

A jövő járműve

07
1-2

Járműipari innováció

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

Biztonságkritikus járműrendszerek

CAD-FEM integráció

Integrált irányítási alkalmazások

Üzemanyagcellák alkalmazása

II. Széchenyi Futam



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont

Széchenyi István Egyetem
Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont



H₂O-val A-ból B-be? A tudás képes megváltoztatni a világot!

A változási folyamat aktív részese csak az lehet, aki **a megfelelő tudással rendelkezik**. Az autó- és motorfejlesztés szakembereinek ezért naprakésznek kell lenniük a kutatásfejlesztés legújabb eredményeiben, tendenciáiban.

Szakkiadványainkban nemcsak tényekről és számokról olvashat, hanem aktuális kutatási eredményekről, tudományosan megalapozott szakmai ismeretekről és az ágazat aktuális híreiről. Ez a koncepció teszi a német nyelvű, de angol nyelvű kivonattal is megrendelhető ATZ és MTZ folyóiratokat olyan kiadványokká, melyekből ön naponta profitálhat. Hozzá szeretne járulni jövőnk formálásához? Örömmel tölt el bennünket, hogy segíthetünk ebben, és a megfelelő tudáselőnyt nyújthatjuk önnek.

Kérjen ingyenes próbaszámot!



További információkat a **www.all4engineers.com** honlapon, az autópári mérnökök tudásportálján olvashat, ahol az ön munkáját egyedülálló online szakcikkek is segíti.



Tartalomjegyzék

4	Rendezvények, konferenciák
5	Tovább terjeszkedik a Bosch Budapesti Fejlesztési Központja
6	A BMW-é az Év Motorja
8	II. Széchenyi Futam – Alternatív Hajtású Járművek Versenye másodszor, nagy sikerrel
10	A Toyota Way – Petrók János
16	Nagy méretű közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa – dr. Péter Tamás, dr. Bokor József
22	A vezeték nélküli hálózattal összekapcsolt járművek irányítása intelligens közúti kereszteződésben – Luspay Tamás, dr. Németh Erzsébet, dr. Varga István, dr. Soumelidis Alexandros
24	3D navigációs algoritmusok analízise és hardver-szoftver partícionálása – dr. Arató Péter, Bíró Imre, Egri Attila, Kertész Zsolt, Kocza Gábor, dr. Loványi István
28	Integrált irányítási alkalmazások járműrendszerekben – dr. Bartha Tamás, dr. Gáspár Péter
32	Robusztus szabályozó tervezése járműirányítási feladatok megoldására – Rödönyi Gábor, dr. Gáspár Péter
35	Biztonságkritikus járműrendszerek kvalitatív megbízhatósági elemzése – Fülep Tímea, dr. Náday László
38	Kockázati alapú fejlesztési kritériumok a járművek biztonsági rendszereinél – Szabó Géza
42	Komplementáris fényjelzések hatásvizsgálatának mérés technikája – Fekete Róbert Tamás, dr. habil Ábrahám György
46	Hibrid járműhajtású autó irányítási rendszerek – Könyves Vera, Juhász Árpád, Falvy Bence
50	Járműakkumulátorok modellezése és szimulációja – Untener Kornél, Gajdátsy Gábor, Kokavecz János, Mihálffy Tamás, Juhász Árpád
53	Üzemanyagcellák alkalmazása járművekben – Juhász Árpád, dr. Náday László
57	A deformációs energia eloszlásának modellezése baleseti járműtest-deformáció esetén – Harmati István, dr. Várlaki Péter
60	Tehetséggondozási programot indított a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont
62	Tüzelőanyag-fejlesztés magyar szemmel – dr. Faragó István, dr. Inzelt György, Kriston Ákos, Kornay Miklós, Szabó Tamás
66	Van új a nap alatt... – dr. Tóth-Nagy Csaba
68	CAD-FEM integráció és alkalmazása járműfőegységek fejlesztésére – Horváth Zoltán
71	Global Optimization: Application Perspectives in Engineering Design – János D. Pintér
74	Úton a baleset- és kipufogógáz-mentes közúti közlekedés felé: a Bosch megoldásai a világszerte növekvő igényekre –
76	A Bosch koncepciója az alacsony árkategóriájú gépjárművek világszerte növekedő piacával kapcsolatban – Wolf Henning Scheider
79	Motor- és váltógyártó üzemek Európában
84	Haszongépjármű-dugattyúk nagy mechanikai és hőterhelésre – Enyingi Kálmán
88	Gépjárművek mérésére szolgáló és gépjárművekbe beépített biztonsági radarok statisztikai elmélete (2. rész) – dr. habil. Molnár Győző, dr. Oláh Ferenc
95	Regisztrációs lap
96	Könyvajánló
98	Úton a baleset- és kipufogógáz-mentes közúti közlekedés felé: a Bosch megoldásai a világszerte növekvő igényekre – dr. Bernd Bohr

Rendezvények, konferenciák

Időpont	Helyszín	Rendezvény	Jelentkezés
Július 9.	Aachen, Németország	Die Antriebe von BMW Motorrad	office@vka.rwth-aachen.de
Július 11–12.	München, Németország	Lenksysteme in Kraftfahrzeugen	anmeldung@hdt-essen.de
Július 12.	Darmstadt, Németország	Fahrerassistenzsysteme für Nutzfahrzeuge	hohm@fzd.tu-darmstadt.de
Július 16–17.	München, Németország	FlexRay	anmeldung@hdt-essen.de
Július 17–18.	München, Németország	Grundlagen der Kommunikation mit Fahrzeug-Steuergeräten	anmeldung@hdt-essen.de
Július 19.	München, Németország	Geräuschqualität von Fahrzeugkomponenten und Gesamtfahrzeug	anmeldung@hdt-essen.de
Augusztus 13–15.	Zürich, Svájc	11th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles	ttm.a.mayer@bluewin.ch
Szeptember 6–7.	Graz, Ausztria	Der Hybridantrieb – 19. Internationale AVL-Tagung	event@avl.com
Szeptember 10–13.	Ilmenau, Németország	52. IWK Internationales Wissenschaftliches Kolloquium	kongressorganisation@tu-ilmenau.de
Szeptember 10–13.	Nürnberg, Németország	Euromat 2007 – Advanced Materials and Processes	euromat@fems.org
Szeptember 17–21.	Karlsruhe, Németország	Kurs Fest-Flüssig-Trennung	ursula.pfeil@mvm.uni-karlsruhe.de
Szeptember 18–20.	Regensburg, Németország	Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundlagen	hannelore.skobjin@otti.de
Szeptember 19.	Frankfurt, Németország	Einführung in die Verstärkten Kunststoffe	info@avk-tv.de
Szeptember 19–20.	Berlin, Németország	23. Deutscher Flammentag – Verbrennung und Feuerungen	wissensforum@vdi.de
Szeptember 19–21.	Bréma, Németország	Materialographie	np@dgm.de
Szeptember 20–21.	Graz, Ausztria	Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors	minarik@tugraz.at

Tovább terjeszkedik a Bosch Budapesti Fejlesztési Központja

A Robert Bosch Kft. Budapesti Fejlesztési Központja idén is várja a frissen végzett mérnököket és informatikusokat, hogy az ország egyik legnagyobb külföldi befektetőjénél fejlessék tovább tudásukat.

