-the-loop) környezetté fejleszthető.

**A szoftver fő alkalmazási területei:**

- menetciklus-vizsgálat: cél az energiahatékonyság és károsanyag-kibocsátás becslése időalapú menetciklusokban. A szabványos és széles körben elterjedt ciklusokon túl tetszőleges profil os megadható.
- kapaszkodóképesség
- energiahatékonyság és kibocsátás becslése állandó sebességű haladásnál (elméleti végsebesség meghatározása), valamint adott útvonalakon (távolság bázison)
- teljes és részterheléses tranzien্স állapotok
  - legnagyobb gyorsítóképesség az egyes sebességváltó fokozatokban
  - gyorsulás álló helyzetből
  - rugalmasság
  - legnagyobb vonóerő és vonóerő-diagram számítása.

**MODELLEK**

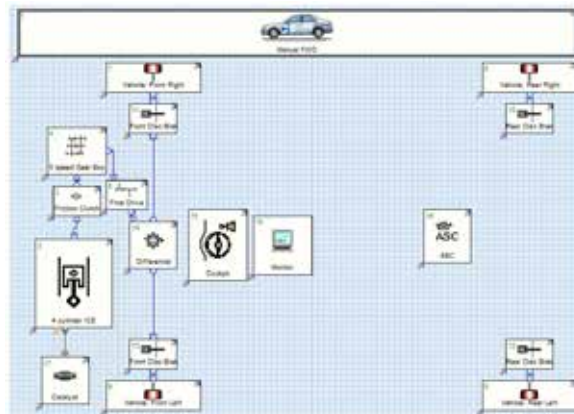
A programban az alábbi járműrészrendszerek, komponensek modelljei érhetőek el:

- belső égésű motor
- kipufogógáz-utókezelő rendszer
- tengelykapcsolók
- sebességváltó elemek
- szabályozó elemek
- tengelyek
- kerekek, gumibroncsok
- elektromos komponensek
- fékek, retarder
- kiegészítő berendezések (olajszivattyú, légkondicionáló).

Az egyes komponensek különböző részletességű modelljei választhatóak ki, az aktuális applikációnak megfelelően. Természetesen a részletesebb modell több paramétert és nagyobb számítási kapacitást igényel, cserébe pontosabb eredményre juthatunk alkalmazásával. Például, ha a jármű gyorsítóképességét akarjuk vizsgálni, akkor a belső égésű motor-fogyasztás jellegzőjére nincs szükség a szimulációban. De olyan kiegészítő hatások is figyelembe vehetőek, mint például a bemelegedési fázis, gyorsítási dúsítás stb. A sebességváltó veszteségei nemcsak a fordulatszám és a terhelés, de a hőmérséklet függvényében is megadhatóak.

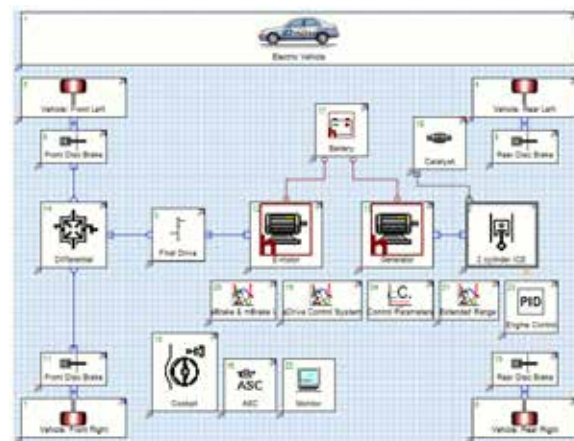
Az előzetesen kiválasztott négy koncepciónak megfelelő modellekből az első képezi az összehasonlítási alapot, ez egy hagyományos benzinüzemű modell. Teljesítménye 80 kW, melyet egy soros négyhengeres benzinmotor juttat el egy hatfokozatú váltón keresztül a kerekekig. A modell 14 liter tüzelőanyaggal van felszerelve (1748 MJ).

A második, egyben első hibrid koncepció (K1) egy 500 köbcentiméteres motorral és két villamos géppel van felszerelve. Soros hibrid kialakításából adódóan a belső égésű motor és a hajtás között mechanikai kapcsolat nincs. A belső égésű motor (17 kW) a vezérlés utasításának függvényében a generátoron (30 kW) keresztül vagy a hajtó motort (65 kW), vagy az akkumulátort látja



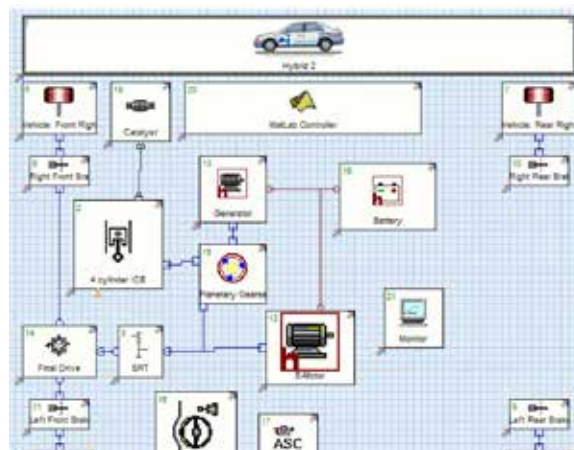
1. ábra: koncepció K0 – Hagyományos hajtáslánc

el (1,8 MJ), esetleg mindkettőt. A modell 14 liter tüzelőanyaggal van felszerelve (489 MJ). A hajtó villamos gép látja el egyben a rekuperáció feladatát is.

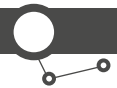


2. ábra: koncepció K1 – Soros hibrid

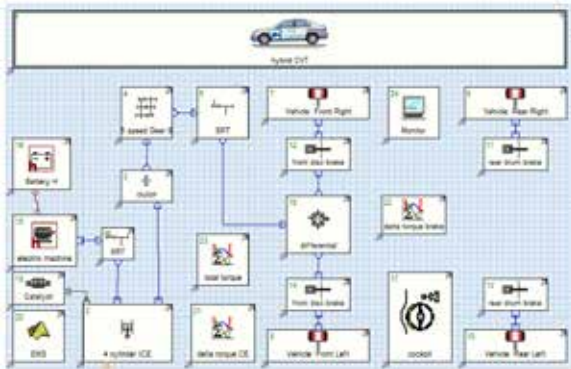
A harmadik, egyben második hibrid koncepció mutat némi hasonlóságot a második modellel, az elemek számát és féleségét illetően. Itt azonban a belső égésű motor (59 kW) mechanikai kapcsolatban van egy bolygóművön keresztül a villamos gépekkel (62/15 kW). Az akkumulátor ebben az esetben 36 MJ energiával, míg a modell 14 liter tüzelőanyaggal rendelkezik.



3. ábra: koncepció K2 – Vegyes (Full) hibrid



A negyedik és egyben utolsó hibrid modell nagyban hasonlít az összehasonlítási alapként használt hagyományos hajtásláncú konfigurációhoz. Ebben az esetben azonban hagyományos belső égésű motor generátorának teljesítménye jelentősen meg van növelve (7 kW), amely így képes a járművet 5 km/h sebességig gyorsítani, és átsegíteni a belső égésű motort (62 kW) a tranzien্স üzemállapotának kezdeti szakaszán. Ezen felül a generátor a fékezési energia egy részének visszatáplálásában is szerepet játszik.



4. ábra: koncepció K3 – Mikro hibrid

**Kiválasztott szempontok:**

- Költségek
- Összetettség
- Tömeg
- Rugalmasság
- Dinamika
- Komfort.

A legkedvezőbb koncepció kiválasztásához az alábbi szempontokat vesszük figyelembe, az egyes eseteket az ezen szempontokban nyújtott tulajdonságaik alapján pontozzuk majd.

**KÖLTSÉGEK**

A költségek a jármű beruházási költségét takarják. A megvalósítás szempontjából (is) ez az egyik legfontosabb tényező, hiszen a specifikáció folyamán fontos kitétel volt a könnyű megvalósíthatóság. Ennek része a pénzügyi megvalósíthatóság is. A legnagyobb költség-hordozók a villamos gépek, a belső égésű motor, az akkumulátorcsomag és a különböző hajtáslánc elemek. Ezek együttesen próbálják reprezentálni a modell teljes költségét.

**Költségek:**

- villamos gépek (4)
- belső égésű motor (2)
- akkumulátorcsomag (1)
- egyéb hajtáslánc elemek (4).

Az egyes költségelemek súlya a beépített teljesítmény függvényében kerül súlyozásra, a magasabb teljesítmény magasabb költséget indukálva alacsonyabb súlyt kap (legalább 1), míg ellenkező esetben magasabbat (legfeljebb 4). A villamos motorok jelenleg fajlagosan (€/kW) is jóval kedvezőbb költségek mellett szerezhetőek be mint a belső égésű motorok, ezért az előbbi pontszáma 4, míg az utóbbi 3. Az akkumulátorok fajlagosan is a legköltségesebb erőforrásai a jelenlegi modelleknek, ezért

pontszámuk 1. Az egyéb hajtáslánc elemek egyenként, kisebb költségvonatot jelentenek, így pontszámuk szintén 4.

KÖLTSÉGEK:	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- villamos gépek	4	4	1	2	3

A súlyozás egyszerűen megfeleltethető a beépített villamos teljesítménynek. K0 koncepció esetében nincsen villamos hajtás, így a pontszáma 4, hiszen nem kell többlet technológiára beruházni.

A K1 koncepció egy strong hibridet takar, ahol a villamos teljesítmény jóval meghaladja a belső égésű motor teljesítményét. A hajtó villamos gép és a generátor együttes teljesítménye 95 kW, ami jelentős többlet költséget feltételez, így ennek a koncepciónak a pontszáma 1.

A K2 koncepció esetében a villamos gépek összes teljesítménye 80 kW, ami valamivel mérsékeltebb többlet költséget feltételez mint K1 esetén, így a pontszám 2.

A K3-as mikro hibrid gyakorlatilag megegyezik a K0-val, egy minimálisan megnövelt teljesítményű generátor került beépítésre, amely azonban már a járműhajtásban is részt vesz, pontszáma 3.

A hibrid hajtásokat nemcsak technológiai kialakításuk szerint (soros, párhuzamos, vegyes architektúrák), hanem a belső égésű motor és a villamos gépek teljesítményének arányában is szokás jellemezni. Ennek megfelelően megkülönböztethetünk:

- mikro-hibrideket, ahol a villamos teljesítmény a hagyományoshoz képest kicsit;
- mild azaz gyenge hibrideket, ahol a villamos teljesítmény a hagyományossal azonos nagyságrendű;
- strong azaz erős hibrideket, ahol a villamos teljesítményhez képest a hagyományos az, amely kicsi.

KÖLTSÉGEK:	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- belső égésű motor	2	2	4	3	2

A K0 és K3 koncepciók ugyanazt az 1.6 literes belső égésű motort használják, így azonos költséget feltételezve, pontozásuk megegyezik (2). A K2 koncepció egy 1.2 literes motort használ, amelynek költségei valamivel mérsékeltebbek, így a pontszáma 3. A K1-es koncepcióé a legkisebb, így legkedvezőbb költségű erőforrás, amely mindössze 0.5 literes, így maximális pontszámot kap (4).

KÖLTSÉGEK:	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- akkumulátor	1	4	3	1	1

Akkumulátorok terén megkülönböztethetjük a hagyományos kisfeszültségű és a meghajtáshoz használt nagyfeszültségű változatokat. Utóbbi az, amely a hibrid és főleg tisztán elektromos járművekben használt nagyszámú akkumulátorcellából épül fel, és nem ritkán a jármű bekerülési költségének akár az ötven százalékát is elérheti. Ez természetesen függvénye a beépített teljesítménynek, amit pedig elsősorban a hatótávolság határoz meg. Megkockáztathatjuk, hogy a nagyfeszültségű akkumulátor képviseli a legmagasabb költséghányadot a jármű árából.

Mivel a K0 koncepcióban csak hagyományos akkumulátor található, ezért a pontszáma 4. A K1, K2, K3 koncepciókban a hagyományos mellett nagyfeszültségű akkumulátor is van, ami jelentős költségnövekedést jelent. A K2, K3 esetében a nagyobb beépített kapacitás miatt a pontszám egyaránt 1. Míg a K1-es esetben egészen kicsi ez az akkumulátor, így a pontszáma 3.

KÖLTSÉGEK:	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- hajtáslánc	4	3	4	1	3

A hibridizáció foka, illetve az architektúra, jelentős technológiai különbségeket eredményezhet, ami az elemek számosságában is megmutatkozik.

A legköltségesebb hajtáslánc jelen esetben a K2-es koncepcióé, hiszen itt a belső égésű motor a két villamos géppel egy tengelykapcsolón és egy bolygóművön keresztül van egymással integrálva, amely aztán egy láncos kihajtáson keresztül hajtja az első kerekeket. Pontszáma 1.

A K0 és K3 koncepciók hajtáslánca gyakorlatilag megegyezik, a motor egy tengelykapcsolón és egy hatfokozatú kézi kapcsolású váltón keresztül hajtja az első kerekeket, pontszáma 3.

A legkedvezőbb megoldás ebből a szempontból a K1-es koncepció, ahol egy egyfokozatú lassító áttételen keresztül hajtja a villamos gép. Pontszáma 4.

## ÖSSZETETTSÉG

A járműkialakítás szempontjából megkülönböztethetjük a mechanikus és az elektromos hajtáselemeket, illetve azok összetettségét. Az összetettségnek jelentős szerepe van a megbízhatóság és a karbantartás szempontjából, ezek felelnek ugyanis a magas rendelkezésre állásról és a költséghatékony üzemeltetésről és karbantartásról. A hagyományos mechanikus hajtáslánc elemeivel kapcsolatban már több évtizedes tapasztalat halmozódott fel, így azok karbantartása, szerelése, cseréje jóval rutinszerűbben végezhető el, mint a legfeljebb még csak évtizedes múltra visszatekintő hibrid-elektromos hajtáslánc elemeié. Ezen felül, míg a mechanikus elemekhez leegyszerűsítve bárki hozzányúlhat, addig a nagyfeszültségű hibrid elemeket csak erőszakos szakember bonthatja meg.

ÖSSZETETTSÉG	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- mechanikai	4	3	4	1	3

Annak ellenére, hogy a K0 és K3 koncepciók tartalmazzák a legkevesebb hibrid hajtáslánc elemet, még nem feltétlenül kapják a legmagasabb pontszámot. Ez úgy lehetséges, hogy míg a K1 koncepcióban összesen egy darab egyfokozatú lassító áttétel található, addig az előbbieken sebességváltó, tengelykapcsoló stb. amely nagyobb komplexitást, magasabb hibalehetőséget eredményez, így a K1 pontszáma 4, míg a K0-é és K3-é 3. Mechanikailag, a K2-es koncepcióban alkalmazott, bolygóművel kombinált lánckihajtás a legösszetettebb.

ÖSSZETETTSÉG	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- elektronikai	1	4	3	1	3

Az egyszerű, könnyű és gyors szerelhetőség általánosságban nem mondható el a gépjármű-elektronikai eszközökről. Azok meghibásodása esetén többségük (villanymotorok, hajtásakkumulátorok, teljesítményelektronikák, vezérlések) továbbra is csak egyben cserélhető, és csak kivételes esetekben javítható. A legkevesebb ilyen berendezést továbbra is a K0 és K3 koncepciók tartalmazzák, pontszámaik 4, ill. 3.

## TÖMEG

Mivel a költségek a legmagasabb súllyal szerepelnek, és a modellalkotáskor kikötésre került, hogy a költséghatékonyság kiemelt szempont, a tömeg ebből adódóan ellentétes súlyt kap. Hiszen nem reális a legdrágább, legújabb technológiák alkalmazása. Ennek szellemében a tömeg a legkisebb súlyt kapja, melynek értéke 1. Ettől függetlenül is, a tömeg fontos tényező, hiszen nemcsak a fogyasztást, de pl. a jármű kezelhetőségét is befolyásolja. Az objektív kiértékelés folyamán a modellek tömege megegyezett – az összehasonlíthatóság miatt. Itt így az akkumulátorcsomag mérete, a hajtáslánc elemeinek (villamos gépek) számossága és a fedélzeten tárolt tüzelőanyag térfogata lesz meghatározó a tömeg szempontjából.

TÖMEG	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- önsúly	1	3	4	2	2

A K0 koncepciók a lehető legletisztultabbak, kiegészítő villamos gépek híján, hagyományos hajtáslánccal, ötven liter tüzelőanyaggal, pontszáma 3.

A K3-as megfelel az előzőnek, de egy hajtásakkumulátorral van kiegészítve, pontszáma 2.

A K2-es koncepció a kisebb belső égésű motor mellett, két villamos géppel és egy hajtásakkumulátorral egészül ki. A váltót a bolygómű helyettesíti. Pontszáma 2.

A K1-es eset egy jóval kisebb belső égésű motort és kevesebb tüzelőanyagot alkalmaz, itt a villamos gépek és egy kisméretű hajtásakkumulátor az, ami plusz tömegként jelentkezik. Pontszáma 4.

## RUGALMASSÁG

A rugalmasság alatt elsősorban a jármű kialakíthatóságát értjük. A jármű külső megjelenésének és a belső kialakításának tervezése folyamatos iterációt kíván mindkét oldalról, annak érdekében, hogy a jármű egyszerre legyen esztétikus, tágas, kényelmes, gazdaságos és biztonságos. Ezek összeegyeztetése komoly kompromisszumokat kíván, ha pl. a hagyományos hajtásrendszerekben gondolkozunk. Ha azonban elhanyagolhatóak a relatív nagy merevséget eredményező mechanikai kapcsolatok (kardántengely), akkor pl. egy soros hibrid esetében a villamos gépek, az akkumulátor tetszőlegesen helyezhető el és köthetőek össze a nagyfeszültségű vezetékkel. Ez a csomagtér, lábtér, gyűrődő zóna stb. kialakításakor lényegesen nagyobb szabadságfokot biztosít.

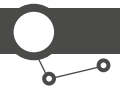
A rugalmasság a felsoroltak ellenére is csak alacsony súllyal rendelkezik, pontszáma 1.

RUGALMASSÁG	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- rugalmasság	1	2	4	1	2

Az előző gondolatmenetnek megfelelően a K1-es soros hibrid biztosítja a legnagyobb szabadságfokot, a hajtó villamos motor térben elválasztható a generátor-belső égésű motor párostól. Pontszáma 4.

A K0 és K3 koncepciók hagyományos hajtáslánccal, orrmotorral és elsőkerék-hajtással rendelkeznek, ami így kiküszöböli a kardántengely szükségességét. Minimális beépíthetőségi rugalmassággal rendelkezik ugyan (keresztbe vagy hosszba történő beépítés), így a pontszáma 2.





A K2-es koncepció a lehető legmerevebb, ahol a hajtáslánc keresztben, egyféléképpen kerül beépítésre (egy tengely mentén való elhelyezkedés szükségessége a bolygómű miatt). Pontszáma 1.



6. ábra: tisztán elektromos személygépkocsi alváza (Fénykép: Oleg Alexandrov)

A 6. ábra érzékletesen szemlélteti a rugalmas járműkialakításban rejlő potenciált. A villamos gépek nagy teljesítmény mellett is kis mérettel rendelkeznek, így a kerekek tengely vonalában építhetők be az alvázba. Továbbá, a jármű fenékvázába integrált akkumulátorok (amelyek a menetdinamikai tulajdonságokat, biztonságot is javítják az alacsony súlypont miatt), gyakorlatilag korlátlan kialakítási sokszínűséget tesznek lehetővé.

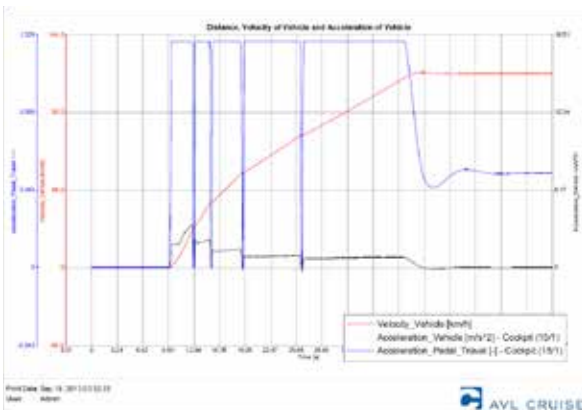
## DINAMIKA

Az előző, objektív kiértékelés folyamán a modellek úgy lettek kialakítva, hogy (az összehasonlíthatóság miatt) megegyező menetdinamikai tulajdonságaik legyenek. A dinamikai tulajdonságoknak a szubjektív összehasonlításban való megjelenésével lehetőség van a modellek ilyen téren való megkülönböztetésére. A dinamikai tulajdonság súlya 3.

A modellek dinamikai tulajdonságai a vonóerő összehasonlításán keresztül kerülnek bemutatásra.

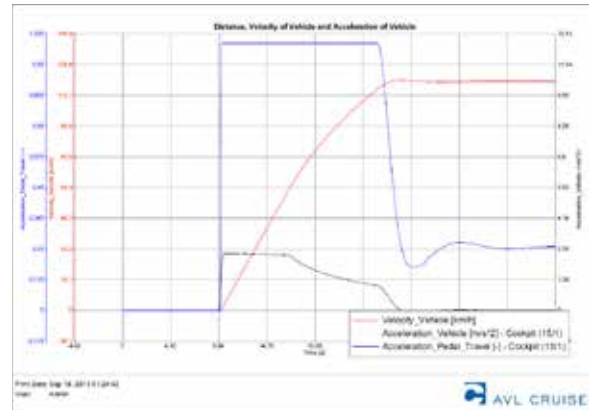
DINAMIKA	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- vonóerő	3	1	4	3	1
Súlyozott összeg:		3	12	9	3

Az első és a negyedik koncepció esetében a hatsebességes kézi kapcsolású váltó következtében az erőátvitel folyamata minden váltás alkalmával megszakad (lásd 7. ábra), ami rontja a dinamikai tulajdonságokat, pontszámaik egységesen 1.



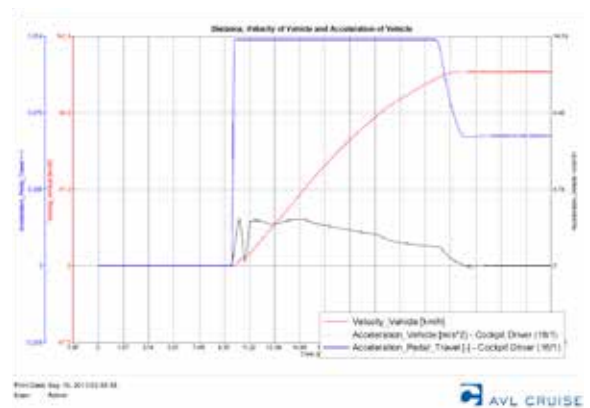
7. ábra: koncepció K0 vonóerő-diagram

Ezzel szemben, ha egy villamos gép hajt, ahol a maximális nyomaték már a kezdeti fordulattól tartósan rendelkezésre áll, ráadásul egy egyfokozatú lassító áttételen keresztül az erőátvitel folyamata sem szakad meg, az jóval kiemelkedőbb menetdinamikai tulajdonságokkal ruhazza fel az adott modellt – lásd 8. ábra.



8. ábra: koncepció K1 vonóerő-diagram

A K2 koncepció esetében, a kezdeti tisztán villamos hajtást követően, a belső égésű motor indításakor következnek be egy szakadás az erőátvitel folyamatában – lásd 9. ábra.



9. ábra: koncepció K2 vonóerő-diagram

## KOMFORT

KOMFORT	SÚLY	K0	K1	K2	K3
- komfort	1	2	3	1	1

A komfort a rezgéscsillapításon keresztül kerül bemutatásra, amely a lehető legkisebb súllyal rendelkezik (1).

A K1-es koncepció esetében mivel egy kicsi, kis teljesítményű, ráadásul állandó munkaponton üzemelő belső égésű motorról van szó, lehetőség van a csillapító elemeknek erre az egy munkapontra való hangolására, amely így kielégítő csillapítást eredményez.

Az összes többi koncepció esetében számtalan munkapontban kell megfelelő rezgéscsillapítást biztosítani, ami ugyanolyan eredménnyel nem lehetséges. A K0 koncepció súlya így 2. Hibridek esetén tovább bonyolítja a helyzetet a belső égésű motorok ki-be kapcsolása, illetve a villamos gépekkel való szinkronizálás szükségessége az egyik vagy másik gép, hajtásba való ki-, ill. belépése során. K2 és K3 koncepciók pontszáma így 1.

## ÖSSZEFOGLALÓ

- Költségek
  - villamos gép
  - belső égésű motor
  - akkumulátor
  - hajtáslánc
- Összetettség
  - mechanikai
  - elektronikus / villamos / elektromos
- Tömeg
- Rugalmasság
- Dinamika
- Komfort

TULAJDONSÁGOK			SÚLY	KONCEPCIÓK			
				K0	K1	K2	K3
Szubjektív tulajdonságok	Költségek	Villamos gép	4	4	1	2	3
		Belső égésű motor	2	2	4	3	2
		Akkumulátor	1	4	3	1	1
		Hajtáslánc	4	3	4	1	3
		Költség súlyozott összpontszáma		36	31	19	29
	Összetettség	Mechanikai	4	3	4	1	3
		Elektronikai	1	4	3	1	3
		Összetettség súlyozott összpontszáma		16	19	5	15
	Tömeg	Tömeg	1	3	4	2	2
		Tömeg súlyozott összpontszáma		3	4	2	2
	Rugalmasság	Rugalmasság	1	2	4	1	2
		Rugalmasság súlyozott összpontszáma		2	4	1	2
	Dinamika	Dinamika	3	1	4	3	1
		Dinamika súlyozott összpontszáma		3	12	9	3
	Komfort	Komfort	1	2	3	1	1
Komfort súlyozott összpontszáma			2	3	1	1	
<b>Teljes súlyozott összpontszám</b>			<b>62</b>	<b>73</b>	<b>37</b>	<b>52</b>	

10. ábra: szubjektív tulajdonságok összesítése

Az objektív és szubjektív összehasonlítás során elért pontszámokat összesítve arra a megállapításra jutunk, hogy a range-extenderrel felszerelt modell végzett a legmagasabb végösszeggel, az első helyen.

	KONCEPCIÓK			
	K0	K1	K2	K3
Objektív tulajdonságok összpontosítása	92	114	82	62
Szubjektív tulajdonságok összpontosítása	62	73	37	52
Végösszeg	144	185	119	114
Sorrend	2.	1.	3.	4.

11. ábra: koncepciók sorrendje

A rövid távolságon és rövid időtartamban való alkalmazása jelentős tüzelőanyag-fogyasztás és ezzel együtt károsanyag kibocsátás csökkenéssel jár együtt, különösképpen a városi alkalmazás közben, amely kiemelten fontos premisszát jelent.

A szubjektív feltételek közül a dinamikusabb mozgása az, ami kiemeli a többi modell közül.

## KONKLÚZIÓ

Az előző és a jelenlegi cikk által felölelt második projekt szakasz célja az alkalmazott szimulációs modellek leírása és eredményeik kiértékelése volt. A kiértékelés célja az volt, hogy a harmadik projekt szakasz számára (kontroller programozása) a megfelelő hibrid hajtásláncmodell kiválassza. A modell specifikációban foglaltak szerint létrehozott három hibrid modellt sikeresen implementálva lett a rendszeresített szoftverben (AVL Cruise), melyben egy hagyományos hajtásláncú modell képezte az összehasonlítás alapját.

A jármű- és hajtáslánckomponensek, melyek a modellezés folyamán felhasználásra kerültek, a menetciklusokkal (egy standard és két egyedi) együtt az előző cikkben kerültek bemutatásra. A belőlük felépített architektúrák már a jelenlegi cikk részét képezik.

A validáció alapján kijelenthető, hogy a modellek megfelelően működnek, a valós működést jól közelítik, a további elemzői munka elvégzésére megfelelő alapot szolgáltatnak.

A kiértékelés alapján megállapítható, hogy a hibrid hajtásláncok előnye elsősorban a városi, és minél forgalmasabb (sok megállás, alacsony átlagsebesség stb.) városi közlekedés során mutatkozik meg igazán. Ezt még jobban kihangsúlyozza, hogy a K1-es koncepció képes a városi menetciklusokat tisztán elektromos üzemben teljesíteni, azok rövidsége miatt. Ebben az esetben a kezdeti feltételek (State of Charge) és beállítások (State of Charge Threshold) alapvető jelentőséggel bírnak. Ettől függetlenül a magyarországi napi személygépjárműves ingázás döntő többségének felhasználási körülményeit jól lefedi.

A nyertes koncepció nem csak ebből a szempontból felelt meg és végzett így az első helyen. Így pl. a menetdinamikai tulajdonságai (megszakítás nélküli erőátvitel); alacsony fosszilis tüzelőanyag-fogyasztás és ebből adódó alacsony károsanyag-kibocsátási értékek; kevés, rugalmasan elhelyezhető hajtáslánc-elem (agymotorok) is, mind olyan tulajdonságok voltak, ami a többi koncepció fölé emelte.

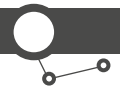
A szubjektív kiértékelés az objektív összehasonlítás kiegészítéseként, megerősítette a K1 koncepció előzetesen elért eredményét, így ez fogja a továbbiakban a kontroller tervezésének és a részletes modellanalízisnek az alapját képezni.

### IRODALOM

- [1] Bári Gergely, Varga Dávid, Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, dr. Ailer Piroška – TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012 – Hibrid-elektromos hajtáslánc koncepciók összevetése objektív szempontok alapján

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a „TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások” című alapvető kutatási pályázat keretében jött létre.



# Gépjárművek újrahasznosításának aktuális kérdései

**DR. LUKÁCS PÁL**  
tanszékvezető

Kecskeméti Főiskola GAMF Kar  
Járműtechnológia Tanszék

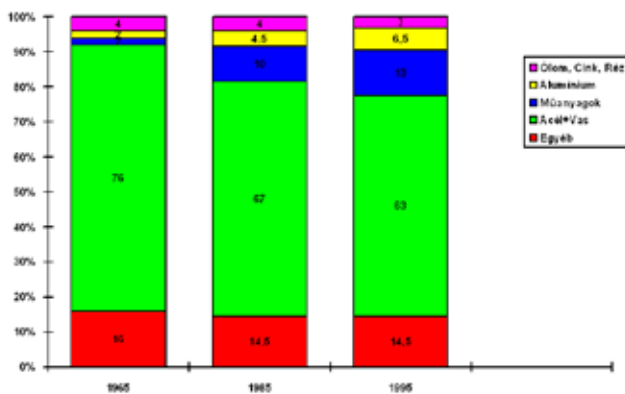
Az életciklusuk végére ért elhasznált gépjárművek újrahasznosítása nemcsak az általuk okozott környezetszennyezés elkerülése érdekében fontos, hanem a Föld szűkülő nyersanyag- és ásványi kincs készleteinek védelmében is elsődleges jelentőségű feladat. Mivel a járművek tömegét átlagosan maximum 75%-nyi fémtartalom jellemzi, így jól érzékelhető, hogy a 2015. január 1-jével hatályba lépő 95%-os újrahasznosítási elvárás komoly fejlesztési feladatokat igényel a bontó-hulladékkezelő létesítmények részéről. Az alábbiakban bemutatásra kerül, hogy az elmúlt években milyen fejlesztések történtek Magyarországon a roncsautókból származó hulladékok anyagban- és energetikai úton történő hasznosításának előmozdítása érdekében.

Recycling of End-of-Life-Vehicles (ELV's) is very important not only because of avoiding the environmental pollution possible caused by them, but also to save the Earth's decreasing raw material and mineral sources. As the personal cars have on average 75 weight% metal-content, it is quite easy to understand, that the 95% recycling-ratio obligation get into force with the 1st of January 2015, needs a very complex development work by the wreck dismantling- and waste recycler companies. In the followings it will be shown which developments have been realised in the last years in Hungary on the field of processing of ELV's, promoting their material- and energetic recycling possibilities.

## TRENDVÁLTÁS A JÁRMŰÉPÍTÉSSEN

### Olajválság vs. könnyűépítés

Az 1973-as olajválsággal kezdődően az autóipar új kihívásokkal szembesült a járművek hajtásrendszereit tekintve. A jelentősen megrágult – és néha akár hiánycikké is váló – benzin és gázolaj fontossá tette a járműgyártók és használók számára is az egyre inkább tüzelőanyag-takarékos járművek létrehozását, működtetését. A járművek tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésének hagyományosan két jól bevált útja van, az egyik a járműtömeg csökkentése a könnyűépítés elveit követve, a másik a belső égésű motorok és a hagyományos hajtáslánc hatásfokának javítása. A járműgyártók mindkét témakörben komoly eredményeket értek el az elmúlt 40 évben. A belső égésű motorok és a hagyományos hajtáslánc elemeinek változása túlzottan nem érintette az elhasználandó járművek elemeinek újrahasznosítását, annál inkább a könnyűépítésre való áttállást.

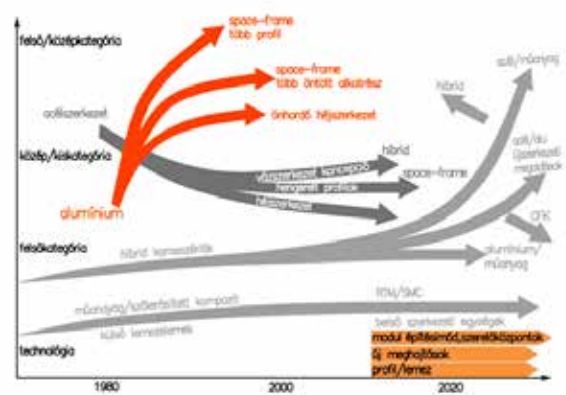


1. ábra: az egyes szerkezeti anyagok felhasznált mennyiségének alakulása az elmúlt évtizedekben

Az elmúlt évtizedekben általánosan elmondható trend a járműiparban, hogy a féanyagok aránya csökkent a járművek összes tömegén belül, miközben a műanyag- és elasztomer

alkatrészek aránya folyamatos növekedést mutat. Egyes szakértők véleménye alapján 2025-re a műanyagok teljes járműtömegre vonatkoztatott részaránya elérheti, illetve meghaladhatja a 20% mértéket! Eközben a féanyagokon belül a hagyományos vas- és acélsanyagok aránya csökkent a könnyűfémekkel (alumínium, magnézium) szemben.

A járműiparban a komfort mértékének emelkedése, a járművek aktív és passzív biztonságának növelése, valamint a környezetvédelmi szempontok érvényesítése következtében az elektronizáltság foka emelkedik, ennek hatására a járművekben egyre több réz, nemesfém (platina, palládium, ródium) és a ritka földfémek széles spektruma jelenik meg, amelyek a jövőben jelentősen növelik az életciklusuk végére érő járművek szerkezeti anyagban megtestesülő maradványértékét.

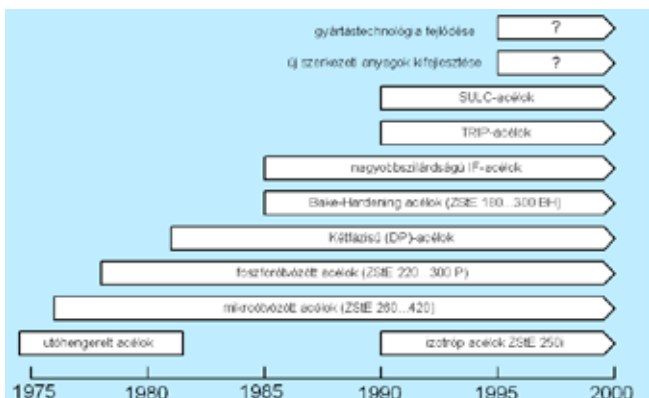


2. ábra: járműszerkezeti anyagok jövőbeli felhasználási trendje

A hagyományos acélgyártó vállalatok az alapanyagok és a hozzájuk kapcsolódó gyártástechnológiák fejlesztéseinek egész sorával reagáltak a modern kor tömegcsökkentési igényeire. Ennek hatására olyan fogalmak jelentek meg a járműiparban, mint a megnövelt szilárdságú acéllemezek (DP, TRIP, TWIP, IF,

Bake-Hardening), ULSAB (ultrakönnnyű acélkarosszéria), Tailored-Blank- (terhelési igénybevételre optimalizált) lemezkonstrukció, vagy a nagy energiasűrűségű alakadási technológiák, pl. az IHU (belső nagynyomású folyadékok által elért alakadás), amelyek együttesen jelentősen csökkentették a nyers karosszériák tömegét.

Mindeközben a könnyűfémek alkalmazását preferáló gyártóknál folyamatos munkák folynak az ASF (Audi Space Frame – az Audi által bevezetett és elterjedt tér-keret technológia) továbbfejlesztésére, a magnéziumelemek részarányának növelésére, ezen kívül komoly előrelépések vannak a habosított alumínium alkalmazása, a karbonszálas technológia, valamint a kompozit anyagok (acél-műanyag, alumínium-műanyag) jelentőségének növelése érdekében is.



3. ábra: új fejlesztések a járműkarosszériák acélanyagaiban

Ettől függetlenül miközben a személygépkocsik önhordó vázszerkezetének tömege folyamatosan csökken, a piacra kerülő járműveké viszont növekszik, éppen a komfort, a közlekedésbiztonság és a környezetvédelem érdekében az autókba beépítésre kerülő elektromos, elektronikus, mechanikus és mechatronikus komponensek tömegnövelő hatásának eredményeként.

A jogalkotói célkitűzések mindenestre ambiciózusak, 2020-ra az átlagos járműflotta emisszióját 95 g/km CO<sub>2</sub>-kibocsátásra szükséges mérsékelni, kérdés, mindez hogyan oldható meg az újrahasznosítási elvárások teljesíthetőségét is figyelembe véve?

## ÚJ ELVÁRÁSOK A GÉPJÁRMŰVEK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁBAN

Az Európai Unió az 1990-es évek elején monitorozta az ipari tevékenység hatására keletkező különböző környeztkárosító hatásokat, sor került az életciklusuk végére jutó összetett műszaki termékek, így a roncsautók hatásaira is. A Bizottság számba vette az autóroncok feldolgozási gyakorlatát, amely során megállapította, hogy az üzemanyagaitól és veszélyes komponenseitől megszabadított (azaz „szárazra fektetett”)



4. ábra: az ALCUFER Kft. fehérvársurgói shredder-berendezése

és még eredeti funkciójában továbbalkalmazható alkatrészeitől megfosztott autóroncokat túlnyomó többségben forgókalapácsos aprítóművekben, ún. shredder berendezésekben dolgozzák fel.

A berendezés alapkoncepcióját a 20. század ötvenes éveiben dolgozták ki, elsődlegesen a roncsautók fémanyagainak újrahasznosításra történő visszanyerésének érdekében. Talán nem véletlenül hívják ma ezeket a berendezéseket „Automobile Shredder”-nek, azaz gépjármű shreddernek. A gépsor alapkoncepciója meglehetősen egyszerű, elvét tekintve semmit sem változott az elmúlt 60 évben. A veszélyes összetevőitől megszabadított termékeket (azaz a tűz- és robbanásveszélyes, valamint környezetszennyező komponenseitől elválasztott berendezéseket, melyek gépjárművek esetén az üzemanyagok, az akkumulátor, a klímaberendezések elemei és a légzsákok, övfeszítők pirotechnikai működtető elemeinek eltávolítását jelentik) egy zárt térben forgó rotorra csuklósan ágyazva elhelyezett verőkalapácsok a fellépő hatalmas nyíróerők hatására nagyjából felnőtt ember-ökölnyi méretűre aprítják fel, majd szeparációs technológiák segítségével az így keletkező vegyes



5. ábra: roncsautó adagolása shredderre

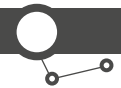
anyagfrakciókat az egyes iparágak számára újrahasznosítható, homogénizált anyagáramokra választják szét.

A folyamatot végig – mind a verőtérből, mind a további manipulációs terekből történő – porleszívás kíséri, amely a porfólia- és szivacsfrakciókat választja le a száraz ciklontechnika útján. Ezek a frakciók – az ún. „shredder-fluff”, azaz shredder könnyűtermék –, ma szinte kizárólagosan lerakásra kerülnek az ezt a célt szolgáló monodepóniákban, azaz specializált (kommunális hulladékoktól elkülönítetten működő) lerakóhelyeken. A legfinomabb porfrakciókat Venturi-mosó segítségével választják le, amelyet kaparólánccal kihordó mechanizmus konténerekbe ürít, ez a frakció veszélyes hulladékként kerül a továbbiakban kezelésre. Az alapgép ezt követően nagy teljesítményű mágnesdobban folytatódik, amely a beadagolt alapanyag összetételének függvényében (ez roncsautók esetében általában 70–75 tömeg% mértéket jelent) leválasztja a mágnesezhető vas- és acélterméket. Ez a shredderek fő kimenő terméke, amelyet a még benne lévő réz- és textilszennyezők mechanikus eltávolítása után irányvonatokba rakodva acélkohókba juttatnak el.