Központi sajtótájékoztatón mutatkoztak be a Bosch-csoport hazai vállalatai hazánkban első ízben. A Budapesten megtartott eseményen Thomas E. Beyer, a vállalatcsoport hazai igazgatója foglalta össze a nemzetközi és hazai eredményeket. Mint elmondta „a 2006-os évben a Bosch világszinten 43,7 milliárd eurós forgalmat bonyolított, amit 261 300 munkatárs közreműködésével értek el. A hazai eredményeket illetően is növekedés állt be a társaság forgalmában. A 2005-ös 763 millió eurós forgalomhoz képest tavaly 1,15 milliárd eurós forgalmat realizáltunk, a hazai foglalkoztatottak száma pedig elérte a 7000 főt.” Ezt követően Henk Becker, a Budapesti Fejlesztési Központ igazgatója beszélt az eddigi eredményekről és tervekről. A vezető elmondta: „a Bosch kiemelt szerepet szán a fejlesztési tevékenységekre Budapesten. Ezt bizonyítja, hogy 2000 óta folyamatosan növelik a fejlesztésekre szánt költségeket, mely a hat évvel korábbi 260 000 eurós összegről közel 10 000 000 euróra emelkedett a 2006-os évben.” Hasonlóan dinamikus növekedési tendencia jellemzi a fejlesztésen dolgozó munkatársak számát. A központ 2000-es megnyitását követően mindösszesen 6 fejlesztővel kezdte meg a munkát. Mára ez a szám közel 300-ra emelkedett és a következő év végéig 400 főre szeretnék kiterjeszteni a központ munkatársainak létszámát. A kifejlesztett termékek száma is hasonló arányban növekedett az évek során. A nyitás évében gépjármű-elektronikai automata sebességváltó vezérléssel indult a fejlesztési szakemberek munkája. Mára a számos egyéb fejlesztési tevékenység mellett a központban kerülnek fejlesztésre többek között az elfordulásérzékelő szenzorok (EPS-hez), utasvédelmi rendszerek (pl. légzsák) gyorsulásszenzorai, ablakemelők, napfénytetőnyitók, esőszenzor, blokkolásgátlók, kormányzás, világítás és hibrid területek hardver-, design- és áramkörfejlesztése, ablaktörő motor, valamint mechanika fejlesztése és végül, de nem utolsósorban a Budapesti Fejlesztési Központban található a 4-5-6 sebességű váltók 2. legnagyobb fejlesztési központja világszinten.

Henk Becker arról is beszámolt, hogy a Bosch és az általa vezetett Fejlesztési Központ kiemelt figyelmet szán a hazai felsőoktatás támogatására. A vállalat vezetői idén januárban írtak alá egy hosszú távú megállapodást a BME-vel. Ennek keretében három éven



át segítik az egyetem munkáját anyagiakkal, szaktudással, piaci információkkal, szakkönyvekkel és szakmai előadásokkal. Ennek eredményeként nyílt meg áprilisban az a gépjármű-elektronikai labor, melyben valós elemeket is tartalmazó szimulátorokkal végezhetnek méréseket a hallgatók a legmodernebb körülmények között. A labor kialakítására 5,5 millió forintot költött a Bosch, de az idei évben további 45 millió forintot kíván fordítani kutatási és fejlesztési megbízásokra, valamint még 20 millió forintot szán a gépész és informatikai karok támogatására. Arra a kérdésre, hogy miért éppen Budapestet választotta a cég egy ilyen méretű fejlesztési központ alapításához, Henk Becker az alábbiakat válaszolta: „a Németországhoz való kulturális közelség mellett igen sokat nyom a latban, hogy az egyetemi oktatás színvonala magas szintű, a végzett mérnökök pedig nagyon rugalmasak, kreatívak és jól motiválhatók. Fontos szempont az is, hogy a közelben található a cégcsoport hatvani és miskolci gyárai, akikkel szorosan együttműködünk a tervezésben és a gyártásban egyaránt.

Forrás és kép:
Bosch



A BMW-é az Év Motorja

Ismét a BMW gyűjtötte be a legtöbb első helyet az International Engine Of The Year Awards választáson, ahol 30 nemzet 62 autós újságírója, köztük egyedüli magyarként Szécsényi Gábor, az Autók2tő főszerkesztő-helyettese döntött a helyezésekről. A BMW dupla turbós motorja három elismerést is begyűjtött, ez lett a legjobb motor, a legjobb új motor, és a legjobb 2,5 és 3 liter közé eső motor is. A bajor márka ezeken kívül még négy kategóriában győzedelmeskedett, rajta kívül csak a Toyota, a Volkswagen és a Porsche szerzett „Év Motorja” elismerést.

A PSA Peugeot Citroën és a BMW-csoport együttműködésében kifejlesztett 4 hengeres, 1,6 l-es, közvetlen befecskendezéses turbó benzinmotor megkapta a kitüntetett „A 2007. év Nemzetközi Motorja” elismerést az 1,4 l és 1,8 l közötti



Volkswagen 1,4 TSI



hengerűrtartalmú motorok kategóriájában. A 62 elismert újságíróból álló nemzetközi zsűri által odaítélt „Az év Nemzetközi Motorja” díj az autógyártók által az egyik leginkább nagyra tartott elismerés. A zsűri a legújabb modellek vezetési tesztjeit követően hozta meg döntését a következő szempontok alapján: vezetési élmény, legjobb teljesítmény, legalacsonyabb fogyasztás, valamint a legfejlettebb tech-