A nem mágnesezhető anyagokat tartalmazó ágban általában méret szerinti osztályozást követően egy, a fémek és nem fémek anyagok különválasztására szolgáló örvényáramú szeparátor különíti el a színes- és nemesfémeket a vegyes műanyag, gumi-, üveg-, textil-, kő- és faanyagokat tartalmazó ún. „shredderezési könnyűfrakcióktól” (shredding light fraction).

Ez a könnyűfrakció a por- és fóliatípusú (shredder-fluff) hulladékkal együtt átlagosan 25 tömeg% mértéket képvisel a feldolgozás során, és egészen az elmúlt 5 évet bezárólag lerakókban került deponálásra.





6. ábra: shredder-fluff – őrlési porfrakció



7. ábra: shredder-könnyűfrakció, vegyes műanyag, gumi-, textil- és üvegrakció

Alapul véve egy elterjedt 1400 LE teljesítményű, Zerditor típusú automotive shreddert, az egy műszakban évi 100 000 tonna anyag feldolgozására képes gép eredményeként (műszakonként 3–500 tonna, óránként bemenő anyag függvényében 35-70 t/h átbocsátással) évente 75 000 tonna kohókba kerülő vas-, acél-, színes- és nemesfém leválasztása valósul meg, viszont a lerakók telítettségét 25 000 tonna kis fajtasűrűségű, igen nagy térfogatot megtestesítő hulladék növeli meg. Magyarországon 3 ilyen kapacitású shredder működik (2 Budapesten, 1 Fehérvár-surgón), amelyek teljes kapacitás-kihasználtság esetén évi 75 000 tonna ilyen hulladékot termelnek. Az Európai Unióban közel 300, világszerte mintegy 500 ilyen gépsor működik, amelyek az 1 000–11 000 LE teljesítmény-kategóriákban helyezkednek el. Összehasonlításképpen a 11 000 LE-s shredder egy műszakos teljesítménye akár a 700 000 tonna feldolgozott anyagmennyiséget is elérheti, az általa lerakóra termelt feldolgozási maradvány is ehhez aránylik, az akár a 175 000 tonnányi mennyiséget is elérheti! Így az Európai Unió 300 shreddere hozzávetőlegesen évi 9 millió tonna lerakókat terhelő őrlési maradvékot produkál egy évben. Nem csoda, ha az EU döntéshozói látva, a trendeket, a shredderbe kerülő összetett műszaki termékek növekvő hasznosítási arányát, valamint a lerakókba kerülő szerves eredetű maradványok tiltását előírányzó Direktívákat (Irányelveket) fogadott el a kétezres évek fordulóján. Így jöttek létre a roncsautóra vonatkozó 2000/53/EK ELV- (End of Life Vehicle – Roncsautó-) Direktíva, a 2002/96/EK WEEE- (Waste Electrical and Electronic Equipment – Elektromos

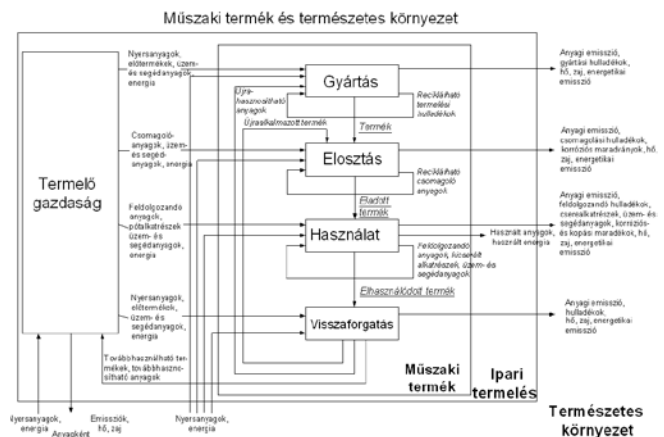
és Elektronikai Berendezések Hulladékai) Direktíva, valamint az 1999/31/EK Landfill- (Landfill – Lerakási) Direktíva.

Ezek a szabályozások megteremtették a gyártói termékfelelősség érvényesítésének lehetőségét, meghatározták az egyes hulladékká váló anyagáramok fő hasznosítási eljárásmenetét, valamint konkrét időpontokhoz kötve előírták az egyes anyagáramok hasznosítási mértékének növelését.

### AZ EURÓPAI UNIÓ ÉS A TAGÁLLAMOK JOGSZABÁLYI KERETEI A RONCSAUTÓK HASZNOSÍTÁSÁNAK ELŐMOZDÍTÁSA ÉRDEKÉBEN

A már említett 53/2000/EK Roncsautó Direktíva és annak tagállami harmonizációs rendeletei, így Magyarországon a 2004. évi alaprendelet-váltó 444/2012. (XII. 29.) Kormányrendelet a hulladékká vált gépjárművekről egy sor, a járművek tervezését, gyártását, újrahasznosítását alapvetően befolyásoló szabályozási elemet vezetett be.

Első lépésként definiálta a gyártói termékfelelősséget, azaz kimondta a gyártó termékéletciklusának végéig tartó felügyeleti kompetenciáját, amelynek keretében a gyártónak kötelessége gondoskodni az elhasznált gépjármű utolsó üzemeltetőtől történő ingyenes visszavételéről.



8. ábra: a műszaki termék-ipari termelés-természetes környezet kapcsolata

A járműveket alapvetően úgy kell megtervezni, legyártani, üzemben tarthatóvá tenni, hogy abból a lehetőséghez képest legkevesebb hulladék keletkezzen, illetve azokból a lehető legtöbb alkatrészt, szerkezeti anyag tovább-, illetve újrahasznosítható legyen.

A gyártás során több, igazoltan környezetszennyező anyag tiltólistára került, ilyenek az ólom, a higany, a hatvegyértékű króm és a kadmium. Ezeket az anyagokat egy, a helyettesíthetőségükben még nem kiváltható alkalmazásokat tartalmazó derogációs listát leszámítva a jövőben nem lehet a járművek gyártása során felhasználni. Erre a derogációs listára felkerült az ólom akkumulátorokban történő használata, hiszen itt a helyettesítés még nem megoldott, de a kerékkiegyensúlyozó súlyokban történő ólom alkalmazást az EU 2007-ig megvalósította hazánkban is, itt helyettesítő alapanyaggá a cink vált.

A gyártóknak minden egyes típus jóváhagyását követően annak bontási információit el kell juttatnia a bontással/hulladékkezeléssel foglalkozó szervezetek számára, ezt a gyártók egy félévente frissített közös, ún. IDIS (International Dismantling Information System – Nemzetközi Bontási Információs Rendszer) kiadásával valósították meg.

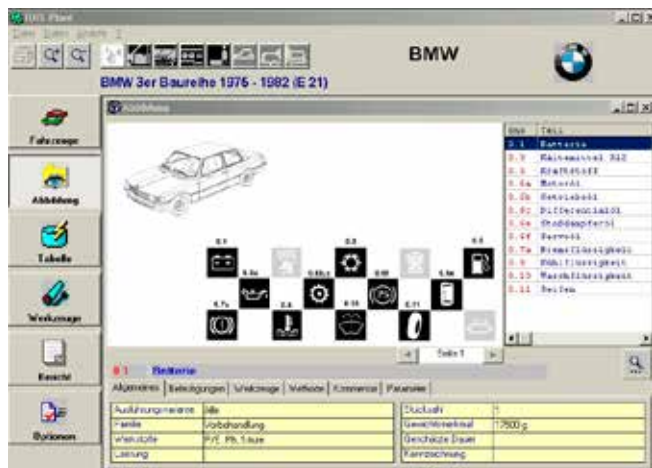
Az autógyárak tervező/homologációs gárdáiban újrahasznosítási csoportok alakultak, akik alapvetően vizsgálják a reciklációs

feltételek új típusoknál való teljesülését. Tevékenységük a mai napra annyira fontossá vált, hogy egyetértésük nélkül egyetlen új típus jóváhagyási eljárását sem kezdeményezhetik meg, az általuk végzett munkát a „már a tervezőasztalon megkezdett újrahasznosításnak” nevezik.

A gyárak ezen kívül országokként kötelesek területileg roncscsautó-visszavételi hálózatot működtetni, ahol az utolsó üzembentartók ingyenesen le tudják adni a náluk képződő autóroncscsautókat. Az ingyenesség természetesen a teljes állapotú (otthon nem előbontott), járulékos szennyeződések nem tartalmazó (pl. csomagtartóba bepakolt hulladék gumibroncsok, festékesdobozok, egyéb kommunális és lomtalanítási hulladék) járművekre áll fenn.

Mivel a gyáraknak a hulladékkezelés alapvetően nem az elsődleges feladatai közé tartozó tevékenység (például a gyártóműben keletkező hulladékokat is szerződött hulladékkezelő partnerek kezelik), ezért a roncscsautók területileg visszavételére, az itt megadott telephelyek fenntartására és működtetésére, valamint a megadott elvárások teljesítésére a gyárak külső szolgáltatókat bíznak meg. Így történik ez Magyarországon is, itthon a hulladékkezelők által alapított és működtetett CAR-REC Gépjárműroncs-kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. látja el ezt a feladatot, jelenleg 23 magyarországi járműimportőrrel meglévő szolgáltatási szerződés keretei között.

A bontók/hulladékkezelők számára minimális műszaki feltételrendszer iránk a megfelelő létesítmények, eszköztárszerkek meglétére, az alkalmazandó eljárásmentre. Ez írja elő az üzemanyagok kötelező eltávolítását, a hasznosítást elősegítő lépések megvalósítását.



9. ábra: az IDIS – International Dismantling Information System – bontási információs rendszer

A könnyebb alkatrész- és részegység-azonosítás elősegítésére kapják a bontók a gyáraktól az IDIS-rendszerben összefoglalt bontási információkat.

A roncsok legális rendszerbe terelése érdekében az utolsó üzembentartó egyetlen kötelezettsége a hulladékká vált jármű regisztrált bontó-/hulladékkezelő üzembe szállítása. Ennek során a leadáskor megkapja az ún. bontási-átvételi igazolást (Certificate of Disposal), amellyel a központi járműnyilvántartásból (amely Magyarországon a kormányhivatalokban elérhető módon a KEKKH–Közgazgatási és Elektronikus Közszolgáltatások Központi Hivatala-által működtetett rendszer) a járművet a forgalomból végleg ki lehet vonni. Csak ekkor szűnik meg az utolsó üzembentartó súlyadó- és kötelező felelősségbiztosítás fizetési kötelezettsége, elvileg ennek kellene garantálnia – a tulajdonos jól felfogott érdekétől vezéreltetve – az autóroncscsautók megfelelő, legális üzemekbe jutását.

A szabályozás egyik legfontosabb – és a ráépülő fejlesztések egyik központi mozgatóelemét jelentő – eleme az adott bevezetési időponthoz kötött, a roncsautók tömegarányához

mért előírt hasznosítási arányszámát megadó ún. hasznosítási arányszám-kötelezettség. Ennek értelmében 2006. január 1-jétől kezdve a roncsautók tömegének 85%-át kell újrahasznosítani, ebből 80% anyagában, 10% energetikai úton értendő. Ezek a kötelezettségek 2015. január 1-jéig 95%-ra növekednek, amelyből 85% anyagában, 10% energetikai módon hajtandóak végre.

Jól látható, hogy egy 75%-nyi fémtartalmú (tehát az anyagában hasznosítás során bevételt termelő résszel bíró) autó hasznosítási arányainak 95%-ra növelése igen komoly fejlesztéseket és ráfordításokat igénylő feladat.

## FEJLESZTÉSEK A RONCSAUTÓK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁBAN

### A shredder-technika fejlődése

A roncsautók feldolgozására alkalmazott forgókalapácsos aprítók alapkonceptiója több mint 50 éves múltra tekint vissza, és azokat alapvetően a roncsok fémtartalmának visszanyerésére hozták létre. Az első shredderezési maradékok utólagos feldolgozására létrehozott ún. „post-shredder” technológiai megoldások a folyadékfajsúlyos szétválasztási elven alapuló flotációs szeparátorok voltak. Ezekben a berendezésekben a vízbe ferroszilícium port keverve először egy 2 g/cm<sup>3</sup>, majd egy 3 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű elegyet, ún. zagyot állítanak elő. Előbbiben a gum- és műanyag frakciók úsznak fel a zagy tetejére, míg a magnézium és a könnyű alumínium lesüllyed, utóbbiban a nehéz alumínium úszik, és a réz- és kófrakció merül alá.



10. ábra: fajsúlykülönbségen alapuló szétválasztó berendezés flotálóelvi vázlat

Ezek a flotálók ma is elterjedt elemei a shredderüzemek feldolgozó gépsorainak. A következő fejlesztéseket már a színes- és nemesfémárak drasztikus emelkedése és a kínai piac keresleti hatása indította el. Ezek hatására alakultak ki a színképelemzésen (röntgentechnológián és infravörös spektroszkópián) alapuló, mechanikus kivető szerkezetekkel kombinált (kivető karokkal vagy pneumatikus fúvókákkal működtetett) szerkezetek. Ezek a gépek már kellően nagy beruházási költséget igényelnek, létesítésük akár a shredder alapgép árának 1,5–2,5-szeresébe is kerülhet, emiatt viszonylag kevés hulladékkezelő telepített ilyen gépsora végére. Hasonló működésű gépeket lehet találni a Müller-Guttenbrunn ausztriai leányvállalatánál, a Metran amstetteni üzemében, de működtet ilyen a Galloo is a belgiumi Meningenben.

A 2006. január 1-jével hatályos 85%-os, de különösen a 2015. január 1-jén kötelezővé váló 95%-os hasznosítási kötelezettség azonban olyan új, ma még ismeretlen technológiák fejlesztését teszik szükségessé, amelyek lehetőséget biztosítanak a





shredderezési maradékok szelektív, homogén anyagfrakciókat eredményező szétválasztására.

Nem elég azonban eljutni a homogén anyagfrakciókhoz, a leválasztott anyagáramokhoz termékötleteket, konkrét felhasználási lehetőségeket is hozzá kell rendelni, egyébként a szétválasztás önmagában haszontalan marad, és csak költségnövelő tényezőként lép fel.

A nyugat-európai magasabb fajlagos bérköltséggel működő országokon kívül, főként az újabban csatlakozott EU-tagállamokban – így Magyarországon is – felmerült annak lehetősége, hogy a homogén anyagáramokhoz a drága és technológiaigényes post-shredder technológia alkalmazása helyett inkább a kézi előbontási mélység további növelésével jussanak el. Ez a gyakorlatban azt jelentené, hogy a szokásos üzem- és veszélyes anyagok eltávolításán (azaz a szárazra fektetésen) kívül bontsák le a nagyobb műanyag és gumialkatrészeket, szereljék ki a járműveket olyan szintig, hogy valamennyi 50 grammnál nagyobb alkatrész a járművekből kiépítésre kerülne.



11. ábra: nagyobb alkatrészeitől előbontott nyers karosszéria

Több helyen végeztek erre vonatkozó előzetes megtérülési vizsgálatokat, amelyekből az derült ki, mindez csak akkor válhat gazdaságossá, ha azokat legalább 5000 gépjármű/év volumen felett, általában más munkavégzésre nem alkalmas emberek bevonásával (köz munkások vagy megváltozott képességű munkavállalók alkalmazásával) végeztetik, és az összes anyagáram elhelyezését (hasznosítását és nem pénzbe kerülő ártalmatlanítását) előzetesen megoldják.

Magyarországon a szerkezeti anyagon kívül alkatrészeket is eltávolító regisztrált bontókban például olyan vegyes megoldások születtek, hogy a nagyobb tömeget megtestesítő lökhárítókat előzetesen lebontják, ezeket bálákba préselik és azt Kínába exportálják, ahol a későbbiekben nyilván kézi munkaerő alkalmazásával azokat egyesével szétválogatva azonosítják, és valamilyen anyagában történő hasznosítási módszerek vetik alá.

Tehát egyértelműen elmondható, hogy a jövő az automatizált shredderezési könnyűfrakció feldolgozás irányába mutat, a szelektív előbontásnak pedig majd csak a robottechnika olyan fejlődése nyithat utat, amely képes lesz már autóbontásra önállóan alkalmas autonóm robotok kifejlesztésére.

## AZ ELMŰLT ÉVEK FEJLESZTÉSEI

Az utóbbi öt év egyik legjelentősebb kutatása az Európai Unió 7. Kutatás-Fejlesztési Keretprogramjában a Delfti Műszaki Egyetem konzorciumi vezetése mellett zajló, 12-tag által végzett „Magnetic Sorting and Ultrasound Sensor Technologies for Production of High Purity Secondary Polyolefins from Waste” elnevezésű, W2Plastics

akronímmel fémjelzett projekt célja ultramodern szeparációs technológia kifejlesztése a shredderezési könnyűfrakcióból poliolefin típusú (polietilén és polipropilén) anyagok kiválasztására és anyagában történő hasznosításának előmozdítása érdekében végzett projektje volt. A 2008. év végén kezdődött projekt 2013. április 30-ával, a prototípus sikeres romániai, brassói próbaüzemével került befejezésre. A projektben magyar résztvevőként a BME három szervezete, a Polimertechnika, a Szerves Kémia és Technológia Tanszéke és Elektronikus Jármű- és Járműirányítási Tudásközpontja (BME-EJTT), valamint a győri ALCUFER Kft. vett részt, egyes vizsgálatokban pedig közreműködött a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás-technikai Intézete, valamint a Bay Zoltán Alapítvány BAY-LOGI intézete is. Az itteni tapasztalatok eredményeit Magyarországon egy, az ALCUFER Kft. fehérvársurgói shredderüzemének eddigi szeparációs gépsorát kiegészítő magnetohidrosztatikus szétválasztó gép megépítésével lehet kamatoztatni, amelyre várhatóan a 2014-es év folyamán kerülhet sor.



12. ábra: a W2Plastics projekt keretében a Delfti Műszaki Egyetemen felállított magnetohidrosztatikus szeparátor

Mindez lehetőséget teremthet az anyagában történő hasznosítás további mértékének növelésére. A projekttel kapcsolatos további információ a [www.w2plastics.eu](http://www.w2plastics.eu) oldalon található.

A shredderezési könnyűfrakció magyarországi hasznosításának előmozdítására az ALCUFER Kft. magyarországi egyetemi partnerekkel, kutatóhelyekkel és magyar kvv-k bevonásával hajtott végre több sikeres projektet.

A „Roncscsautók és elektronikai hulladékok szerves anyagainak hasznosítására szolgáló technológiák fejlesztése a jövőbeli deponálás elkerülésére” című, a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH, ma NIH – Nemzeti Innovációs Hivatal), Nemzeti Technológia Program keretében 2009. január 1. és 2011. december 31. között, hattagú konzorcium által, az ALCUFER Kft. projekt- és konzorciumvezetése mellett lefolytatásra került, RECYTECH akronímmel ellátott projektje két technológiai prototípus tervét dolgozta ki főképpen alapvető, illetve részben alkalmazott kutatási tevékenység keretében.

A szeparációs technológiai prototípus az előzetes elképzelések szerint képes arra, hogy a vegyes, korábban lerakóba jutó frakciókat olyan szinten osztályozza, hogy egy, a későbbi energetikai hasznosítás céljára alkalmas, nagy tisztaságú, vegyes műanyag és gumifrakció jöjjön létre. A másik prototípus pedig ezt a vegyes szerves anyagfrakciót termokatalitikus hőbontási



13. ábra: shredderkönnyűfrakció mintavételezése

technológián (pirolízisen) keresztül képes gáz-, olaj-, koks-  
frakciókká feldolgozni/visszaalakítani. A program célkitűzéseiről,  
eredményeiről a [www.recytech.hu](http://www.recytech.hu) oldalon található részletes  
leírás.

A RECYTECH projekt prototípusterveit az ALCUFER Kft. a  
Gazdaságfejlesztési Operatív Program „Roncsautók és elektronikai  
hulladékok szerves feldolgozási maradékainak anyagában és  
energetikai úton történő hasznosítási vizsgálatát lehetővé tevő  
komplex hulladékkezelési rendszer kialakítása”, GOP-1.1.1-08/1-  
2008-0061 számú projektjében, 2011. augusztus 1. és 2012.  
június 30-a között építette meg. A projekt keretében a Miskolci  
Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai  
Intézete az általa kifejlesztett rendszerterv alapján legyártotta és  
az ALCUFER Kft. fehérvárcsurgói shredderüzemében felállította  
a szeparációs technológia prototípust egy erre a célra felépített  
1000 m<sup>2</sup>-es ipari csarnokban.



14. ábra: a fehérvárcsurgói szeparációs prototípus és az általa leválasztott anyagfrakciók

A másik 1000 m<sup>2</sup>-es csarnokban a POWER-ENERGY Kft. által  
irányított fejlesztő csapat építette meg a termokatalitikus hőbontó  
berendezés large-scale prototípusát.

A prototípusok átadó ünnepségére 2012. november 22-én  
került sor Fehérvárcsurgón.

Jelenleg ezeknek a prototípusoknak az ipari méretű  
termelésre alkalmassá tétele zajlik Fehérvárcsurgón, amelyhez a  
Gazdaságfejlesztési Operatív Program „Technológiai innovációs  
fejlesztés az ALCUFER Kft. fehérvárcsurgói shredderüzemében”  
című, GOP-1.3.1-11/A-2012-0052 pályázati azonosítójú projektje  
nyújt támogatást a helyi technológia eszközállományának  
továbbfejlesztésére, valamint a korábban felállított szeparációs  
és termokatalitikus hőbontó prototípusok ipari termelésre történő

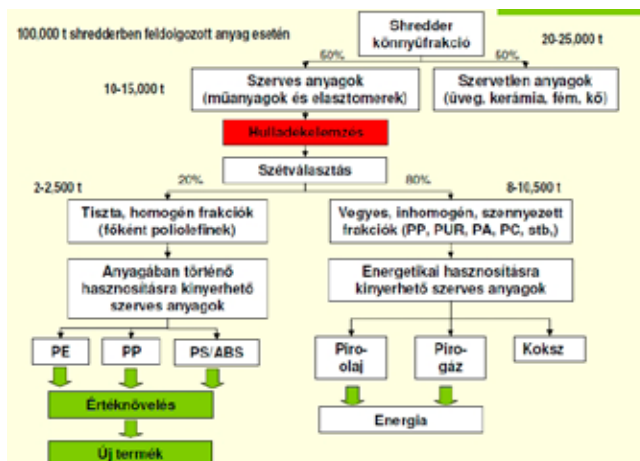


15. ábra: termokatalitikus hőbontó prototípus Fehérvárcsurgón

átalakítására. A projekt 2012. március 1. és 2013. december 31.  
között kerül bonyolításra, eredményeként 2014 év elejére az üzem  
már képes lesz a vegyes szerves anyagfrakciókat (műanyag és  
gumihulladékokat) olajjá visszaalakítani és ezáltal annak további  
energetikai hasznosítását ilyen módon előkészíteni.

## JÖVŐBELI FEJLESZTÉSI ELKÉPZELÉSEK

A hazai és nemzetközi fejlesztések több irányban  
körvonalazódnak. Egyrészt meg kell teremteni a ma még  
főképpen energetikai hasznosításra leválasztott vegyes műanyag-  
és gumi frakciókból az anyagában hasznosításra történő  
leválasztást. Minden valószínűség szerint erre a korábban a  
W2Plastics projekt keretében felállított magnetohidrosztatikus  
szeparációs elv szolgáltatt majd megoldást. Az adalékotlan,  
szál- és egyéb erősítés nélküli poliolefinok (a 0,92 g/cm<sup>3</sup> alatti  
sűrűség-tartományba sorolható) az összes vegyes szerves frakció  
tömegének várhatóan nagyjából 20%-át képesek kitenni, így ezek  
további anyagában történő hasznosításba bevonása tűnik ma  
nagyobb nehézségek nélkül kivitelezhetőnek.

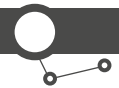


16. ábra: a további fejlesztések lehetőségeinek összefoglalása

A színes- és nemesfémek árának emelkedése, valamint  
a ritka földfémek stratégiai felértékelődése előtérbe hozza a  
gépjárművekben az elektronizáltság fokának növekedésével  
emelkedő mennyiséggel felhasznált ilyen anyagok visszanyerésére  
irányuló kutatásokat is.

Külön irányzatnak kell majd foglalkoznia a járművek  
tömegének nagyjából 3%-át kitevő üveghulladék hasznosításának  
előmozdításával, amelyben gondot okoz, hogy az elülső szélvédő





üveg közlekedésbiztonsági okokból műanyag védőfóliával ellátott, a hátsó üvegezés a páramentesítést elősegítendő, ezüst fűtőszálakkal bélelt és csak az oldalsó üvegek további előkezelési lépések nélküli felhasználása látszik garantáltnak. Mindezt az is bonyolítja, hogy a gazdaságos feldolgozáshoz komolyabb anyagáramok – évi több ezer tonnás mennyiségek – együttes megléte is feltétel, egyébként egy ilyen hasznosításra irányuló beruházás megtérülése nem lesz garantálható.

Nagy kihívást jelent a shreddertechnika által leválasztott fluff-termék (a por-, szivacs- és fóliafrakciók) további feldolgozásának előmozdítása, ebből jelenleg a por alakú részek feldolgozására látszanak már megoldási javaslatok, a többi frakció rész elsősorban gazdaságossági kérdéseket vet fel.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A gépjárművek újrahasznosítása a Föld nyersanyag- és ásványkincs-készleteinek védelme érdekében elsődleges fontosságú feladat. Az Európai Unió és Magyarország jogalkotói felismerve az itteni fenntarthatósági, környezetvédelmi problémákat, az összetett műszaki termékek újrahasznosítását szabályozó anyagárami és lerakási jogszabályokkal próbálják meg a roncsautókat, elektromos és elektronikus termékeket,

gumiabroncsokat, akkumulátorokat a legális bontó-/ hulladékkezelő ipar felé terelni. Az egyes anyagáramokra vonatkozó növekvő hasznosítási elvárások bevezetése a közel 100%-os hasznosítási arány felé tereli ezeket az elhasználandó, összetett műszaki termékeknek az újbóli feldolgozását.

A gazdaságossági kérdések mellett természetesen a fenntarthatósági, teljes életciklusra kivetített racionalitási (LCA-) és környezetvédelmi aspektusok is felmerülnek, amelyek együttesen befolyásolják a további jogszabályi és fejlesztési környezet alakulását.

Magyarország ezekben a folyamatokban az Európai Unió élen járó országai közé tartozik a témakörre vonatkozó fejlesztési lépések megtételében, új projektek indításában.

Mindez garantálhatja a 2015. január 1-jére életbe lépő, a roncsautók tömegarányos 95%-os hasznosítási elvárásának teljesülését. ●

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
www.ujszechenyiterv.gov.hu  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] Lukács P.: Környezetvédelem – Egyetemi tananyag (elektronikus tankönyv) – Typotex Könyvkiadó Kft., 2011. szeptember p. 148, A4 – Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében a Kecskeméti Főiskolán
- [2] Lukács, P.: „Innovációk és kutatás-fejlesztés az Alcufer Kft.-nél”, Zöld Ipar Magazin, – 2012. november p.2., á.4.
- [3] Lukács P.: Roncsautó kérdés Magyarországon, Új utak a hulladékgazdálkodás 2012., Szakmai Konferencia – Gödöllő, 2012. június 13–15.
- [4] Lukács P.: Az Alcufer Kft. fejlesztései a roncsautó-direktíva 2015. évi előírásainak teljesítése érdekében, Országos Környezetvédelmi Konferencia, – Sopron, 2012. szeptember 18–20.
- [5] Lukács P.: Műanyag és gumi hasznosítása roncsautókból és elektronikai hulladékokból, Hulladékgazdálkodási és Termékdíj Konferencia, VJASZSZ – Velence, 2012. október 3.
- [6] P. Lukács: Thermo-catalytic conversion as a possible economic tool for energetic recycling of waste processing residues, 3rd International Natural Gas, Heat and Water Conference, PLIN2012 - Osijek, Croatia 26.-28. September 2012.
- [7] Lukács P.: Az ALCUFER Kft. fémhívárcsurgói shredder projekt bővítése, XV. Hulladékhasznosítási Konferencia, Gépipart Támogató Egyesület – Gyula, 2013. szeptember 12-13.
- [8] Lukács P.: Egyes anyagáramok kifehérítésének lehetőségei, Hulladékgazdálkodási és Termékdíj Konferencia, – Velence, 2013. szeptember 25.
- [9] P. Lukács: Sorting plastics from shredding shredding residues, 13th International Automobile Recycling Congress IARC 2013, – Brussels, 14. March 2013.
- [10] Nagy S., prof. dr. habil Csöke B., dr. Fajtli J., dr. Lukács P., István Zs.: Autó shredder és elektronikai hulladékok maradékanyagainak hasznosítására irányuló kísérletek – XII. Országos Hulladékhasznosítási Konferencia, Gyula, 2010 szeptember 30. – október 1.
- [11] I. Gombkötő, B. Csöke, P. Lukács: Experiments on high efficiency separation of mixed plastic wastes by vortex-tube separator - XXV. International Mineral Processing Congress (IMPC), Brisbane, QLD, Australia, 2010. szeptember 6-10.
- [12] Dr. Lukács P., Chrabák P.: Elaboration of recycling technologies for non metallic automotive and electronic wastes avoiding further deposition of organic materials - MicroCAD 2009., 2009. március 19.
- [13] Dr. Lukács P., dr. Ronkay F.: A gépjármű recycling aktuális feladatai a szerves hulladékok hasznosítása vonatkozásában - Műanyag és Gumi, 2009. 46. évfolyam 2. szám

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fejlesztési projektek az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósulnak meg.

# Gépjárműalkatrészek biztonságkritikus optimalizálása

**FIGZERE PÉTER**

tanársegéd  
BME Járműelemek és Jármű-  
Szerkezetanalízis Tanszék

**TÖRÖK ÁDÁM**

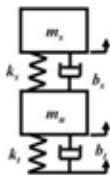
Ph.D. tudományos munkatárs  
BME Közlekedésüzemi és  
Közlekedésgazdasági Tanszék

Napjainkban a gépjárműipari fejlesztések jelentős része a járművek tömegcsökkentésére irányul, aminek rendkívül sok pozitív hatása lehet, mint pl. menettulajdonságok javulása, fogyasztáscsökkenés, károsanyagkibocsátáscsökkenés, anyagköltségek csökkenése, marketing stb. Ennél is jelentősebbek talán a gyengén rugózott tömegek csökkentésének hatásai, hiszen az előzőeken túl ez jelentősen növeli a jármű stabilitását, irányíthatóságát, ezáltal pedig a közlekedésbiztonságot. Cikkünk célja a gépjárműalkatrészek biztonságkritikus optimalizálásának bemutatása.

Nowadays lot of efforts were done on the automotive vehicle weight reduction, which have many positive effects, for example. improvement in consumption reduction, emissions reduction, reduction in material costs, marketing, etc. Perhaps even more important to reduce the effects of unsprung masses, as they significantly increases vehicle stability, maneuverability, and road safety. Today, computer-aided design systems, and simulation software allows the material properties, as well as knowledge of the loads szilárdági analysis of the individual components. The aim of our paper is to introduce the safety-critical optimisation of automotive components.

## 1. BEVEZETÉS

Vizsgálatunk során egy, a járműipari gyakorlatban igen elterjedt McPherson futómű-elrendezés egyik komponensét, a tengelycsonkot fogjuk elemezni. A futóműnek a járművek mozgása során rendkívül jelentős szerepe van az irányíthatóság, a kényelem és a közlekedésbiztonság szempontjából egyaránt, hiszen ez biztosítja a kapcsolatot az útfelülettel. A járművek mozgása során a kerekeknek a tökéletlen útfelületek következtében a forgó mozgáson kívül fel-le mozgást is kell végezniük. Az útegyenetlenségek következtében tehát a gépjárműre nagy lökészerű gyorsulások hatnak, ami Newton II. axiómájának értelmében ( $F=ma$ ) a gyorsuló tömeg függvényében igen nagy erőket eredményezhet. Ezeknek az erőknek a csökkentése, elnyelése, az úthibák „kisimítása” is feladata a futóműnek. Alapvetően két különböző tömeget különböztetünk meg a méretezés során (**1. ábra**). Az egyik az ún. rugózott tömeg, ami a karosszériát és a hasznos tömeget jelenti egy gépjármű esetében, valamint az ún. rugózatlan tömeg, ami a kerekeket, fékeket, futóművet jelenti. A rugózott tömeg a felfüggesztés rugóinak, lengéscsillapítóinak következtében már nincs kitéve olyan nagy igénybevételnek. Megjegyzendő, hogy a rugózatlan tömegnek nevezett tömegek valójában gyengén rugózott tömegek, hiszen a guminak, illetőleg a benne lévő levegőnyomásnak köszönhetően már inkább egy gyengén rugózott tömegről kell, hogy beszéljünk.



1. ábra: negyed-járműmodell, rugózott ( $m_s$ ) és rugózatlan ( $m_u$ ) (gyengén rugózott) tömegek.  $k_t$ ,  $b_t$  a kerék rugalmasságát és csillapítását jelenti [1]

A modell lényegében egy kéttömegű lengőrendszer, melynek tömegei rugókkal és csillapítókkal kapcsolódnak a környezethez és egymáshoz. Más közelítések a gumiabroncsot csillapítás nélkül közelítik, de esetünkben ezt nem hagytuk figyelmen kívül [2]. Egy függőleges irányú lökészerű terhelés esetén (pl. úthiba) a rugózatlan tömeghez viszonyított nagy rugózott tömeg ( $m_s$  karosszéria) nyugalomban marad, csak a viszonylag kis tömegű rugózatlan

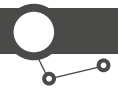
( $m_u$  futómű) tömeg gyorsul felfelé. Eközben a karosszériára csak a rugóútnak megfelelő erő hat. Továbbhaladva, az előfeszített rugó igyekszik minél előbb újra a talajhoz szorítani a rugózatlan tömeget. Ez mindaddig működik, míg a függőleges irányú erő nem haladja meg a rugó előfeszítésének értékét. Adott sebességgel áthaladva tehát egy „buckán”, a gyorsulás mértéke adott, az pedig, hogy a jármű a talajon marad-e, annak függvénye, hogy az ebből a gyorsulásból adódó erő nagyobb-e, mint amit a rugó el tud nyelni. Az erő, mint tudjuk, egyenesen arányos a gyorsuló tömeggel. Ebből adódik az az általánosan ismert tény, hogy a szabályozás, csillapítás a rugózatlan tömeg csökkentésével jelentős mértékben javul. A tengelycsonk is rugózatlan tömegként szerepel a szabályozások során, tehát tömegének csökkentése lényeges cél. Az alkatrész tömegcsökkentésének további fontos következményei, hogy ezáltal a teljes jármű tömege is csökken, ezzel a menetdinamikai jellemzők szintén javulnak a teljesítményigény, valamint a károsanyagkibocsátás csökkentése mellett. Az ilyen irányú fejlesztéseket ösztönzik továbbá a környezetvédelmi előírások, melyeknek megfelelni csak az alkatrészek folyamatos fejlesztésével, az optimális anyagkihasználással lehetséges.

## 2. KIINDULÓ ADATOK

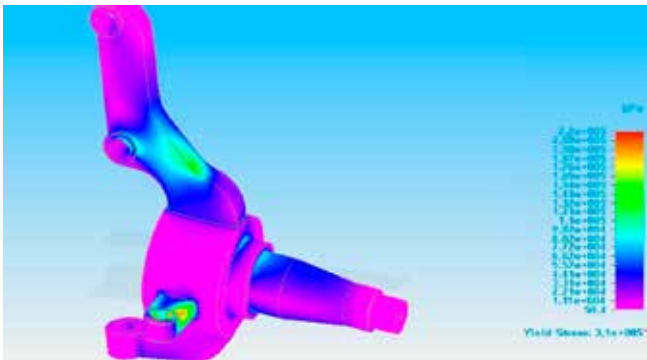
A **2. ábrán** látható a vizsgált tengelycsonk kialakítása, végeeselemes modellje. A modellalkotás bonyolult összetett feladat [3], melynek részleteitől jelen cikkünkben eltekintünk.



2. ábra: a vizsgált tengelycsonk (forrás: saját szerkesztés)



Ez a tengelycsonk egy közepkategóriás személygépjármű első futóművének egy alkatrésze. Szilárdsági vizsgálata során igénybevételeinek és beépítési környezetének megfelelően kell meghatározni a peremfeltételeket, terheléseket [4], ezek részletezésétől jelen cikkünkben eltekintünk. A tengelycsonk rozsdamentes acélból készült, szakítószilárdsága 310 MPa, tömege 2,605 kg. A kritikus igénybevételek, kényszerek, valamint az anyagtulajdonságok definiálása után első lépésben elvégeztük a darab szilárdsági vizsgálatát. Ennek eredménye látható a **3. ábrán**.



3. ábra: feszültségeloszlás a vizsgált alkatrészen (forrás: saját szerkesztés)

Az eredményeket megvizsgálva megállapítható, hogy a csúcspont az egyik bekötési pontnál ébred, értéke mindössze 220 MPa körül alakul, ami a megengedett 310 MPa-hoz képest elfogadható. Megfigyelhetjük továbbá, hogy az alkatrész jelentős részén úgymond nincs kihasználva az anyag, sokkal több terhelést is képes lenne elviselni. Ez képezte számunkra a kiindulási alapot az alkatrész alakját is befolyásoló méretek optimalizálásához. Meghatározható továbbá, hogy a biztonsági tényező (folyáshatár maximális feszültséghez viszonyítva) 1,407. Cikkünk célja bemutatni, hogy az alakoptimalizálás hogyan befolyásolja a biztonsági tényezőt, illetve a biztonsági tényező rögzítésével hogyan módosul az alakoptimalizálás eredménye.

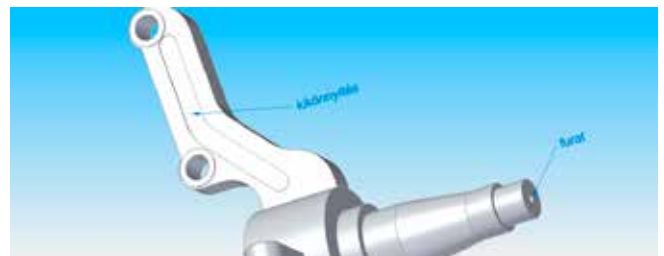
### 3. OPTIMÁLÁS

Az optimalizálás során célunk az alkatrész tömegének csökkentése úgy, hogy a benne ébredő feszültségek ne haladjanak meg

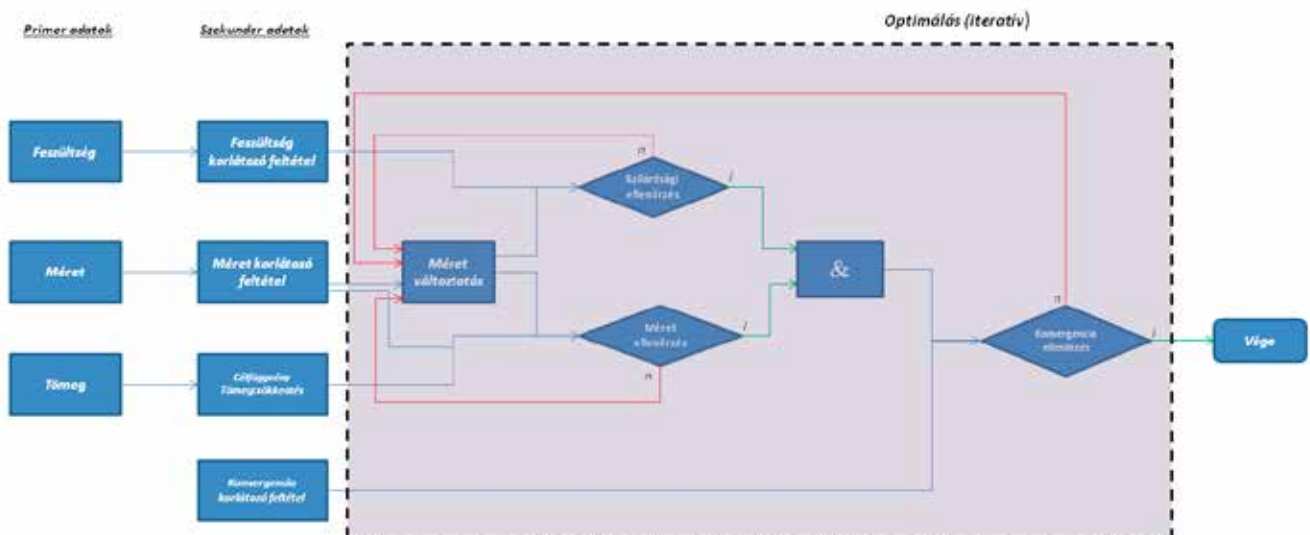
egy bizonyos határt. Elsőként a maximális feszültségnek a folyáshatárt választottuk. Gyakorlati oldalról azonban erősen megkérdőjelezhető a biztonsági tényező ilyen mértékű módosítása, hiszen a közúti gépjárművek igen komoly dinamikus, sztochasztikus igénybevételeknek vannak kitéve. A közúti gépjárművet rendszerként tekintve, az egyes elemek biztonsági tényezőjének módosítása kihatással lehet a gépjármű többi elemére is. Ezért elemzésünk második lépésében a kritikus biztonsági tényezőt állandónak tekintjük, az optimalizálás során nem változhat.

Az eljárás során figyelembe kell vennünk számos fontos kritériumot. Annak meghatározása, hogy honnan engedünk anyagot elvenni, komoly megfontolásokat igényel. A numerikus számítás szempontjából nem vehetünk el anyagot azokról a területekről, ahol a terhelésátadás, kényszerezés történik. Ez a valóságban sem kivitelezhető a beépítési környezet módosítása nélkül. Tehát a konstrukciós szempontból fontos részek (szerelési környezet, csatlakozó felületek) jelen esetben annak ellenére sem lesznek módosítva, ha ott jelentős tartalékok vannak az anyagban.

Valójában érdemes lenne a többi alkatrészrel együtt, szerelési környezetben vagy esetleg más beépítésben is megvizsgálni a terheléseket. Az átervezés viszont jelentős költségvonzattal jár (tervezési költségek, tesztek, prototípusok, új szerszámok stb.). Ezen megfontolások figyelembevételével arra az eredményre jutottunk, hogy az optimalizálás során csak a tengelycsonkot vizsgáljuk, annak is kizárólag a tengely jellegű részének könnyítésére, valamint a bekötési pontokhoz tartozó bordákra koncentrálnunk, ott végzünk el optimalizálást. Mivel a tengelyre adott méretű csapágyak kerülnek, ezért a logikusnak tűnő tengelyátmérő-változtatást is el kell vetnünk. A megoldást ezúttal egy többlépcsős furat, valamint a bordán elhelyezett kikönyvítés jelentheti. Ezek láthatóak a **4. ábrán**.



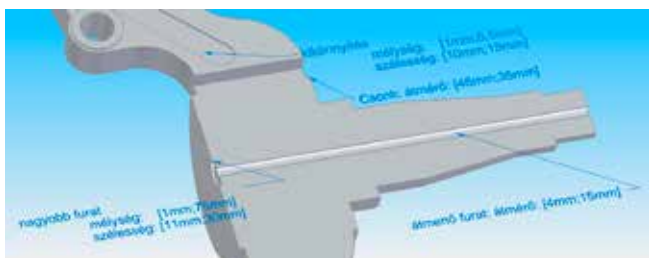
4. ábra: optimalizálható területek (forrás: saját szerkesztés)



5. ábra: optimalizálás elvi vázlatja (forrás: saját szerkesztés)

Az optimalálás (5. ábra) első lépéseként meg kell határozni a fő célt, amit szeretnénk elérni, ami esetünkben a tömegcsökkentés: a kiinduló 2,605 kg értékről szeretnénk csökkenteni pl. 1,5 kg értékre. Utána meg kell adni a határt, amit az optimalizálás eredményeképpen nem léphetünk át. A határnak első esetben a megengedhető maximális 310 MPa feszültségértéket adtuk meg. Második esetben pedig a kezdeti feszültség maximumot, hogy a biztonsági tényező ne változzék! Ez azt jelenti, hogy az optimalálás után az alkatrész egyetlen pontjában sem ébredhet ennél nagyobb feszültség. A következő lépésben kell megadni a változókat, illetőleg azok szélső értékeit, alsó és felső korlátait, amelyek között iterációval határozhatjuk meg az optimális értéket.

Készítettünk egy vékony átmenő furatot a tengelyben, melynek átmérőjét változóként adtuk meg [4 mm; 15 mm]. Itt a felső határértéknél figyelembe kell venni, hogy az optimalálás után is mindenütt maradjon megfelelő anyagvastagság. Ez mindig az optimalizálást végző mérnök feladata, hiszen a szoftver csak egy numerikus analízist végez el több lépésben, az eredmények értelmezését nekünk kell megtennünk. A csomk átmérőjét is engedjük módosítani, hiszen az semmilyen alkatrészsel nincs közvetlen kapcsolatban. Itt a kiinduló 70 mm-es átmérőt csökkenthetjük 48 mm-ig, úgy, hogy a tengelyen lévő méretlépcső azért még mindenképp egyértelműen megmaradjon. A vizsgálati darab (6. ábra) belső oldalán egy nagyobb furat is elhelyezésre került. Ennek átmérőjét a kiinduló 11 mm-ről 30 mm-ig engedjük változtatni, hiszen magának a csomknak az átmérője is csökkenhet. Fontos tehát, hogy ne adjunk meg olyan feltételeket, melyek az iteráció során egymásnak ellentmondhatnak (pl. a furat maximális átmérője nem lehet nagyobb, mint az agy minimális átmérője, és még némi anyagnak is illene maradnia). Ennél a furatnál a furat mélységét is változóként adtuk meg, miszerint az a kiinduló 1 mm-es értékről akár 75 mm-ig növekedhet. Ennél nagyobb mélység esetén a furat a csökkenő tengelyátmérők miatt a tengelyvég felé „kilógna” az anyagból. Megadtuk továbbá a kikönyvítés mélységét változóként, figyelve arra, hogy az szimmetrikusan mindkét oldalán megtalálható. Így a szélső értékeket az [1 mm; 6,5 mm] intervallumban határoztuk meg. Megengedtük továbbá szélességének növekedését az eredeti 10 mm-ről 15 mm-ig, természetesen nem a bekötési pontok irányába (6. ábra).

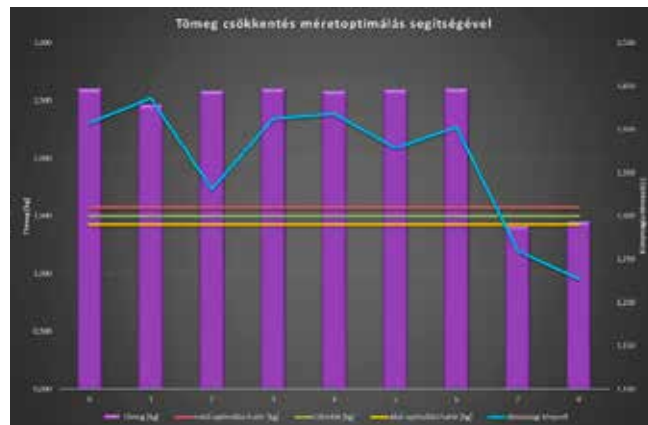


6. ábra: optimalizálható területek (forrás: saját szerkesztés)

Ezen felül meg kell határozni a megoldás során az iterációk maximális számát, ezt mi 20 iterációban adtuk meg (ennyi lépésben iterál és keresi az optimális, a feltételeknek leginkább megfelelő értékeket a szoftver). Meg kell még adni egy úgynevezett konvergenciakritériumot is. Ezáltal tulajdonképpen azt a célérték körüli környezetet határozzuk meg, mely tartomány elérése esetén az iterációk befejezhetőek, az előírt célértéket elértük. Jelen esetben ezt 2,5%-ban határoztuk meg.

#### 4. EREDMÉNYEK

Az optimalálás során a megadott változók határértékein belül történő változtatásokkal, iterációs lépésekkel keressük a megadott célértéket, adott kritériumok (pl. maximális feszültség) mellett. Az eredményekből jól látható, hogy melyik lépésben mekkora mértékben történt változtatás, valamint az adott változtatás hogyan befolyásolta a tömeget, és milyen hatással volt a feszültségekre. A táblázatból nyerhető adatok segítségével látványos grafikonon is megvizsgálhatjuk, hogy az egyes iterációs lépések milyen hatással voltak a tömeg változására (7. ábra).

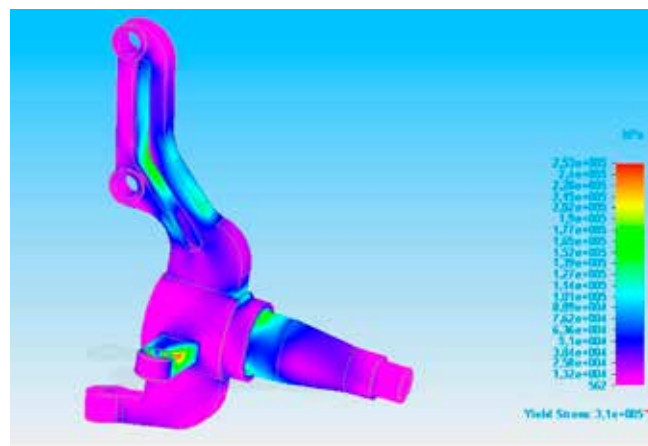


7. ábra: tömegcsökkenés az egyes iterációs lépések függvényében (forrás: saját szerkesztés)

A diagramot elemezve látható, hogy a kívánt eredmény (1,5 kg) elérhető volt a megadott peremfeltételek mellett. Ehhez 9 db iterációs lépésre volt szükség. Az optimalálás során a biztonsági tényező 13%-kal csökkent, ami a közúti gépjárművek dinamikus és igen sztochasztikus igénybevétele miatt megfontolásra érdemes.

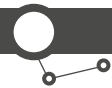
A diagramból az is jól látható, hogy az általunk megadott célértéknél kisebb tömeg is elérhető a megadott határértékek teljes kihasználásával, ugyanakkor az utolsó iterációs lépésben már tömeget kellett növelni a megadott célérték eléréséhez.

A tömegcsökkentés érdekében elvégzett módosítások következtében az alkatrészben fellépő maximális feszültség értéke nem nőtt a megengedett érték fölé. A maximális feszültség értéke az optimalálás után 252 MPa-ra nőtt, a kezdeti 220 MPa-os értékhez képest. A 8. ábrán az optimalálás után kapott feszültségeloszlás látható.

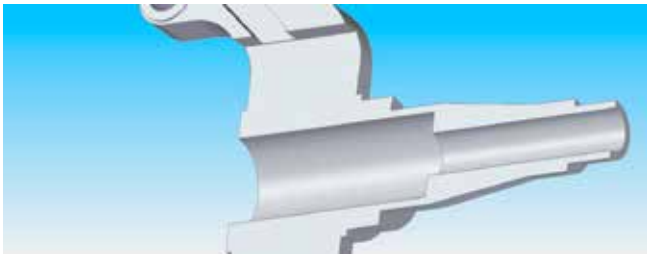


8. ábra: optimalálás utáni feszültségeloszlás (forrás: saját szerkesztés)



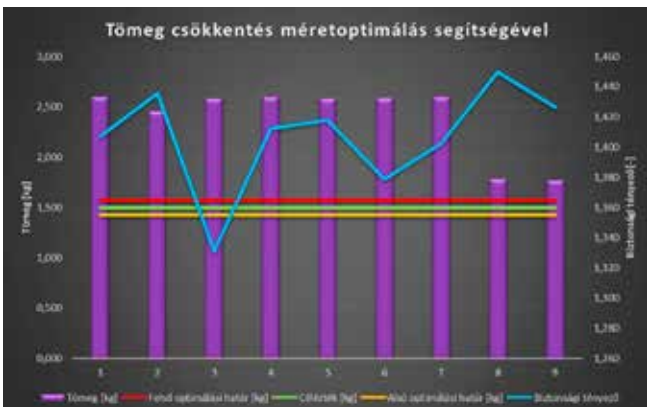


A feszültségeloszlási ábrán jól megfigyelhető, hogy mind a kikönnnyített bordán, mind pedig a tengely részen lényegesen jobb az anyagkihasználás. A csúcspeszültség továbbra sem a módosított területeken jelentkezik, és első ránézésre még mindig maradtak tartalékok az anyagban, bár ezen méretek további tömegcsökkentésre irányuló változtatása már konstrukciós okokból megkérdőjelezhető. Az iterációk után adódó optimált geometria látható részmeteszben a **9. ábrán**.



9. ábra: optimált geometria (forrás: saját szerkesztés)

A második esetben a biztonságkritikus optimáláskor a kitűzött célt nem sikerült elérni, de így is jelentős, 30%-os tömegcsökkentést produkáltunk (**10. ábra**).



10. ábra: biztonságkritikus tömegcsökkentés (forrás: saját szerkesztés)

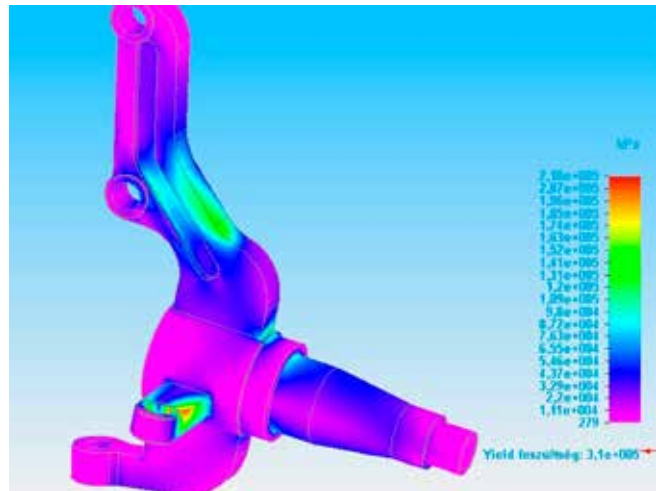
A diagramot elemezve látható, hogy a kívánt eredmény (1,5 kg) nem elérhető a megadott peremfeltételek mellett 9 db iterációs lépésben. Az optimálás során a biztonsági tényező nem változott, ami a közúti gépjárművek dinamikus és igen sztochasztikus igénybevétele miatt volt szükségszerű.

A tömegcsökkentés érdekében elvégzett módosítások következtében az alkatrészben fellépő maximális feszültség értéke nem nőtt, a biztonsági tényező változatlan maradt. A **11. ábrán** az optimálás után kapott feszültségeloszlás látható.

Az ábrán jól megfigyelhető, hogy mind a kikönnnyített bordán, mind pedig a tengely részen lényegesen jobb az anyagkihasználás. Bár az is látható, hogy a csúcspeszültség továbbra sem a módosított területeken jelentkezett. Az iterációk után adódó optimált geometria látható részmeteszben a **12. ábrán**.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy viszonylag egyszerűen, gyorsan, a beépítési környezet módosítása nélkül lehet jelentős tömegcsökkentést elérni egy alkatrészben.



11. ábra: biztonságkritikus optimálás utáni feszültségeloszlás (forrás: saját szerkesztés)

A biztonságkritikus tömegcsökkentés mértéke 2,60 kg-ról 1,775 kg-ra igen jelentősnek mondható, hiszen ez százalékban kifejezve az eredeti alkatrésznek csupán ~70%-a. Hozzá kell tennünk, hogy ennél jobb eredményt is elérhetünk a biztonsági tényező rovására, azonban ezt rendszerszemléletű megfontolások mentén el kellett vetnünk.

A biztonságkritikus optimálás okozta tömegcsökkentés révén jelentősen tudtuk csökkenteni a rugózatlan tömeget, ezáltal javítva a csillapítást, a szabályozhatóságot, a tapadást és az irányíthatóságot.

A tömegcsökkenés révén javulnak továbbá a menetdinamikai tulajdonságok, csökken a teljesítményigény és a károsanyag-kibocsátás, ezáltal a környezetszennyezés. A teljesítményigény csökkenése gazdasági előnyöket is eredményez.

A kisebb anyagigény további költségcsökkenést okozhat, igaz, a gyártási, megmunkálási költségek emelkedhetnek. Ezért is érdemes az optimálás paramétereinek megadása előtt átgondolni, vajon a kapott eredmény előnyei meghaladják-e a gyártási többletköltségből, nehézségekből származó hátrányokat. Ezt mindig a várható felhasználási terület dönti el, versenyautóknál a tömegcsökkentés mindenképpen előnyt élvez a költségcsökkentésekkel szemben, viszont a nagy darabszámú kisautóknál ez nem egyértelmű.

Megjegyzendő fontos szempont továbbá, hogy a jármű-alkatrészek esetében általában a kritikus igénybevétel a kifáradás, ezért minden esetben az optimált alkatrészt kifáradás-analízissel célszerű ellenőrizni.



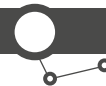
12. ábra: biztonságkritikus tömegcsökkentés (forrás: saját szerkesztés)

## **IRODALOM**

- [1] Andrew Watts, Chris Hilton, Al Fraser, Martyn Anderson, Damian Harty (2011): Unsprung Mass "The Myths and Realities – Closing the Circle", SAE International Conference
- [2] Balogh Levente (2004): Negyed-gépjárműmodell lengéseinek, laboratóriumi vizsgálata, BME Laborsegédlet
- [3] Ficzer Péter, Borbás Lajos, Török Ádám (2012): Műanyag közúti gépjárműelemek anyagmodelljének definiálása és validálása végelelemes módszerrel. A Jövő Járműve 6:(3) pp. 16–19.
- [4] Eszter Horváth, Adam Torok, Gabor Harsanyi (2012): design and application of low temperature co-fired ceramic substrates for sensors in road vehicles, Transport-Vilnius 27:(5) Pp. 23–35.

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönet a szoftveres segítségért, támogatásért Szűcs Imrének és dr. Néder Zoltánnak. A kutatás megvalósítását a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja támogatta.



# Nemesített acél duplex felületkezelése

## ELECTRON BEAM HARDENING OF NITRIDED LAYER

**DR. CZINEGE IMRE**

Professor Emeritus  
Széchenyi István Egyetem  
czinege@sze.hu

**DR. CSIZMAZIA FERENCZÉ**

nyugalmazott főiskolai docens  
Széchenyi István Egyetem  
csizm@sze.hu

A duplex felületi kezelés – nitridálás és elektronsugaras edzés – hatása volt az elemzés tárgya. A kísérletek 50 CrV<sub>4</sub> acél alkatrészekre készültek. A nitridálási idő hatásának vizsgálata a rétegvastagságra az optimális nitridálási paraméterek meghatározása érdekében történt. A nitridált kéreg keménysége közelítően 650 HV, az elektronsugarasan edzett rétegé a 800–850 HV tartományban változik. Az elektronsugaras edzés utáni nagy keménység a finom struktúrának és a diszperz nitrid kiválásoknak tulajdonítható. A pozitív eredmények miatt a termokémiai kezelés (pl. nitridálás) és az utána következő hőkezelés (elektronsugaras vagy lézeres edzés) speciális alkatrészeknél gyakran alkalmazott a járműiparban.

The effect of duplex surface treatment – nitriding and electron beam hardening (EBH) was studied. The experiments were performed using parts made of 50CrV<sub>4</sub> steel. The effect of nitriding time on layer thickness were studied to obtain optimal nitriding parameters. The hardness of the nitrided layer is about 650 HV, that of an electron beam hardened layer varies in the range 800-850 HV. The high hardness after EBH is due to the refined structure and dispersed fine nitride precipitation's. Because of the positive results the combination of thermochemical treatment (eg. nitriding) and thermal post treatment (electron beam or laser beam hardening) has been applied recently for special applications in car industry.

### BEVEZETÉS

A duplex felületkezelések két egymást követően végrehajtott kezelést kombináló technológiák. Céljuk az anyagok, illetve a belőlük készülő alkatrészek kedvező tulajdonságainak (pl. kopásállóság, megeresztésállóság, korrózióállóság,...) javítása. Az eljárások alkalmazhatóságával kapcsolatban nyilvánvalóan felmerül, hogy milyen előnyökkel jár egy kétfélecsős, többletköltséggel járó kezelés külön-külön egy jól megválasztott kezelés alkalmazásával szemben. Egy újabb kérdésként vetődhet fel, hogy ha duplex felületkezelést alkalmazunk, akkor milyen sorrendet célszerű választani és melyek az így kapott felületi réteg előnyös tulajdonságai? Rövid válasz, hogy tapasztalatok szerint a duplex felületkezelések sok esetben az eredő tulajdonságok javulását okozzák.

A duplex kezelések tervezése során számos eljárás-kombináció felmerülhet, néhány példát a következő felsorolás tartalmaz:

- Termokémiai kezelés (pl. nitridálás vagy cementálás) + igen kemény, de rideg, keramikus jellegű (pl. TiN, TiCN, TiAlN, CrN,...) tribológiai réteget képező PVD, CVD vagy DLC bevonat alkalmazása [1, 2, 3]
- Elektronsugaras illetve lézeres felületi átolvasztás vagy felületötvözés + nitridálás
- Nitridálás és mechanikus felületszilárdítás kombinációja [4]
- Normalizált vagy nemesített alapanyagokon nitridálás vagy nitrocementálás + lézeres vagy elektronsugaras felületedzés [5, 6, 7].

A termokémiai kezelést követő vékonyréteg bevonatok elsődleges célja a kopásállóság növelése, ezért ilyen technológiákat erős koptató hatásnak kitett gépelemeknél vagy szerszámoknál alkalmaznak. Hasonlóan a kopásállóságot növeli a nitridálást követő sörétezés is. Egyik leggyakoribb duplex kezelés a nitridálást követő felületi edzés, mely azzal az előnnyel jár, hogy a felületbe bevitt nitrogén a szénhez hasonló hatást fejt ki, azaz növeli a martenzit keménységét. Ugyanakkor a kettős kezelés feltehetően a korrózióállóságot és a (nagy ciklusú) kifaradással szembeni ellenállást is kedvezően befolyásolja.

Nyilvánvaló, hogy a duplex kezelések által elérhető előnyök csak az egyes eljárások kísérleti úton történő kipróbálásával körvonalazhatók. A továbbiakban bemutatott esettanulmány

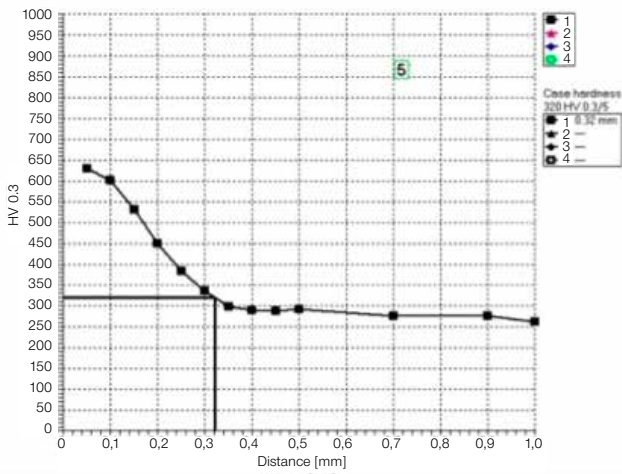
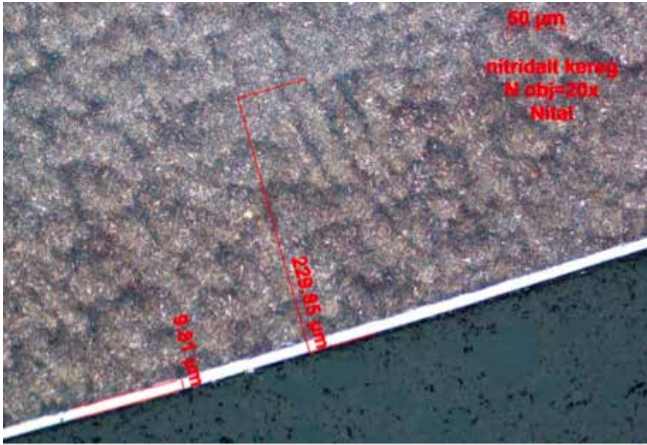
ezt a folyamatot kívánja szemléltetni egy nemesített acél alkatrész nitridálása és elektronsugaras edzése során szerzett tapasztalatokra alapozva. Az ilyen komplex igénybevételnek kitett alkatrészek nemcsak a belső égésű motorokban, hanem az újonnan fejlesztett hibrid és elektromos járművekben is előfordulhatnak.

### ANYAGMINŐSÉG ÉS TECHNOLÓGIA, VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A súrlódásnak és kopásnak kitett járműipari alkatrész anyaga 50 CrV<sub>4</sub>, főbb ötvözői a 0,53% karbon tartalom mellett a szilícium (0,3%), mangán (0,91%), króm (0,9%) és a vanádium (0,11%). A gyártás közelítően 50 mm átmérőjű, előzetesen nemesített rúdból indul nagyoló esztergálással és fúrással, majd ezt követik a további forgácsolások a kész alak eléréséig. Ezután teljes felületen gáznitridálás következik, majd az intenzív koptató igénybevételnek kitett helyeken elektronsugaras edzés. Az egyes hőkezelési lépésekben elérendő paraméterek: nemesítés utáni keménység 280 HB, a nitridált kéreg keménysége a felületen minimum 500 HV<sub>0,3</sub> és kéregvastagsága 0,2...0,4 mm az alapanyagot 50 HV értékkel meghaladó keménységmérési helyen. A „fehér réteg” vastagsága minimum 8 μm. Az elektronsugaras edzés után a felületi keménység minimum 650 HV<sub>10</sub>, az 550 HV-re előírt kéregmélység 0,2...0,4 mm.

Az **1. ábra** a nitridálás során kialakult kéreg tulajdonságait mutatja egy kísérleti mintán. A mikroszkópos felvételen jól megkülönböztethető a fehér réteg, ennek vastagsága 9,81 μm. A keménységletfutási görbe azt mutatja, hogy az alapanyag keménységét 50 HV-val meghaladó vízszintes vonal 0,32 mm-nél metszi a görbét, tehát ennyi a definíció szerinti kéregvastagság.

A nitridálási paraméterek beállítása az alkatrész méreteinek megfelelő kísérleti próbákra történt. A nitridálási idők sorra 0,75; 2; 4; 10; 23 és 35 óra voltak, azonos 550 C°-os hőmérsékleten. A nitridált kéreg és a fehér (vegyületi) réteg vastagságának alakulását a hőkezelési idő függvényében a **2. ábra** mutatja. Az ábrából látható, hogy a nitridált réteg és a vegyületi réteg arányosan növekszik, ezt a függvénykapcsolatot leíró hatványfüggvény kitevőjének közel azonos értéke is igazolja. A korrelációk

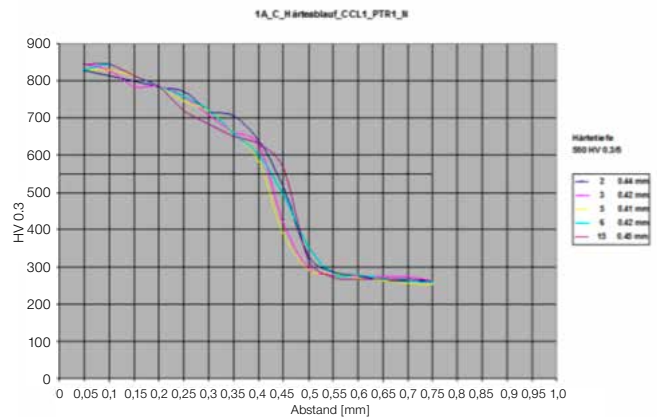
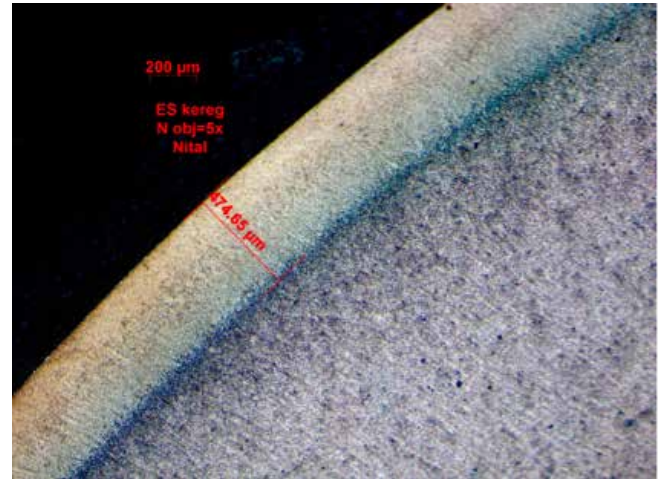


1. ábra: a nitridált kéreg szövetszerkezete és keménységlefutása

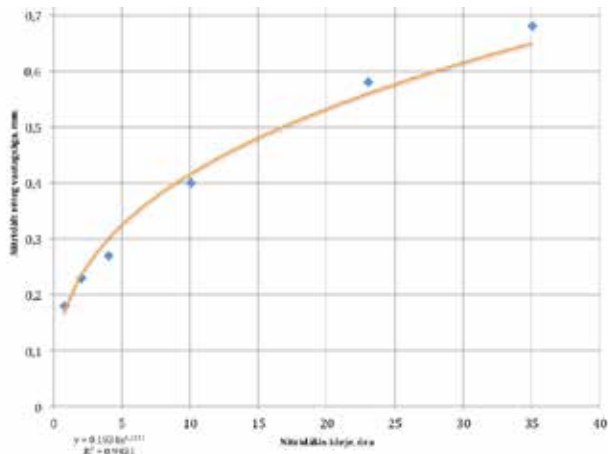
együttható négyzete mindkét esetben magas, amely a kapcsolat szorosságára utal. A két ábra egybevetéséből megállapítható, hogy a rétegvastagságokra előírt minimum (0,2 mm, illetve 8 µm) már a 2 órás nitridálással is elérhető, ennél az értéknél azonban a technológia még nem elég stabil. Ezért a követelmények biztonságos teljesítéséhez minimum 4 óra szükséges, de 10 óránál tovább semmiképpen nem kell a hőkezelést végezni.

Az elektronsugaras edzés során kialakult kéreg vastagságának meghatározását mutatja a **3. ábra**. A mikroszkópos mérés

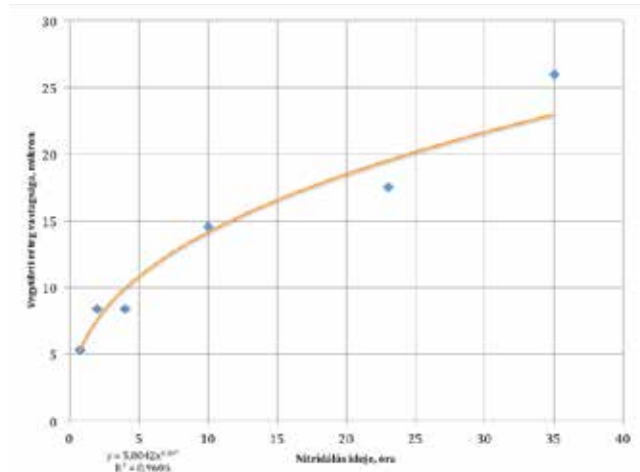
eredménye a bemutatott csiszolaton 0,474 mm, tehát megfelel az előírásnak. A keménységméréssel meghatározott kéregvastagság egy minta sorozaton 0,41...0,45 mm-re adódott. Az elektronsugarasan edzett réteg egyenletes vastagságú, minimális változás csak a kezelt felület szélén tapasztalható. Megjegyzendő, hogy a keménységméréssel meghatározott kéregvastagság tekinthető a definíció szerint hitelesnek, az optikai mérés csak közelítő jellegű.



3. ábra: elektronsugarasan edzett kéreg



2. ábra: a nitridálás idejének kapcsolata a kéregvastagsággal



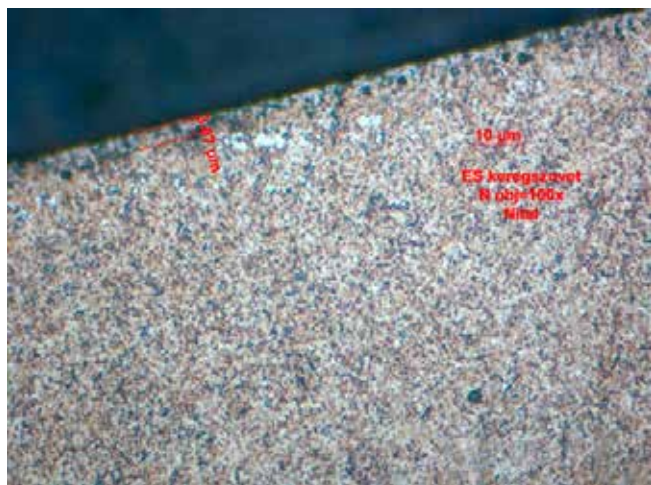




## A DUPLEX KEZELÉS EGYÜTTES HATÁSÁNAK ELEMZÉSE

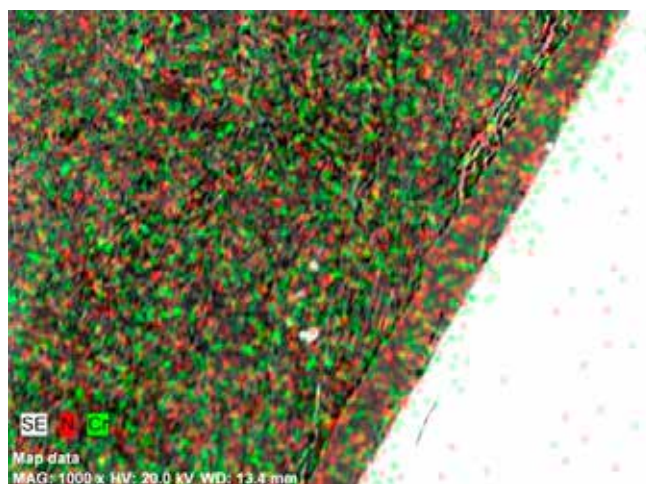
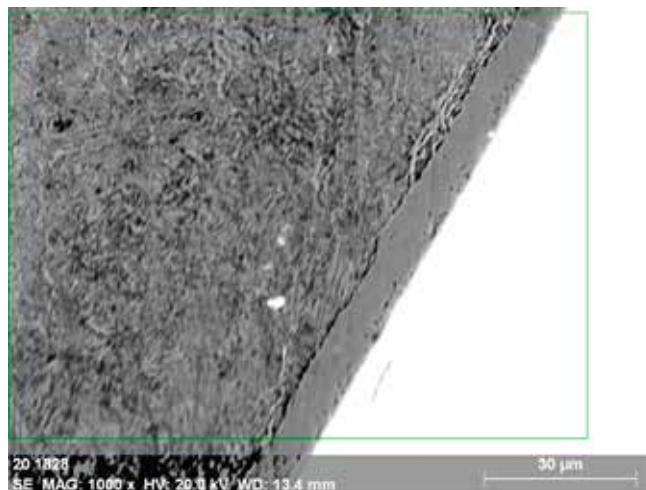
Jelen kísérletben a technológiai előírásnak megfelelően az elektronsugaras edzés a nitridálás után következett, ezt az alkatrész funkciója és működési körülményei indokolták. Ugyanakkor az előzetes nitridálásnak az elektronsugaras edzésre is pozitív hatása van, mert a növelt nitrogénkoncentrációnak köszönhetően a diffúziós rétegben magasabb keménységértékek érhetők el. A megnövekedett keménység a karbonnak és a nitrogénnek a martenzit-képződésre gyakorolt összetett (eredő) hatásával hozható kapcsolatba, ugyanis mindkét ötvöző interstíciós helyzetekben fordul elő, így a martenzit tetragonálisát (torzultságát) együttesen nagyobb mértékben növelik.

Ezeket a megállapításokat támasztja alá a **4. ábra**, melynek bal oldali képe 100-szoros objektív nagyításban mutatja a kérget. A szövetszerkezet megeresztett martenzit. A martenzitben interstíciósan oldott nitrogén található, amely a nitridált kéregből származik. A képen az eredeti vegyületi réteg nyomai is megfigyelhetők, ennek vastagsága ~3 µm. A nitrogén jelenlétével magyarázható a keménység lényegesen magasabb értéke is (ennek lefutása a **6. ábrán** látható). A **4. ábra** jobb oldali képe az átmeneti zónát mutatja, 50-szeres objektív nagyításban. Itt a megeresztett, nitrogénben dús martenzit mellett bainit is megfigyelhető. A kép jobb alsó sarkában az eredeti nemesített szferoidites szövet látható.



4. ábra: ES edzett kéreg és átmeneti zóna

Az **5. ábra** a nitridált kéreg pásztázó elektronmikroszkópos képét mutatja. A bal oldali ábra a vegyületi zónát és annak közvetlen környezetét mutatja, a jobb oldali ábra pedig a nitrogén és króm elemtérképét EDS-elemzés alapján. A képről azonosítható, hogy a vegyületi zóna nitrogéntartalma magasabbnak tűnik mint a diffúziós zónáé, de a nitrogénkoncentráció egyértelműen nem határozható meg ezzel a technikával. A pontelemzések 14...16% körüli nitrogéntartalmat mutattak ki, de ez a mérés a kis rendszámú elemek meghatározási bizonytalanságai miatt nem tekinthető hitelesnek. Az [5] publikáció 6%-os koncentrációt említ, ezt reálisabbnak lehet tekinteni a vegyületi zónában nagy mennyiségben jelen lévő Fe<sub>4</sub>N tömeg arányaiból adódóan.

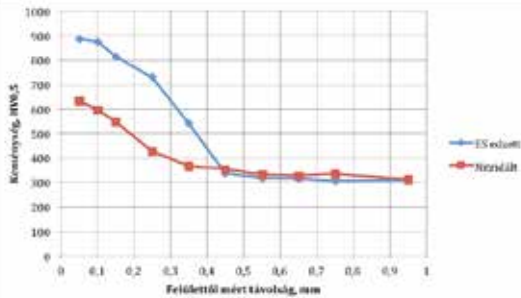


5. ábra: nitridált kéreg pásztázó elektronmikroszkópos képe és a N, Cr elemtérképe

A 4. és 5. ábra bal oldali felvételét egybevetve az egyértelműen megállapítható, hogy a vegyületi zóna az elektronsugaras hevítés miatt jelentősen megváltozik. Egyrészt csökken az optikailag mérhető rétegvastagság, másrészt a fehér réteg és a diffúziós zóna közötti éles átmenet is eltűnik. Számítások és mérések szerint a felületen és a felület közeli rétegben a hőmérséklet 1200 °C fölé emelkedik, ez okozhatja a viszonylag gyors diffúziót és a nitridek felbomlását.

A két kezelés során kialakult kéregkeménységeket összeszerkesztve a 6. ábra mutatja.

Ezen az ábrán jól látható, hogy mindkét görbe az alapanyag keménységéhez fut be, a nitridálás görbéje hozza a 600 HV feletti értéket, az elektronsugaras edzés keménység maximuma pedig 887 HV. Ez meghaladja azt az értéket, amely egy 0,5% körüli



6. ábra: nitridált és elektronsugarasan edzett kéreg keménységlefutása

karbontartalmú, gyengén ötvözött acéltól elvárható lenne, tehát a nitrogén pozitív hatása a kéregkeménységre kimutatható.

## ÖSSZEFOGLALÁS

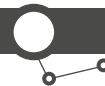
A nagy igénybevételnek kitett járműalkatrészek felületi keményítésére és kopásállóságának növelésére eredményesen alkalmazható a nitridálásból és az azt követő lézeres vagy elektronsugaras edzésből álló duplex kezelés. A technológia részleteit egy 0,5% karbon tartalmú, széles körben használt nemesíthető acél kezelésén keresztül mutatja be a publikáció. A nitridálás idejének optimalizálása érdekében végzett kísérletek azt mutatták, hogy a nitridálás során kialakuló kéreg vastagsága az idő függvényében hatványfüggvénnyel jól leírható, melynek kitevője közelítően 1/3. A nitridálást követő elektronsugaras edzés eredményeként kialakuló kéreg a nitrogén jelenléte miatt keményebb, ezáltal kopásállóbb, mint a nitridálás nélkül edzett réteg.

## IRODALOM

- [1] Meletis, E., Erdemir, A., Fenske, G.R: Tribological characteristics of DLC films and duplex plasma nitriding/DLC coating treatments. *Surface and Coatings Technology* 73 (1995) 39-45.
- [2] Sacher, G., Zenker, R., Spies, H.-J.: Duplex treatment of tools and components: Previous or subsequent electron beam hardening of thermochemically-treated and PVD hard-coated steels for tools and components. *Materials and Manufacturing Processes*, Volume 24, Issue 7-8, July 2009, Pages 800-805
- [3] Bader, M., Spies, H.-J., Höck, K., Broszeit, E., Schröder, H.-J.: Properties of duplex treated (gas nitriding and PVD-TiN, -Cr2N) low alloy steel. (1988) *Surf. Coat. Technol.*, 98, pp. 891-896
- [4] Yu-kui Gao: Influence of Deep-Nitriding and Shot Peening on Rolling Contact Fatigue Performance of 32Cr3MoVA Steel. *JMEPEG* (2008) 17:455–459. ASM International
- [5] Dimitrov, D., Aprakova, M., Valkanov, S., Petrov, P.: Electron beam hardening of ion nitrided layers. *Vacuum* (Vol 49), 1998. Nr. 3. pp. 239-246.
- [6] Zenker, R.: Electron meets nitrogen: Combination of electron beam hardening and nitriding. (2009) *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 3 (4), pp. 141-146.
- [7] Zenker, R., Spies, H.-J., Buchwalder, A., Sacher, G.: Combination of thermal surface treatment by high energy beams with thermomechanical treatment and hard protective coating: State of the art. (2007) *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 4 (12) pp. 152-155.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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



# Gépjárművek effektív teljesítményének diagnosztikai célú mérése

**DR. LAKATOS ISTVÁN PH.D.**

tanszékvezető,  
egyetemi docens  
Széchenyi István Egyetem  
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék  
alprojektvezető  
Járműipari Kutató Központ

A diagnosztika megbontás nélküli műszeres mérést jelent. Így a hajtómotorok fékpadon történő mérése ebbe a fogalomba nem fér bele, hiszen ezt a mérést járműből kiépített motorokon végzik. Szervizekben azonban sokszor van szükség a motor teljesítményének mérésére, illetve az egyes beavatkozások teljesítményvetületének megítélésére. A cikkben leírt új módszer erre kínál megoldást.