2007 legjobb motorja:	BMW 3,0 dupla turbó (335i)
A legjobb új motor:	BMW 3,0 dupla turbó (335i)
A leggazdaságosabb:	Toyota 1,5 Hybrid Synergy Drive (Prius)
A legjobb sportmotor:	BMW 5,0 V10 (M5, M6)
A legjobb egy liter alatti:	Toyota 1,0 (Aygo, Yaris, Peugeot 107, Citroën C1)
A legjobb 1–1,4 literig:	Volkswagen 1,4 TSI (Golf, Touran, Jetta)
A legjobb 1,4–1,8 literig:	BMW-PSA 1,6 turbó (Mini, Peugeot 207)
A legjobb 1,8–2 literig:	Volkswagen 2,0 TFSI (Golf, Audi A3, A6, Seat Leon, Skoda Octavia)
A legjobb 2–2,5 literig:	BMW 2,5 (325i, 525i, X3, Z4)
A legjobb 2,5–3 literig:	BMW 3,0 dupla turbó (335i)
A legjobb 3–4 literig:	Porsche 3,6 dupla turbó (911 Turbo)
A legjobb négy liter feletti:	BMW 5,0 V10

nológiák alkalmazása. A küzdelemben részt vevő 71 motor közül a legtöbb az 1,4–1,8 liter hengerűrtartalmú motorok kategóriájában indult, az Európában folyamatosan bővülő B és M1 szegmensek mintájára. A PSA Peugeot Citroën és a BMW-csoport 4 hengeres, 1,6 l-es, közvetlen befecskendezéses turbó benzinmotorja a kategória nagy győztesének bizonyult összesen 273 pontjával. Az itt megszerzett első hely mellett a motor egy másik dobogós helyezést is elért, amikor a valamennyi hengerűrtartalmú motort felvonultató „Legjobb Új Motor” kategóriában megszerezte a 3. helyet. Az erőforrás a 207-es családon kívül, melynek szinte minden verziójához, a 3 és 5 ajtós változatokon kívül a CC-hez is kapható, jelenleg a MINI Cooper S modellt is hajtja. Idővel ezzel az 1,6 literes benzinmotorral szerelik majd a Peugeot, a Citroën és a BMW-csoport kínálatának más modelljeit is. Az 1,6 l 120 LE DIN teljesítményű erőforrással párhuzamo-



BMW-PSA 1,4 és 1,6 literes motor



BMW 3,0 dupla turbó

san kifejlesztett 1,6 l 150 LE DIN teljesítményű benzines turbómotor egy teljes motorcsalád részét képezi, melynek tagjai 90 és 175 LE DIN közötti teljesítményt nyújtanak. A PSA Peugeot Citroën és a BMW-csoport között létrejött, 2002 júliusában bejelentett együttműködés az egyes partnerek erősségeire és tudására alapozva, egy pontosan meghatározott cél érdekében jött létre, ez pedig: a magas szintű motorteknológiák bevezetése és elterjesztése között fennálló, igen nehéz gazdasági egyenlet megoldása olyan piaci szegmensekben (B és M1), ahol rendkívül nagy a költségekre nehezedő nyomás. A motorok főbb alkotóelemeit a PSA Peugeot Citroën douvrin-i üzemében, a la Française de Mécanique-ban gyártják. Az üzemben a motorok gyártásával összefüggésben 330 millió eurós beruházásra került sor.

II. Széchenyi Futam – Alternatív Hajtású Járművek Verseny másodszor, nagy sikerrel



A győri Széchenyi István Egyetem (SZE) Egyetemi Hallgatói Külügyi Bizottsága második alkalommal, április 25-én az egyetem parkolójában rendezte meg a Széchenyi Futamot, az Alternatív Hajtású Járművek Versenyét, mely nyári időszakban, több száz érdeklődő és számos sajtóképviselő társaságában zajlott.

A nem mindennapi versenyen kilenc csapat vett részt két kategóriában (profi és amatőr). A profi kategóriában hat induló volt, az amatőr kategóriában pedig három résztvevőt köszönthettünk. A futam értékelését egy ötfős zsűri végezte (Kossa György, mint a zsűri elnöke, Turai Attila, Vadnai Zoltán, Várad Szabolcs és Szaniszló Csaba).

A verseny technikai jellegű pályán folyt és három részből épült fel: az első futam a profi kategória versenyzőiről szólt, majd őket követték az amatőr résztvevők. A második – maraton – futamon a járművek gyorsasága, szívóssága került előtérbe a kissé átépített pályán. Ezen a profi kategória résztvevői egyszerre, két óráig köröztek; a versenyt az a csapat nyerte, aki a legtöbb kört tudta teljesíteni. A két futam között zajlott a nosztalgiafutam, amelyen a tavalyi verseny néhány résztvevője képviseltette magát. A záró etap előtt lehetőséget adtak a szervezők a médiának, hogy kipróbálhassák a járműveket, felvételek és interjúk készítésére.



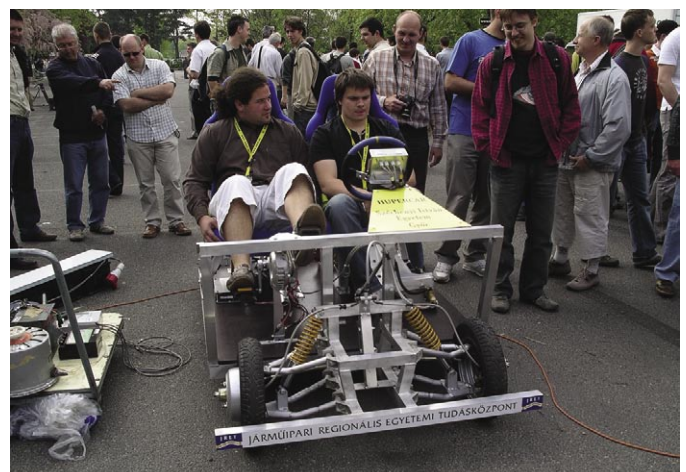
Show-car díjas, kék szőrű SZE-jármű

ELŐREMUTATÓ TECHNOLÓGIÁK

A küzdelem a tavalyihoz képest sokkal kiélezettebb volt és technikai csemegék sora bukkant fel. Volt ultrakapacitás, akkumulátor, 90%-os hatásfokú kerékgymotor, vízbontási próbálkozás, ugyanakkor az emberi erő bevetésétől sem riadtak vissza a lelkes fiatalok. Érdekesség volt a pneumatikus kispolski, „ami gőzgépi mechanizmussal és hanghatással” szelte a méterekeket, míg az elektromos Trabant nevét meghazudtolva hangtalanul és füstfelhő nélkül suhant. A leggyorsabb jármű akár 50–60 km/h-val is képes volt „száguldani”, sőt a fékezésen kívül a felfüggesztés is energia-visszatermelő rendszerű volt.



Pneumatikus „gőzgép” kispolski ruhában



A SZE Közúti és Vasúti Járművek Tanszék Hupercar-ja – a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont támogatásával



A Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont által támogatott, 3. helyezett Pápa Mobil



Szuperkapacitás, akkumulátor, tárcsafék, verseny futómű – BME, Elektronikus Jármű- és Járműirányítási Tudásközpont – 2. helyezett

EREDMÉNYEK:

Profi kategória

I. Intermotor (ifj. Willisits Vilmos; Bereczky Zoltán, Tamtom Péter, Zab Richárd)

II. Budapesti Műszaki Egyetem doktoranduszhallgatói

A csapatot az Elektronikus Jármű- és Járműirányítási Tudásközpont, a Knorr-Bremse, valamint a Thyssen-Krupp Nothelfer Kft. támogatta.

III. Czobor Imre: Pápa Mobil (Soós Bálint, Baki Zsolt, Szabó András László) Elektromos hajtás és lábajtás kombinációja. A csapatot a Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontja támogatta.

Amatőr kategória

I. Cserháti Sándor Szakközépiskola, Nagykanizsa

(Balassa József, Kovács Zoltán, Lukácsi András, Varga Gábor, Fehér László)

II. Balog Andor

III. A Széchenyi István Egyetem volt hallgatói (Kis Gábor, Horváth Csaba, Takács László, Rácz Zsolt, Haris Péter, Pető Zoltán, Elekes Krisztián)

Különdíjak

A legötletesebb jármű: Pápa Mobil.

A leginnovatívabb jármű: Intermotor.

A hosszú távú futamért járó kupát az Intermotor csapata vehette át Kabács Zoltántól, a Pannon Autóipari Klaszter menedzserétől.

Az Allianz Hungária képviseletében Bognár Péter adta át a „**Tesztvezetés a Hungaroringen**” különdíjat a **Hupercar** koncepciónak (Pup Dániel, Hornyák Csaba, Szijj Gábor, Czeglédi Dávid, Szilágyi Máté, Szabó Tamás)

A **Show-car díjat** Petis László főszervező adta át **Károlyi Róbert** csapatvezetőnek (**Vörös Tibor, Kiss Máté**).

Vogel Miklós és Kálmán Viktor (BME) vehették át a **leginnovatívabb járműnek** járó díjat a Bercsényi Invest Kft.-től, Csengel Zsuzsa képviseletében.



Az Intermotor első helyezett járműve – akár forgalomban is mehetne

A Toyota Way

Petrók János

A Toyota autógyártása a cégelőd szövőgépgyárat alapító Sakichi Toyoda és fia, Kiichiro Toyoda innovációs elvei mentén halad. A továbbfejlesztett elvek ma is filozófiai útmutatást jelentenek a fejlesztők munkájában.

The car production at Toyota goes according to the innovation principles of Sakichi Toyoda and his son Kiichiro Toyoda, who established the company-predecessor weaving mill. These principles work as philosophical instructions for the developers even today.

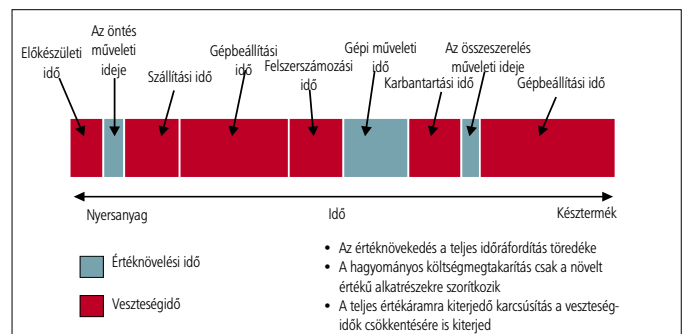
BEVEZETÉS

A Toyota látványos autóipari teljesítménynövekedését számos tényező befolyásolja. Így a társaság kultúrája, a kaizen (a folyamatos javítás) filozófiája, a kanban (a megfelelő időben) végzett, zéróhibájú, karcsúsított gyártás, a gyorsított termékciklus, a konszenzuson alapuló döntéshozatal, a legnagyobb vevői elégedettségre törekvés és a termékek kiváló minősége.

A Toyota konszernt a társaság szándékai mozgatják, a tervek jobb megértése és nemzetközivé tétele érdekében. Úgy, hogy az ideológiák a szándékokban materializálódnak annak érdekében, hogy erős és egységes mechanizmus ösztönözze a munkatársak erőfeszítéseit, morális irányt mutatva a szervezet értelmes, értékteremtő szándékainak megvalósítására.

A Toyota szándéka mind jobban felhasználni a tudást, a hatalmi struktúra érintett érdekelt felei, továbbá a környezeti és a kulturális értékek követelményeinek kielégítésére. A Toyota célja, hogy a jól vezetett globális korporáció, a helyi közösségeknek is aktív, közreműködő tagja legyen. Stratégiai döntései mögött a harmonikus növekedés és a jövedelmezőség fokozásának keresése jelentik a fő hajtóerőt.

Szorgalma és tehetsége, néhány évtized alatt, a „Japán feltalálók királya” és a „Japán ipari forradalom atyja”, megtisztelő címek birtokosává avatta Sakichi Toyodát. Automatikus szövőszéke az



2. ábra: az értékteremtő rendszer veszteségei

automatizálás gondolatát (Jidoka) a vállalatvezetés filozófiájává tette.

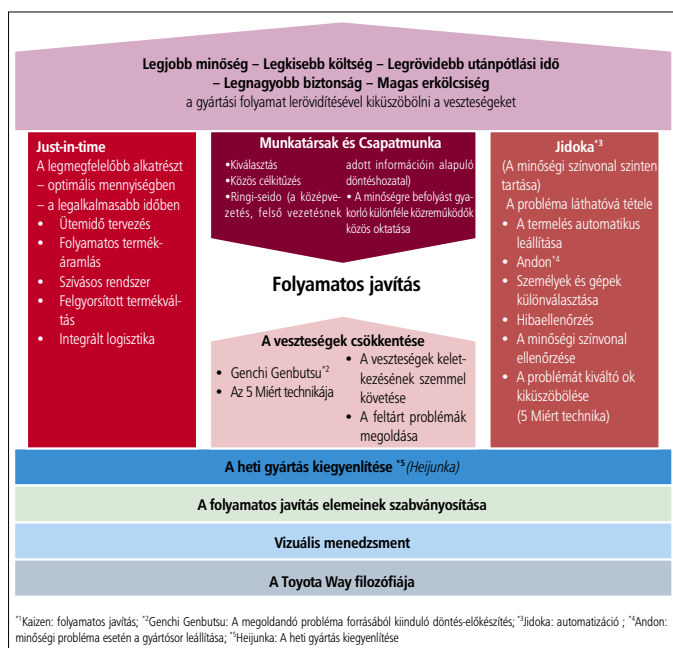
Nevéhez fűződik a mélyreható problémafeltárás 5 Miért-ben tükröződő módszerének vállalati elterjesztése, és a hasonló problémák felmerülésének kiküszöbölése, például a minőségi szórás, és az ezzel összefüggő költségek csökkentését célzó Six Sigma módszer bevezetésének előkészítésében.