Diagnostics means instrumental measurement without dismantling. So measuring the engines on rolling roads is not incorporated in this concept, as this measurement is accomplished on engines taken out from vehicles. In services it is often required to measure the performance of the engines, or to judge the performance projection of some corrections. The new method discussed in the article provides a solution for this problem.

Készült a Szentágotthai János Ösztöndíj tapasztalt oktató-kutatóinak támogatásával.

## 1. GÉPJÁRMŰVEK EFFEKTÍV TELJESÍTMÉNYÉNEK DIAGNOSZTIKAI MÉRÉSE

A gépjárműmotorok effektív teljesítményét féktermi mérésekkel határozhatjuk meg. Ez kiszertelt motort feltételez. E mérések eredményei a motorok esetében általában rendelkezésre álló úgynevezett külső vagy teljes terhelési jelleggörbék.

Az üzemeltetett járművek esetében azonban meglehetősen ritkán adódik lehetőség ilyen mérések elvégzésére. A diagnosztizálási és javítási munkák során azonban gyakran merül fel igény arra, hogy meg tudjuk mérni a motorok effektív nyomatékát, illetve teljesítményét.

Bizonyos görgős teljesítmémmérő padok rendelkeznek ezzel a tudással, azonban ezek ára meghaladja a szervizek lehetőségeit.

A továbbiakban elérhető eszközhátterű új mérési módszer elméleti hátterét ismertetem.

## 2. MOTORTELJESÍTMÉNY-MÉRÉS SZABADON FUTÓ GÖRGŐKÖN

### 2.1. Az új mérési módszer elméleti alapjai

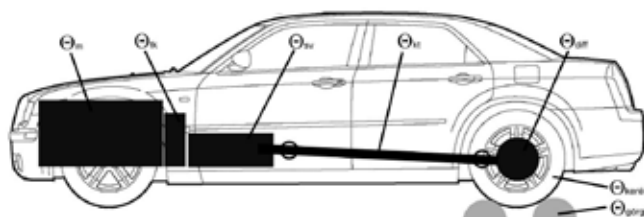
A mérési módszer kiindulási pontja, hogy terheletlen állapotban gyorsítjuk fel és lassítjuk le a vizsgált jármű hajtásláncát szabadon futó (fékgép nem szükséges) görgőkön. Mivel külső karakterisztikákat akarunk mérni, a mérést teljes terhelési üzemiállapotban kell végrehajtani.

A mérés menete az alábbi:

**1. GYORSÍTÁSI SZAKASZ:** a padon álló jármű hajtásláncát és a teljesítmémmérő pad görgőit, teljes terhelésű (teljes gáz) szabad gyorsításban gyorsítjuk fel a névleges motorfordulatszámig a vizsgálati sebességfokozatban.

**2. KIFUTTATÁSI SZAKASZ:** a tengelykapcsolót oldva, a sebességváltót az adott fokozatban hagyva, hagyjuk megállásig lelassulni az autót.

A mérés során, mivel nincs külső terhelés, a motornak az **1. ábrán** látható tehetetlenségi nyomatékokat kell felgyorsítania. A kifuttatás során a motor tehetetlenségi nyomatékát leválasztottuk, így ennek kivételével a többi tehetetlenségi nyomaték hatása lassítja a rendszert.



1. ábra: járműhajtáslánc szabadon futó görgőkön

A mérés során egyetlen jeladóra van szükségünk, a görgők (görgősugár:  $r_g$ ) tengelyének fordulatszámát ( $n$ ) kell megmérnünk. Ebből az alábbi adatok képezhetők:

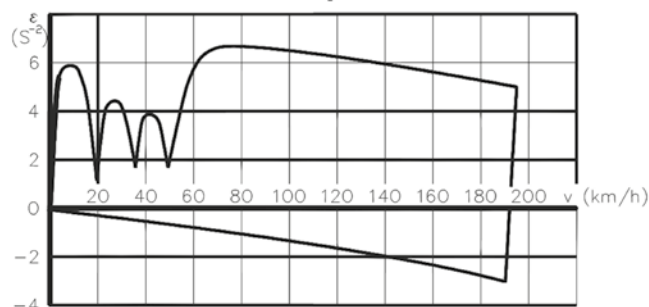
$$\text{szögsebesség: } \omega = \frac{d\varphi}{dt} = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (1)$$

$$\text{szöggyorsulás: } \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

$$\text{járműsebesség (a kerék, illetve a görgő kerületi sebessége):} \quad (3)$$

$$v = r_{\text{görgő}} \cdot \omega$$

A fentiek ismeretében a mérés során a **2. ábrán** látható diagramot tudjuk felvenni.



2. ábra: a mérés során felvett jelleggörbe

További megfontolásokra adnak alapot az alábbi mechanikai alapegyenletek:

$$M = \theta \cdot \varepsilon \quad (4)$$

illetve

$$P = M \cdot \omega = \theta \cdot (\varepsilon \cdot \omega) \quad (5)$$

A fenti egyenletek esetében  $\theta$  alatt a görgő tengelyére redukált tehetetlenségi nyomatékot ( $\Theta_{\text{red}}$ ) értjük, hiszen a fordulatszámot is a görgő tengelyén mérjük.



A fentiek alapján az alábbi megállapítások tehetők:

$$M(v) \sim \varepsilon(v)$$

$$P(v) \sim (\varepsilon \cdot \omega)(v)$$

Azaz, az  $\varepsilon$  függvény a járműsebesség (vagy akár fordulatszám) függvényében jellegre a teljes terhelési nyomatéki görbével, míg az  $(\omega \cdot \varepsilon)$  függvény a teljesítménygörbével egyezik meg.

**2.2. A mérés gyakorlati megfontolásai**

A teljesítményarányos függvényeket a **3. ábrán** láthatjuk. A továbbblépéshez szükség van ennek értelmezésére:

**1. GYORSÍTÁSI SZAKASZ:** a görgőt a jármű kereke gyorsítja, így a méréssel felvett  $(\omega \cdot \varepsilon)$  függvény a kerékteljesítménnyel arányos.

**2. KIFUTTATÁSI SZAKASZ:** a görgőt és a hajtásláncot a motor utáni egységek veszteségei, azaz a veszteségteljesítmény lassítja.

Azaz:

$$P_{kerék} = P_{eff} - P_{veszteség} \tag{6}$$

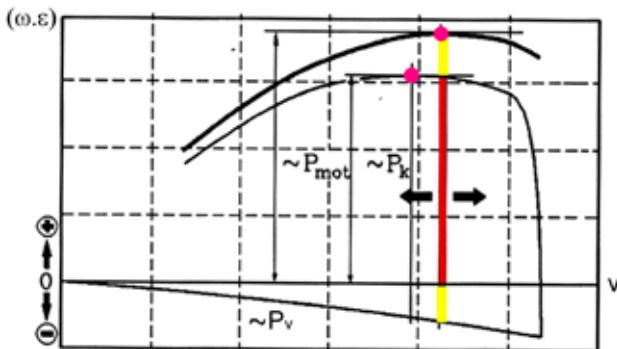
Megfordítva:

$$P_{eff} = P_{kerék} + P_{veszteség} \tag{7}$$

Ahol:

- $P_{eff}$  – a motor effektív teljesítménye
- $P_{veszteség}$  – a hajtáslánc vesztesége
- $P_{kerék}$  – a keréken leadott teljesítmény

Ez utóbbi egyenlet gyakorlati megvalósításának sémája látható a **3. ábrán**, ahol a felvett kerékteljesítménnyel és hajtáslánci veszteséggel arányos függvények összegzése látható. Az eredő függvény a motor (effektív) teljesítményével arányos görbe.



3. ábra: a mérés során felvett teljesítményarányos jelleggörbe

A mérési elv jobb megértésének érdekében, az alábbiakban rövid veszteségelemzést végzünk.

A veszteségek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

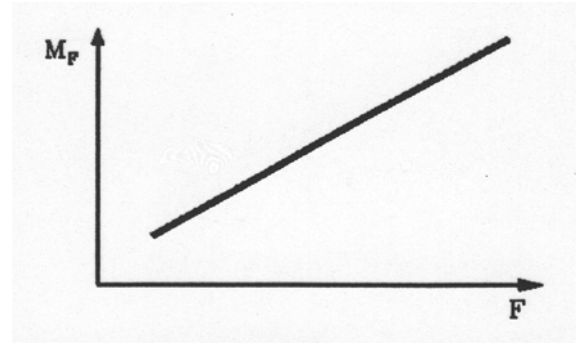
- vonóerőfüggő veszteségek,
- sebességfüggő veszteségek.

A vonóerőfüggő veszteségek (MF) között az alábbi értékek gyakorolnak befolyást a mérésre. (A zárójelben szereplő számérték csupán a nagyságrendet adja meg, hogy viszonyítani tudjunk.):

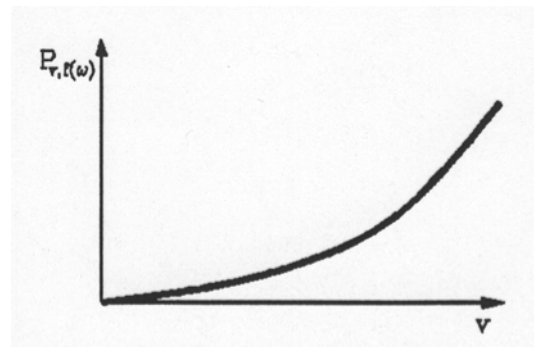
- fogaskerék súrlódási veszteség (a motor effektív teljesítményének ( $P_e$ ) mintegy 7%-a)
- szlip a gumiabroncs és a görgő között (a motor effektív teljesítményének ( $P_e$ ) mintegy 7%-a)

Sebességfüggő veszteségek ( $M_v$ ):

- olajkvarási és ventilációs veszteség a hajtóműben (a motor effektív teljesítményének ( $P_e$ ) mintegy 2%-a)
- gumigyúródási munka (a motor effektív teljesítményének ( $P_e$ ) mintegy 7–20%-a)

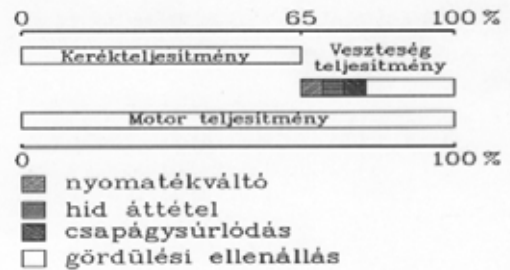


4. ábra: vonóerőfüggő veszteségek

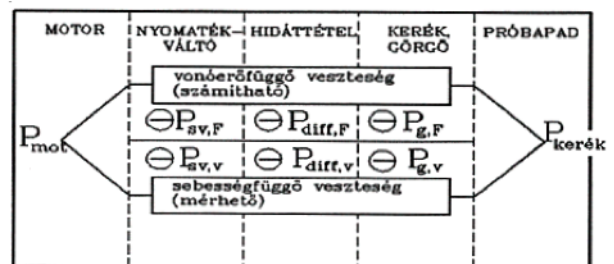


5. ábra: sebességfüggő veszteségek

A figyelembe vett veszteségek elemzése alapján megállapíthatjuk, hogy a keréken leadott teljesítmény kb. a 2/3-a a motor effektív teljesítményének.



6. ábra: Veszteségelemzés



7. ábra: veszteségelemzés

**3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSÉNEK ELVE**

A mérési eredmények kiértékelésének alapfeltétele az 1. ábrán feltüntetett tehetetlenségi nyomatékok ismerete. Ezek az értékek azonban nem hozzáférhetők. Hiányuk megfelelő mérési eljárással kiküszöbölhető.



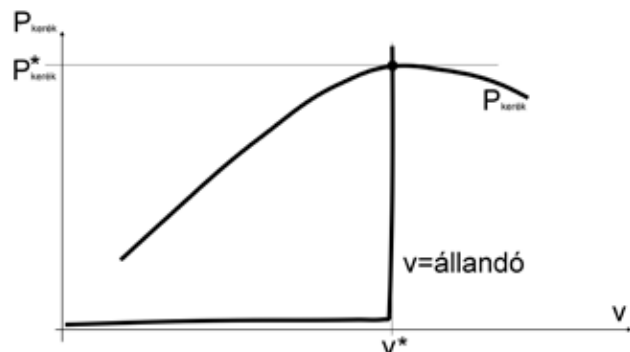


### 3.1. A motor külső jelleggörbéinek validálása görgős járműfékpadi méréssel

Amennyiben nem csupán görgőkkel rendelkezünk, hanem a mérőgörgőink egyben a görgős járműfékpad görgői, akkor megkeressük a 3. ábrán látható gyorsítási szakasz helyi maximumához tartozó sebességértéket ( $v^*$ ).

Következő lépésben a görgős padon kiválasztjuk az állandó sebesség terhelési karakterisztikát, beállítjuk a  $v^*$  sebességet, és teljes terheléssel megmérjük a kerékteljesítményt (4. ábra).

Ezzel a léptékkal már a 3. ábra függőleges tengelyén kW-ban jelennek meg az értékek, azaz a motor effektív teljesítménygörbéje rendelkezésre áll.



8. ábra: a mérés során felvett teljesítmény-arányos jelleggörbe

Ennek a módszernek a szépséghibája, hogy a gyorsítási és a kifuttatási diagramszakaszok léptéke nem egyforma, hiszen egyik esetben a motor (nem ismert) tehetetlenségi nyomatékát is figyelembe kellene vennünk, míg a másikban nem. Ez a tény csupán empirikus úton meghatározott korrekciós tényezővel (általában 10%) vehető figyelembe.

### 3.2. A motor külső jelleggörbéinek validálása görgős járműfékpad nélkül (új mérési módszer)

Az általam kidolgozott mérési módszer lényege az alábbi:

Amennyiben nem rendelkezünk görgős teljesítménymérő paddal, csak mérő görgőággal, akkor két szabadgyorsításos mérést kell végeznünk.

#### 1. mérés

Ez tulajdonképpen megegyezik az eddig ismert mérési módszerrel. Egyenletei:

$$P_{k,1} = (\theta_{motor,red} + \theta_{hajtáslánc,red}) \cdot \epsilon_1'' \cdot \omega_1'' \quad (8)$$

$$P_{v,1} = \theta_{hajtáslánc,red} \cdot \epsilon_1'' \cdot \omega_1'' \quad (9)$$

#### 2. mérés

Ebben az esetben a görgők tengelyéhez járulékosan lendtömeget kötünk hozzá, amely növeli a görgő tengelyére számított összes redukált tehetetlenségi nyomatékot.

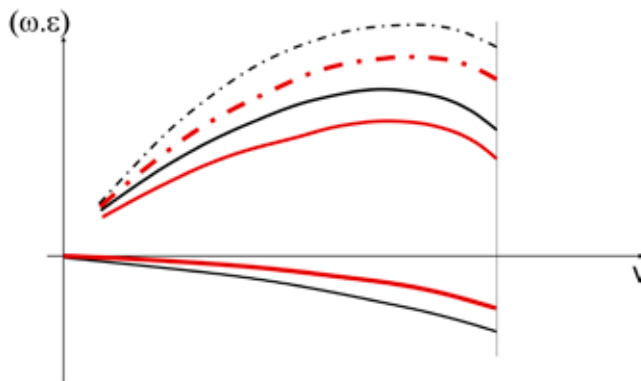
$$P_{k,2} = (\theta_{motor,red} + \theta_{hajtáslánc,red} + \theta_{lendtömeg,red}) \cdot \epsilon_2'' \cdot \omega_2'' \quad (10)$$

$$P_{v,2} = (\theta_{hajtáslánc,red} + \theta_{lendtömeg,red}) \cdot \epsilon_2'' \cdot \omega_2'' \quad (11)$$

A két esetben ugyan eltérőek a rendszer tehetetlenségei és természetesen lassulás-gyorsulásai is, de teljesítménybe átszámolva már a keréken leadott teljesítményeknek és a veszteségteljesítményeknek is egyezniük kell, hiszen a motor, amely a rendszert gyorsítja, és a hajtáslánc, amelynek veszteségei vannak, változatlan.

Így az 1. és 2. mérés kerékteljesítmény és hajtáslánci veszteség egyenletei páronként egyenlővé tehetők.

A kifuttatási egyenletekből a hajtáslánc redukált tehetetlenségi nyomatéka számítható:



9. ábra: a két egymás után végzett mérés diagramjai

$$\theta_{hajtáslánc,red} \cdot \epsilon_1'' \cdot \omega_1'' = (\theta_{hajtáslánc,red} + \theta_{lendtömeg,red}) \cdot \epsilon_2'' \cdot \omega_2'' \quad (12.)$$

$$\theta_{hajtáslánc,red} = \frac{(\theta_{lendtömeg,red} \cdot \epsilon_2'' \cdot \omega_2'')}{(\epsilon_1'' \cdot \omega_1'' - \epsilon_2'' \cdot \omega_2'')} \quad (13.)$$

A kerékteljesítmény-egyenletbe ezt visszahelyettesítve megkapjuk a motor tehetetlenségi nyomaték értékét is  $\epsilon_1''$  és  $\epsilon_2''$ -t egy adott vizsgálati fordulatszám, azaz azonos járműsebesség,  $v_{vizsg}$  esetén határozzuk meg (lásd 5. ábra).

A fenti minta alapján, a kerékteljesítmény-egyenleteket egyenlővé téve, meghatározható a motor tehetetlenségi nyomatéka is.

Mindezt természetesen a megfelelően megírt mérőszoftver levezényli és kiszámolja. Így a végeredmény már pontos értékekkel megadható nyomatéki és teljesítmény külső jelleggörbe lesz.

## 4. KÍSÉRLETI MÉRÉSEK

A fentiek igazolására méréseket végeztünk a Széchenyi István Egyetem Járműdiagnosztika laboratóriumában (10., 11., 12. ábra).

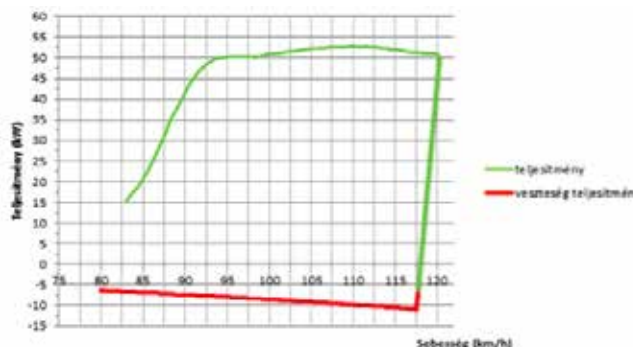


10. ábra: jármű a görgős padon, mérés közben

11. ábra: gyorsítási szakasz mérése

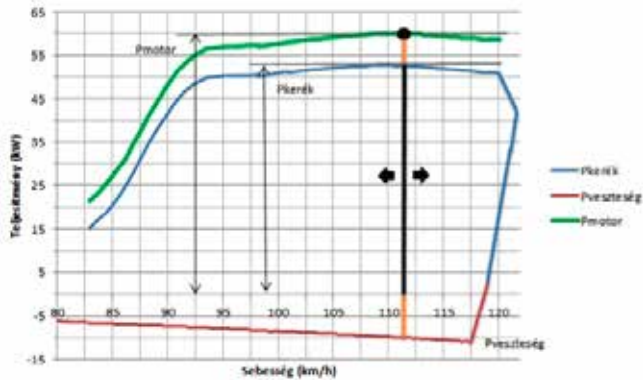
12. ábra: kifuttatási szakasz mérése

A 13. ábrán a Járműdiagnosztika laborban mérés során felvett diagram látható.



13. ábra: mérés során felvett jelleggörbe

Az összegzési módszer alkalmazása után az alábbi eredményt kapjuk (14. ábra):



14. ábra: összegzett jelleggörbék

A méréseket megismételtük a görgős fékpadra szerelt lendítőkerek nélkül is, az ékszíjhajtás „lekötésével”.



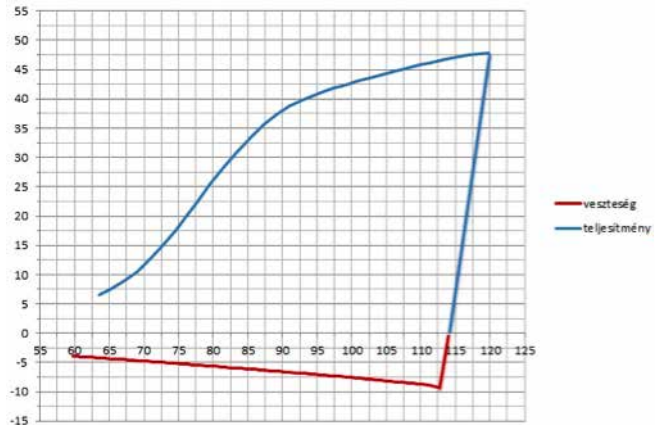
15. ábra: mérés lendítőtömeg nélkül

Ezután végeztünk egy újabb gyorsulási teljesítménymérést, majd egy szabadkifutásos veszteségmérést (16. ábra).

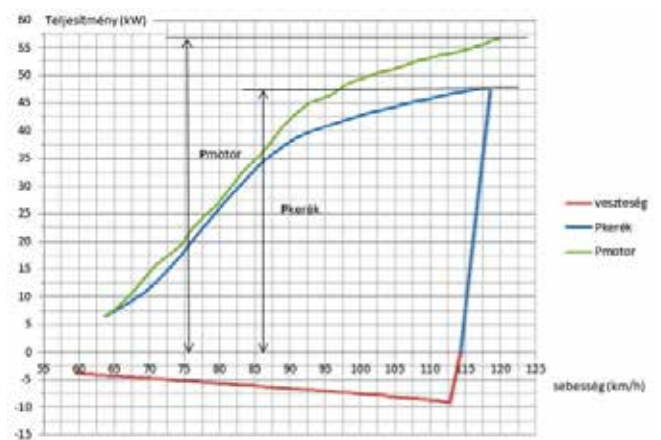
A mérések eredményeként az alábbi értékeket kaptuk:

- $P_{kerék} = 51,61 \text{ kW}$
- $P_{veszteség} = 8,31 \text{ kW}$
- $P_{motor, eff} = 59,92 \text{ kW}$

A fenti értékek 111,4 km/h-s járműsebességnél mérhetőek. A vizsgált jármű forgalmi engedélyében 60 kW motorteljesítmény szerepel.



16. ábra: mérési eredmény lendítőtömeg nélkül



17. ábra: lendítőtömeg nélküli eredmények összegzése

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

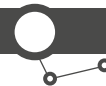
Az új mérőrendszer kifejlesztése több előnnyel is jár:

1. Nincs szükség görgős teljesítménymérő padra, így egyszerűbb, olcsóbb mérőberendezések fejleszthetők.
2. A mérés pontossága nagyobb, mivel empirikus korrekciós tényező nélkül, mindent mért úton határoz meg.

A szakszervezetek számára a leírt új módszer elérhető lehetőséget kínál, amely kellő pontossággal képes diagnosztikai motorteljesítmény meghatározására. ●

### IRODALOM

- [1] Dr. Lakatos István: Untersuchung der Zusammenhängen zwischen der indizierten Werten und der mit Rollenprüfstand gemessenen Versuchsergebnissen, Járművek, 2002
- [2] Dr. LAKATOS I.: ÖSSZEHASONLÍTÓ MÉRÉSEK GÖRGŐS JÁRMŰFÉKPADON, XXV. microCAD International Scientific Conference, 2011. március 31-április 1., Miskolc, Hungary p. 57-64
- [3] Dr. LAKATOS I.: GASOLINE ENGINE DIAGNOSTIC ON CHASSIS DYNAMOMETERS, XIX. microCAD International Scientific Conference, 18-20 March, 2010, Miskolc, Hungary p. 27-32
- [4] Dr. LAKATOS I.: Instacioner motorteljesítmény-mérés görgős járműfékpadon, XIX. microCAD International Scientific Conference, 18-20 March, 2010, Miskolc, Hungary p. 33-38
- [5] Dr. LAKATOS I.: Motorteljesítmény-mérés diagnosztikai eszközökkel, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés Konferencia, 2010. szeptember 3-5., Budapest, Konferenciaanyag CD-n
- [6] Dr. Lakatos I.: Modell alapú új, üzemeltetési célú járműdiagnosztikai módszerek, habilitációs pályázat tézisei, 2013. augusztus 28.



# Lítium-ion akkumulátorok élettartamának maximalizálása

ELEKTROMOS JÁRMŰVEKBE ALKALMAZOTT LÍTIUM-ION AKKUMULÁTOROK ÉLETTARTAMÁNAK ÉS FELHASZNÁLHATÓ KAPACITÁSÁNAK MAXIMALIZÁLÁSA, FELÜGYELETI RENDSZER SEGÍTSÉGÉVEL

**SZELI ZOLTÁN**

egyetemi tanársegéd  
Széchenyi István Egyetem

**SZAKÁLLAS GÁBOR**

tanszéki mérnök  
Széchenyi István Egyetem

A cikk egy kétirányú aktív cellakegyenlítővel ellátott akkumulátor felügyeleti rendszer fejlesztését mutatja be, amelyet a Járműipari Kutató Központ által fejlesztett villamos meghajtású járművekben fognak alkalmazni. Ismertetjük a rendszer felépítését, a különböző szerkezeti egységek tervezésének a menetét, továbbá a sorba kapcsolt akkumulátor csomagok közötti kiegyenlítés lehetőségét.

This article is about the development of such a battery management system equipped with bidirectional active cell balancer, which will be used in the electric vehicles developed by the Research Center of Vehicle Industry. We describe the architecture of the system, the design process of the different structural elements, and the possibility of balancing between battery packs connected in series.

## BEVEZETÉS

A tisztán elektromos és hibrid meghajtású járművek számának gyors növekedése a hozzá kapcsolódó ipar fejlődésének felgyorsulását is magával hozta. A nikkkel-metálhibrid akkumulátorok helyett manapság egyre mérséklődő áron elérhető, különböző kémiai összetételű (vas-foszfát, mangán, titanát) lítium-ion akkumulátorokat építenek be, amelyek energiasűrűsége akár másfélszeres is lehet a régebbi típusú akkumulátorokhoz képest, jelentősen kisebb tömeg mellett. Az új típusú energiahordozók azonban új problémákat vetettek fel a gyártók számára. A lítiumcellák meghatározott körülmények között képesek csak megbízhatóan üzemelni, amelyek nagymértékben befolyásolják az élettartamot. A töltési és a kisütési folyamat sem a hagyományos módon történik. Meghatározott feszültség szintek, hőmérséklet-értékek, töltési és kisütési áram értékek tartoznak az egyes lítium-ion akkumulátorokhoz, amelyeket szigorúan be kell tartani. Ahhoz, hogy ezeknek a követelményeknek meg tudjunk felelni, az ilyen típusú energiatárolókat tartalmazó járműveket el kell látnunk egy úgynevezett akkumulátorfelügyeleti rendszerrel (Battery Management System – BMS), amely az egyes cellák paramétereit egymástól függetlenül képes mérni, illetve szükség esetén a rendszer működésébe beavatkozni.

## KAPACITÁS ÉS ÉLETTARTAM

Egy lítium-ion akkumulátor kapacitását az a töltésmennyiség határozza meg, amelyet a 100%-os töltöttségi szinttől kezdve a teljes kimerülésig képes leadni. A maximális kapacitás kivétele azonban több szempontból is megfontolandó az ilyen típusú akkumulátorok esetében. A 100%-os kapacitásra való feltöltés, illetve a 0%-os szintre való kimerítés jelentősen csökkenti az élettartamot. A felhasznált akkumulátorkapacitás bizonyos keretek közé való szorítása jelenthet megoldást erre a problémára, amelyre példát az autóiipari megoldások között jelenleg is találhatunk. Jellemző értékek a 10–90% közötti, valamint a 30–70% közötti akkumulátorkapacitásnak a kivétele, amelyek az első esetben 80%, a második esetben pedig 40%-os effektív kapacitást jelentenek. Ezekkel az értékekkel számolva azt kapjuk, hogy az

első esetben a töltési és kisütési ciklusok száma kevesebb, mint a harmadára csökken a másodikhoz képest.

Élettartamot tekintve éppen az ellenkezője igaz. Az eltérő mértékű kihasználtság az akkumulátorteleg nagyságát, ezáltal tömegét is befolyásolja. 40%-os kihasználtság mellett dupla mennyiségű akkumulátor beépítése szükséges, amely a megnövelt tömeg miatt a jármű fogyasztását is negatívan befolyásolja. Fontos megjegyezni azt is, hogy töltés során a ~80%-os szint elérését követően a megnövekedett belső ellenállás miatt a cellák már csak kevesebb töltés fogadására képesek, vagyis a töltésre fordított idő és a felvett töltés mennyisége nem lineáris a teljes töltési ciklus alatt. Az akkumulátorrendszerek méretezése tehát nagy kihívások elé állítja a mérnököket, meg kell találniuk az optimális arányt a hatásos akkumulátorkapacitás és az élettartam között.

## TÖLTÖTTSEGI SZINT MEGHATÁROZÁS

A kitűzött akkumulátor-élettartam eléréséhez fontos, hogy a töltés és a kisütés során a cellák töltöttsége mindig csak az előre meghatározott szintek között változhasson. Ehhez elengedhetetlen az egyes cellák töltöttségi szintjének (state of charge – SOC) meghatározása. Minél pontosabban tudjuk ezt megtenni, annál több töltést vehetünk ki az akkumulátorokból, illetve annál hosszabb élettartamot tudunk elérni.

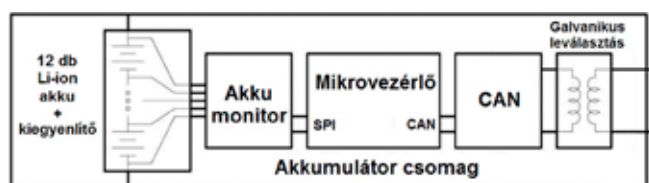
A szórakoztatóelektronikai eszközökben elterjedt hagyományos töltöttségi szint mérést villamos hajtások esetében nem lehet alkalmazni, az előforduló nagy áramtüskék miatt. További problémát jelent a nagy mennyiségű akkumulátorcella, amelyek eltérő névleges kapacitással és hőmérséklettel rendelkeznek. A kivett kapacitáson alapuló mérés tehát nem eredményezne megfelelő pontosságot, ezért a villamos hajtású járművekben az akkumulátorfelügyeleti rendszerek a cellafeszültség mérésére fókuszálnak. Az akkumulátor soros ellenállását és a hőmérséklet hatását figyelembe véve, akár százados pontossággal is meg lehet határozni ezt az értéket. Ennek köszönhetően a töltési és kisütési ciklusok során pontosan látja a felügyeleti rendszer azt, hogy melyik cella milyen töltöttségi szinten van [1].

Az elektromos járművekben található akkumulátorrendszerekben általában egymással sorba kötött lítium-ion

cellákkal találkozhatunk, amelyek egymáshoz képest eltérő mértékben töltődnek, illetve merülnek. Egy ilyen felügyeleti rendszerrel ellátott akkumulátorcsomag esetében az előre meghatározott maximális és minimális cella töltöttségi szintek, esetünkben ezek feszültségértékek, elérések a töltési és kisütési folyamat véget ér. Az elvileg feltöltött cellák töltöttségi szintjét ellenőrizve azonban azt tapasztaljuk, hogy csak az egyiket sikerült a kívánt feszültségszintre hoznunk, a többiek ennél kisebb értéken vannak. A kimerített cellák esetében pedig pont fordított lesz a helyzet, vagyis egyetlen cella érte el a minimális feszültségszintet, a többiek magasabb értéken vannak. Az akkumulátorcsomagot tehát nem sikerült feltölteskor a megengedett maximális, kisütéskor pedig a megengedett minimális töltöttségi szintre feltölteni, illetve méríteni. Az eddigieket figyelembe véve azt a következtetést vonhatjuk le, hogy maximális hatékonyság elérése érdekében az összes cella együttes töltésén kívül az egyes cellák közötti különbségek kiegyenlítésére is szükség van [2].

A lítium-ion akkumulátorok hatékonyságának és élettartamának növelésére a fizikai jellemzők mérésén túl léteznek további lehetőségek is, amelyek már bonyolultabb elektronikai megoldásokat igényelnek.

## A TERVEZETT FELÜGYELETI ÉS KIEGYENLÍTŐ RENDSZER FELÉPÍTÉSE



1. ábra: a felügyeleti rendszer felépítése

Az akkumulátorcsomagunk 12 db lítium-ion cellából épül fel, amelyeket sorosan kötöttünk össze. Minden egyes cella egy kiegyenlítő áramkörhöz csatlakozik, amelynek működése a későbbiekben részletesen is bemutatásra kerül. Ez az áramkör 12 db konvertert vezérel, amelyek a cellák közötti töltés áramoltatását biztosítják. Az egyes cellák töltöttségi szintjét és hőmérsékletét egy monitorozó áramkör segítségével mérjük, amely mind a 12 db cellát egyszerre képes figyelni. A mérési adatok feldolgozására, a vezérlési és biztonsági funkciók ellátására, valamint a járművel történő kommunikáció megteremtésére egy mikrovezérlő került beépítésre. A nyomtatott áramköri lapon belül a kommunikáció SPI-buszon keresztül valósul meg a cellakiegyenlítő, cellamonitorozó és a mikrovezérlő között, a jármű központi egységével pedig CAN-buszon keresztül alakítottuk ki a kapcsolatot. Ennek érdekében egy galvanikusan leválasztott CAN-interfész került beépítésre.

## A KIEGYENLÍTŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSA

### Tervezési megfontolások

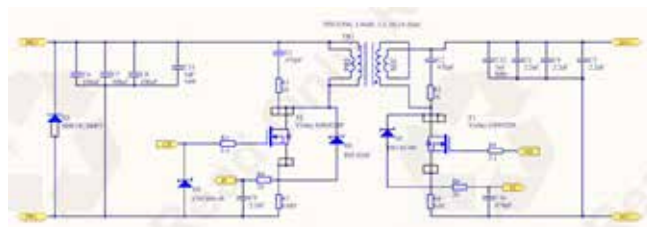
A cellák közötti hatékony energiatranszfer megoldására az úgynevezett aktív kiegyenlítési metodust választottuk. A kialakítás lényege, hogy a többlettöltéssel rendelkező akkumulátorcellákból a töltést a többi cellába áramoltatjuk. A töltésátadás történhet cellából cellába, valamint cellából az akkumulátorcsomag egészébe.

Mivel minden energiatranszfer veszteségekkel jár, amelyek mértékét az alkalmazott módszer hatásfoka határozza meg, így különböző cellaszámok mellett más-más kialakításra van szükség.

Nagyobb cellaszám esetén a cellából cellába történő töltés-áramoltatás nem célravezető. Amennyiben több cellán keresztül jutunk el a kívánt akkumulátorcelláig, úgy a veszteségeink többszöröződhetnek. Ilyen esetekben közvetlenül az akkumulátorcsomagba, valamint az akkumulátorcsomagból történő töltés lehet a megfelelő választás.

A mi esetünkben egy akkumulátorcsomag 12 db sorba kötött lítium-ion cellából áll. Egy cella névleges feszültsége 3.7 V, tehát az akkumulátorcsomag feszültsége 44.4 V-ra adódik. Ahhoz, hogy a rendszerünk költségeit csökkenteni tudjuk, valamint megoldjuk a kétirányú töltésáramoltatást, olyan konvertert kellett kialakítanunk, amelynek ki- és bemeneti oldalai tetszőlegesen megválaszthatóak, valamint irányonként megvalósítják a feszültségnövelési, illetve feszültségcsökkentési funkciókat. Ennek megfelelően választásunk a flyback típusú konverterekre esett.

A rendszerünkben 12 db konverter került kialakításra, mindegyik egymástól független egységet alkot, de közös vezérlőegységgel. A vezérlő az R7 és R8 ellenállások segítségével folyamatosan méri a tekercsekben folyó áramot, így megvalósítva a bemeneti oldal vezérlését, valamint a kimeneti oldal szinkron egyenirányítását (2. ábra).



2. ábra: kiegyenlítő konverter kapcsolási rajza

## ALKATRÉSZEK MÉRETEZÉSE

Az alkatrészek méretezésénél a következő paramétereket kellett figyelembe venni:

- $U_{pri} = 3.7 \text{ V}$
- $U_{sec} = 44.4 \text{ V}$
- $P = 16 \text{ W}$

Ennek megfelelően a flyback topológia kimeneti feszültségére felírható:

$$U_{sec} = \frac{N_2}{N_1} * \frac{D}{1-D} * U_{pri} \quad (1)$$

ahol

- $N_2/N_1$  a transzformátor áttétele
- $D$  a kitöltési tényező

A kapcsolási frekvenciát a következő egyenletekkel határozhatjuk meg:

$$f_{kisütési} = \frac{S}{S + \frac{N_2}{N_1}} * \frac{U_{cella}}{L_{pri} * I_{pri}} \quad (2)$$

$$f_{töltési} = \frac{S}{S + \frac{N_2}{N_1}} * \frac{U_{cella}}{L_{pri} * I_{sec} * \frac{N_2}{N_1}} \quad (3)$$

ahol  $S$  a sorba kapcsolt cellák száma.

Figyelembe véve a vezérlőegység műszaki paramétereit, amely erősen lekorlátozza a kapcsoló tranzisztorok bekapcsolási idejének a maximumát, valamint a kereskedelmi forgalomban kapható transzformátorunkat, az áttételt  $N_2/N_1 = 2$ -re határoztuk





meg. A transzformátorunk szaturációs árama 10 A, így az  $I_{pri}$  nem haladhatja meg ezt az értéket. A szekunder oldal csúcsárama a 16 W teljesítmény miatt ennél jóval kisebb lesz.

Meghatározhatjuk az egyes oldalakra a töltési és kisütési áramokat, amelyeket a következőképpen számolunk: kisütési áramok:

$$I_{pri} = \frac{\hat{I}_{pri}}{2} * \frac{S}{S + N_2/N_1} \quad (4)$$

$$I_{sec} = \frac{\hat{I}_{pri}}{2} * \frac{1}{S + N_2/N_1} * \text{kisütési} \quad (5)$$

töltési áramok:

$$I_{pri} = \frac{\hat{I}_{sec}}{2} * \frac{S * N_2/N_1}{S + N_2/N_1} * \text{töltési} \quad (6)$$

$$I_{sec} = \frac{\hat{I}_{sec}}{2} * \frac{N_2/N_1}{S + N_2/N_1} \quad (7)$$

A kapcsoló tranzisztorok méretezésénél figyelembe kell venni a nyitóirányú letörési feszültséget, amely felírható: primer oldal:

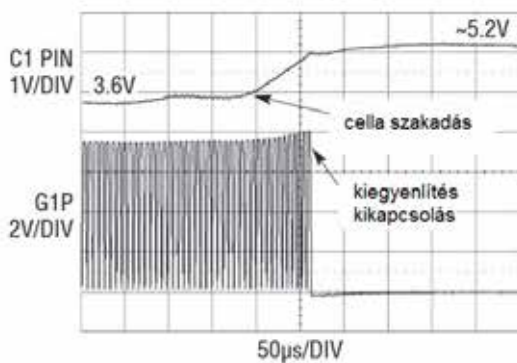
$$U_{DS \text{ letörési}} > U_{cella} + \frac{U_{pak} + U_{dióda}}{N_2/N_1} \quad (8)$$

szekunder oldal:

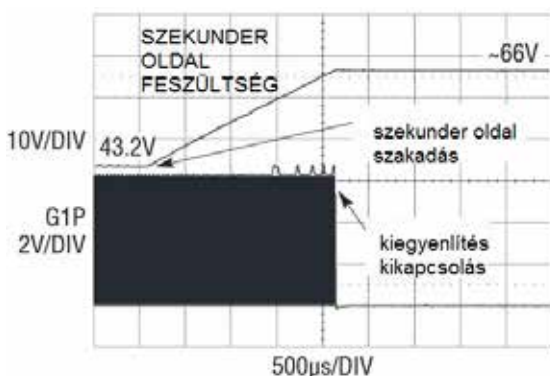
$$U_{DS \text{ letörési}} > U_{pak} + N_2/N_1 * (U_{cella} + U_{dióda}) \quad (9)$$

### Megvalósított védelmek

A megépített rendszer számos védelemmel rendelkezik. A vezérlő automatikusan lekapcsolja a kiegyenlítést, amint az IC tokhőmérséklete meghaladja a megengedett értéket. Képesek vagyunk detektálni mind a rövidzárát, mind a szakadást a primer és szekunder oldali csatlakozásoknál (3. és 4. ábra). Korlátozni



3. ábra: primer oldali vezetékszakadás-védelem

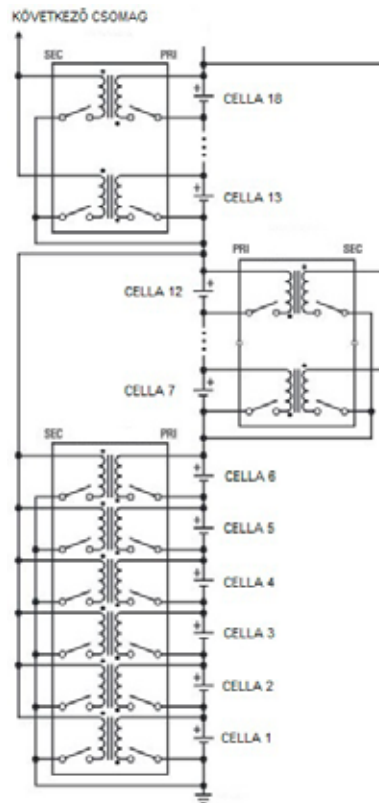


4. ábra: szekunder oldali vezetékszakadás-védelem

tudjuk a tranzisztorok maximális bekapcsolási idejét, az esetleges mérőellenállások tönkremeneteléből adódó áramtúlfutások miatt.

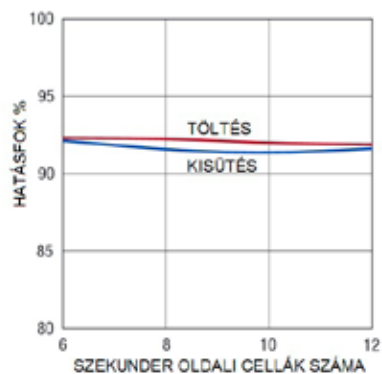
### Akkumulátorcsomagok közötti töltéskiegyenlítés

A kialakított rendszerben két részre osztjuk az akkumulátorcsomagot. Mindkét rész 6 db sorba kötött akkumulátorcellát tartalmaz. Az alsó 6 db cella szekunder oldali kivezetése ugyanazon akkumulátorcsomag egészére (12 cella), míg a felső csomag szekunder oldali kivezetései az alsó 6 cella pozitív felére, illetve a következő akkumulátorcsomag alsó 6 cellájának pozitív kivezetésére csatlakoznak. Így megoldott az akkumulátorcsomagok közötti töltéskiegyenlítés (5. ábra) [2].



5. ábra: csomagok közötti töltéskiegyenlítés

Lehetőségünk van csökkenteni a szekunder oldali feszültséget a szekunder oldalra csatlakozó akkumulátorcellák számának csökkentésével, azonban figyelembe kell venni az ezzel járó kiegyenlítési hatások változást (6. ábra).

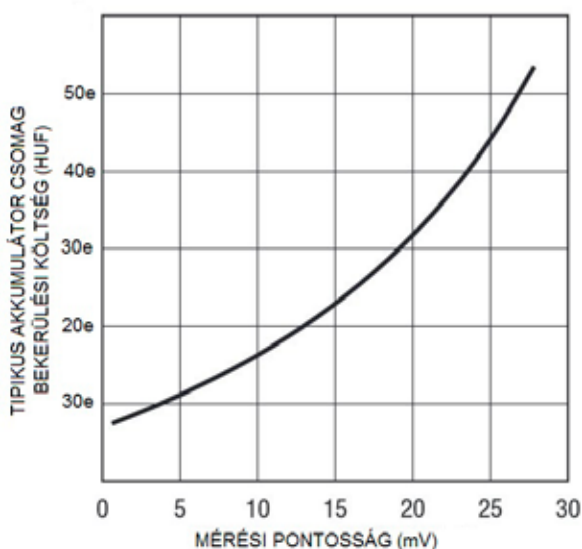


6. ábra: töltéskiegyenlítés hatásfoka, a szekunder oldalra csatlakozó cellák számának függvényében

## A CELLAMONITOROZÓ RENDSZER KIALAKÍTÁSA

### Mérési pontosság növelése

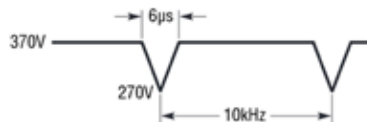
A bevezetésben tárgyaltak szerint elengedhetetlenül fontos az akkumulátorcellák feszültségének minél pontosabb meghatározása. Pontosabb mérési eredményekkel nagyobb mértékben tudjuk kihasználni az akkumulátorok kapacitását, amely alkalmazás tekintetében százalékosan kevesebb akkumulátort jelent. Az alábbi ábrán láthatjuk a mérési pontosság és az akkumulátorcsomag bekerülési költségének közelítő függvényét.



7. ábra: akkumulátorköltség a mérési pontosság függvényében

### Közös módusú zajok csökkentése

A járműves alkalmazásból adódóan a motormeghajtó inverter zajai nagymértékben befolyásolják az akkumulátorcellák feszültségmérését. Ez azt jelenti számunkra, hogy egy 370 V névleges feszültségű rendszernél akár 100 V-os kapcsolási tranziensek is felléphetnek (8. ábra). Ebből következően egy 12 cella mérésére alkalmas monitorozó áramkörnél 12 V-os közös módusú és 1 V-os differenciális tranziensek jelentkeznek cellánként. Szükséges volt tehát olyan áramkör kiválasztása, amely a tipikus meghajtók kapcsolási frekvenciájának tartományában (10–20 kHz) rendkívül jó közös módusú elnyomással rendelkezik.



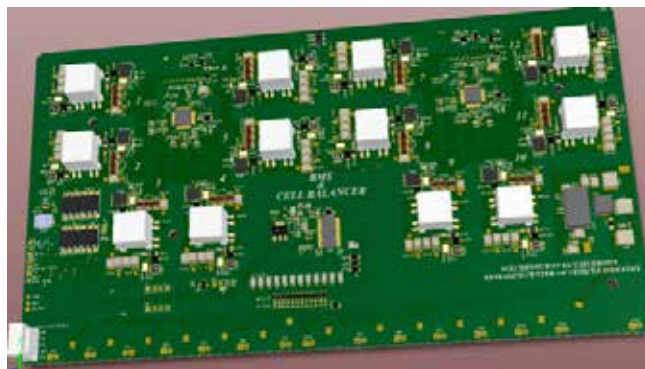
8. ábra: motormeghajtó inverter kapcsolási tranziens

Választásunk ezek alapján egy olyan áramkörre esett, amely a következő paraméterekkel rendelkezik:

- 12 db akkumulátorcella feszültségmérése
- 1.2 mV maximum teljes mérési hiba
- 290 µs az összes cella mérési ideje
- szinkronizált feszültség és árammérés
- 16-bites Delta-Sigma ADC-frekvenciára programozható szűrővel
- 4 µA fogyasztás alvó üzemmódban
- ISO26262 szabványnak való megfelelés (járművekre vonatkozó funkcionális biztonsági szabvány).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kétirányú aktív kiegyenlítéssel és megfelelő zajelnyomású, pontos mérési lehetőséggel kialakított eszköz egy olyan védelmet és felügyeletet nyújthat járműveink akkumulátor csomagjainak, amellyel hosszabb élettartamot, nagyobb használható kapacitást érhetünk el. A kommunikáció kialakítása lehetővé teszi a jármű irányító berendezésével szabványos CAN interfészen keresztüli kapcsolat kiépítésére. A kialakított rendszer tervezés és összeépítés alatt áll, így a valós mérési eredményeket még nem tudtuk a szimuláció eredményeivel összevetni. A korábban megépített felügyeleti rendszerhez képest az új változattól működés és hatékonyságbeli javulást várunk. A tervezés során szem előtt tartottuk a biztonságos működés feltételeinek a megvalósítását, valamint a robusztus felépítettséget. ●



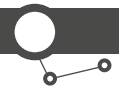
9. ábra: a tervezett felügyeleti rendszer

### IRODALOM

- [1] Jon Munson: Reliable Li-Ion Battery Monitoring System for Hybrid/Electric Vehicles, Automotive Electronics, [www.automotive-electronics.co.uk/current.asp](http://www.automotive-electronics.co.uk/current.asp)
- [2] Michael Kultgen, Jon Munson: Battery Management System Optimizes Li-Ion Run Time and Lifetime, Linear Technology Magazine, 2009
- [3] Linear Technology Documentation Center, <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/33001fa.pdf>

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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



# LEAN-labor létrejött a BME Járműipari Tudásközpontban

A LEAN OKTATÁSI ÉS LEAN-RENDSZERŰ GÉPJÁRMŰIPARI GYÁRTÁSI IGÉNYEKET KIELÉGÍTŐ NEMZETKÖZI SZÍNVONALÚ LEAN-LABOR LÉTREJÖTT A BME JÁRMŰIPARI TUDÁSKÖZPONTBAN

A HATÁRON ÁTÍVELŐ EURÓPAI TERÜLETI EGYÜTTMŰKÖDÉSI PROGRAM PÁLYÁZAT SIKERES MEGVALÓSÍTÁSA

## DR. STUKOVSKY ZSOLT

igazgató  
BME EJJT

## KÁDÁR LEHEL

tudományos főmunkatárs  
BME EJJT

## DR. FÜLEP TÍMEA

LEANLAB projektvezető  
BME EJJT

## ÁSZITY SÁNDOR

okl. gépészmérnök

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, mint Vezető Partner vesz részt a Magyarország – Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 – Establishing LEAN knowledge and laboratories című, HUSK/1101/1.6.1/0161. azonosító számon nyilvántartott projektben. Jelen cikk a pályázat sikeres megvalósítása során kifejlesztett nemzetközi színvonalú oktatási eszközöket mutatja be, amelyeknek az egyetemi oktatásban történő alkalmazásával a BME járműmérnök-hallgatói képzés után további képzés nélkül alkalmassá válhatnak a LEAN-rendszerű gyártásba való bekapcsolódásra a gépjárműgyártóknál.

As leading partner, the Budapest University of Technology and Economics (BUTE) takes part in the project of Hungary-Slovakia Cross-border Co-operation Programme 2007-2013 – Establishing LEAN knowledge and laboratories - HUSK/1101/1.6.1/0161. The practical devices to be developed will be presented in this article supporting education purposes of vehicle engineering at BUTE. This integration in education makes engineers capable for LEAN Manufacturing System application without any further training.

## 1. BEVEZETŐ, A PROJEKT IDŐSZERŰSÉGE

Az ismert tények azt mutatják, hogy a világgazdaság élen járó ágazatai jelenleg egy technológiai és hatékonyságnövekedési fordulóponton mennek keresztül. Bizonyos iparágakban ez a hatékonyságnövekedés drámai fordulatokkal jár, gondoljunk csak az elektronikai ipar hihetetlen gyors termékváltásaira (pl. „okostelefon”-piac) vagy a járművek mechatronikai, elektronikai stb. fejlődésére. A gépjárműiparban a folyamatos innováció eredményeinek megvalósítása során nemcsak a termelékenység nő, hanem a gyártási szemlélet is gyökeresen változik. A gyorsan változó piaci körülményekhez való alkalmazkodást jól mutatja a típusvariációk növekvő száma és a modellek életciklusának rövidülése. A gyártók számára ez azt jelenti, hogy fenn kell tartani a folyamatos termékinnovációt, és kezelhető számú termékváltozattal kell megfelelni az érdekelt felek előre nehezen kiszámítható igényeinek. Meg kell növelni a termékek életciklusát és reagálni kell az értékesítés terén jelentkező, de a tömegtermeléssel kielégíthető vevői igényekre is („tömegesen előállított egyed”).

Ez a fajta szemléletmódváltás és a megjelenő új technológiák szükségessé teszik új képzési rendszerek létrejöttét. Az új anyagok felhasználása, a progresszív informatikai eszközök alkalmazása, a számítógéppel segített tervezési folyamat rohamos terjedése, a növekvő megbízhatósági igények kiszolgálása, a mobilkommunikáció integrálása csak néhány példa a járműmérnökök új kihívásaira. Az egyre növekvő elvárások, amelyek a gépjárműiparban dolgozóakra nehezdednek, folyamat alapú és gyakorlati tapasztalat alapján való tanulást is igényelnek. Egyik legfontosabb célja az ilyen képzésnek az, hogy a

hallgatóknak lehetőségük legyen professzionális módon, önállóan dolgozni, amelyhez elengedhetetlen a korszerű, naprakész ismeretek elsajátítása és begyakorlása.

Hazánkban is jól érzékelhető a gépjármű, és az ehhez kapcsolódó alkatrész- és részegységgyártás volumenének folyamatos emelkedése. A globális autóiipari gyártók a világ több pontjáról települtek ide. Ahogy megjelentek a térségben, több esetben az első lépcsős beszállítóikkal egyetemben, egyre több új és meglévő hazai cégnek adnak esélyt a beszállítóvá válásra. A világ gépjárműgyártásában ezek a vállalatok hatékonyan termelnek és sikeres üzleti eredményeket mutatnak fel. Ehhez az is hozzájárul, hogy élen járnak a LEAN-elvű termelési szemléletben. A hazai szakemberképzés egyik legnagyobb problémája az, hogy az egyetemi oktatás nem elég gyakorlatias, és így nem készíti fel hallgatóit az ipari igények kielégítésére. Megfelelő szemléletváltás és tananyagfejlesztés után a frissen végzett mérnökhallgatók azonnal munkába állhatnának a LEAN-alapú termelésirányítás területén.

A Nemzeti Fejlesztési Ügynökség mint programirányító hatóság, együttműködésben a Szlovák Köztársaság Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Minisztériumával, 2011. június 23-án megjelentette a Magyarország–Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 negyedik pályázati felhívását. A pályázati felhívásban meghirdetett intézkedések között szerepelt az 1.6.1 Közös képzés, oktatás és hálózatépítés téma, amely találkozott a BME EJJT elképzelésével. A pályázati kiírás alapján dr. Stukovszky Zsolt, tudásközpont-igazgató a téma oktatási és kutatási vezetőjének irányításával a BME EJJT projektet dolgozott ki a LEAN-ismereteknek az egyetemi oktatásban a

gépjárműgyártók igényei szerint történő bevezetésére, a gyakorlati képzés megvalósítására.

A külföldi partner keresése során több alternatíva is szóba jött. A választás végül a Kassai Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának Technológia és Anyagismeret Tanszékére esett, ahol igen magas szinten és már több éve foglalkoznak a témával prof. Ing. Milan Kováč, DrSc. vezetésével. A partnerek előzetes egyeztetése után 2011. 10. 13-án Kassán munkatalálkozóra került sor, amelyen véglegesítésre kerültek a projekttevékenységek, a költségvetés és a találkozó eredményeként kölcsönös megegyezés jött létre a LEANLAB projekt irányító hatóság felé történő benyújtására. A pozitív döntés és szerződéskötés után kezdődött meg a munka. A projekt megvalósítása 2012. szeptember 01-jétől 2013. december 31-ig tart.

## 2. BME EJJT SZEREPE A GYAKORLATORIENTÁLT JÁRMŰIPARI TUDÁSTRANSZFER FELTÉTELEINEK KIALAKÍTÁSÁBAN

Az EJJT Járműipari Tudásközpont a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karának kiemelkedő kutatási potenciállal rendelkező szervezeti egysége. Tevékenységét jelentős részben piaci alapon és versenyhelyzetben saját bevételből finanszírozva végzi. Legnagyobb belső piaca az egyetemi oktatás. Legnagyobb külső piaca és együttműködő partnere a magyar gépjárműipar márkatulajdonosai és rendszerbeszállítói.

A tudásközpont célja a nemzetközi tendenciákat, a legújabb kutatási, tudományos eredményeket és a legkorszerűbb ipari gyakorlatot figyelembe vevő, saját konszolidált tudásbázison alapuló tudástranszfer. Ennek az egyetemi képzésen belüli fő irányzata az a járműmérnök-képzés, amelynek szakmai megrendelője szintén a gépjárműipar. Az egyetemi oktatás felé megfogalmazott szakmai és társadalmi elvárás szintén a legnagyobb hazai iparág szakemberigényeinek nemzetközi színvonalon történő kielégítése. Ennek feltétele a korszerű elméleti képzés mellett egyre növekvő hányadban a multinacionális gyártók napi (kutatás-fejlesztési, gyártási stb.) tevékenységeit kiszolgáló olyan gyakorlati képzés, amelynek eredménye a mérnököt alkalmazónál közvetlenül kamatoztatható és lehetővé teszi az iparági értéktermelő fő folyamataiba (gyártás, tervezés, fejlesztés) történő gyors bekapcsolódást.

A fenti, az egyetemi oktatással szembeni járműipari igények kielégítése teljesen összhangban van az EJJT 5 éves stratégiai tervében szereplő LEAN-tananyag, illetve a LEAN-rendszerű gyártás elsajátítását és begyakorlását biztosító és a meghatározóan labor- és gyakorlati oktatáson alapuló képzés feltételrendszerének megteremtésével és beindításával. Rendelkezésre állt mind a megfelelő oktatási, mind a megfelelő ipari gyakorlattal rendelkező saját kutató-fejlesztő gárda, így kézenfekvő volt a megvalósításhoz szükséges forrás biztosítása érdekében az EU-s pályázaton való indulás.

Az új közlekedésmérnöki és járműmérnöki MSc-tanterv életbelépésével a határon átnyúló pályázat sikeres megvalósítása eredményeként a kifejlesztett tematikák és tananyagok, valamint az EJJT tervei alapján saját kivitelezésben létrejött és az alábbiakban bemutatásra kerülő LEAN-labor biztosította szerelési gyakorlatok segítségével sajátíthatják el és gyakorolhatják be a járműmérnök-hallgatók a fenti kompetenciákat. Ennek eredményeként a diploma megszerzése után – további képzés

nélkül – alkalmassá válnak a járműgyártóknál a LEAN-rendszerű gyártásba való bekapcsolódásra.

## 3. A HATÁRON ÁTNYÚLÓ KUTATÁS-FEJLESZTÉSI EGYÜTTMŰKÖDÉS

A projekt megvalósítása során komparatív előnyöket jelentett a határon átnyúló együttműködés. Bár Magyarországon is folyik a LEAN-ismeretek oktatása a különböző felsőoktatási intézményekben, ezek általában nem a hazai gépjárműipar igényeit elégítik ki és nem megfelelően gyakorlatorientáltak. Ugyancsak kevés helyen folyik gyakorlatorientált, a képzési anyagot manuális eszközökkel elmélyítő képzés. A Kassai Műszaki Egyetemmel való együttműködés mindkét problémára választ adott, mert a szlovák partner, a szomszédos ország dinamikusan fejlődő autóiparára támaszkodva, komoly tudásbázist és tapasztalatot halmozott fel e területen.

## 4. A MUNKAPROGRAM

A pályázat megvalósítása négy munkaprogramban zajlott.

### WP1: Előkészítési fázis, a tudásbázis alapjainak megteremtése:

1. A globális LEAN oktatóbázisok elemzése.
2. LEAN oktatási technikák és módszertanok, eljárások feltárása.
3. Legjobb gyakorlatok a LEAN-oktatás és alkalmazás területén.

Ebben a fázisban feltárára kerültek a globális LEAN oktatási módszerek és technikák. A szlovák partner (TUKE) feladata volt a globális oktatóbázisok elemzése, a BME EJJT a hazai ipari gyakorlatokkal kapcsolatban gyűjtött adatot, és feltárta a hazai LEAN-oktatás helyzetét az

- egyetemi oktatásban,
- ipari gyakorlatban,
- középiskolai oktatásban,
- szakértő, konzultációs cégek gyakorlatában.

### WP2: Fejlesztési fázis: Oktatási és képzési anyag fejlesztése

1. Elméleti oktatás moduljainak kidolgozása: LEAN-filozófia, alapok, alapelvek, a LEAN-megvalósítás technikái, a bevezetés, fenntartás kérdései.
2. Gyakorlati oktatási anyagok kidolgozása: veszteség-csökkentés, értékáram-feltérképezés, KAIZEN, LEAN-alapú gyártás, LEAN-alapú tervezés.

A LEAN-laboratóriumok koncepciójának és megvalósításának a kidolgozása.

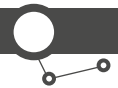
### WP3: Installációs fázis: A LEAN-laboratórium megvalósítása

1. Az oktatócella dokumentációjának összeállítása.
2. Az oktató cella alrendszerének és elemeinek kifejlesztése és megvalósítása.
3. Az eszközök beszerzése és beüzemelése.
4. Minta oktatások és képzések lefolytatása, az optimalizációs műveletek elvégzése.

### WP4: Disszeminációs fázis: Az eredmények elterjesztése

1. Az elért eredmények a projekt honlapján olvashatóak.
2. A megvalósult megoldások továbbfejlesztésre kerülnek, további modulok is beépültek az anyagokba.





## 5. GYAKORLATI FOGLALKOZÁS MODULJAI, ESZKÖZÖK

A gyakorlati foglalkozás moduljai az elméleti ismeretek elmélyítését szolgálják. Nagyon fontos, hogy hallgatók ne csak az előadóteremben hallgassák meg a LEAN-menedzsment alapjait és alapelveit, hanem kézzelfoghatóan a gyakorlatok során testközelből tapasztalják meg a rendszer működését. A laboratóriumi feladatok lehetőséget biztosítanak arra, hogy megismerhetők és feltárhatók legyenek azok az összefüggések, amelyek a LEAN termelési rendszer alapjainak és alapelveinek a koherens működését biztosítják. A gyakorlatok kiválasztásának szempontja is az volt, hogy a hallgatók meglássák az egyes elemek szerepét és fontosságát.

A gyakorlati képzésen a LEAN-labor jelenlegi kialakítása mellett maximum 20 fő tud részt venni.

### 5.1 Az 5s módszer a LEAN-alapú termelés megvalósításához (1. ábra)

A gyakorlati képzéshez a termelési folyamatokat úgy kell kialakítani, hogy felismerhető legyen, hogyan zajlik a termelés. Az eltérések azonnal váljanak láthatóvá. Ezt az 5s-módszer szisztematikus alkalmazása segíti (kiválogatás, rendrakás, a munkahely tisztán tartása, a munkaszabványok betartása, az összes lépés ismételt megtétele és folyamatos fejlesztése).

Az oktatási modul során az ismeretsajátítás lényeges pontjai:

- A tiszta és áttekinthető munkakörnyezet hatása a teljesítményre és a költségekre.
- Az eltérések láthatóvá válása.
- A szabványosított folyamatok felismerhetőek és vizualizáltak legyenek.
- A felelősség a fenntartásban.
- A dolgozók bevonása a szabványosítási javaslatokba.
- Padlójelölések, színjelölések, feliratok alkalmazása.



1. ábra: 5s munkaállomások

#### Gyakorlat:

A hallgatók kétfős csoportokban gyakorolnak. A munkasztalon, mágneses fólián számokat találnak 1-től 99-ig. A számokat különböző elrendezésben és szisztéma szerint kell megjelölni az egyes részműveletekben. A rendelkezésre álló idő alatt egyrészről regisztrálásra kerül az elért teljesítmény (meddig jutott el a részvevő, hányadik számot jelölte), másrészről észre kell venni az elrendezésben jelentkező eltérést (hiányzó számot).

### 5.2 Ajtó-előszerelő modul (2. ábra)

A szabványosítás a LEAN-rendszerű gyártás alapja, azt határozza meg, hogy milyen módon hajtanak végre egy munkafolyamatot. Az érvényességi területen (tartalmilag és helyileg) standardokban állapodnak meg. Minden egyes standard egy bizonyos időpontban egy feladat végrehajtásának legjobb és legbiztosabb módját rögzíti.

A szabványosítás célja a folyamat biztonságának a garantálása. Fontos, hogy a standard és minden eltérés vizuálisan felismerhető (látható) legyen. A szabványosítás nem korlátozhatja a termelés rugalmasságát. A szabványosítás segít annak megakadályozásában, hogy egy folyamat visszaessen egy korábbi nem hatékony állapotra. A cél az, hogy a munkafolyamatok változásait a munkatársak aktív részvételével elsődlegesen magukban a gyártó-teamekben hajtsuk végre. A standardok lényege nem az örök időre szóló rögzítettségük, hanem, hogy javítások révén módosítsuk azokat, így hatékonyabbá téve a folyamatokat. Ez lehetőséget ad arra, hogy a team minden tagját a szabványosítás folyamatába bevonjuk.

A LEAN-alapú termelési rendszeren belül a szabványosított alrendszer biztosítja, hogy minden folyamat olyan módon járuljon hozzá a termék gyártásához, amely biztonságos, hatékony és megbízható minőségű. Azt is biztosítja, hogy a vállalat minden tevékenységének folyamatába a minőség kezdettől fogva beépüljön.



2. ábra: ajtó előszerelő állomás

#### Gyakorlat

A hallgatók két csoportban végeznek ajtó-előszerelési műveletet. Egy kiindulási, optimalizálás előtti állapotot kapnak, amelyet nekik kell a már megismert 5s elvek szerint berendezni. Az elrendezés után első fordulóban elvégzik a szerelést. A művelet kiértékelése során javítási elképzeléseket fogalmaznak meg. Az optimalizált művelet végrehajtásával verifikálják az eredményt, majd az így meghatározott műveletet szabványosítják.

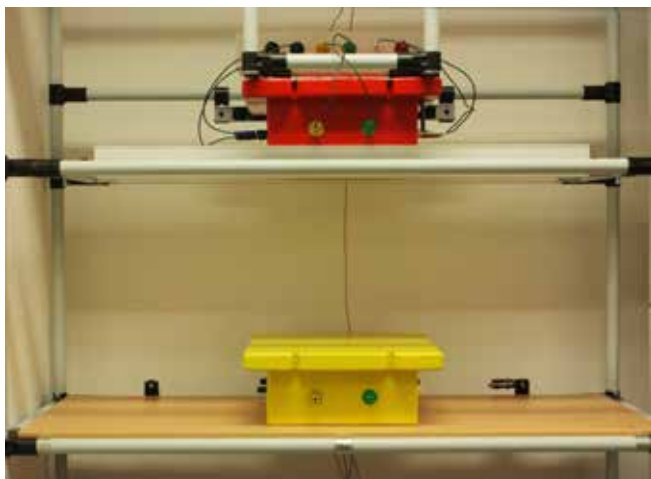
### 5.3 SMED, gyors szerszámcsere (3. ábra)

A „karcsú” (LEAN) termelés alapeleme az egydarabos áramlás, a lehető legkisebb sorozatnagyság alkalmazása. A megvalósítás kulcseleme a szerszámok, gépek gyors átszerelése, átállítása az új típusra.

**Gyakorlat:**

A hallgatók a gyakorlat során a SMED négy lépését gyakorolják be.

1. lépés: átállítási művelet dokumentálása, a belső és külső műveletek szétválasztása.
2. lépés: a belső átállítás átterhelése külső műveletekké, ahol csak lehetséges.
3. lépés: a maradék belső átállítási műveletek optimalizálása.
4. lépés: az átállítási rutinok részeként a szükséges korrekciók alkalmazása.



3. ábra: présmodul

**A SMED présmodul**

Az oktatási présmodul valós ipari munkafolyamatot modellez. A korszerű autók önhordó kocsciteste számos előregyártott, préselt elemből tevődik össze. Ezeket az elemeket nagy nyomóerejű présgépek sík lemezből állítják elő. A présgépek kritikus alkotórészei a kivágó és formázó szerszámok, melyeket gyakran szükséges cserélni a formák változtatása, vagy kopás, meghibásodás esetén. Ez a tantermi modul egy ilyen présszerszám kicserélésének folyamatát mutatja be, tanulási, gyakorlati lehetőséget teremt a műveletelemzés és tervezés komplex folyamatára. A modul kiindulási változatában a szerszámcsere egy stilizált hidraulikus emelőtargonca igénybevételel történik. A targoncával cserélendő szerszám alátámasztható, majd a targoncával a szerszám a műszaki állapotától függő helyre szállítható. A szerszám lehet karbantartással, javítással ismét felhasználható, vagy jelentős kopás, meghibásodás esetén selejtezendő. Ezután a raktárból az új szerszámot a targoncával a présgéphez lehet szállítani. A szerszámcsere művelete a rögzítőcsavarok meghúzásával, majd a csavarkötés biztonságát igazoló elektromos kábelek összekapcsolásával fejeződik be. A présgépen végzett különböző műveleteket a kiépített elektromos rendszer követi és piros, illetve zöld fényű lámpával jelzi a présgép üzemben kívüli vagy üzemkész állapotát. A csere első műveleténél már kigyullad a piros, és a művelet végén a zöld jelzőfény. Így a teljes folyamat időtartama pontosan mérhető. A fejlesztett, innovatív változat lényegesen újabb műszaki és műveleti struktúrával rendelkezik. A cserélendő szerszám egy felbillenthető görgősorral támasztható alá, amelyre a csavarkötések és a kontroll kábelek eltávolítása után a szerszám felfekszik. A szerszám a présgéptől egy alkalmas görgősoron szállítható a karbantartási vagy a selejtezési raktárba. Az új szerszám a raktárból a présgépig kiépített harmadik görgősoron érkezik, ahol megfelelően rögzíthető. Az alátámasztó görgősor felbillentésekor kialszik a zöld és kigyullad a piros jelzőfény. Ekkor indulhat az egész művelet időtartamának mérése. Az utolsó műveletelem, vagyis alátámasztó

görgősor visszabillentése után kigyulladó zöld fény a présgép üzembe helyezésének időpontját mutatja. A két fényjelzés közötti idő egyértelműen a cserefolyamat teljes időtartamát mutatja. A kiindulási és a fejlesztett változat műveleteinek számát és a műveleti időtartamot összehasonlítva, legalább 50 százaléknyi különbséget lehet regisztrálni.

**5.4 Minigyár (4. ábra)**

A minigyárban a hallgatók a LEAN termelési rendszer alapelveit sajátíthatják el.

**Kiegyenlített termelés**

A termelési darabszámot azért „simítják ki”, hogy az kiegyenlített termelésáramlást biztosítson, és hogy „húzó termelési rendszert” és hatékony anyagáramlást tegyen lehetővé.

Az elsajátításra kerülő ismeretek:

- A termelési volumen és a variancia kiegyenlítése, annak érdekében, hogy a munkatársaknak egyenletes munkamennyiséget biztosítsanak a gyártott típusok átlagában. Hatékony húzórendszert tegyenek lehetővé a különböző munkatartalmat igénylő extra felszereltségek gyártásának egyenletes elosztására, a munkatársak 100%-os kiterhelésének érdekében.

Az alkalmazandó módszerek:

- Termelésiprogram-tervezés.
- „Gyöngysor” a járműgyárban.

**Húzó termelésirányítás**

Minden termelési folyamat a következő folyamat igényére gyárt vagy szerel. Az anyagmozgatást az anyag fogyása vezérli. Ez egyúttal az összes folyamat stabilitását követeli meg, azaz a hibák következetes megelőzését, illetve megszüntetését.

A legfontosabb alapelv:

- Az anyagot a tényleges fogyasztás alapján gyártják, rendelik, nem a tervezett vagy előre jelzett szükségletek alapján.

Az alkalmazandó módszerek:

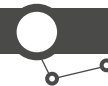
- Anyagáramlás-tervezés
- Fogyasztásvezérelt logisztikai ellátás
- KANBAN-rendszer



4. ábra: minigyár

**Folyamatos anyagáramlás**

A termelési folyamat úgy van szervezve, hogy folyamatosan, állandó ütemben halad a kezdettől a késztermékig. Az optimális áramlás során egyik darab a másikat követi. Ott, ahol gyártási



sorozat szükséges, a sorozatoknak a lehető legkisebbeknek kell lenniük.

Az alkalmazandó módszerek:

- Kommissiózás / szekvencia képzés.
- Gyors átszerelés.
- Árukosárképzés.
- Egy darabos áramlás (one piece flow).
- First In First Out (FIFO).

#### Just in Time filozófia

A szerelési darabszámok és a sor ciklusideje a vevői igényen alapulnak. Minden folyamat úgy van kialakítva, hogy a ciklusidő az ütemidőhöz igazodjon.

Az alkalmazandó módszerek:

- Rögzített ütemidő.
- Logisztikai ellátási program.

#### Folyamatos fejlesztés

A munkabiztonságot, minőséget, kiszállítási hűséget, költségeket és a munkatársak elkötelezettségét folyamatosan kell javítani. A termelésben a jobb eredményeket a „pazarlás” (veszteségek) megszüntetésével és az átfutási idők csökkentésével kell elérni.

Lényeges jellemzők:

- A munkatársak hangsúlyos részvétele a folyamat minden fázisában.
- A workshop-koncepciók bevezetése és aktív alkalmazása.
- A „pazarlás” minden fajtájának következetes felismerése és megszüntetése.

Az alkalmazandó módszerek:

- Tervezd – csináld – ellenőrizd – cselekedj (PDCA).
- A pazarlás 7 fajtája.
- 5 miért (5M).
- Grafikus folyamatlemezés.
- Kaizen-workshop.
- Változásmenedzsment.

#### Gyakorlat

A hallgatók egy hat munkahelyből álló minigyárban dolgoznak. A termelést különböző munkatartalommal és elrendezésben végzik. A kiinduló állapotban a fejlesztés előtti változat elemzése során tárják fel az alkalmazandó módszerekben rejlő lehetőségeket. Kézzelfogható közelségbe kerül a LEAN-alapok és alapelvek megvalósításának módszertana, a folyamatos fejlesztési eljárásban rejlő lehetőségek megismerése. A workshop eredményeinek felhasználásával, optimalizált elrendezésben megvalósítják a vevői ütemnek megfelelő veszteségmentes gyártást. A minigyárban a hallgatók játékauto-gyártó sort optimalizálnak. A szerepek felosztása: 6 fő gyártósori összeszerelő, logisztikus, gyártási mutatószám mérők, veszteségelemzők, megfigyelők. Az egyes termelésvariációkban a szerepek felcserélésre kerülnek.

#### Kerékszerelő modul

A kerékszerelő modul az autógyártó sor egyik eleme. Ennek a résztvevőknek a valós, ipari munkafolyamata során a gumibroncs és a keréktárcsa összeszerelése révén jön létre a komplett kerék, amelyik csatlakozik az autószerelés alap munkafolyamatához. Ennek szemléltetéséhez, elemzéséhez olyan oktatási modul szolgál, amelyik tantermi léptékben lehetővé teszi a gyártási folyamat műveleti elemekre bontását, azok időtartamának, sorrendjének vizsgálatát, az egész

folyamat áttervezését, optimalizálását. A laboratórium mindegyik oktatási modulja legalább kétféle struktúrájú változatban készült. A kiindulási változat egyszerű eszközökből, lineárisan összekapcsolt műveletelemből áll, így tág lehetőséget kínál a kreatív továbbfejlesztésre. A második, vagyis a fejlesztett változat az eszközök integráltabb szerkezetének, a műveletek optimális összekapcsolását tükrözi. A kerékszerelő modul kiindulási változatának alapeszközét egykaros kézi prés képezi, melyen a keréktárcsa ki- és beszerelésének végrehajtásához szükséges szerszámok csavarkötéssel cserélhetőek, meghatározott műveleti időtartam alatt. A gumibroncs befogására egy mély ágyazású felfogó asztal szolgál. A fejlesztett, innovatív változat univerzális, integrált szerszáma egyetlen mozdulattal átállítható a különböző műveletekhez. A gumibroncs behelyezése, pozicionálása egy félig nyitott alátámasztó ívben egyetlen művelettel teljesíthető. A két változat műveleteinek száma közel 30 százalékban, a műveleti időtartama több mint 40 százalékban különbözik. Ez a különbség szemléletesen igazolja a kreatív gyártástervezés és szervezés hatékonyságát.

#### 5.5 VSM – „Value Stream Mapping”, Értékáram-feltérképezés (5. ábra)

A LEAN-menedzsment lényege, hogy az üzleti működés és annak fejlesztése középpontjába a „hozzáadott értéket” állítják. Mi az, ami értéket teremt, mi az, amiért hajlandóak fizetni az ügyfelek? Minden egyéb tevékenység veszteség. Tehát veszteség, ha olyan terméket vagy szolgáltatást állítanak elő, amire nincs igény, ha feleslegesen erőforrásokat, energiát használnak fel ennek érdekében. A LEAN-filozófia lényege, hogy a veszteségek folyamatos kiküszöbölésével csökkenti az érték-előállítási folyamat átfutási idejét (és a gyártásban lévő készleteket), így hatékonyan, gyorsabban és rugalmasabban tudnak reagálni a vevők igényeire, ezzel jelentősen növelve cégük versenyképességét és a cégen belüli tőkeforgási sebességet. Az értékáram-központú megközelítés, nem egy egyszerű költségcsökkentést takar, hanem a vevői igények kielégítéséhez szükséges tevékenységek és azok erőforrásigényének szisztematikus átgondolását, a folyamataikban, a működésben lévő veszteségek feltárását és csökkentését, ami megalapozott, a valós igényekhez és lehetőségekhez igazodó, hosszú távon is eredményes költségcsökkentéssel jár.

A hallgatók a modul során megismerkednek az értékáram-feltérképezés módszertanával. Kiindulási állapotban megkapják egy minta cég tevékenységének, gyártási folyamatának leírását. A leírást leképezik az értékáram-feltérképezés standard jelölési rendszerével. A rendszert vizsgálják, fejlesztési lehetőségeket tárnak fel és elkészítenek egy optimalizált modellt, amelyet kiértékelnek és megbeszélnek. A modul részeként már kapcsolódási pontokat fogalmaznak meg az ellátási láncsal szemben támasztott követelmények felé, amellyel előkészítik a következő modult.

#### Gyakorlat:

A hallgatók 4 csoportban végzik el az értékáram-feltérképezést és -elemzést.

- Felveszik egy minta vállalt folyamatait.
- Elemzik a folyamatokat, az átfutási idő csökkentésének és a veszteségek feltárásának érdekében.
- Javaslatokat dolgoznak ki az optimalizált működéshez, felveszik az új elrendezés értékáramát.

A feladatot mágnes táblán, a szabványos VSM-jelölések használatával végzik el.





5. ábra: értékáram-feltérképezés

### 5.6 Logisztika, beszállítói lánc optimalizálása (6. ábra)

A modern, nagy termelékenységgű gépek elterjedésével egyre inkább előtérbe kerül a gépkiszolgálás hatékonyságának kérdése. Nem elég a gyártási műveletet rövid idő alatt, hatékonyan elvégezni, de gondoskodni kell a termelőberendezés, szerelősor alapanyag-, alkatrészellátásáról is. Ugyancsak lényeges kérdés az elkészült, kész termék továbbítása a következő művelethez vagy a vevőhöz. A LEAN-menedzsment filozófia az egymást követő folyamatokban a vevő-szállító felfogást állítja a középpontba. Ebben a feladatban a hallgatók a belső és külső ellátási lánc megoldásait modellezzik.



6. ábra: logisztikai gyakorlat

#### Gyakorlat:

A hallgatók három változatban modellezzik az ellátási lánc működését:

1. változat: hagyományos anyagellátás, tolórendszer,
2. változat: anyagellátás húzó rendszer segítségével, kanban alkalmazásával,
3. változat: anyagellátás húzó rendszer segítségével, ütemezett, igényhez alkalmazkodó módon.

A gyakorlat során műanyag játékok az alkatrészeket, szabványos autóiipari tárolók a szállító eszközöket modellezzik. Mindhárom változatban a cél a termelési program időre és minőségre történő megvalósítása.

## 6. MEGVALÓSULÁS

### A laboratórium hely és eszközoptimalizálása

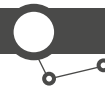
A LEAN-labor tervezésekor igen szigorú kényszerítő kezdeti feltételt jelentett a rendelkezésre álló helyiség szűkös alapterülete. Így már a projekt elején kompromisszumot kellett kötni az oktatás színvonalas és tartalmas felépítésére törekvő igények és az objektív lehetőségek között. De ez a kompromisszum nem jelentette az egyes részprogramok szűkítését, egyszerűsítését. Mindenképpen követendő célként kellett kitűzni a LEAN-technológiának az ipari gyakorlatban alkalmazott elemeinek a bemutatását. Ennek érdekében a projekt megvalósítása során a tervezés és a kivitelezés meghatározó mottója volt a mobilitás és a transzformálhatóság. A laboratórium minden eszközére, berendezésére sikerült ezt a követelményt érvényesíteni, túlzás nélkül állítható, hogy sikerült a hely kihasználásának, az eszközök konstrukciójának optimális mértékét megvalósítani. Ehhez nagymértékben hozzájárult a Trilogiq-rendszer szerkezeti variálhatósága, rugalmassága. A laboratórium mindössze 70 m<sup>2</sup> területén sikerült olyan 6 komplett oktatási modul bemutatását, oktatását, gyakorlását megteremteni, amely leginkább jelképezi a LEAN-technológia lényegét és technikai lehetőségeit. Az eszközök és berendezések mobilitását, gyors átrendezését az aljuk szerelt önbeálló, fékezhető kerekek szolgálják. Így rövid időn belül a kijelölt helyükre tothatóak az asztalok, a szerelőpultok, a tárolóállványok, az elemző táblák, a raktári polcok, a szerelőberendezések.