A TOYOTA-SIKEREK TITKA

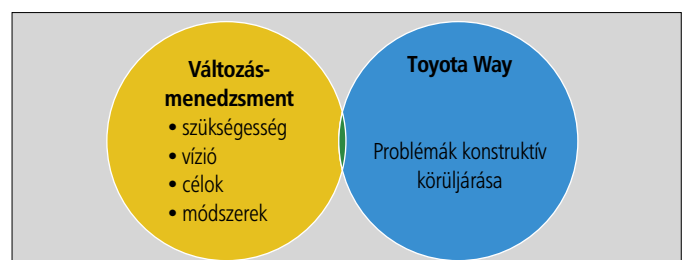
A Toyota-sikerek mögött a versenyképesség folytonos növelése áll. James P. Womack és Daniel T. Jones a 1990-es években nemzetközi kutatásokat végeztek annak megállapítására, hogy mik jelentik az autógyártásban a versenyelőny forrását. Eredményeiket egy, azóta bestsellerré vált könyvben, a „The Machine That Changed The World”-ben foglalták össze.

A kutatás eredményei megdöbbentőek voltak, rámutattak arra, hogy a Toyotának körülbelül 2-szeres a termelékenysége, és 100-szor jobb a minősége, mint az akkori nyugati autógyártóknak.

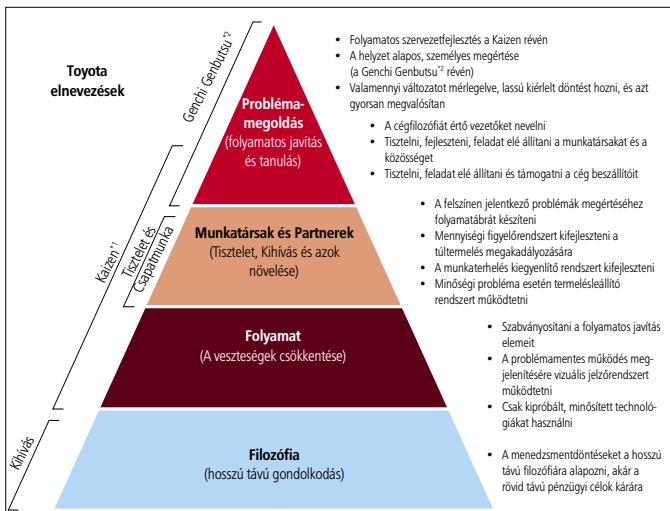
Lean Manufacturing. A Toyota versenyelőnyének egyik legfontosabb forrása a karcsúsított gyártás. A Lean Manufacturing olyan gyártási filozófia, amely a vásárlói igények lehető legmagasabb



1. ábra: a Toyota Gyártási Rendszer (TPS) felépítése

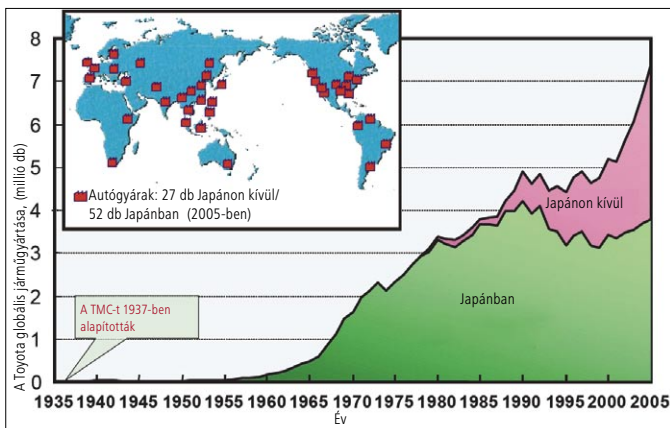


3. ábra: a Toyota versenyképességét a folyamatos átalakításra képes menedzsment és a cég konstruktív vállalati kultúrája alapozza meg



4. ábra: a Toyota Way fogalmainak hierarchiája

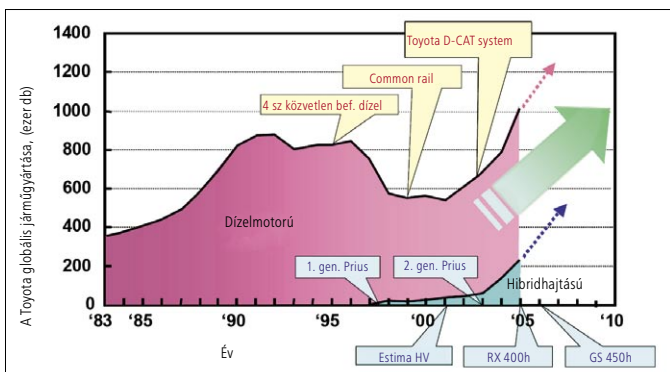
szintű kielégítést, megfelelő anyagfolyammal, a működés folyamatos tökéletesítésével éri el, kiküszöbölve az értékteremtő láncban fellelhető veszteségeket és minőségi hibákat. Célja: a vásárlóorientált termelés, a legjobb minőségű termék, a legrovidebb gyártás, a legkisebb költségráfordítással.



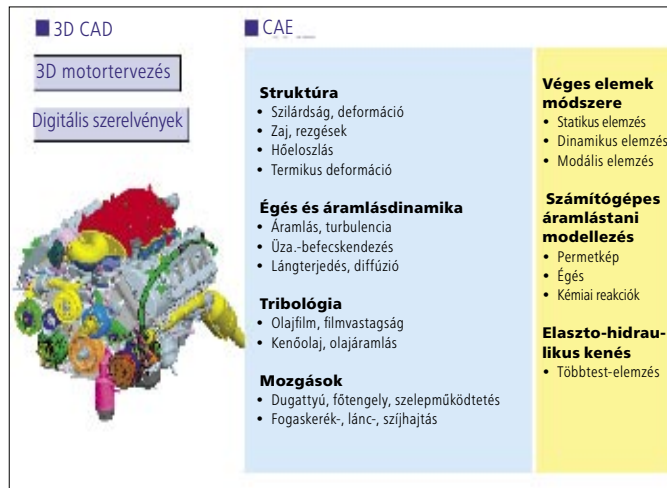
5. ábra: a Toyota globális járműgyártása (TMC: Toyota Motor Corporation)

A Lean fogalom a Toyota-konzernen belül fellelhető legjobb gyakorlatot jelöli és így a Toyota Production System szinonimájaként használható.

A Lean szervezet gyorsan és rugalmasan képes reagálni a vevők igényeire, miközben a lehető leghatékonyabban használja a rendelkezésre álló erőforrásait.