7. ábra: oktatóterem elrendezése

Az oktatási célú tanterem (7. ábra) perceként ipari gyártósorokkal felszerelt üzemsarnokká alakítható. Az eszközök valódi transzformerek. A 80 cm magas tanulói és tanári asztalok a teleszkópos lábazatuk jóvoltából 4–4 csavarkötés megbontásával 96 cm magas ipari szerelőpultokká alakíthatóak. Az 50x130 cm helyigényű kerek emelő mágneses táblák 2–2 csavar leszerelése után már csak 4x130 cm helyet igényelnek, ezáltal a 9 darab tábla egyetlen faliszekrényben elhelyezhető, melynek kihajtható ajtaja egyben tanári táblaként szolgálhat. A présmodul hidraulikus targoncáját az egyik tárolóállvány átszerelt változata képezi. A tárolóállványok alkatrésztároló ládáinak görgősorából lehet a prés számszállító pályáját kialakítani. Magának a laboratóriumnak a különböző célú átalakítása olyan összetett, több műveletből felépíthető folyamat, mely önmagában is lehet egy LEAN-program önálló gyakorló feladata, tehát nevezhető LEAN-technológiával kialakított LEAN-labornak, vagyis „LEAN2” labornak.





## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyre nagyobb mértékben globalizálódó világunk új kihívások elé állítja az ipari termelést, és ennek kapcsán a termelésben résztvevő kollégákat is. Az ipari hatékonyságnövekedés drámai mértékben folytatódik, amely nemcsak a műszaki-technológiai fejlesztéseknek, hanem a termelés-szervezési erőfeszítéseknek is köszönhető. A LEAN-alapú termelési rendszerek szinte minden iparágban fellelhetők, de egyre jelentősebb a hatásuk a gépjárműgyártás területén. A frissen végzett járműmérnököknek ebben a világban kell helyet találniuk. A LEANLAB projekt azt a célt szolgálja, hogy a végzett hallgatók birtokában legyenek minden olyan képességnek, szemléletmódnak és konkrét tudásnak, amely segíti őket a gépjárműgyártóknál a LEAN-rendszerű gyártásba való bekapcsolódásban.

A cél eléréséhez Magyarország–Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program részét képező pályázat sikeres megvalósítása eredményeként a LEAN-rendszerű gyártás egyetemi szintű elméleti és gyakorlati oktatásához létrejött

a korszerű tematika, oktatási anyag és laboratórium. Az EJJT saját tervezésében és kivitelezésében olyan objektum született, amely az alapterület kihasználásának, az eszközök és berendezések funkciójának és struktúrájának optimalizálásával minden LEAN-rendszer gyártó kapcsolódó gyakorlati oktatási igényét kielégíti. A laboratórium a tényleges ipari tevékenységek modellezésével lehetővé teszi az elméleti ismeretek és a gyakorlatfolyamatok interaktív elsajátítását, és ezáltal elősegíti ezen az oktatási területen képzett mérnököknek, hogy a diploma megszerzése után közvetlenül részt vehessenek a LEAN-rendszerű gyártásban. ●



Magyarországi Műszaki Egyetem EJJT Járműipari Tudásközpont



Magyarország-Szlovákia  
Határon Átnyúló Együttműködési  
Program 2007-2013

**Partnerséget építünk**

### IRODALOM

- [1] Dr. Stukovszky Zsolt BME EJJT igazgató, Ászity Sándor okl. gépészmérnök – LEAN Termelési Rendszer a magyarországi autóiiparban – A Jövő Járműve 2012. 03/04
- [2] Stefan Babjak TU Kassa, Szlovákia egyetemi tanársegéd, Stefan Kender TU Kassa, Szlovákia egyetemi tanársegéd, Michal Dúbravčík TU Kassa, Szlovákia egyetemi tanársegéd – LEAN creative automotive product desing (LCAPD) – A Jövő Járműve 2012. 03/04
- [3] Stefan Babjak TU Kassa, Szlovákia egyetemi tanársegéd: Elképzelés a Lean ismeret és laboratóriumok létrehozása” projekt keretében megvalósuló képzésre – A Jövő Járműve 2013. 01/02
- [4] John Bicheno Lean Enterprise Research Centre, Cardiff Business School, Matthias Holweg Judge Business school, University of Cambridge – The Lean Toolbox – PICSIE Books, 2009
- [5] The Productivity Press Development Team – Quick Changeover for Operators – Productivity Press, New York
- [6] Lonnie Wilson – How to Implement Lean Manufacturing – 2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [7] prof. Ing. Milan Kováč, DrSc. et al. - Effective methods of education and training for Lean – Kassa, 2013 ,
- [8] prof. Ing. Milan Kováč, DrSc. et al. Training Laboratories for LEAN methods learning – Kassa, 2013.

# Az autóipar útja a válságtól a fellendülésig (2008–2013)

## A KÍNAI SIKERTÖRTÉNET?!

STUKOVSKY TAMÁS

Phd hallgató

Budapesti Corvinus Egyetem

2010-től a járműipar világszinten folyamatosan növekszik mind a gyártás, mind az eladások terén, miközben a Triád országai gyengélkednek, a BRIC országok kiemelkedő növekedést produkálnak. Az elmúlt években egy jelentős piaci átalakulásnak lehettünk szemtanúi, Kína világszerte a termelés és az eladások tekintetében is, a hatalmas keresletet látva, egyre több nemzetközi vállalat hozta létre saját gyártókapacitását az országban, a nagyobb profit reményében. Mi vezetett a piac ilyen mértékű átalakulásához? Elképzelhető, hogy a BRIC országok befolyásolják a jövőben a járműipari tendenciákat? Ezekre és még sok más hasonló kérdésre keresem a választ ebben a cikkben.

The main purpose of this article is to examine the rapid growth of the automotive industry both in the field of selling, as well as manufacturing from 2010, two years after the World Economic Crisis of 2008. After doing a thorough research it can be stated that we are part of a vigorous economical change. While in Europe the demands of consumers have dynamically changed, and the rates show a continuous decrease in car selling, the countries of Brazil, Russia, India and China might become the biggest powers of automotive market in five years, supplanting the EU and Japan, as well. The article will put an emphasis on the significance of the BRIC countries in this issue of growth, furthermore, it will analyse deeper the role of China, which can be mentioned today as the lead power of automotive industry. On the one hand, the article is going to examine the importance of new consumers in China for the automotive industry, as well as study the main consequences of the sudden enrichment of certain layers of Chinese society. Finally, the article will try to find an answer to the important question of how long this growth pace which is beyond belief can last.

## BEVEZETÉS

5 év telt el a 2008-as válság kitörése óta, és gyakorlatilag 2010-től a járműipar világszinten folyamatosan növekszik mind a gyártás, mind az eladások terén. Látszólag egy sikertörténetnek vagyunk a szemtanúi, de a számok mélyére tekintve belátható, hogy erőteljes piaci átalakulás megy végbe a szemünk előtt. Európában csökkennek az eladások, és a fogyasztói igények is megváltoztak, amelyekhez időbe telik alkalmazkodni. Ezzel szemben a BRIC országok jelenlegi növekedési ütemüket tartva 5 éven belül a legnagyobb személyautó-piacá válhatnak, kiszorítva az EU-t és Japánt. Kína gazdaságpolitikai fontossága az elmúlt évtizedekben jelentős mértékben nőtt, és mára a világ 3 legbefolyásosabb államának egyike, ahol az 1970-es évek vége óta – a nemzetközi nyitás politikájának köszönhetően – külföldi vállalatok is megvetették lábukat, egyre többet mutatva a kínai társadalomnak a piaccgazdálkodásról és a nyugati jólétről. Mára egyértelműen Kína vált a járműipar motorjává, valamivel több, mint 10 év alatt jutottak el az évi 0,5 millió jármű gyártásától a világ vezető pozíciójáig, előnyüket pedig folyamatosan növelik a gyengélkedő Triáddal (USA, EU, Japán) szemben. A járműipar sem létezhet fogyasztók nélkül, sőt új fogyasztók feltűnése új piacok megjelenését vonhatja maga után, és Kínában is pontosan ez történt, illetve történik ma is. A kínai társadalom bizonyos rétegei meggazdagodásának következtében, és a kínai diktatúra az enyhülésének is köszönhetően, hatalmas kereslet támadt a gépjárművek iránt az országban. Ez a kereslet, kiegészülve az olcsó kínai munkaerővel, olyan vonzóerő a nagy járműgyártó multinacionális vállalatoknak, hogy várhatóan mind a termelés, mind az értékesítés soha nem látott mértékben áthelyeződik az ázsiai piacokra.

## A VÁLSÁG ÉS KÖZVETLEN UTÓÉLETE

A 2008-as gazdasági világválság a pénzügyi piacok után a legnagyobb mértékben a járműipart tépázta meg. A válság bekövetkeztéhez a hosszú ideig alacsony globális kamatkörnyezet,

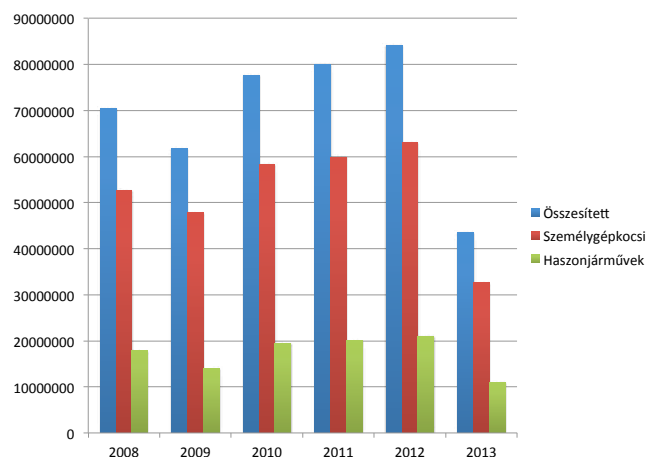
és a globalizáció eredményeképpen kialakuló, az egész világra kiterjedő pénzügyi és finansziális egyensúlytalanságok vezettek. A válság komoly méretében a gyors lakásár-infláció, a pénzügyi eszközök szisztematikus drágulása és a jelzáloghitelek értékpapírosítása miatti összekapcsolódás, valamint a piaci „lufik” kipukkanása játszott szerepet. Megfigyelhető, hogy a válság drasztikus elterjedésében milyen fontos szerepe volt a világ gazdasági és pénzügyi integrációjának, sokkal gyorsabban söpört végig a földtekén, mint bármelyik korábbi válság. Pontosan a járműipar összetettsége – és kitettsége más iparágakkal szemben – okozta akkoriban a veszét. 2009-ben Európában több országban bevezették a „roncsautó”-programot, aminek köszönhetően a személygépkocsi-értékesítések a válság előtti kibocsátási szintek közelébe ugrottak vissza. A program lényegeként – jellemzően környezetvédelmi indokokra alapozva – a régi, előregedett járműveket állami támogatással lehetett új, környezetkímélőbb típusra cserélni, ezzel mesterségesen életet lehelve a piacba. 2010-ben már azok a kormányok sem voltak képesek finanszírozni a programot, akik addig megtehették, az elhúzódsó válság következtében erre már nem tudtak további forrásokat mozgósítani. A mesterséges piacösztönző megoldás kivezetésével a termelés és az eladások ismét csökkenni kezdtek. A járműipar szerencséje, hogy a főleg BRIC országokból származó keresletnövekedés nem hagyta visszazuhanni az iparágat recesszióba, és új piaci célokat segített megfogalmazni. Míg az USA-ban a 2008-as válság után relatíve gyorsan következett a konszolidáció, addig Európában a pénzügyi válság bő 2 év alatt átalakult egy külön európai adósságválsággá, ahol több államot fenyegetett az államcsőd. Érthető módon a továbbra is válságos körülmények között élő európai állampolgárok nem szívesen költöttek új gépjárművek vásárlására, inkább elhalasztották azt. Az európai adósságválságnak még közel sincs vége, viszont a jelen helyzetben még nem megbecsülhető, hogy milyen irányt vesz az elkövetkező pár hónap vagy pár év gazdasági és politikai forgatókönyve. A lassú, nehézkes konszolidáció mellett lehetőségként az sem zárható ki, hogy akár a magas munkanélküliséggel rendelkező Spanyolország, vagy a lassan kezelhetetlenné váló mértékben eladósodott Olaszország és



Görögország, vagy tulajdonképpen bármelyik nehéz helyzetben lévő, szintén jelentős adóssággal, illetve magas munkanélküliségi rátával rendelkező EU-tagállam valamilyen aktuális exogén sokk hatására kezelhetetlen válságba kerül. Ez magával ránthatja az egész európai piacot, ami pedig világméretű válsághoz vezethet, és kedvezőtlen esetben még nagyobb katasztrófával járhatna, mint a 2008-as válság volt. Nemcsak Európa, de a világ többi része sem heverte ki még igazán a 2008-as történések hatásait. Bár Kínában a növekedés töretlen, de az elmúlt években a mértéke visszaesett, így a gazdaság szereplői érdeklődve figyelik, hogy a járműiparban végbemenő, Kína irányába történő súlypont-áthelyezés új lendületet adhat-e a kínai növekedésnek.

## JÁRMŰIPARI TERMELÉSEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A VILÁGBAN

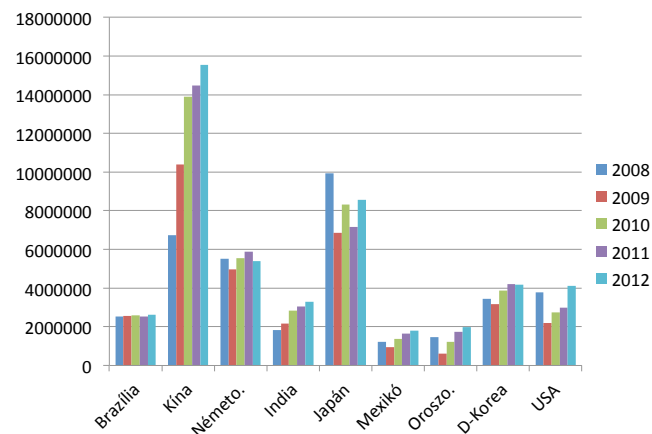
2011 után ismét csúcspontot döntött a világ járműgyártása, 2012-ben 5,1%-kal haladta meg a kibocsátás volumene az előző évet, 84,1 milliós darabot gyártva összesen. Látni a 2013 második negyedévi adatokat, a növekedés üteme idén sem fog megtorpanni. Az **1. ábrán** egyben áttekinthetjük a válság kirobbanása óta eltelt évek világszinten összesített – valamint személygépjárművekre és haszongépjárművekre szétbontott – járműgyártási adatait.



1. ábra: a világ gépjárműgyártása 2008–2013-ig. Forrás: saját ábra „OICA Production Statistics” alapján

2008 első félévében még további növekedésre utaltak az adatok, de a válság kirobbanásával év végére a termelési számok 2007-hez képest 3,7%-kal visszaestek. 2009-ben körülbelül 9 millió darabbal kevesebb gépjármű gurult ki a gyárakból, ez 2008-hoz képest 12,4%-os visszaesésnek felel meg. Érdekes megfigyelni, hogy a haszongépjárművek és a személygépkocsik előállításának terén tapasztalt csökkenés igencsak eltér. Míg a személygépkocsik piacán 9,4%-os, addig a haszongépjárművek esetében 21,2%-os volt a visszaesés. Jól látható, hogy 2010 év végére a gépjárműgyártási adatok nemcsak elérték a válság előtti kibocsátási szintet, hanem a személygépkocsi-gyártásnak köszönhetően jelentős mértékben meg is haladták azt. 2010-ben 2009-hez képest 25,9%-kal, azaz majdnem 16 millió darabbal több járművet készítettek! 2010-től napjainkig a gépjárműgyártás is egy stabil növekedési pályára állt rá, évi 3,5–5%-os növekedési ütemmel. A 2013-as első félévi adatok szerepelnek még az ábrán, ebben az időszakban 2012 ugyanezen időszakához képest 1,6%-os növekedés figyelhető meg, de a további növekedést előrevetíti az a tény, hogy Kína idén októberig aggregált termelése 13,5%-kal több, mint 2012 októberig, ami számszerűsítve máris 2,2 millióval több legyártott gépjárművet jelent.

Felmerül a kérdés, hogy minek köszönhető ez a gyors, és bizonyos szempontból nem várt piaci konszolidáció, majd az azt követő fellendülés. A válaszokhoz még mélyebbre érdemes ásni az adathalmazban, azaz tekintsük át a kiemelt országok személygépjármű-gyártási adatait a 2008–2012-ig terjedő időszakban. A **2. ábrán** szereplő országokat a következő logika alapján válogattam össze. A BRIC országok gazdasági és járműipari potenciálja az egész világ növekedési trendjeit meghatározza, Dél-Korea, Németország, Japán és az USA járműipari kiemelt fontossága megkérdőjelezhetetlen, míg Mexikó az új, eddig még kevésbé kiaknázott, de hatalmas potenciállal rendelkező piaci szereplőket képviseli.



2. ábra: a világ vezető személygépkocsi-gyártó országainak éves termelési mennyiségei 2008–2013-ig. Forrás: saját ábra „OICA Production Statistics 2007–2013” alapján

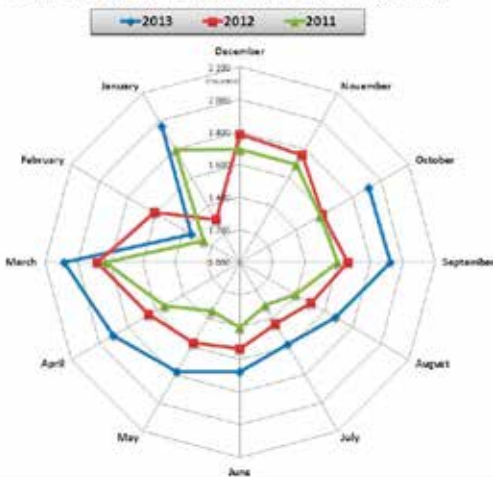
Első ránézésre látszik, hogy Brazília milyen egyenesen termelt a világválság ellenére. Alátámasztja ezt az, hogy a vizsgált időszakban előállított kocsi számának évenkénti szórása mindössze 1,5%-a az erre az 5 évre vetített brazil termelési átlagnak. Érdekes a feltételező brazil piacra odafigyelni, mert a 2. negyedévi adataik már 18,1%-kal jobb értékeket mutattak, ami a jelek szerint pozitív trendváltást jelent. A németek nagyjából kiegyensúlyozottan, és a piaci körülményeknek megfelelően állítottak elő személygépkocsikat, 2009-ben 13,8%-kal állítottak elő kevesebbet mint 2008-ban, míg 2010-ben gyakorlatilag visszatértek a válság előtti kibocsátási szintre, mindössze 2%-kal maradtak el tőle. A kedvező 2011-es év után jelentkeztek az egész Európára jellemző eladási problémák, ez a 2012-es értékesítési és termelési adatokon is 7–8%-os visszaesést jelent. 2013 felénél tavalyhoz képest a németek további 3,1%-nál jártak. Japán termelése meglehetősen rapszodikusnak mondható, a válság előtt a világelső volt a személygépkocsik gyártásában, de 2009 óta csak a második helyre szorult Kína mögött. 2009-ben 31,5%-kal esett vissza a termelésük (ez több mint 3,1 millió személygépjármű), 2010-ben hiába produkáltak 12% körüli emelkedést, a 2011. márciusi fukusimai katasztrófa az egész japán gazdaságot komolyan visszavetette, így ismét csökkent a kibocsátás 12,8%-kal. 2012-ben konszolidálódni látszott a helyzet, de a 2013-as adatok alapján esetükben is ismét visszaeséssel kell kalkulálni.

Dél-Korea Németországhoz teljesen hasonló utat járt be, de termelése ismét csökkenő tendenciát mutat. A 2013-as további visszaesésben szerepet játszhat az Észak-Koreával kiújult konfliktus, és a megváltozott piaci elvárások is, amivel még a későbbiekben foglalkozom. Az USA termelése 2009-ben a válság gócpontjaként majd' 40%-kal esett vissza, és a lassú növekedés után, 2012-ben sikerült egy 20% körüli növekedéssel a válság előtti szintet valamivel meghaladni. Komoly veszteségeket szenvedett el a válság hatására az orosz járműipar is, a termelésük 59,5%-kal

esett vissza, arányaiban ez volt a legkomolyabb kibocsátási visszaesés, azóta viszont töretlen növekedési pályán vannak. Mexikó piaca hasonló módon viselkedett az orosz piachoz, csak a visszaesés nem volt olyan drasztikus, viszont itt is várhatóan kedvező növekedési kilátásokról számolhatunk be a következő években. Végül, de nem utolsósorban maradt a világ jelenlegi 2 legnépesebb állama, India és Kína. India mintha meg sem érezte volna a válságot, öt év töretlen fejlődéssel gyakorlatilag megduplázta személygépkocsi-gyártását. Mind termelési, mind eladási szempontból közel hasonló potenciális pályát futtat be a jövőben, mint amilyen pályán most Kína van, hiszen a kereslet a járművek iránt folyamatosan növekszik, a rúpia gyengülése is a betelepülni kívánó nemzetközi vállalatoknak kedvez. Ezzel el is érkeztünk elemzésem kulcsszereplőjéhez, Kínához. A világ legnagyobb országa 2009-ben 48%-kal növelte személygépkocsi-termelését, így Indiával karöltve ellensúlyozták a világpiacon összes többi szereplőjének a recesszióból fakadó csökkenését a gyártás terén. A járműgyártó vállalatok az elmúlt években felismerték a kínai piacban rejlő hihetetlen lehetőségeket, és folyamatosan nyitották meg új gyáraikat, termelési központjaikat. Az elsőként 1984-ben odatelepülő Volkswagen sanghaji közös vállalata óta minden jelentősebb járműipari gyártó létesített már egységeket Kína különböző területein, így nem meglepő, hogy 2010-ben 32%-os volt a termelés növekedésének mértéke, és 2013 év végére a folyamatos növekedésnek köszönhetően a 2008-as kibocsátás mértékének több mint 2,5-szeresét állíthatják elő!

Kína abszolút kulcsszereplővé vált a járműiparban, kiemelkedő növekedésével ellensúlyozza az európai, amerikai és japán piac gyengülését. India és Kína nélkül 2011 óta ismét csökkenne világszinten a termelés és az eladások mértéke. A **3. ábrán** tekinthető meg a kínai gépjárműgyártás alakulása, 2011-től 2013 októberéig.

**Gépjármű gyártás Kínában (2011, 2012, 2013)**

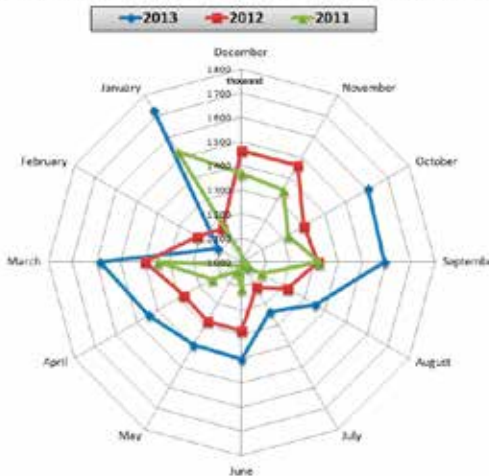


**3. ábra:** gépjárműgyártás Kínában (2011–2013). Forrás: saját ábra a CAAM „Monthly Statistic Report” alapján

A diagram látványosan szemlélteti, hogy 2011-től miképpen bővült a termelés volumene Kínában. Ha 2011 januárjától indulva az óramutató járásával ellentétes irányban elindulunk, akkor gyakorlatilag egyetlen törést leszámítva (2012 januárját), egy folyamatos vonalat húzva haladhatunk az ábra szélei felé, amelyek a növekedést szimbolizálják hónapokra lebontva, ezres léptékekben. Csakugyan megfigyelhetők az ábrán a tipikus járműipari szezonálisok, azaz az év második hónapjára jellemző komolyabb és a nyár végi enyhébb visszaesés, valamint a tavasz beköszöntével az év legkiemelkedőbbnek számító március–áprilisi növekedés. 2011-ben 18,43 millió gépjárművet

(személygépkocsik + haszongépjárművek) állítottak elő Kínában, majd 2012-ben 4,55%-os emelkedés után az évi gyártott mennyiség 19,27 millió darabra nőtt összesen, míg 2013-ban októberrel bezárólag 17,85 millió gépjárművet gyártottak le, ami az előző év októberéig aggregált mennyiséghez képest 13,5%-os növekedést mutat! Ezek az adatok megerősítik az utóbbi hónapok-évek tendenciáit, azaz a járműipari gyártási kapacitások áthelyezését és bővítését Kínába, de vizsgáljuk meg a **4. ábrán**, hogy mi érzékelhető mindebből a személygépkocsik értékesítésének kínai piacán!

**Személygépkocsi eladások Kínában(2011, 2012, 2013)**

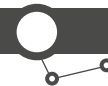


**4. ábra:** személygépkocsi-eladások Kínában (2011–2013). Forrás: saját ábra a CAAM „Monthly Statistic Report” alapján

A személygépkocsik értékesítése nagyságrendileg hasonló módon alakult a vizsgált időszakban, mint a gépjárművek gyártása, mégis megfigyelhetünk néhány alapvető különbséget. A legszembetűnőbb, hogy az eladások a kínai piacon sokkal gyorsabb ütemben növekedtek, mint a járművek előállításai üteme. Erre a magyarázat, hogy a gyártókapacitások már évek óta jelen vannak az országban, de a termékek iránti belső kereslet robbanásszerű növekedése csak az elmúlt években figyelhető meg, ami nagyban köszönhető egy fizetőképes társadalmi réteg megjelenésének, akiknek mind minőségi, biztonsági, megbízhatósági és designvársai a nyugat-európai fogyasztókhöz hasonló. Szintén figyelemre méltó, hogy az értékesítések sokkal inkább rapszodikusabb képet mutatnak, két egymást követő hónapban előfordulhat, hogy az értékesítés volumene 50%-ra eshet vissza. (Ne feledjük, az ábra „becsapós” lehet, hiszen nem nullapontja van, hanem az egymilliósi értéktől láthatóak a változások százezres léptékekben.) A bővülés az eladások esetében is szemmel jól látható, különösen ígéretes a 2013-as év. 2011-ben összesen 14,49 millió személygépjárművet adtak el Kínában, míg 2012-ben már 15,49 millió darabot, ez 6,9%-os növekedést jelent. 2013 októberéig 14,45 millió személygépkocsit értékesítettek, ami 2012 ugyanezen időszakához képest 15%-os, elképesztő bővülést mutat. Nem véletlenül próbálnak meg a nagy gyártók minél gyorsabban és minél nagyobb mértékben áttelepülni Kínába, hiszen a kínai piac még bőven hordoz magában potenciált, így boldogan alkalmazkodnak a helyi igényekhez.

A továbbiakban tekintsük át, hogy milyen társadalmi és gazdasági változások vezettek a kínai fogyasztói társadalom átalakulásához, ami a járműipari növekedés jelenlegi motorjának tekinthető.





## A KÍNAI TÁRSADALOM ÉS GAZDASÁG ÁTALAKULÁSA

A Kínai Kommunista Párt az 1970-es évek végén felismerte, hogy hatalmát csak akkor tudja valamilyen formában fenntartani, ha a kínai lakosság életszínvonala emelkedik, a gazdasági teljesítmény pedig egyértelműen javulást mutat, azaz a korábban alkalmazott központi tervezéssel felhagynak, és egyre inkább teret engednek a piaci alapú gazdaságnak. Ha csak pusztán a számokat vizsgáljuk, akkor több mint jól végezték munkájukat, hiszen míg 1978-ban az ország világgazdasági összpiaci részesedése 0,51%-os volt, addig 2013-ban ugyanez a mutató a becslések alapján 8,4%-os értéket vesz majd fel. A kínai társadalom átalakulásának szempontjából a legelső és legfontosabb lépéseknek az 1978-as „nyitási és modernizációs politikát”, illetve az 1984-es „városi reformokat” tekinthetjük. Ezeknek az intézkedéseknek az egyik eredményeként szabadabbá vált a mozgás a lakosság számára a különböző települések között, így egyre többen költöztek vidékről a városokba. A gazdasági növekedés első négy központja Peking, Tiencsin, Sanghaj és Csungking voltak. A régióhoz képest képzettebb és olcsó munkaerő, valamint a kedvezőbb infrastruktúra miatt a külföldi működő tőke (FDI) először ezekbe a városokba áramlott. Mindez nem válhatott volna valóra, ha a korábban igencsak zárkózott gazdaságpolitikát folytató kínai vezetés nem nyitja meg kapuit a nemzetközi vállalatok számára, beengedve az országba a külföldi tőkét, és a fejlődéshez elengedhetetlen technológiákat. Fontos lépcsőfok volt a gazdasági fejlődés szempontjából Kína felvételi kérelme a GATT-ba 1986-ban, majd sokéves egyeztetés után, 2002-ben felvételt nyert az akkorra már WTO-vá átalakult szervezetbe. A belépés következtében Kína csökkentette importvámjait, ezzel is megkönnyítve a nemzetközi vállalatoknak a piacra lépést. A gazdaság szerkezete is átalakult az évek során, a nyersanyag- és munkaerő-igényes, minimális technológiai szükségletekkel rendelkező iparágak (pl. textilipar) jelentősége csökkent; míg az összetettebb, magasabb technológiai színvonalú termékek (pl. gépgyártás, járműipar, információ-technológia) gyártása került előtérbe.

Kína demográfiai problémái pallosként lebegnek a kínai gazdaság feje felett. A népesség jelenleg körülbelül 1,37 milliárd fő, ami egészen a közelmúltig folyamatosan emelkedett. A növekedés ütemét az 1979-ben bevezetett, egy gyermeket engedélyező családtervezési politika szorította vissza, ami ráadásul még a nemek arányát is torzította, hiszen jelenleg 10 nőre 11,8 férfi jut. A népesség száma éveken belül csökkenő tendenciát fog mutatni, a lakosság pedig egyre inkább előregedik, bizonyítja ezt, hogy a népesség 13,14%-a 60 év feletti Kínában, de a nagyobb városokban még rosszabb a helyzet, Sanghajban például minden negyedik lakos elmúlt 60 éves, és 2020-ra várhatóan minden harmadik lakos ehhez a korosztályhoz fog tartozni. Ennek a folyamatnak eredményeként még az a szürreális helyzet is előállhat, hogy 2030 körül Kína szakmunkás-behozatalra szorulhat. Az „egy gyermek politika” eredményeképpen rengeteget investálnak a családok gyermekük nevelésébe, diplomásként viszont ez a réteg felnőve nem szívesen dolgozna majd gyárakban a „szalag” mellett. A vidéki képzetlen munkaerő pedig a jelenlegi formában alkalmatlan az ilyen jellegű munkavégzésre. Szintén komoly jövőbeli problémákat rejtegethet a városi lakosság polarizációja. Az 1984-es városi reformok óta szabadabban lehet az országon belül mozogni, így egyre többen költöztek a nagyobb városokba, a jobb élet reményében. 2013-ra a városi lakosságok nagyjából 32%-a vidékről migráns (ez kb. 95–98 millió fő), ráadásul több mint felének az ehhez szükséges engedélyek egyáltalán nem állnak rendelkezésre. Így a városi lakosság három pólusra oszlik, a szegényekre, akik alacsony és rendszeretlen jövedelmekből tartják el magukat, az általuk előállított termékek, szolgáltatások a nemzeti jövedelemben az esetek

többségében nem jelennek meg. A közép- és felső-középréteg anyagi helyzete az utóbbi időben jelentősen javult, főleg az elmúlt évek kínai átlagos kereseteihez képest. A vizsgálat szempontjából ez a vagyonosodási folyamat érdekes, hiszen az ily módon jobb körülmények közé kerülő fogyasztók engedhetik meg maguknak, hogy új személygépkocsikat vegyenek, vagy a már meglévő jármű mellé vegyenek még egyet. Jellemzően magas képzettségű, világot járt, külföldi nyelv(ek)et beszélő, multinacionális cégeknél dolgozó, egy gyermekkel rendelkező férfiak és családjuk tartoznak ide. Gyakran azzal az előnyükkel is tudnak élni, hogy a kínainál fejlettebb piacgazdaságot tanulmányozhattak, és az ott elsajátítottakat az átalakulás évtizedeit átélő Kínában kamatoztatni tudták. Ez a réteg az elmúlt években robbanásszerűen gazdagodott meg, és immár a lehetőségük is megvan, hogy az igényeiknek megfelelő nyugati termékeket (autók, órák, ékszerek, ruházat) gond nélkül beszerezzék. Jellemző példa, hogy a családfelek feleségüknek vásárolnak egy nagyobb méretű SUV-ot, amivel – a kínai nyelvben csak „kis császárnak” becézett – egyetlen gyermeküket iskolába és különórákra tudják vinni, biztonságban és kényelmesen. A felső-középosztály körülbelül 26 millió kínai embert jelent, míg a leggazdagabb, legalább 10 millió jüanos vagyonnal rendelkező rétegbe körülbelül 1,1 millióan tartoznak. Ez a valamivel több, mint 27,1 millió kínai, azaz a teljes lakosság 2%-a vásárolja meg a világ luxustermékeinek közel egyharmadát! Jó példa, hogy már nem az USA-ban adják el a legtöbb Rolls Royce-t, hanem Kínában. Egy tavalyi felmérés alapján a legvagyonosabb kínaiak legalább 3 különböző lakóingatlan, 2 luxusautóval és 3 egyéb járművel rendelkeznek, előszeretettel vásárolnak az internetről luxuscikkek, kedvenc befektetési területük az ingatlan- és a részvényt piac, évi 3-4 alkalommal utaznak külföldre pihenés céljából, és 82%-uk 45 évesnél fiatalabb.

## JÖVŐBELI KIHÍVÁSOK

A kínai piac megerősödése jelentősen átalakíthatja az erőviszonyokat a járműiparban, az örökérvényű közgazdász mondás, miszerint „aki lemarad, kimarad”, itt is hatványozottan igaz. Az elkövetkezendő évtizedben a kínai piacon törtétek határozhatják majd meg a járműipari tendenciák alakulását, hiszen immár ötödik éve Kína a világ legnagyobb személygépjármű-értékesítője és személygépjármű-piac. Észre kell venni, hogy az európai és a feltörekvő BRIC-piacokon teljesen eltérő szempontrendszernek kell megfelelni, és a hatalmas növekedési és profit potenciál miatt nagyobb figyelmet szentelnek a járműgyártók a feltörekvő piacoknak, Kínával az élen. Az **5. ábrán** a járműipar jelenlegi két eltérő pólusát hasonlítom össze. A fejlettebb, járműipari szempontból jelentős, ún. Triád országok vásárlóinak egyértelműen megváltoztak az igényei. Visszaesett a kereslet a nagy és sokat fogyasztó járművekkel szemben, előtérbe kerültek az alacsony fogyasztású, kisebb városi járművek. A fogyasztók is tudatosabbá váltak, a praktikusság (pl. üzemanyag-hatékonyság, kisebb méret, hosszú távú megbízhatóság) fontosabbá vált a designnál és a luxusfaktornál. Az alternatív hajtású, „zöldebb”, hibrid járművek jelentik a Triád területén a fejlesztések és az esetleges növekedés motorját. A Triád országok szerencséje, hogy a jelenlegi fejlesztési irányok megvalósításához magas K+F ráfordítás és magasan képzett munkaerő szükséges, ezek a tényezők pedig Kínában egyelőre hiánycikkeknek számítanak. Bár Kína az elmúlt években megnyolcszorozta a K+F ráfordításait, de ez még mindig messze van a szükséges mennyiségtől. Az új kínai fogyasztók gyakorlatilag bármilyen járművet megkaphatnak már a pénzükért, náluk az autó esetében még igencsak fontos a státusszimbólum jelleg, így átlagon felüliek a luxusjárművek eladásai (pl. Porsche és Rolls Royce). A kínai piac leggyorsabban növekvő szegmense eladási

szempontból az SUV-k kategóriája. 2012-ben 2011-hez képest 26%-kal több SUV-t adtak el az országban. Ne feledjük, ugyanebben az időszakban az aggregált személygépjármű-értékesítés Kínában 6,9%-kal nőtt, tehát az arány kiemelkedőnek tekinthető. Az SUV-k a dinamikusan növekedő kínai középosztály hölgytagjainak körében népszerű, hiszen kényelmes és biztonságos családi autó, amelyek tökéletesen alkalmasak a gyerekek iskolába és edzésekre szállítására.



5. ábra: a járműipar két eltérő pólusa. Forrás: saját gyűjtés

Kína egyik legkomolyabb dilemmája a külföldi tőke jelenléte, és jövőbeli alakulása. Egyértelmű, hogy az ország és a járműipar szempontjából kulcsfontosságú volt a nemzetközi vállalatok szerepvállalása, ezek jellemzően joint-venture-ök formájában jöttek létre. Világelsők gyártás és eladás szempontjából is, mégis fájó a kínai vezetésnek, hogy a saját kínai márkák exportja nem jelentős, mindössze pár tízezer darabos nagyságrendről van szó. Jelenleg a legfőbb exportpiac a kínai autók számára az orosz piac, de céljuk hosszú távon érdemben betörni az európai és amerikai piacokra is. A hazai gyártók védelme érdekében az újonnan érkező külföldi járműipari vállalatok már nem kapnak adó- és vámkedvezményeket, illetve a kínai vegyesvállalatok esetében nem lehet többségi tulajdonos a külföldi partner. Megkerülhetetlen probléma a környezetszennyezés témaköre, Kínában rendszeresek a szmogriadók, a károsanyag-kibocsátás bőven az európai sztenderdek felett van. Ennek ellensúlyozására próbálja a kínai kormányzat ösztönözni a helyi elektromos autó programot, hiszen ők is belátják, hogy a jelenlegi járműszám tartós emelkedése visszafordíthatatlan környezeti károkkal járna az országban. A Tudományos Minisztérium szerint 2015-re 1 millió kínai elektromos autónak kéne lennie az utakon. Ne feledjük azonban, hogy a kínai elektromos autók összességében szennyezőbbek lehetnek benzines és dízeles társaiknál. Azért fordulhat ez elő, mert Kínában az elektromos áram fejlesztése során gyakran

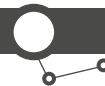
fosszilis nyersanyagokat égetnek, így még több káros anyag kerül a levegőbe, mint a normális járművek esetében.

## KONKLÚZIÓ

A járműipar látszólag stabil növekedési pályán van, amely növekedésnek első számú letéteményese Kína, és a közeljövőben hasonló dinamikus növekedésen mehet keresztül India is. A BRIC országok másik két tagja esetében is megvan az esély a fejlődésre, de Oroszország esetében komoly életszínvonal-növekedésre lenne szükség az átlaglakosság körében, míg Brazíliába az elkövetkező években komoly tőke áramlik be a labdarúgó világbajnokság és az olimpiai játékok miatt. Mivel mind a két esemény miatt fokozott személyszállítási kritériumoknak kell megfelelni, ezért mindenképpen további növekedés várható. Ebben a cikkben főleg Kína szerepét és közelmúltját vizsgáltam meg a járműipari átalakulások szempontjából, számomra a legnagyobb kérdés jelenleg, hogy meddig tarthat ki ez a minden elképzelést felülmúló növekedési ütem. Ha semmi rendkívüli nem történik a piacokon, akkor még évekig, ezt támasztja alá a KPMG járműipari elemzése a 2013-as évről, ami alapján 31 ország 200 autóiipari vezetőjének 70%-a szerint Kína az első számú beruházási célterületük a következő évekre. Andy Xie független sanghaji közgazdász azonban óvatosságra int a kínai gazdasággal kapcsolatban, megítélése szerint egy ingatlanpiaci buboréknak lehetünk a szemtanúi, aminek alapja az, hogy helyi pénzügyi vállalkozások úgy jutnak forrásokhoz nagy tételben, hogy olcsó dollárkölcsonőket vesznek fel, amit drágább jüan hitelként adnak tovább a rengeteg ingatlanfejlesztéshez. Ha jóslata beválik, a lufi rövid távon kipukkan, akkor az alapjaiban rengeti meg Kína egész gazdaságát, vele együtt a Kínától immár erősen függő járműipart is, ami világszintű válsággá nőheti ki magát pillanatok alatt. Ezzel csak azt szeretném érzékeltetni, hogy megítélésem szerint jelen állapotában a járműipari kitettség a kínai gazdaságnak túlmeleg az egészséges mértéken, de azt is el kell ismernem, hogy a piaci szereplők a körülmények ismeretében racionálisan járnak el, de én mégis óvatosságra inteném őket. Még akkor is, ha a Triád országai esetében visszaesést lehetne tapasztalni a közeljövőben az értékesítés és a gyártás terén is, akkor se helyezték át a vállalatok minden kapacitásukat, hiszen a minőségi és megbízható munkaerő helyben is elérhető. A tendencia mindenesetre az, hogy a nagy nyugati járműipari vállalatok egyre több forrást helyeznek ki Kínába, a Volkswagen például most nyitotta meg legújabb gyárat Fossen városában, a betelepült nyugati gyártók jelenlegi aránya pedig még mindig több mint 2/3-os. Ha a jelenlegi fejlődési ütem megmarad, akkor a BRIC országok részesedése a világ teljes gépjárműgyártásából és -értékesítéséből meghaladhatja az 50%-os mértéket 4-5 éven belül! ●

## IRODALOM

- [1] Gábor Tamás (2013): „A változó Kína” ; Polgári szemle (9. évfolyam, 3–6. szám)
- [2] CIA – The World Factbook – China (2013)
- [3] Wang H., Xing Yanqiu (2007): „The Tendency and the Strategy of Automotive Industry in Our Country”
- [4] Fu Y. (2006): „Some Thoughts about the Development of Automotive Industry; Practical Technology of Automobile 2006/01.
- [5] Deloitte (2011) „Recent Trends in China’s Automobile Parts Market”
- [6] C. Satinet (2012) „Which Future for the Car Industry?” ; Paris Tech Review 15.02.2012
- [7] KPMG’s „Global Automotive Executive Survey” 2009-2013
- [8] CAAM „Monthly Statistic Report” (2010/09 – 2013.10)
- [9] „Report on China’s economic, social development plan” – China government (2012)
- [10] „China’s to step up economic restructuring” – China government (2011)
- [11] „Machinery manufacturing and automobile industries” – China government (2006)
- [12] Andy Xie: (2013) „Revisiting China’s property bubble”; Caixin Online 12.08.2013



# Formakövető hűtéssel rendelkező szerszámbetétek gyártása lézerszinterezéses technológiával

**HATOS ISTVÁN**  
**HARGITAI HAJNALKA**

Széchenyi István Egyetem  
Anyagtudományi és Technológiai  
Tanszék  
hatos@sze.hu

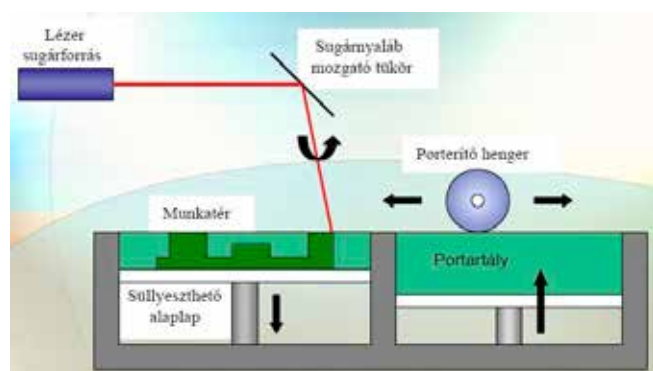
A Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszékén már több mint két éve foglalkozunk a szelektív lézerszinterezés elméleti alapjaival és gyakorlati alkalmazhatóságával. A munka hátterét a tanszékünkön üzemelő, ipari fémporos lézerszinterező berendezés biztosítja. Már több cikkben beszámoltunk a technológia lehetséges felhasználási területeiről. Jelen írásunkban a hazai ipar számára talán leglényegesebb alkalmazási területet, a formakövető hűtőcsatornákkal rendelkező fröccsöntő szerszámbetétek lézerszinterezéssel történő gyárthatóságát szeretnénk bemutatni, illetve a szerszámok tervezéséhez irányadó alapelveket megosztani.

At the department of Materials Science and Technology we have been working with direct Metal Laser Sintering more than 2 years. We reported in earlier articles about the experiences, possibilities and the limits of this relative new and expensive technology. This paper we show the most economical way of producing injection molding inserts with conformal cooling channels.

## FÉMPOROK „3D NYOMTATÁSA”

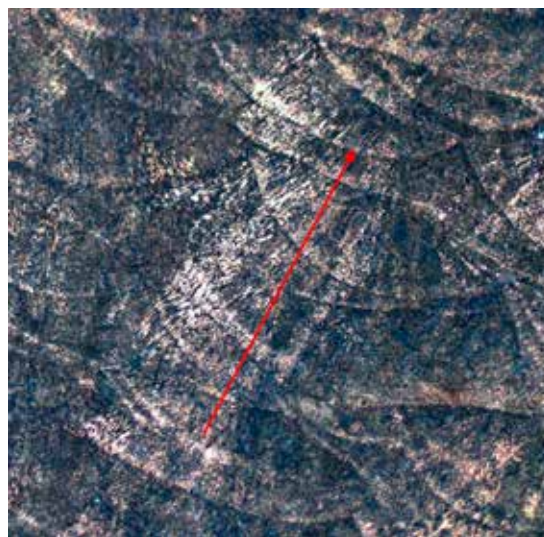
A gyorsprototípus-gyártó (Rapid Prototyping, RP) eljárások közül ma már igen sok eljárás ismert nemcsak az ipari szakemberek, hanem minden, a modern technológiák iránt érdeklődő számára is. Az összes eljárás közös jellemzője, hogy a gyártandó darab 3D modelljét szoftveresen vékony rétegekre szeletelik, majd a gyártóberendezés a szeletelt vékony rétegek egymásra építési sorozatával készíti el a fizikai terméket. Az egymáshoz alapjaiban nagyon hasonló technológiák elterjedése és széles körben való alkalmazása a klasszikus technológiai definíciókat egyszerűsíti. A hírekben és a közbeszédben gyakran 3D nyomtatásnak neveznek minden, korábban prototípusgyártó technológiának nevezett eljárást, holott, klasszikusan a 3D nyomtatás (3D Printing) az RP-technológiák egyike.

Fémporok „3D nyomtatására” alkalmas berendezések már a '90-es években kereskedelmi forgalomba kerültek, szélesebb körben való alkalmazásuk csak 10 évvel később indult meg. Napjainkban számos gyártó kínál fémpor alapanyagból építő „3D nyomtatót”. Az alapanyag minden esetben finomszemcsés fémpor, amelyet egy portertő mechanizmus terít vékony (jellemzően 20–40 µm) rétegekben. Minden egyes portertés után egy koncentrált lézersugár pásztázza végig a termék adott rétegbe eső keresztmetszetét. A pásztázott felületen a por „összeolvad”, a nem pásztázott részekben a por érintetlen és a későbbi gyártáshoz újra felhasználható marad (**1. ábra**).



1. ábra: rétegről rétegre építés, por alapanyagból

A rétegenként történő lézersugaras összeolvadás eredményeként egy, az alábbi ábrán látható „legyezőszerű” struktúra alakul ki a keresztmetszetben (**2. ábra**). A munkadarab vagy közvetlenül egy előmunkált sík felületen, vagy közvetve az alaplaphoz támasztékkal kötötten készül el.



2. ábra: fém munkadarab keresztmetszetéről készített mikroszkópos felvétel  $N=50X$  nagyításban, a nyíl a szinterezés irányát jelöli

## SZERSZÁMBETÉTEK FORMAKÖVETŐ HŰTÉSSEL

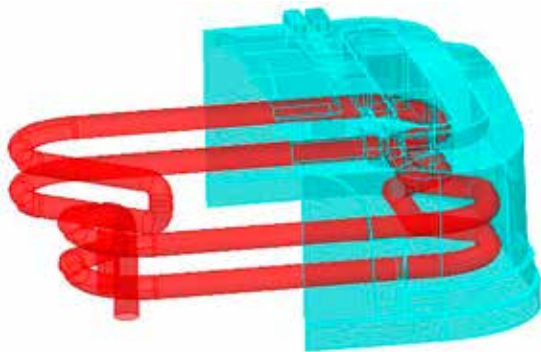
A rétegről rétegre építő gyártási technológiákkal összetett belső furatokkal, üregrendszerrel rendelkező darabok gyártása is megvalósítható. Az egyes rétegek építése során, a furatok egyes metszeteinél a lézersugár nem olvasztja meg a furatban lévő porszemcséket, a felépítés után az össze nem olvasztott porszemcsék eltávolíthatóak. Ez a lehetőség fröccsöntő szerszámbetétek tervezésénél kihasználható, olyan komplex hűtőkörök tervezhetők és gyárthatók, amelyek a hagyományos forgácsolótechnológiákkal nem megvalósíthatóak (**3. és 4. ábra**).





3. ábra: „tekervényes hűtőfurat” [1]

Formakövető hűtés alkalmazásával a fröccsöntés ciklusideje akár 30–50%-kal is csökkenhet, nem csak az intenzívebb hűtés jelenthet előnyt, egy egyenletesebb hőmérséklet-eloszlás kisebb vetemedést eredményezhet a munkadarabon, illetve a szerszám élettartama is megnőhet [3].



4. ábra: formakövető hűtőrendszert tartalmazó szerszámberetét

A gyártók különféle iparági igényeknek megfelelő fémporokat forgalmaznak. Szerszámgyártáshoz megfelelő fémporkeverék a jelentősebb gyártók mindegyikénél megtalálható. Egyetemünkön a német EOS cég EOSINT M270 típusú lézerszintező berendezése került telepítésre (5. ábra), a berendezés a direkt fém szinterezési (Direct Metal Laser Sintering – DMLS) eljárással fémporokból közvetlen módon (utólagos hőkezelés és áttátás nélkül) tud porozításmentes terméket felépíteni.



5. ábra: A Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszékén üzemelő lézerszintező berendezés

A berendezés legfontosabb paramétereit az alábbi táblázat tartalmazza.

EOSINT M270 BERENDEZÉS JELLEMZŐ PARAMÉTEREI	
építési térfogat	250x250x215 mm
lézerteljesítmény	200 W
építésiréteg-vastagság	20 µm

Szerszámgyártáshoz MaragingSteel MS1 jelű fémport kínál a gyártó, ami összetétele alapján megfelel az 1.2709 (X3NiCoMoTi 18-9-5) szabványszámú acélnak. Saját és partnereink visszajelzése alapján is elmondhatjuk, hogy a szinterezett darabok a hasonló összetételű hagyományos darabokkal megegyező mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, porozításmentesek. A termék hagyományos módon hőkezelhető, forgácsolható és bevonatolható. Az MS1 alapanyagú munkadarabok hőkezelés nélkül ~38–40 HRC keménységűek, hőkezelés után (kiválásos keményítés, ~500 °C-on 3–5 óra hőntartás, majd levegőn hűtés) a keménység ~54–56 HRC [3].

A DMLS – technológiával gyártott termékek mérettűrései jelentős mértékben függenek a technológia paramétereitől. Optimális beállításokkal, kisméretű darabok esetében akár ±50 µm-es tűréssel, nagyobb méretű darabok esetében 0,1–0,2 mm-es tűrésekkel gyárthatók termékek. A lézerszinterezett darabok egyedül a felületi minőség szempontjából maradnak el a hagyományos úton (forgácsolás, öntés) készített munkadaraboktól. A jellemző gyártás utáni átlagos felületi érdesség  $R_a$  9–12 µm. A durva felületi érdesség értékek miatt szükséges lehet a munkadarabok felületének utólagos finomítása (sörétezés, forgácsolás, csiszolás, polírozás), amivel akár tükrös felület is nyerhető (6. ábra) [4].



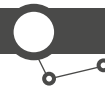
6. ábra: lézerszinterezett szerszámacél felülete polírozás után

## SZERSZÁMBETÉTEK 3D MODELL SZERINTI FELÉPÍTÉSE

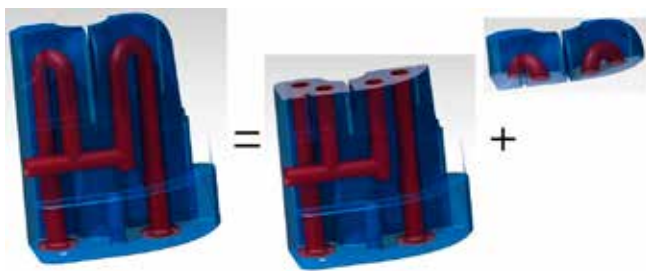
Egyszerű darabok esetében a lézeres szinterezés a hagyományos forgácsoló-megmunkálásokhoz képest egy költséges eljárás. Ahhoz, hogy költséghatékonyan tudjuk alkalmazni a technológia által kínált gyártási szabadságot, a szerszámbereteket a DMLS gyártástechnológia ismeretében kell megtervezni. A legáltalánosabb alapelv, amit hagyományos forgácsolással könnyen meg tudunk munkálni, azt forgácsolással készítjük el. A rétegről rétegre építő eljárások gyártási költségét a tervező az anyagköltség és a várható gyártási idő minimalizálásával tudja csökkenteni.

Az anyagköltséget elsősorban az építési térfogat befolyásolja. Az építési idő két tényezőre bontható, az olvasztás és a porterítés idejére. Az olvasztás idejét döntően az építési térfogat befolyásolja. A porterítés ideje egyedül a munkadarab építés irányú





kiterjedésétől (magasságától) függ. Tehát valószínűsíthető, hogy egy kisebb térfogatú kis magasságú darab költséghatékonyan gyártható. Amikor a szerszámtervezők egy korábban használt szerszámbetétet átterveznek DMLS-eljárással gyárthatóvá, a technológia újszerűsége miatt még nem mindig veszik figyelembe a gazdaságos gyárthatóság szempontjait. Amennyiben a betét teljes magasságában nem tartalmaz hagyományos úton nem gyártható belső üregeket, sok esetben célszerű megosztani a betétet, egy forgácsolt és egy felépített részre (7. ábra).

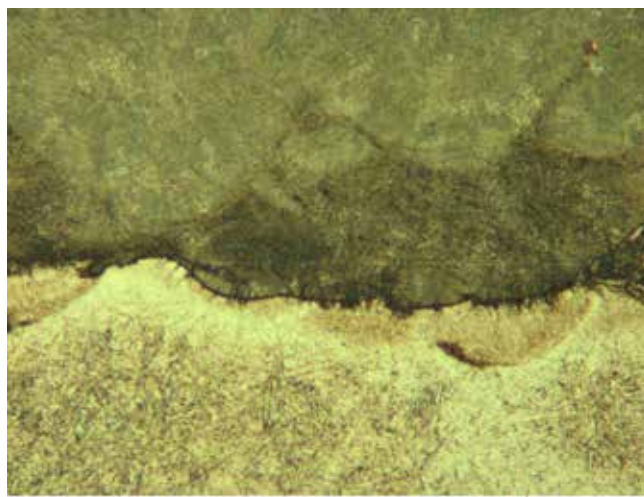
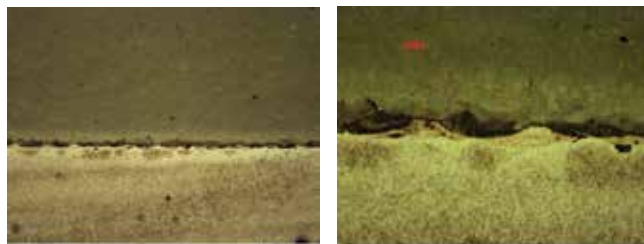


7. ábra: szerszámbetét megosztása forgácsolt és felépített részre

Lehetőség van arra, hogy a forgácsolással elkészített alsó félre közvetlenül felépítsük a speciális hűtőköröket tartalmazó felső részt (hybrid mold), így két különböző alapanyagból egy, mechanikus kötések nélküli közös darabot kapunk (8. és 9. ábra). Az alsó forgácsolt rész anyagát a szerszámmal szemben támasztott elvárások és a szinterezést esetleg követő hőkezelések és felületi bevonatolás függvényében kell megválasztani.



8 – 9. ábra: előgyártmányra szinterezett szerszámbetét (hybrid mold), megmunkálás előtt és után



10. ábra: hybrid mold átmeneti zóna mikroszkópos felvételei

A 10. ábrán ráépített szerszámbetét mikroszkópi felvételei láthatók eltérő nagyításban. Az alsó (1.2343) és felső (MS1) szerszámfél eltérő összetételű, a betét szinterezés után hőkezelve lett. Mindkét szerszámfélen ~51 HRC keménységet mértünk, repedés nem jelent meg a felületen.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A DMLS technológia már Magyarországon is elérhető. Formakövető hűtéssel rendelkező fröccsöntő szerszámok használata nagyban megnöveli a fröccsöntés versenyképességét. Gyártáshelyes kialakítással gazdaságosan gyárthatóak a szerszámbetétek, a hagyományos szerszámanyagokkal megegyező minőségben.

### IRODALOM

- [1] Falk György: Mérhető értékteremtés formakövető hűtéssel, Műanyag és Gumi, 2010. 47. évfolyam 6. szám, 201–203
- [2] Sági E., Dogossy G.: Formakövető hűtés optimalizálása fröccsöntési szimulációval, A Jövő Járműve, 2010, 03/04. 16–19
- [3] www.eos.info
- [4] Hatos I., Kovács J. G.: Szinterezett fém alkatrészek felületi érdessége és méretpontossága a gyártási orientáció függvényében, XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó – OGÉT 2013 konferencia kiadványa, 2013: 146–149

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 azonosító számú "Járműipari anyagfejlesztések: célzott alap kutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témakörében" című projekt támogatásával készült.

# 3082 km 1 liter benzinnel

**DR. BAGÁNY MIHÁLY**

főiskolai docens  
Kecskeméti Főiskola, GAMF

**DR. CSÁK BENCE**

vezető oktató  
Kecskeméti Főiskola, GAMF

**KUTASI ZOLTÁN**

gépészmérnök-hallgató  
Kecskeméti Főiskola, GAMF

A Shell Oil vállalat 1985-ben rendezte meg először az Eco-marathont, az energiatakarékos járművek nemzetközi versenyét. A verseny célja minél nagyobb távolság megtétele minél kevesebb energiával, és legalább 25 km/óra (esetenként 30 km/óra) átlagsebességgel. A Kecskeméti Főiskola GAMF-csapata 2010-ben indult először ezen a versenyen a benzinmotoros prototípus kategóriában. Célunk az 1000 km/literes átlomhatár elérése volt, járművünk ezért kapta a Megaméter nevet.

Shell Oil Co. organised the first Eco-marathon international contest in 1985 for energy efficient vehicles. The goal is to make the longest distance on 1L commercial fuel with a higher than 25km/h (sometimes 30km/h) average speed. Kecskemét College's GAMF Team took first part on this event in 2010 in "gasoline, prototype" category. Our goal was to reach the dream limit of 1000km/L, so our vehicle got the name "Megameter".

## 1. AZ ENERGIATAKARÉKOS JÁRMŰVEK VERSENYE

Több országban szerveznek versenyt az energiatakarékos járművek részére. Ezek közül a finnországi a legrégebbi (1976), és a világversenynek tekinthető Shell Eco-marathon (SEM) a legnagyobb (1985, Európa, Amerika, Ázsia). A járműveket középiskolásokból, főiskolásokból, egyetemistákból álló 10...20 fős csapatok tervezik és építetik. A felkészülés összetett feladat elé állítja az indulókat: csapatszervezés, nevezés, támogatók keresése, tervezés, a munka dokumentálása, járműépítés, a verseny és az egészet átfogó szervezés komoly kihívást jelent. A csapat sikere egyúttal minősíti az oktatási intézményben folyó munkát is. A 2000...3000 km/literes versenyeredmények a laikusok figyelmét is fölhívják arra, hogy van még lehetőség az energiatakarékosságra.

2011 óta 5 magyar oktatási intézmény vesz részt a Shell Eco-marathonon:

- Széchenyi István Egyetem, Győr
- Kecskeméti Főiskola,
- Kecskeméti Kandó Kálmán Szakközépiskola,
- Óbudai Egyetem,
- Pécsi Tudományegyetem.

A 2013-as rotterdami versenyre 24 országból 224 csapat nevezett. Az egyhetes rendezvénynek 40 ezer látogatója volt.



1.1. ábra: Lausitz, 2011: a két kecskeméti csapat

### 1.1. A versenyszabályok dióhéjban

Az Eco-marathon versenyeket közel azonos szabályrendszer szerint szervezik, meghatározó a SEM szabályzata. A versenypályák zártak (körpályák), ezért a pálya lejtése és a szél energiája nem járul hozzá a jármű hajtásához.

A járművek a méretük szerint két kategóriában indulhatnak:

- A városi járművek kisméretű személykocsihoz hasonlítanak.
- A prototípusok még kisebbek, könnyebbek, felszereltségük egyszerűbb.



1.2. ábra: a győriek városi autója a boxban (Rotterdam, 2013)

A meghajtómotor lehet

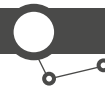
- benzinnel, etanollal, gázolajjal vagy biodízzellel üzemelő belső égésű motor, vagy
- villanymotor (az áramforrás akkumulátor vagy tüzelőanyag-cella hidrogénnel).

Cikkünkben csak a benzines prototípus kategóriával foglalkozunk.

A prototípusok 2013-as versenyszabályzata szerint:

- a nyomtáv legalább 50 cm,
- a tengelytáv legalább 100 cm,
- a járműmagasság legföljebb a nyomtáv 1,25-szorosa,
- a járműhossz legföljebb 350 cm,
- a fordulósugár legföljebb 10 m.





1.3. ábra: dobogós helyezett prototípusok (Rotterdam, 2012)

A járművek egyszemélyesek, a pilótának legalább 50 kg-osnak kell lennie (ezért legtöbbször lányok a pilóták). A pilótát bukósisak, tűzbiztos ruha, kesztyű, zárt cipő, ötpontos biztonsági öv védi. Kötelező biztonsági felszerelések: két visszapiillantó tükör, kétkörös fék, bukókeret, dudu, tűzoltó készülék. A hajtásláncába tengelykapcsolót (kuplungot) kell beépíteni.

A tüzelőanyag-ellátó rendszert (benzintartály, injektor, átlátszó összekötőcső) úgy kell kialakítani, hogy az egyszerűen és gyorsan kivethető legyen a járműből. A hajtáshoz csak a tüzelőanyag energiája használható fel:

- az önindító soha nem hajthat rá a kerékre,
- a kartellgáz nem vezethető vissza a szívócsőbe,
- a jármű külsején nem lehet elmozdítható felület (így kűszöbölük ki a szélenergia kihasználását).

Verseny közben a pilóta nem férhet hozzá a motortérhez és a tüzelőanyag-ellátó rendszerhez: a pilótafülkét egy zárt tűzfalal kell elválasztani a motortértől. A futam érvénytelen, ha a jármű megáll, és a pilóta kiszáll.

### 1.2. A fogyasztás meghatározása

A legjobb versenyjárművek 1 liter benzinnel 2000 km-nél többet tudnak megtenni, ehhez 3...4 napra lenne szükség. De a versenyen csak 15...25 km-t kell teljesíteni. A versenyfutam előtt ki kell szerelni a tüzelőanyag-ellátó rendszert (tartály, összekötőcső, injektor), és egy analitikai mérlegen lemérik a tömegét a benne lévő benzinnel együtt. Ezt a mérést a futam végén is elvégzik. Az elfogyasztott benzin tömege egyenlő a tömegkülönbséggel. A futamhossz ismeretében egyszerű aránypárral számítják ki a futási teljesítményt.

Például a 2013-as nokiai versenyen a Kecskeméti Főiskola Megameter-III járműve 4,420 g benzint fogyasztott 19,85 km-en. 1 liter 15 °C-os ólommentes Neste Oil benzin tömege 686,3 gramm, így a futási teljesítmény:

$$\frac{686,3 \text{ g/liter}}{4,420 \text{ g}} \cdot 19,85 \text{ km} = 3082 \frac{\text{km}}{\text{liter}}$$

Ez 0,0324 literes fogyasztást jelent 100 km-en. A km/literben megadott eredmény érzékletesebben fejezi ki ezeknek a járműveknek a fogyasztását.

### 1.3. A verseny

A verseny a műszaki és biztonsági gépvétellel kezdődik, ahol ellenőrzik, hogy a járművek megfelelnek-e a versenykiírásnak, biztonságosak-e. Az ellenőrzésen átment jármű megkapja a rajtszámát, és a járműbe szerelnek egy jeladót, amivel a futamidőt mérik. Minden csapat kap 1 liter versenybenzint, és a boxokban ezzel beállítják a motorokat.



1.4. ábra: tankolásakor csak kesztyűvel lehet megfogni a tüzelőanyag-ellátó rendszert a fogyasztás pontos meghatározása érdekében



1.5. ábra: a gépvétel rendkívül alapos (Rotterdam, 2012)

A csapatok a pilótákkal gyalog végigjárják a pályát, feltérképezik a pálya vonalvezetését, a kanyarokat, az úthibákat. Ezután megkezdik a tesztfutamokat, amelyek alapján meghatározzák a versenytaktikát (motorindítások száma és helye, legkisebb és legnagyobb sebesség, előzési lehetőségek stb.).

A pályán egyszerre sok jármű is versenyez. A városi pályákon (Toulouse, Rotterdam) a kanyarok élesek, nem beláthatóak, néhol az úttest elkeskenyedik, csatornafedelek vannak, gyakori az előzés és a kisebb-nagyobb ütközés. A csapattársak rádióon keresztül segítik a pilótát.



1.6. ábra: a pályán nagy a forgalom (Rotterdam, 2013)

A célba érés után kiszereklik a tüzelőanyag-ellátó rendszert, és meghatározzák az elfogyasztott benzin tömegét és a jármű futási teljesítményét.

## 2. 3082 KM 1 LITER BENZINNEL

Amikor elkezdtünk foglalkozni az Eco-marathonos verseny gondolatával, nekünk is hihetetlennek tűntek a 2000...3000 km/literes eredmények, mert egy korszerű személykocsi csak 15...20 km-t képes megtenni 1 liter benzinnel. Ezért most a benzin fűtőértéke és a jármű menetellenállása alapján vázoljuk a futási teljesítmény fizikai hátterét.

A benzin fűtőértéke kereken 32 MJ/liter. Motorunk fékpadon mért átlagos hatásfoka 36%, a hajtásláncé 90%. Így 1 liter benzin fölhasználásával kapott hasznos munka (ez tartja mozgásban a járművet):

$$W_{\text{hasznos}} = 0,36 \cdot 0,9 \cdot 32 \text{ MJ} = 10,37 \text{ MJ}.$$

A versenyen használt R16-os radiál gumik átlagos gördülési ellenállási tényezője (a kanyarokat és a kerékcsoportok ellenállását is figyelembe véve) 0,0024; a jármű össztömege pilótával 75 kg. Az eredő átlagos gördülési ellenállás:

$$F_{\text{görd}} = 0,0024 \cdot 75 \cdot 10 = 1,8 \text{ N}.$$

A jármű homlokkeresztmetszete 0,35 m<sup>2</sup>, átlagos légellenállási tényezője 0,11 (lásd később). A légellenállási erő az 1,25 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű levegőben 8 m/s-nál (28,8 km/óra):

$$F_{\text{lég}} = 0,11 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 8^2 \cdot 0,35 = 1,54 \text{ N}.$$

A járműre ható teljes ellenállási erő (vízszintes pályán, állandó sebességnél ez egyenlő a vonóerővel):

$$F_{\text{vonó}} = 1,8 \text{ N} + 1,54 \text{ N} = 3,34 \text{ N}.$$

Az 1 liter benzinnel megtehető távolság a hasznos munka és a vonóerő hányadosa:

$$s = \frac{W_{\text{hasznos}}}{F_{\text{vonó}}} = \frac{10,37 \text{ MJ}}{3,34 \text{ N}} = 3100 \text{ km}.$$

Ezt a futási teljesítményt csak nagyon kis légellenállású karosszériával, pontosan beállított futóművel és a kereskedelembe kaphatónál kb. 2-szer jobb hatásfokú motorral lehet elérni.

## 3. A KAROSSZÉRIA

### 3.1. A karosszéria alakja és főbb méretei

A karosszéria alakját a minél kisebb légellenállás elérése határozza meg, de figyelembe kell venni a következőket is:

- a versenyszabályok,
- a pilóta méretei,
- a pilótafülke, a motor, a hajtás és a futómű elrendezése.

Eredményeinket részben a könnyű, merev, kis légellenállású karosszériának köszönhetjük.

A légellenállási erő Reyligh-féle közelítése:

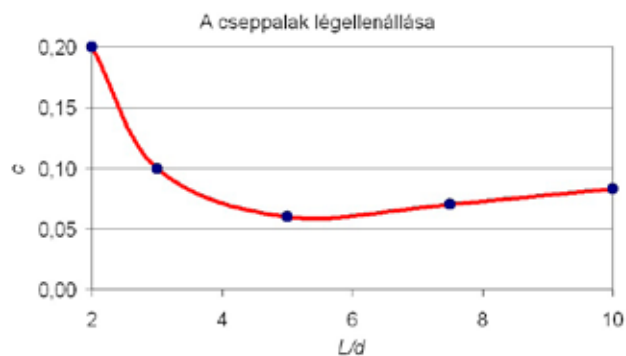
$$F_{\text{lég}} = c_c \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 A_{\text{hk}}.$$

Az itt szereplő négy mennyiség közül csak az  $A_{\text{hk}}$  homlokkeresztmetszetet és a  $c_c$  légellenállási tényezőt tudjuk változtatni, mert a levegő  $\rho$  sűrűsége adott, a  $v$  járműsebességet pedig a versenyszabályzat írja elő.

A homlokkeresztmetszetet (és egyúttal magát a járművet is) minél kisebbre célszerű tervezni. Ezért a nyomtávot a megengedett legkisebb értékre, 50 cm-re választottuk. A jármű legnagyobb szélessége a nyomtávnál nagyobb, 60 cm. A járműmagasság legfőljebb a nyomtáv 1,25-szorosára lehet. A kerékburkolatokat is figyelembe véve, járművünk homlokkeresztmetszete 0,35 m<sup>2</sup>.

A légellenállási tényező függ a jármű alakjától és főbb méreteinek arányától. A cseppalaké akkor a legkisebb, ha hossza legnagyobb keresztirányú méretének 5...6-szorosa. Ebből 5×60 cm = 300 cm körüli hosszt kapunk. Ez az áramlástan magyarázata a 295×60×60 cm-es járműméretnek.

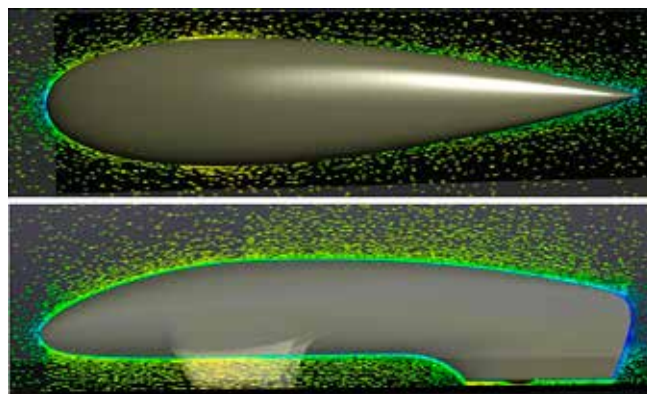
Miután kialakult az alapelrendezés (két rögzített első kerék, egy kormányzott és hajtott hátsó kerék) és a főbb méretek, előzetes formai és mechanikai terveket készítettünk, és megbecsültük a karosszériaelemek várható kritikus igénybevételét. A kis súly és méret miatt a járműveinknek nincs alváza, önördő karosszériát készítettünk.



3.1. ábra: a cseppalak légellenállása függ a hosszirányú és a keresztirányú méret hányadosától

A karosszériát a pilóta, futómű, motor, hajtáslánc köré kell tervezni, ezért először elkészítettük ezek virtuális modelljét. A tervezés ezek elhelyezésével indult. Ezt követte a karosszéria 3D-s modelljének számítógépes megalkotása. A tervezésnek ebben a szakaszában a fődarabok csak vázlat formájában illeszkednek a felületmodellhez. A karosszéria alakját a NACA-0018-as szárnyprofilból kiindulva terveztük meg.

Ma már a számítógépes áramlástan vizsgálatok kellően pontosak és egyszerűbbek, mint a szélcsatornások. Mi is számítógéppel optimalizáltuk a karosszéria alakját. A 3D-s modell vizsgálata alapján 0,11-es légellenállási tényezőt kaptunk. A szabadon guruló jármű lassulása alapján mért érték 0,11...0,12.



3.2. ábra: a 3D-s modell számítógépes áramlástan vizsgálatát





### 3.2. Szendvicsszerkezetű kompozit műanyag karosszéria

A számítógépes tervezés és vizsgálatok során kialakult kompozit műanyag karosszéria megvalósítása három fő lépésre osztható.

#### 3.2.1. Ősmintakészítés

A 3D modellel megegyező 1:1-es méretarányú formát kellett létrehozni. A megfelelő pontosság érdekében a mag tömör XPS (polisztirol) hőszigetelő lapból CNC-marógépen készült. A marás paramétereinél figyelembe vettük a mag megfelelő felületkezelési rétegeinek vastagságát. A szükséges mechanikai paraméterek eléréséhez a habanyag felületét epoxi mátrixú üvegszövet réteggel vontuk be, majd hagyományos járműfényező anyagokkal a felületi hibákat kijavítottuk, és poliuretánfestékkel lefújtuk a formát.



3.3. ábra: a polisztirolmag marással készült

#### 3.2.2. Szerszámkészítés

A jármű kompozit műanyag alkatrészének gyártásához negatív szerszámokat gyártottunk. Ezek közül a legnagyobb és legkomolyabb tervezést és előkészítést a külső héj gyártásához szükséges forma jelentette. Osztósíkok segítségével a formát négy részre osztottuk, az osztás helyzetének megtervezésekor már ki kellett dolgozni a későbbi alkatrészgyártás lépéseit. A szerszámforma anyaga többrétegű epoxi-rendszer. A felületi minőséget szerszámigél, a megfelelő merevséget 12 réteg üvegszövet adja.



3.4. ábra: a szerszám üvegszövetből készült (kék), benne a test

#### 3.2.3. A héjszerkezetű karosszéria gyártása

Célunk a lehető legkisebb tömegű és emellett megfelelő merevségű karosszéria gyártása. Anyagvizsgálatok szerint az erre leginkább megfelelő anyagszerkezet a szén-méhsejt-szén szendvicsszerkezetű kompozit műanyag. A hagyományos gyártási technológiák vizsgálatok több problémával is találkozunk, így

fejlesztésünk arra irányult, hogy a hagyományos szendvicsszerkezetű kompozit műanyag alkatrész gyártástechnológiai határait hogyan tudjuk a céljainknak megfelelően bővíteni.

A karosszéria tömegének csökkentése, illetve esztétikai szempontok miatt olyan minőségű műanyag alkatrészeket szerettünk volna készíteni, melyek nincsenek festve. Ezért a szerszámba kerülő rétegeket külön-külön vákuumoztuk, beleértve a méhsejtréteget is. Ezzel az eljárással az egyes technológiai lépések minősége kontrollálhatóbb volt.

A méhsejt pontos behelyezése egy ilyen bonyolult felületű szerszámba nem valósítható meg hagyományos módszerekkel. Ezért ennek a technikáját úgy dolgoztuk ki, hogy a külső, már térhálósodott szén kompozit rétegen leválasztó fóliával aprólékosan kikapartuk azokat a területeket, ahol nem szükséges méhsejtréteg. A felületre a megfelelő tapadás érdekében egy nagyon vékony üvegszövetet lamináltunk, melyre a szükségesnél nagyobb méhsejtet vákuumoztuk. A térhálósodás után a leválasztó fóliával kikapart felületekről a méhsejt egyszerűen eltávolítható volt. Ezután fólián laminált egyirányú szén-szöveteket, illetve a szendvicsszerkezetet záró szén-szövet réteget helyeztük a szerszámba a rétegrendnek megfelelően, majd ismét levákuumoztuk. A külső héj négy részből áll, beleértve a tetőt is. A három alsó rész, mely végül a karosszéria teherviselő elemét alkotja, eddig külön-külön készült. Az összeragasztást egy oldalról végeztük szerkezeti ragasztóval, és szén-szállból készült, előre laminált összeragasztó szalagokkal. A karosszéria külső felületére végül egy vékony lakkréteget szórtunk fel.



3.5. ábra: fényezés a főiskola műhelyében

## 4. A MOTOR

### 4.1. A vontatási teljesítmény és a motor teljesítménye

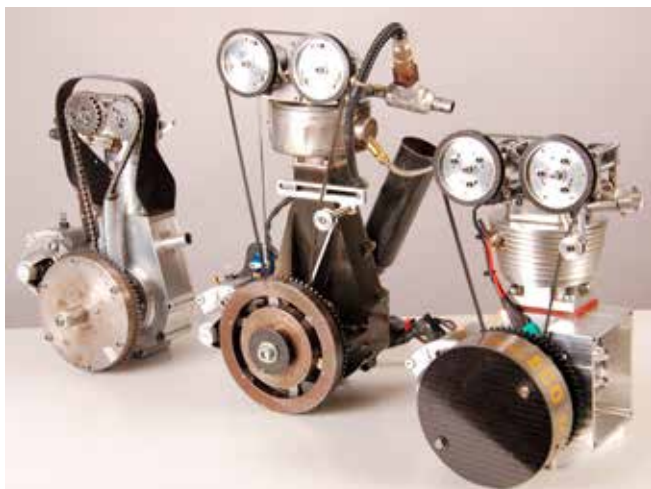
Az átlagos vontatási teljesítmény a vonóerő és az átlagsebesség szorzata:

$$P_{\text{vonó}} = F_{\text{vonó}} v_{\text{át}} = 3,34 \cdot 8 = 30 \text{ W.}$$

Ez egy kerékpáros teljesítménye kényelmes pedálozaskor. Ilyen kis teljesítményű, jó hatásfokú négyütemű motort nem lehet építeni, mert egy ilyen parányi motornak nagy lenne a hővesztése és rendkívül nagy lenne a fordulatszámja.

Először megvizsgáltuk a piacon kapható kerti kisgépek, láncfűrészek, robogók 25...50 cm<sup>3</sup>-es négyütemű benzinmotorjait. Ezek hatásfoka azonban 20%-nál kisebb, így átalakítás nélkül ezekkel csak 1000 km/liter körül lehet teljesíteni. Ezért úgy döntöttünk, hogy kifejlesztünk egy jobb hatásfokú olyan motort,

amelyik illeszkedik a versenyszabályokhoz, az egyszerűen megvalósítható hajtáslánchoz és a jármű tömegéhez.



4.1. ábra: a GAMF-csapat saját fejlesztésű motorjai

A következő táblázatban összehasonlítottuk az Eco-marathonos versenyzők által kedvelt Honda GX25 és az általunk épített Mm-IV motor főbb adatait. (A benzinmotoros versenyjárművek 80%-ában gyári motor van.)

JELLEMZŐ ADAT	HONDA GX25	MM-IV
lökettérfogat, cm <sup>3</sup>	25	45
furat/löklet, mm	35/26	31,5/58
sűrítési arány	8	14/22
fordulatszám, 1/perc	5000	3000
nyomaték, Nm	1	2,3
teljesítmény, W	525	700
fogyasztás, g/(kW/h)	550	245
hatásfok, %	16	36
tüzelőanyag-ellátás	karburátor	injektor
indítás	kézi	önindító

Az Mm-IV motor Miller-körfolyamatú, a szívóütem sűrítési aránya 14, a munkaütemé 22. A súrlódást a következő megoldásokkal csökkentettük:

- csak egy gyűrű van a dugattyún,
- a dugattyúpalást teflonbevonatú,
- a hajtórúd a szokásosnál hosszabb,
- a szelepelemők görgős kivitelűek.

#### 4.2. A hengerfej

A négyütemű benzinmotorok egyik legbonyolultabb alkatrésze a hengerfej. Körültekintően, egymáshoz illeszkedve kell megtervezni a szívó- és kipufogócsatornát, a szelepléseket, az égéstér alakját, a gyertyák és szelepek elhelyezését, miközben áramlástani, hőtani és gyárthatósági szempontokat is figyelembe kell venni. (A kis sorozat miatt a hengerfej forgácsolással készült.)

Az égéstér gömbsüveg alakú, felülete teljesen sima, a hőveszteséget kerámiabevonat csökkenti. (A dugattyútetőn is bevonat van.) Törekedtünk arra, hogy az égéstérben ne legyenek hideg zugok, mert ezekben a keverék tökéletlenül ég el. A beépített két gyújtógyertya miatt az indítás üzembiztosabb, és a leghosszabb égési út is rövidebb, mint egy gyertyával. A gyorsabb égés eredménye: nagyobb égési csúcsnyomás és hatásfok.