6. ábra: a Toyota dízel és hibridhajtású járműgyártása

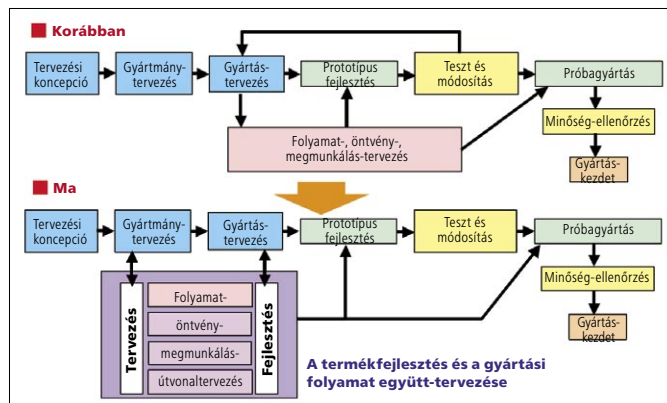


7. ábra: a motortervezés digitalizálása

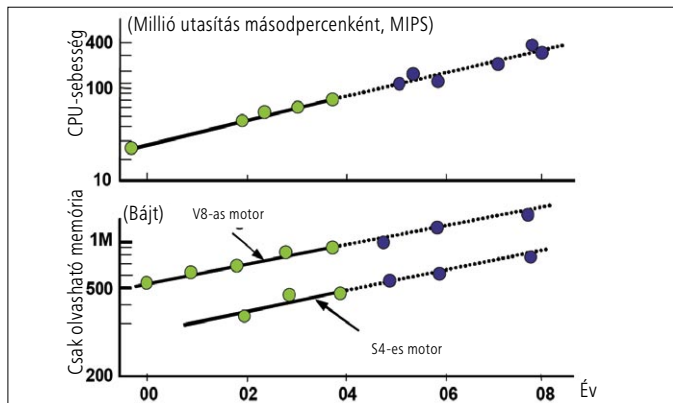
A Lean szervezet, nem sovány vagy anorexiás, hanem fitt és rugalmas, mentes a felesleges terhektől, jól gazdálkodik az erejével, ezért a piaci versenyben nagyobb esélye van a sikerre.

A karcsú gyártás 5 alapelvre épül. 1. A termékek értékei a vásárlók szempontjából kerülnek meghatározásra. 2. A termékek és az értékek áramlása a teljes körfolyamatra (a belső és külső folyamatokra) kerül kiterjesztésre. 3. Az értéktermelő folyamat megszakitásai és veszteségei minimálisak. 4. A gyártás vásárlói megrendelésekre, értékigények szerint szervezett. 5. Úgy, hogy a veszteségek felszámolása kitaró és folyamatos.

A Toyota-modell működése 14 alapelven nyugszik. 1. Hosszú távú filozófián alapuló döntéshozatal, akkor is, ha azok rövid távon többletkiadást jelentenek. 2. Olyan folytonos áramlások kialakításával, melyek felszínre hozzák a problémákat. 3. A túltermelés megelőzésére húzó (pull) rendszerű gyártást alkalmazva. 4. Egyenletes, ritmikus gyártást adó munkaterheléssel (heijunka). 5. Az „elsőre jó minőségű” termék előállításához problémafeltáró és megoldó kultúra kialakításával. 6. Az alkalmazottak bevonásával szabványosított alapokra épülő, folyamatos működéstökéletesítő gyártás kialakításával. 7. Vizuális kontroll bevezetésével, a rejtett hibák megjelenítésére. 8. Megbízható és igazolt technológia alkalmazásával szolgálva az embereket és a folyamatokat. 9. A munkájukat teljes mértékben értő, a vállalati filozófia szerint élő és tanító, tudásukat átadó vezetők kinevelésével. 10. Kivételes emberek és csapatok nevelésével és kiválasztásával, akik hűen követik a vállalati filozófiát. 11. A munkatársakat és a beszállítókat tisztelő partnerség kiépítésével, a kihívások teljesítésében. 12. Személyesen megismerve és megértve az adott helyzetet (genchi genbutsu).



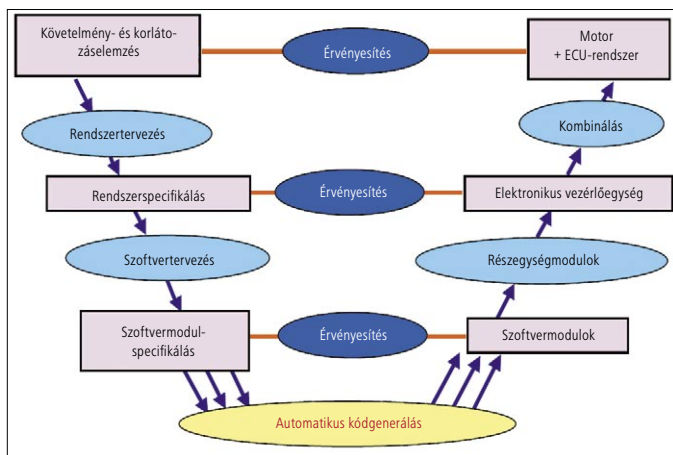
8. ábra: a termékfejlesztés és a gyártási folyamat együtt-tervezése (simultaneous engineering)



9. ábra: a gépkocsi motorirányító egységek fejlődéstendenciája

13. A lehetőségek elemzésével megfontolt, konszenzuson alapuló döntéshozattal (nemawashi). 14. Javító elmélyüléssel (hansei) és a folyamatos tökéletesítéssel (kaizen) működő, tanulószervezet kialakításával (kaizen).

A karcsúsítás megvalósításának 7 kulcsa. 1. A valódi értékek szerinti irányításra épül. 2. A fejlődés irányát konszenzuson alapuló közös döntéssel határozzák el és valósítják meg. 3. A folyamatoságot, megfelelő ritmusban végzett folytonos változásokkal tartják fenn. 4. A fejlődési program céljait és eszközeit a saját vállalati kultúra és helyzet alapján jelölik ki. 5. Az eredményes munkát ösztönzéssel ismerik el. 6. A szisztematikus előrehaladásban mindig a legfontosabb problémákra fókuszálnak. 7. Az adott feladathoz a leghatékonyabb módszert alkalmazzák.

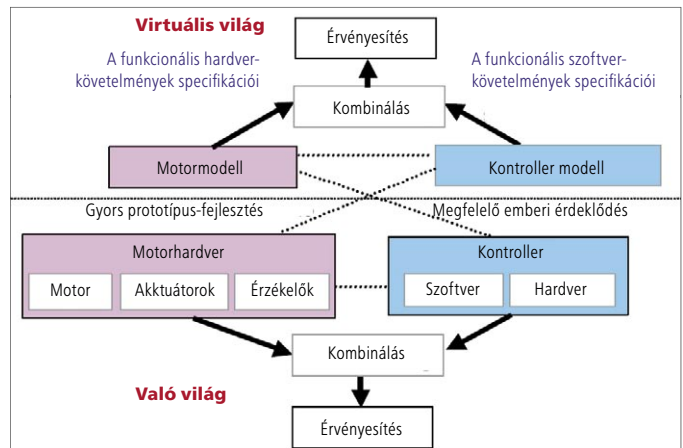


10. ábra: a motorirányító egység fejlesztésének „V-folyamata”

Kakushin. A karcsú vállalatirányítás elmúlt évtizedben követett, egyik legnépszerűbb elve a Kakushin volt, amely szabad fordításban folyamatos innovációt jelent. Japáni alkalmazásával a Toyota üzemein kívül is jelentős eredmények születtek.

Heijunka: egyenletes, szinkronizált termelés. A Heijunka gyártási rendszer univerzális gyártósorokra (bármely termék gyártható a soron); univerzális dolgozók alkalmazására (bármely terméket képesek gyártani); szinkronizált termékgyártási ütemidők használatára; a megrendelt termékfajta és mennyiség szerinti, napi gyártásprogramozásra; a megrendelt mennyiségekhez igazított gyártási ütemidőkkel végzett gyártásra épül.

WUS-technika. A veszteségek, egyenetlenségek, túlterhelések (waste, unevenness, strain) gyors felszámolása a Lean menedzsment látványosan eredményes módszere. Alkalmazása a következő műveletekre épül. 1. Veszteségfelszámoló célú mátrix



11. ábra: modellalapú fejlesztési koncepció

kimunkálására. 2. A táblázati elemek kifejtésére. 3. Ellenőrző kérdések beírásával. 4. A munkaterület átvizsgálásával. 5. A feltárt problémák azonosításával. 6. A nem megfelelő állapotok megszüntetésével. 7. Visszameréssel és értékeléssel.

A márka integrált menedzsment nevű rendszerét, a fejlesztés Toyota Way néven ismertté vált útja, olyan konstruktív vállalati kultúrával egészíti ki, amely folyamatosan növeli napjaink legfőbb követelményét, a cég versenyképességét.

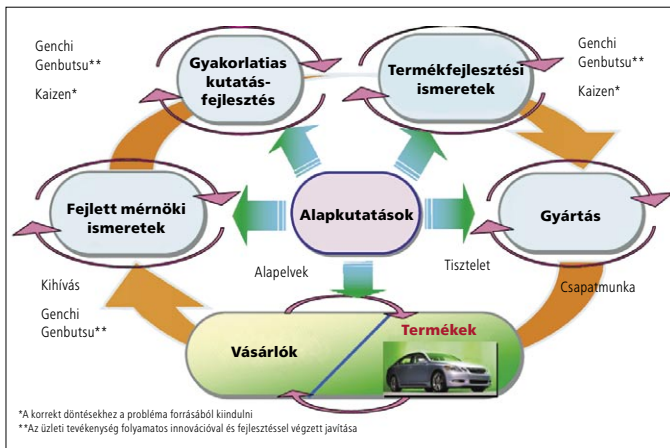
A VERSENYKÉPESSÉGRŐL

A versenyképesség a piaczgazdaságban működő vállalkozásoknak, a fizetőképes kereslet egyre jövedelmezőbb kínálatával végzett kiszolgálására irányuló potenciálja.

A versenyképesség növelése és/vagy a költségek csökkentése a versenyszféra minden vállalata számára világszerte olyan kihívást



12. ábra: a Toyota Way koncepciója (a) és gyökerei (b)



13. ábra: a Toyota Way funkciói

jelent, amely szinten tartás esetén is, a vállalati működés, piachoz igazodó átalakítását igényli, a szükségességek, a víziók, a célok és a módszerek szintjén. Versenyképességet növelni csak az előbbiek folyamatos javításával lehet.

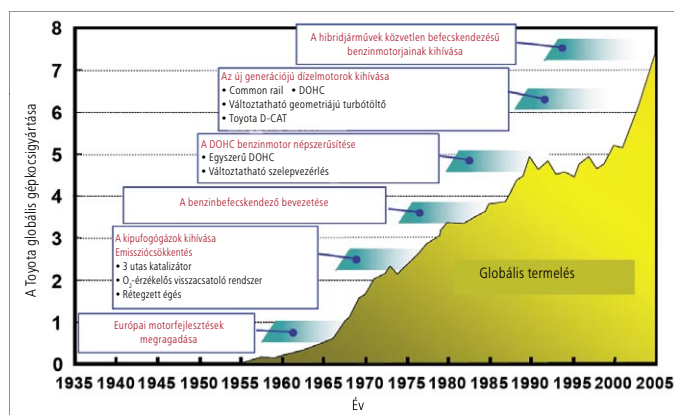
A Toyota versenyképessége a folyamatos átalakításra képes menedzsmenten és a cég konstruktív vállalati kultúráján (külső és belső játékszabályainak összességén) alapul. A Toyota Way öt értékre (a Kihívásra, a Kaizenre, a Genchi Genbutsura, a Tiszteletre, a Csapatmunkára) és két fő „pillérre” (a folyamatos fejlesztésre és az emberek tiszteletére) épül, és a felmerülő problémák, szabályokra épülő, módszeres javítását célozza.

A vállalati tevékenység alapja a Toyota Production System (Toyota termelési rendszer), amelynek a Toyota Way szerves kiegészítője a vállalati kultúrában.

ÚJ FEJLESZTÉSEK ÉS A TOYOTA WAY

A Toyota Way nem szabályrendszer, hanem útmutató. Módszer arra, hogy a Toyota Way folyamatok javításáról és az emberek tiszteletéről szóló alapelveinek Kihívás, (Kaizen), (Genchi Genbutsu), Tisztelet, Csapatmunka elnevezésű elemei hogyan érvényesüljenek a kutató-fejlesztő munkában.

Ezek az elemek közös ajánlásokat fogalmaznak meg az elvárható magatartáselemek, egyes részlegek és fejlesztési fejezetek köré-



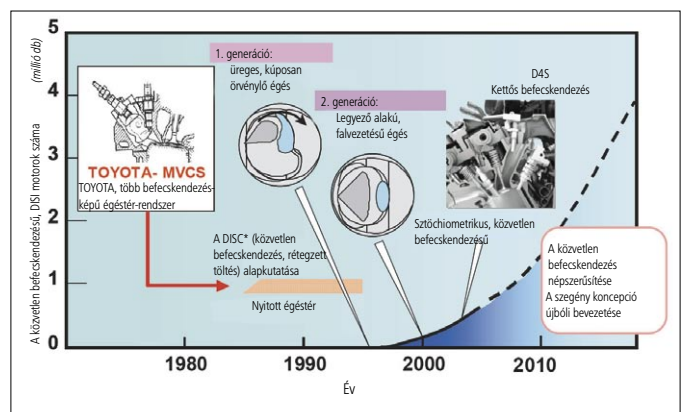
14. ábra: a Toyota újkorai motorfejlesztéseinek történeti áttekintése

ben való megvalósítására. Az, hogy Toyota Way ajánlásai hogyan kerülnek megvalósításra a napi munkában, természetesen a mérnökök és technikusok döntésén múlik.