#### 4.3. A start/stop üzemmód

Egy 50 cm<sup>3</sup> körüli lökettérfogatú motor teljesítménye kb. 20-szorosa az átlagos vontatási teljesítménynek, ezért a versenyen a motort a



4.2. ábra: az Mm-IV motor hengerfeje

teljes futamidőnek csak 5...6%-ában működtetjük: a motor 5...6 s alatt 18-ról 36 km/óra gyorsítja a járművet, majd leállítjuk a motort és addig hagyjuk a járművet szabadon gurulni, amíg sebessége 18 km/óra csökken. Ekkor újraindítjuk a motort. Önindítózáskor a benzinbefecskendezés csak akkor kezdődik, ha a motor fordulatszáma már elérte az üresjárat fordulatát. Ezzel 1,5% benzint takarítunk meg.

#### 4.4. A hajtáslánchoz igazított motorfordulatszám

A hajtáslánchoz beépített többfokozatú nyomatékváltó növelné a veszteségeket és a súlyt, ezért a főtengelyen lévő röpsúlyos tengelykapcsoló és a meghajtott kerék között egyetlen áttétel van, amit lánchajtással valósítottunk meg, mert ez könnyű, egyszerűen szerelhető, és nagy módosítás mellett is jó a hatásfoka.

Gyorsításakor a járműsebesség 18...36 km/óra, a 48 cm átmérőjű meghajtott kerék fordulatszáma 200...400 ford/perc. Lánchajtással, egyetlen áttétellel legfőljebb 9-es módosítást tudunk megvalósítani, ezért a motort úgy kellett megtervezni, hogy fajlagos fogyasztása az 1800...3600 ford/perc-es tartományban legyen a legkisebb. Ez hosszú lökettű motorral és alkalmasan kialakított szelepezéssel érhető el. A kis fordulatszám előnye, hogy 1 LE alatt marad a teljesítmény, továbbá a hengerfejben áramló gázok áramlási vesztesége és a hengeröblítési veszteség kedvezőbb. A hosszú löklet miatt már 1200...1400 ford/percnel is van nyomatéka a motornak, ami induláskor segíti a csúsztatott kuplungos elindulást.

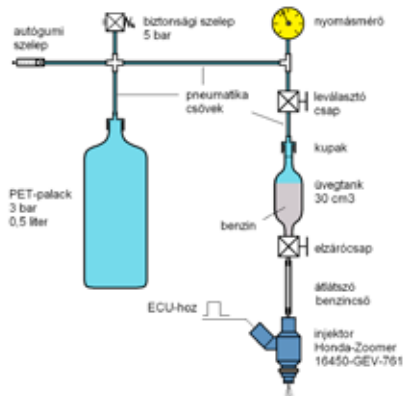
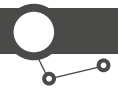
#### 4.5. A tüzelőanyag-ellátó rendszer

A közvetett befecskendezésű, homogén keverékképzésű benzinmotorok fajlagos fogyasztása enyhén szegény keverékkel a legkisebb. A szakirodalom és saját fékpados méréseink szerint is az 1,05...1,1-es légviszony a legjobb, a levegő/benzin arány ekkor 15,4...16,2. A keverékképzés csak elektronikusan vezérelt befecskendezéssel valósítható meg pontosan. A benzint egy pillepalackban tárolt 3 bar nyomású sűrített levegő nyomja az injektorba. Nyomásszabályzó nincs, mert a palack 500 cm<sup>3</sup>-es, a versenyfutamon elfogyasztott benzin térfogata csak pár cm<sup>3</sup>, ezért a sűrített levegő nyomásesése elhanyagolható.

Motorjaink csak teljes terheléssel üzemelnek, ezért nincs szükség fojtószelepre, így kisebb a szívócső áramlási vesztesége, és egyszerűbb a motor beállítása. Részterhelés injektálás kiküszöbölésével valósítható meg, de erre a versenyen nincs szükség.

#### 4.6. A tengelykapcsoló

A motor nyomatékát egy röpsúlyos tengelykapcsoló, a lánchajtás és egy szabadonfutó viszi át a meghajtott hátsó kerékre. A hátsó



4.3. ábra: a tüzelőanyag-ellátó rendszer

lánckerek küllői rugalmasan deformálódhatnak, így lágyabb a nyomatékátvitel, a főtengely szögsebesség-ingadozása nem jut el a kerékre.

Először egy robogó tengelykapcsolóját építettük be, de azt tapasztaltuk, hogy a motorjaink fordulatszámának 1,5...2-szeresére méretezett tengelykapcsoló már akkor elkezdett hajtani, amikor még nem kellett volna, és a kelletténél hosszabb ideig csúszott. A gyári tengelykapcsoló nyomatékátviteli függvényét nem tudtuk módosítani, ezért 2012-ben saját kuplungot terveztünk és gyártottunk. Ezt úgy méreteztük, hogy:

- nyomatékátvitelének fordulatszám- és szöggyorsulásfüggése illeszkedjen a motor nyomatékgörbéjéhez, az áttételhez és a jármű tömegéhez,
- hatásfoka a lehető legjobb legyen (csak akkor csússzon, amikor szükséges),
- önindítózáskor semmiképpen ne vigyen át nyomatékot (ez szigorúan ellenőrzik a gépátvételnél).

Ezeket a feltételeket a kuplungharang átmérőjének, a röpsúlyok alakjának és tömegének, a kuplungrugó merevségének, a röpsúlyokat tartó vezetőcsapok helyének, valamint a súrlódóbetétek anyagának, méretének és helyének megválasztásával értük el. A ráfutó forgásirány ellenére kuplungunk nem hajlamos az önzáródásra, és nem érzékeny a súrlódóbetétek súrlódási tényezőjének változására.



4.4. ábra: a röpsúlyos tengelykapcsoló

#### 4.7. A fékpad

A versenykörülményekhez legjobban igazodó motorbeállításhoz építettünk egy görgős fékpadot, amelyben a motor áttételeken keresztül egy lendkereket hajt. Ennek tehetetlenségi nyomatéka egyenértékű a jármű tehetetlenségével (figyelembe véve az

áttételeket), azaz a lendkerék a motort úgy terheli, mintha az a 75 kg-os össztömegű járművet gyorsítaná a pályán.

A motort egy személygépkocsi generátorával is tudjuk fékezni. A generátor árama egy ellenálláshuzalon hővé alakul. A generátor meghajtó tengelyébe beépített nyomatéktávadóval mérjük a terhelőnyomatékokat.

## 5. A FUTÓMŰ ÉS A KOCSISZEKRÉNY

Járműveink háromkerékűek. Az első két kerék rögzített, a hátsó a hajtott és kormányzott. (2015-től az első kerekek kormányzása a kötelező!) A keréktárcsákat szénzál-erősítésű műanyagból készítettük. A kerékfelfüggesztés rugózatlan és a guminyomás nagy, ezért a jármű kényelmetlen, az úthibák miatt rázkódik. Mégis vállaltuk ezt a kényelmetlenséget, ugyanis a lengéscsillapítós rugózott kerékfelfüggesztés elnyelné a jármű mozgási energiájának esetünkben nem elhanyagolható részét, ezzel csökkentené az 1 literrel megtehető távot. A guminyomás 5...6 bar, mert az R16-os versenygumik gördülési ellenállása ennél nagyobb nyomásnál már nem csökken jelentősen.

Mindhárom kerékagyban saját tervezésű, kézi állítású, lefutó irányú duplex dobfékek vannak. Ezek fékhatása elegendő, és beállíthatók úgy, hogy alaphelyzetben ne súrlódjanak.



5.1. ábra: szénzál-as keréktárcsa

### 5.1. A kormányzás

2011 óta a versenyszabály megengedi az elektronikus vezérlésű szervokormányzást. Éltünk ezzel a lehetőséggel. A kormányzott hátsó kerék tengelye és a motor egy negyedbe vágott dobra emlékeztető héjszerkezetű villához rögzítve, ami az önördő karosszéria megerősített pontjaiban csapágyazott függőcsap körül forog. A villát a motorral és a kerékkel együtt egy nagynyomatékú elektronikus vezérlésű szervomotor fordítja el a függőcsap körül.

A kormányzott kerék esetleges belengését két lengéscsillapító akadályozza meg. Egy figyelő áramkör ellenőrzi a kormánymű áramellátását, és szükség esetén a tartalék akkumulátorra kapcsol.

### 5.2. A motortér

A motortér a pilótafülke mögött van, a fülkétől Kevlar-erősítésű tűzfal választja el, amely egyúttal bukókeretként is szolgál.

A motortér zsúfolt. Itt van a benzintartály, a két gyújtótrafó, a motor, a kuplung, a lánchajtás, a kormánymű, a kerékfelfüggesztés és a kormányzott hátsó kerék. A motortér hátsó részében helyeztük el a motorvezérlő elektronikát, az önindító reléjét, a



vészleállító elektronikát, az akkumulátort és a benzinyomást biztosító palackot.



5.2. ábra: a motortér felülről: jobbra főt a kormány servo, lent a benzintartály

### 5.3. A pilótafülke

A zárt és szűk pilótafülkét párnázás és egy ventilátor teszi kényelmesebbé. A pilóta a két burkolt első kerék között háton fekve, lábbal előre helyezkedik el benne.

A fülke felszereltsége egyszerű. Bal kéz felől van a motorindító és leállító gomb, a gyorsítási végsebességet beállító gomb, a ventilátor szabályzó gombja és a kürtgomb, középen lent a fékpedálok, a tüzlő készülék és a friss levegő befúvónyílása, fent egy kis érintőképernyős monitor, jobbra a kormánykerék és a belső vészleállító gomb.



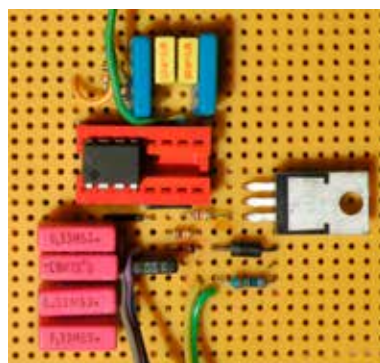
5.3. ábra: a pilótafülke

## 6. A MOTORVEZÉRLŐTŐL A JÁRMŰVEZÉRLŐIG

Az eddig taglaltak alapján látható, hogy a versenyautó rendkívül sok, magas színvonalú mérnöki munka eredményeként áll elő. Minden műszaki részlet és megoldás céltudatos mérnöki kutatás és döntés alapján kerül kialakításra. Ha valami a vizsgálatok és tesztek során nem állja meg a helyét, az további finomításokon esik át, hogy végül a lehető legjobb legyen.

Egy ilyen járműben a járműirányítás is lépést kell tartson az összetevők színvonalával. Ennek végső feladata, hogy teljes összhangba hozza az egyes mechanikai rendszereket és minden pillanatban és helyzetben optimális működést biztosítson.

A csapat első versenyévében, 2010-ben, elektronikus irányítása még csak a motornak volt. Egy rendkívül egyszerű áramkör segítségével lehetett beállítani a befecskendezett üzemanyag-mennyiséget, a gyújtásnak pedig nem lehetett változtatni a paramétereit menet közben. Bár a pilóta a motor hangja és tapasztalt ereje alapján, kézzel, egy potenciométer segítségével, állította a befecskendezés időtartamát, meglepően jó eredménnyel (1588 km/l) végződött az első világbajnokság, ami ott a 8. helyre emelte a csapatot az ismeretlenségből.



6.1. ábra: injektor vezérlő, 2010

2011-re rendkívül sok fejlesztési munka árán egy teljesen új versenyautó született. A motorirányítás is lépést tartott ezekkel, és egy valódi motorvezérlő elektronika került a motortérbe. Ez egy VEMS típusú verseny ECU (electronic control unit) volt, amit például raliutókhoz használnak. Ez már számos paramétert mér és nemcsak a befecskendezést, de a gyújtásvezérlést is teljes körűen támogatja. A mért értékeket és a beavatkozások paramétereit naplózza és a hozzá tartozó PC-szoftver segítségével segíti ezek kiértékelését.



6.2. ábra: a VEMS motorvezérlő ECU, 2011

Hátránya, hogy akár többliteres, sokhengeres motorokhoz való és a teljesítménysportot szolgálja, szemben a mikrofogasztású versenyeknél gyakori 30..50 cm<sup>3</sup>, egyhengeres motorral.

A csapat eredményei ettől persze még jelentősen tovább fejlődtek. Világbajnok 4. lett a csapat Lausitz-ban, és a nagyon komoly nokiai versenyen a dobogó tetejére állhatott.

A tanulság egyértelmű volt. Nem elég a mechanikai rendszereket tovább jobbítani, optimalálni, a motorvezérléssel is



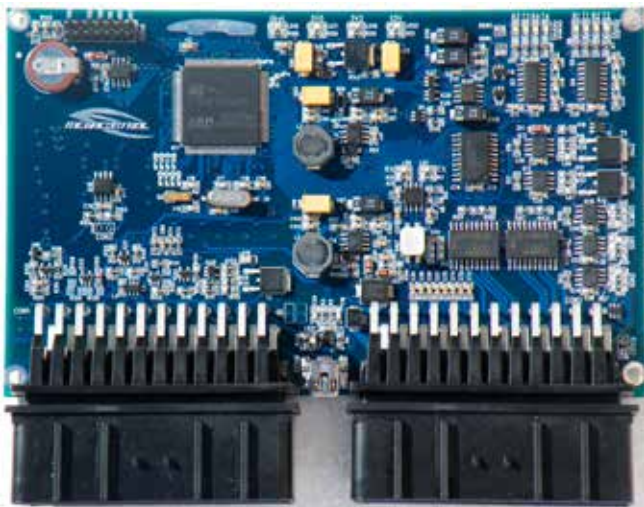


előre kell lépni. Egy teljesen erre a járműre szabott ECU-ra és működtető szoftverre van szükség.

Ennek igényfelmérése és specifikálása már 2012-ben megkezdődött, sőt az elektronikus hardver, a MegaControl el is készült teljesen, ám annak működtető szoftvere, ami szintén teljesen új fejlesztés, nem volt elég érett a versenyszereplésre.

A 2012-es év – a számos mechanikai fejlesztésnek, és a VEMS ECU további konfigurálásának köszönhetően – szintén jobban sikerült mint az előző, és a csapat immár a dobogó második fokán végzett a világbajnokságon, 2696 km/l teljesítménnyel.

A 2013-as versenyt év közepére a MegaControl versenyre kész állapotba került, és be is váltotta a hozzá fűzött reményeket. A csapat 3082 km/l teljesítményt ért el, ami belépő volt a világon valaha 3000 km-nél többet teljesítők 7 tagú családjába.



6.3. ábra: a MegaControl járműirányító ECU, 2012, 2013

A MegaControl más szemlélettel készült, mint egy hagyományos motorvezérlő ECU. Itt minden annak a célnak van alárendelve, hogy egy mikrofigyaszttás versenyautót irányítson optimálisan. A MegaControl már nemcsak motor-, hanem járművezérlő. A lényeges különbség az, hogy a járműirányító a belső égésű motor mellett más, tetszőleges járműrendszert is tud irányítani, így például a steer-by-wire elvű kormányzást, a motorhő-irányítást, a tengelykapcsolót, az indítómotort, a kenésszabályozást, a vezető tájékoztatást és még sok egyebet. Természetesen nem lehet előre felkészülni minden jövőbeli ötletre, de a MegaControl hat, független kommunikációs csatornával rendelkezik, melyek között szerepel egy – a járműiparban nagyon elterjedt, multimaster elvű – CAN-illesztő és egy USB-port is. Ha tehát a tervezés idejében még nem ismert rendszert kell irányítani, akkor azt akár az egyik kommunikációs csatornán keresztül is meg lehet tenni. Az ECU – a VEMS-től eltérően – nem 8 bites mikrovezérlőn alapul, hanem egy 32 bites, korszerű, ARM „erőművön”. Ennek számítási teljesítménye akkora, hogy korai okostelefonokban is használták.

A MegaControl képességei a következők:

- 6 V..32 V DC tápfeszültség, 0,8 W fogyasztás
- ARM mikrovezérlő, 32 bit, 120 MHz, 1 MB Flash
- akkuval védett RTC (real-time clock)
- 8 kB EEPROM a konfigurációs paramétereknek
- microSD kártya naplózásra,  $s_w$  tárolásra
- újraprogramozás, egyszerű RS232 port segítségével
- JTAG port az  $s_w$  fejlesztés támogatására
- külön felépített, kapcsolóüzemű, 5 V táp külső elemekhez
- 1 általános célú analóg feszültségbemenet
- 6 NTC alapú hőmérséklet-bemenet (általános analóg is)

- K típusú hőlembemenet, kipufogó hőmérs. méréshez
- 8 általános célú digitális bemenet
- 6 digitális, időmérésre optimált bemenet (pl. főtengelyjel)
- 1–1 szervomotor be-, illetve kimenet
- 4 csatlakozás szélessávú lambda-szenzor irányítására
- 8 nagyáramú (2,2 A) digitális kimenet (kapcsolt pozitív)
- 2 nagyáramú (20 A) digitális kimenet (kapcsolt negatív)
- 2 kisáramú, 5 V-os gyújtásvezérlő kimenet
- 1 W-os hangszórókimenet
- USB-csatlakozás
- CAN-csatlakozás (controller area network)
- 4 RS232 csatlakozás

A MegaControl a felsorolt képességek segítségével képes tetszőleges fordulatszámokon a főtengely helyzetének  $<0.1^\circ$ -os követésére, ami a pontos gyújtás- és befecskendezésidőzítéshez, valamint a főtengely lengésének méréséhez szükséges. Két tetszőleges viszonyú henger gyújtását és injektorát tudja 1  $\mu$ sec felbontásban vezérelni. Érzékeli az indítómotor állapotát és úgy is konfigurálható, hogy maga vezérelje azt. Keréksebesség-szenzor bemenetével másodpercenként ötször méri meg pontosan a jármű sebességét. Ez nemcsak a vezető tájékoztatásához kell, de a gyorsítási stratégiát meghatározó származtatott mennyiségek előállítására is. További fontos funkciója a fordulatszám és a sebesség mérésének a kuplungcsúszás mértékének és jellemzőinek a meghatározása.

A MegaControl az elektromos kormányrendszer érzékelési és beavatkozási funkcióit önállóan ellátja, sőt helyzetfüggő kormánykarakterisztikát biztosít. Hat különböző hőmérsékletet meg tud mérni a  $-50^\circ\text{C}..+300^\circ\text{C}$  tartományban, ami az adagolási és gyújtási kompenzációkat, és a hógazdálkodást támogatja, valamint külön bemenet van „K” típusú hőelemhez, ami a kipufogó gáz hőmérsékletének mérését teszi lehetővé. A hőmérséklet-bemenetek más analóg feszültségek mérésére is egyszerűen alkalmassá tehetők, így újabban az egyik például az üzemanyag-nyomást méri. Külön méri a tápfeszültséget a feszültség-kompenzálást igénylő irányítások érdekében, mint például az injektorok vezérlése. Képes egy, szélessávú, Bosch oxigén-szenzor (LSU4.2) szabályzására és mérésére. Nyolc nyomógomb bemenete segítségével tetszőleges funkciókat aktiválhat a pilóta, de persze ezen bemenetek bármilyen digitális jel fogadására is alkalmasak, mint például végállások, határértékek. Az ECU képes nyolc digitális, nagyáramú (2,2 A) kimenet meghajtására, mint például szívócső csappantyú vezérlés, tesztvezérlés, jelzőfény-vezérlés. Az 1 W-os hangszóró kimenete segítségével képes a pilóta számára hallható információkat nyújtani hangjelzések, vagy akár tárolt, illetve szintetizált emberi beszéd formájában. Képes külső elektronikákat, szenzorokat 5 V-os egyenárammal (max. 0,8 A) úgy megtáplálni, hogy egy teljes külső zárlat esetén sem omlik össze az ECU belső működése. További képessége, hogy pontosan tudja mérni is az itt jelentkező fogyasztást.

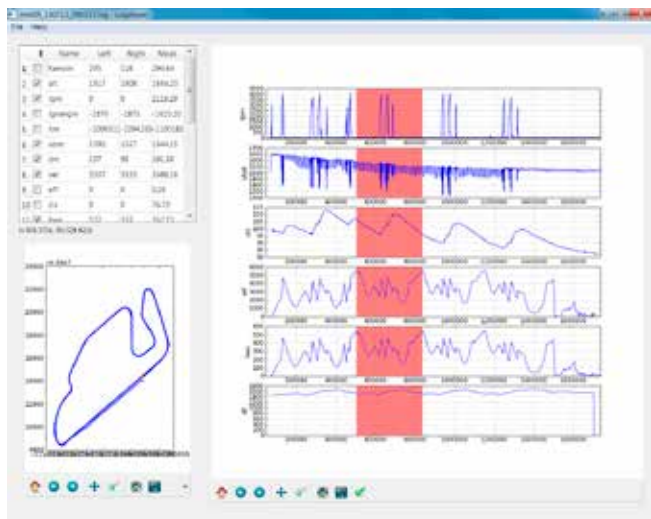
CAN csatlakozásával lehetővé teszi számos autóiipari szenzor, illetve elektronika közvetlen illesztését. USB-portja segítségével gyors kapcsolatot tud létesíteni egy PC-vel, vagy egyéb, USB-alapú eszközzel. Négy RS232 csatlakozása segítségével számos kiegészítő illeszthető. Állandó ilyen perifériái között szerepel egy Garmin GPS, egy színes LCD-kijelző a vezető tájékoztatására, a diagnosztizálást is elvégző külső PC/laptop és rövidesen a telemetria is így fog csatlakozni.

Már működik az első verziója egy olyan  $s_w$  csomagnak, aminek a segítségével a Megaméter irányítani tudja azt a hordozható görgős fékpadot, mellyel a versenyeken és a műhelyben is a motor beállítása zajlik. Mivel a MegaControl képes a motor önálló beindítására és leállítására is, teljesen autonóm

módon el tud végezni egy teljes fordulatszám-tartományra kiterjedő nyomaték-, illetve hatásfok-optimalizálást és motor újra- paraméterezést. Mindezt úgy, hogy még a motor teszt-padi hűtését végző ventilátort is szabályozza, illetve – ha a motor túlmelegszik – akkor le is állítja addig, míg vissza nem hűl. Ez az autonóm önbeállítási funkció nagyon hasznos, mivel a verseny előtti fél órában, az éppen aktuális léghőmérsékletnek, páratartalomnak, légnyomásnak és motorállapotnak megfelelően keresi meg az optimumot, emberi hiba kockázata nélkül.

A nagy számítási teljesítménynek és a kommunikációs képességeknek köszönhetően elkezdődött a kifejlesztése egy olyan képességnek, mellyel a vezető konkrét, aktuális javaslatokat kap az optimális nyomvonal és sebességprofil kialakítására, a domborzati és akár a helyi szélviszonyok függvényében.

A MegaControl-hoz a naplózott vagy on-line küldött adatok kiértékelésére és az ECU-konfiguráció beállításához saját PC-szoftver is készült. Ez – a GPS-koordinátákkal együtt naplózott adatok miatt – az adatokat nem csak idődiagramszerűen képes megmutatni, de kirajzolja az adott versenypályát és megmutatja, hogy a pálya melyik pontján rögzítette az adatokat. A szoftver tetszőleges adatsorra valós időben különböző statisztikai értékeket is kiszámol és megjelenít.



6.4. ábra: a MegaControl-t kiszolgáló PC s<sub>w</sub> egy pályarajzzal

Fejlesztés alatt áll a telemetria funkció hardvere és szoftvere, amivel a csapat mérnökei a futamok közben is pontosan tudhatják, hogyan alakulnak a meghatározó paraméterek, sőt ezeket – menet közben – újra is hangolhatják.

## 7. A CSAPAT ÉS EREDMÉNYEINK

A GAMF-csapatnak 6–12 tagja van. A csapat minden tanévben megújul. 2009 óta mintegy 30 hallgató dolgozott a járművek fejlesztésén, a munkát 3 oktató segíti. A csapatok harmada a prototípus benzines kategóriában indul, ez a legnépszerűbb. 2009-ben mi is ezt választottuk, mert itt a legnagyobb a kihívás és a küzdelem.

Az eredmények pályafüggők. A sok, éles kanyar növeli a gördülési ellenállást, ha nagyok a pályán a szintkülönbségek, a lejtőn leguruló jármű annyira fölgyorsulhat, hogy fékezni kell. Mindezek csökkentik az 1 literrel elérhető távot.

VERSENY	EREDMÉNY, HELYEZÉS, TÜZELŐANYAG
2010, Németo., Lausitz: 26. Shell Eco-marathon Europe	1588 km/liter, 8. hely, benzin
2010, Finno., Nokia: 35. Písaralla Písimmälle Marathon	1941 km/liter, 3. hely, benzin
2011, Németo., Lausitz: 27. Shell Eco-marathon Europe	2277 km/liter, 4. hely, benzin, SKF-különdíj
2011, Finno., Nokia: 36. Písaralla Písimmälle Marathon	2661 km/liter, 1. hely, benzin
2011, Spanyolo., Cartagena: 2. Solar Race	1335 km/liter, 1. hely, bioetanol
2012, Hollandia, Rotterdam: 28. Shell Eco-marathon Europe	2696 km/liter, 2. hely, benzin
2012, Finno., Nokia: 37. Písaralla Písimmälle Marathon	2668 km/liter, 3. hely, benzin
2012, Spanyolo. Cartagena: 3. Solar Race	1646 km/liter, 1. hely, bioetanol
2013, Hollandia, Rotterdam: 29. Shell Eco-marathon Europe	2367 km/liter, 2. hely, benzin
2013, Finno., Nokia: 38. Písaralla Písimmälle Marathon	3082 km/liter, 1. hely, benzin

Cartagenában, az alternatív hajtású járművek versenyén nem lehet benzinnel indulni, de a motorvezérlőt át lehet konfigurálni bioetanolra: megnöveltük az előgyújtást és az injektálási időt.

Sikereinkhez támogatóink is hozzájárultak pénzzel, a csapatruhák elkészítésével, gépmunkával, eszközökkel, és az utazáshoz szükséges gépkocsi kölcsönadásával. Köszönjük a segítséget.

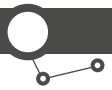
### Médiaszereplések

A sajtóban, rádióban, tv-ben és a világhálón több ezer beszámolóban, interjúban szerepelt a Megaméter jármű. Itt ajánlunk néhány internetes megjelenést. ●

LEÍRÁS	INTERNETES CÍM
Shell Eco-marathon eredmények	<a href="http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/results/">http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/results/</a>
Finnország, Nokia, eredmények	<a href="http://fmnc.kapsi.fi/archive_e.html">http://fmnc.kapsi.fi/archive_e.html</a>
Spanyolország, Cartagena, eredmények	<a href="http://www.murciasolarrace.com/en/content/results-srrm2012">http://www.murciasolarrace.com/en/content/results-srrm2012</a>
Autodesk reklámfilm	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=ti9zxMsUxg">http://www.youtube.com/watch?v=ti9zxMsUxg</a>
Deutsche Welle TV	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=J1uNUv-BIDQ">http://www.youtube.com/watch?v=J1uNUv-BIDQ</a>
National Geographic bemutatkozás, 2012	<a href="http://www.greatenergychallengeblog.com/2012/05/08/hungarys-megameter-their-knowledge-is-the-fuel-of-the-future/">http://www.greatenergychallengeblog.com/2012/05/08/hungarys-megameter-their-knowledge-is-the-fuel-of-the-future/</a>
National Geographic bemutatkozás, 2013	<a href="http://www.greatenergychallengeblog.com/2013/05/08/making-a-more-sophisticated-gasoline-engine/">http://www.greatenergychallengeblog.com/2013/05/08/making-a-more-sophisticated-gasoline-engine/</a>
Wikipedia, 2013	<a href="http://hu.wikipedia.org/wiki/Megam%C3%A9ter">http://hu.wikipedia.org/wiki/Megam%C3%A9ter</a>
A GAMF-csapat honlapja	<a href="http://www.eco-marathon.eu/">http://www.eco-marathon.eu/</a>



7.1. ábra: a 2013-as győztes GAMF-csapat

**IRODALOM**

- [1] Bagány M.: Műszaki áramlástan. Jegyzet, H-393, GAMF, Kecskemét, 2009.
- [2] Bagány M.: Műszaki hőtan. Jegyzet, H-388, KF GAMFK, Kecskemét, 2009.
- [3] Bagány M.: Belső égésű motorok. Típotex Kiadó, 2011. (TÁMOP 4.1.2.A/2-10/1)
- [4] Dezsényi Gy.: Belső égésű motorok tervezése és vizsgálata. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [5] GAMF-csapat: Megaméter: mikrofogvasztású versenyautó. Autótechnika, 2013/8-9.
- [6] Grohe, H.: Otto- és Diesel-motorok. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [7] Lajos T.: Az áramlástan alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- [8] Santin, J. J.: The world's most fuel efficient vehicle. VDF Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, 2007.

# INNOVÁCIÓ ÉS MOBILITÁS

## JÁRMŰIPARI FELSOÓKTATÁSI ÉS KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS

JÁRMŰIPARI FELSOÓKTATÁSI ÉS  
KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS  
TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002

Az Új Széchenyi Terv TÁMOP 4. prioritás 2011–2013 akcióterve kiemelt feladatnak tekinti az Európai Felsőoktatási és Kutatási Térséghez való csatlakozáshoz, a felsőoktatás versenyképességéhez, a bolognai szerkezetváltáshoz, és a tudásalapú gazdaság kihívásainak való megfeleléshez szükséges tartalom-, módszertan- és szolgáltatásfejlesztést. Mindezek szükséges feltétele a 21. század követelményeinek megfelelő differenciált, komplex felsőoktatási szolgáltatások kifejlesztése és működtetése, valamint olyan felsőoktatási együttműködések támogatása, amelyekkel versenyképes, modern, szolgáltató intézményekké válnak az együttműködésben résztvevők.

A Széchenyi István Egyetem által vezetett konzorcium ennek szellemében valósít meg egy olyan fejlesztési projektet, amelynek általános célja a konzorciumi partner intézményekben a 21. század követelményeinek megfelelő differenciált, komplex felsőoktatási és K+F szolgáltatások fejlesztése és működtetése, valamint olyan magas szintű együttműködés létrehozása, amellyel versenyképes, modern, szolgáltató intézményekké válnak.

### ELŐZMÉNYEK

A projekt közvetlen előzménye a 2010 és 2012 között megvalósított „Mobilitás és környezet” című alapvető kutatási projekt, amelyben a kutatási eredmények (szabadalmak, monográfiák, cikkek stb.) mellett kialakultak a felsőoktatási intézmények közti szoros együttműködés feltételei és folyamatai. Ez az együttműködés 2012 júliusában hivatalos formát öltött a Járműipari Felsőoktatási és Kutatási Együttműködési Megállapodás (továbbiakban a JEM) aláírásával. Ezt a dokumentumot az alábbi intézmények rektorai és igazgatói írták alá:

- Széchenyi István Egyetem
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- Kecskeméti Főiskola
- Óbudai Egyetem
- Miskolci Egyetem
- MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet
- Pannon Egyetem
- Szegedi Tudományegyetem.

A JEM aláírói deklarálták, hogy

- a járműipar számára fontos szakok tananyagát és az oktatási módszereket közösen fejlesztik, egyeztetik az akkreditációs tevékenységüket;
- kialakítják az ipar által igényelt gyakorlatorientált képzés egységes szerkezetét és tartalmát, megvalósítva az egyes intézmények duális képzése közötti átjárhatóságot;
- kidolgozzák a középfokú, valamint a felsőfokú szakképzéshez való illeszkedés feltételrendszerét;
- meghatározzák a járműipar számára fontos oktatási és a kutatási infrastruktúra koordinált fejlesztésének és igénybevitelének feltételeit, az adott intézmény, valamint a régióban működő autóiipari vállalatok igényeinek megfelelően;
- az intézmények közötti munkamegosztás szerint létrehozzák részben a hazai ipar, részben az európai kutatási térség járműipart érintő K+F együttműködéseiben való részvétel feltételrendszerét;
- a hazai járműipar beszállítói hátterét képező, tipikusan magyar tulajdonú kkv-k K+F+I tevékenységének összehangolt támogatására kompetencia alapú hálózati struktúrát alakítanak ki;
- koordinálják a járműipari mérnöki szakma, karrier népszerűsítését, az oktatási és kutatási eredmények publikálását, ezek társadalmisítását, valamint a célcsoportokhoz való leghatékonyabb eljuttatását;

- a partnerek együttesen lépnek fel a járműipari környezet érdekeltségi körébe tartozó állami, vállalati, szakmai szervezetekkel való jó viszony kialakításában, biztosítva ezzel a megfelelő illeszkedés feltételeit.

A fenti célok megvalósítására a Széchenyi István Egyetem vezetésével létrejött öttagú konzorcium, amely sikeresen pályázott a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával a „Járműipari Felsőoktatási és kutatási Együttműködés” című és a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 azonosító számú projekt megvalósítására, amelyben az alábbi öt terület fejlesztését tűzte ki célul:

- ipari kapcsolatok,
- K+F tevékenység és infrastruktúra,
- gyakorlatorientált képzés,
- nemzetközi kapcsolatok,
- szervezetfejlesztés, hallgatói szolgáltatások.

A projekt a fenti területekhez definiált célokat a konzorciumi szinten koordinált programokba sorolt akciótervek kidolgozása és végrehajtása révén éri el.

### 1. IPARI KAPCSOLATOK FEJLESZTÉSE

Ennek a programnak a célja a felsőoktatás, az ipari szféra és a kormányzat közötti szoros együttműködés, valamint az ezt biztosító aktív, kétirányú kapcsolatok kiépítése. Ennek keretében ajánlások készülnek az ipari szakemberek oktatásba való bevonásának módjáról, illetve az oktatók ipari tapasztalatszerzésének feltételrendszeréről.

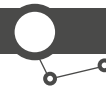
A projektben iparvállalatokkal együttműködve alakítják ki a járműipari képzésben részt vevők számára a gyakorlatorientált vagy ún. duális képzés országos szinten egységes elveit és feltételrendszerét.

Az eredmények hosszú távú fenntarthatóságának biztosítására a konzorcium ajánlásokat és stratégiai dokumentumokat készít a kormányzat számára, a járműipari K+F és képzési tevékenység összehangolt fejlesztése érdekében.

### 2. JÁRMŰIPARI KÉPZÉSEK TOVÁBBFEJLESZTÉSE

Ennek a programnak a célja a járműipar számára kiemelten fontos mérnöki alap- és mesterszakok (t.k. járműmérnök, logisztikai mérnök) programjainak egységes





szemléletű összehangolása, az iparvállalatok részéről igényelt mérnöki szemlélet és a személyes kompetenciák (soft skills) fejlesztésének megerősítése az oktatásban. Szintén cél a duális képzési rendszer elterjesztése, a regionális igények és lehetőségek figyelembevételével.

A projekt fókuszál az élethosszig tartó tanulás további elemeinek fejlesztésére is. Ennek részeként a konzorcium felsőoktatásra felkészítő középiskolai kampányokat tervez, kialakítja a felsőoktatás és a felsőfokú szakképzés kétirányú átjárhatóságának feltételeit, illetve új, vállalati igényekhez alkalmazkodó felnőttképzési/továbbképzési programokat dolgoz ki és terjeszt el széleskörűen.

A különböző régiókban lévő eltérő lehetőségek legjobb kihasználására, a hallgatók és az oktatók széles körű mobilitásának támogatására új elveket és keretrendszert fejlesztenek a partnerek.

### 3. KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS FEJLESZTÉSE

Ennek a programnak a legfontosabb célja az, hogy a partner intézmények kutatási kapacitásainak összehangolásával a szinergikus hatásokat erősítsék, és olyan kritikus tömeget elérő erőforrásokat hozzanak létre, amelyek nemzetközi viszonylatban is versenyképes kutatásokat eredményezhetnek. Ennek érdekében kidolgozzák a járműipari igényekhez illeszkedő K+F metodikát, egységes adatbázisba gyűjtik össze az intézményi kutatási kapacitásokat, összehangolják az új fejlesztéseket, és kölcsönösen támogatják egymást a kutatási feladatok megoldásában. Vállalják, hogy saját felméréseik és kutatási tapasztalataik alapján hozzájárulnak az ágazati és regionális K+F+I stratégiák kidolgozásához, igény szerint ajánlásokat dolgoznak ki a szakspecifikus fejlesztési programokhoz.

### 4. NEMZETKÖZI KAPCSOLATOK FEJLESZTÉSE

Ez a program a TÁMOP 4.1.1. C konkrét céljaiban a nemzetközi kapcsolatokra megfogalmazott tevékenységek gyakorlati megvalósítását szolgálja, amelynek lényege a vidéki, konvergencia régióbeli felsőoktatási intézmények külföldi hallgató vonzó képességének növelése és

nemzetközi kapcsolatainak bővítése. Egyik modulja a nemzetközi gyakorlati képzések és részképzések kereteinek meghatározásával segíti a hallgatói mobilitást, de ezt támogatja a mérnökhallgatók nemzetközi hallgatói szervezetében (IAESTE) tervezett fokozott részvétel, valamint a járműipari tudományos szervezetek ifjúsági tagozatainak munkájába való intenzív bekapcsolódás (pl. FISITA) is. Ezek a tevékenységek a nemzetközi részvétel erősítését és külföldi hallgatók vonzását szolgálják. Hasonlóan a hallgatói öntevékenységet erősíti a nemzetközi járműépítő versenyeken való részvétel támogatása, ahol eddig is kiváló eredményeket értek el a magyar mérnökhallgatók (Shell Eco-marathon, Formula Student, Pneumobil stb.). A főirány céljai között említhetjük, hogy a külföldön szakmai gyakorlatot végző hallgatók létszámában 20%-os emelkedést tűztünk ki célul. A fejlesztések révén elért létszámemelkedés a külföldi hallgatókat tekintve nem közvetlen célja a projektnek, azonban nemzetközi tevékenységeink nyomán (oktatók szaknyelvi képzése, idegen nyelvi képzések, idegen nyelvű szolgáltatások bővítése, az intézmény külföldi népszerűsítése, K+F együttműködések kialakítása) néhány éven belül a jelenlegi évi 45 fős létszám 50 főre való emelkedését várjuk.

### 5. SZERVEZET- ÉS SZOLGÁLTATÁSFEJLESZTÉS

Ennek a programnak a célja a fent bemutatott programok megvalósításának és hosszú távú fenntarthatóságának biztosításához szükséges szervezeti fejlesztések megvalósítása. Működési és projektmenedzsment-folyamatok újraszervezésével növelik az intézmények irányítási és menedzsmentrendszeireinek hatékonyságát, rugalmasságát. A karrierszolgáltatások fejlesztésének célja a karrierirodák szakmai profiljának bővítése, intézményi beágyazottságának növelése, valamint az azonos szakterületeken működő karrierirodák közös szervezet- és szolgáltatásfejlesztése, hogy a végzett hallgatók kapcsolatrendszerei révén az ipari együttműködések fejleszteni lehessenek. ●



Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
www.ujszechenyiterv.gov.hu  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

# Konferencia a járműipari képzés, kutatás-fejlesztés helyzetéről és jövőjéről

**Időpont:** 2014. január 31.

**Helyszín:** Magyar Tudományos Akadémia

A járműipari képzést és kutatás-fejlesztést végző felsőoktatási intézmények megállapodtak, hogy a győri Széchenyi István Egyetemen működő, országos hatáskörű Járműipari Kutatóközpont által összehangolják és egyúttal kínálják is kutatás-fejlesztési kompetenciáikat, kapacitásukat a járműipar számára.

A hazai járműipar legismertebb, legtekintélyesebb szakértői mutatják be a következő járműipari kutatási projektek eddigi eredményeit:

- Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások  
TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012
- „Smarter Transport” Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása  
TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012
- „Járműipari Felsőoktatási és Kutatási Együtműködés” Regionális ágazati felsőoktatási együtműködés TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 támogatása

A konferencián való részvétel ingyenes, regisztrációhoz kötött.

Regisztrálni a <http://jkk.sze.hu/innomobilitas2013> internetcímen vagy telefonon lehet.

Bővebb felvilágosítás:  
Járműipari Kutatóközpont  
E-mail: [jkk@sze.hu](mailto:jkk@sze.hu)  
Tel.: +36-96/503-400 /3176

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujszechenyiterv.gov.hu](http://www.ujszechenyiterv.gov.hu)  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió  
támogatásával valósul meg.



A JÖVŐ  
**járműve**  
A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA



**inno**  
**mobilitas**  
A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

The logo for Formula Student Hungary is presented within a red speech bubble. At the top left of the bubble is a small white icon of a go-kart. The text "FORMULA STUDENT HUNGARY" is written in large, bold, white, sans-serif capital letters. Below this, "GYŐR-GÖNYŰ HARBOR" is written in a smaller, white, sans-serif font.

**FORMULA  
STUDENT  
HUNGARY**  
GYŐR-GÖNYŰ HARBOR



[fshungary.hu](http://fshungary.hu)