Azt a mentális magatartást, ami a minőségi termelés folyamatos fenntartásához szükséges, és amit a kutató-fejlesztő mérnököknek mindig szem előtt kell tartania, Sakichi Toyoda „Időben, végtelen kreativitással, érdeklődéssel kutasd a javítás lehetőségét” néven elhíresült mondata fejezi ki a legjobban.

A gépkocsi fejlesztése számos feladatból áll. Attól a pillanattól kezdve, amikor a vásárló először érintkezik a járművel, a gyakorlati kutatás-fejlesztés eredménye épül bele a késztermékbe. Az elvek megértését célzó alapkutatástól az értéktérítő folyamat végéig meg kell tervezni – el kell készíteni – ellenőrizni kell – és végül használatba kell venni a járművet.

Az ezt előkészítő fejlesztési folyamat során mindezt következetes tudatossággal kell belegendolni a termékbe. Annak érdekében, hogy a megtervezésre fordított idő többsége, minél eredményesebben hasznosulhasson az egyes alkatrészekben. Ha az ilyen termék ellenőrzése eredményes, a használatba vétel, az előállító szervezet céljainak elsajátítását is igazolni fogja. Ha pedig a termékellenőrzés nem igazolja a kitűzött célokat, a használatba vétel kedvezőtlen tapasztalatainak, az értéktérítő folyamat folyamatos javítására kell ösztönöznie.



15. ábra: a Toyota DISI (közvetlen befecskendezésű) Otto-motorok fejlesztése

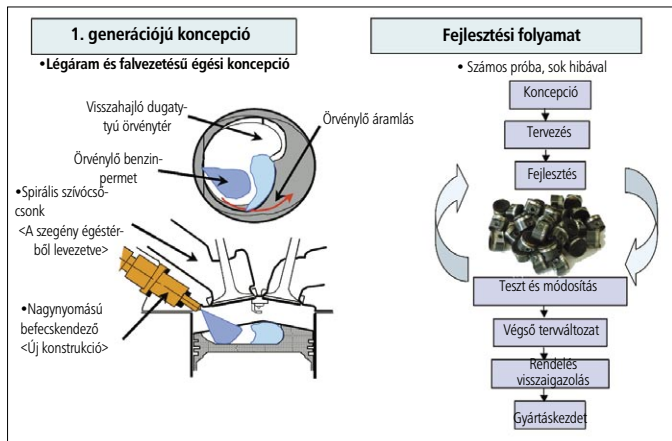
INNOVATÍV KUTATÁS-FEJLESZTÉSI MÓDSZEREK A GÉPKOCSIGYÁRTÁSBAN

A tervezés, a tesztelés, a módosítás és a motorhitelesítés egyes folyamataiban mind több innovatív kutatás-fejlesztési módszert alkalmaznak. A működésvezérlés fejlesztésének digitális tervezése és innovációja kulcsjelentőségű a motortervezésben.

A környezeti kihívások válaszaira, a mélyreható hibafeltárára, a folyamatos javításra és a munkatársak tiszteletére épülő „Toyota Way” a motorfejlesztés és a gyártás számos innovációját átalakította. Így, egyebek között a 3D CAD-adatokra épülő hardverfejlesztést, az égésfolyamatok számítógépes modellezését, a modell-alapú termékfejlesztést, a szoftverfejlesztés új algoritmusait és az ezekre épülő gyártási stratégiák kifejlesztését.

A Toyota Way-en alapuló eljárásokban ma is meghatározó szerep jut a benzinbefecskendezők, a motorgyártás, a márka mérnöki módszereinek továbbfejlesztésében, a Toyota műszaki haladásában és termékfejlesztésében.

A tervezés megújítása. A CAD digitalizáló rendszer használata a '80-as évek második felében kezdődött, mára a 3D technika komoly tervezési eszközzé vált a struktúrák vizsgálatában éppúgy, mint a levegő- és a hőáramlások, vagy a zaj és a rezgés elemzésében. Az új 3 dimenziós eljárások használatával javul a tervezés pontossága, és lerövidül a tervezési műveletek időigénye. Egyidejűleg tervezhető a termék és a technológia, mivel a térbeli adatok egyaránt felhasználhatók a forgácsolás és az öntés megtervezésére.



16. ábra: az 1. generációjú DISI (közvetlen befecskendezésű Otto-motor) koncepciója

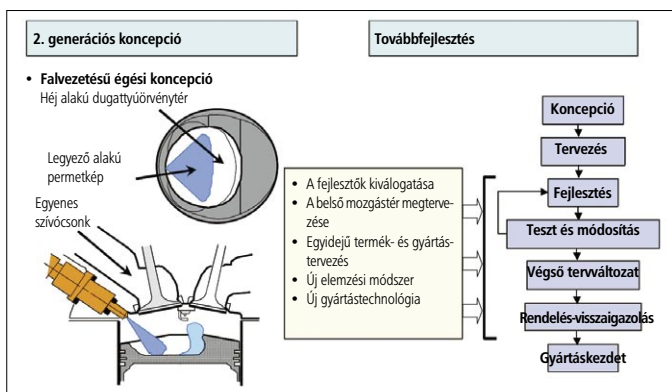
A korábbi, hagyományos eszközökkel csak a termékspecifikáció elkészítését követően kerülhetett sor a gyártás megtervezésére, ami a termék-előállítását főlegesen megnyújtotta. Ma ezek a műveletek összevonhatóak, ami jelentős változást hozott a fejlesztésben, mivel drasztikusan csökkentette a tervezés időigényét.

A hitelesítés megújítása. Ahogyan szigorúbbá váltak a kipufogógáz-emissziós követelmények, úgy váltak gyakoribbá a motorbeszabályozások, és növekedett a mérőeszköz-hitelesítések időigénye. Ma a működésvezérlés fejlesztése munkapontonként megköveteli a mérést befolyásoló jellemzők megtervezését. Ez olyan tömeges mérést és hitelesítést tesz szükségessé, ami a mérnöki ügyesség növelésével már nem követhető.

A vezérlőegységek fejlesztése a jól ismert V-folyamat elven alapul, amely számos, különféle eljárás, egymást folytonosan követő műveletek és adatok halmazából épül fel. A nagyszámú művelet a virtuális világban két modellre, a motormodellre és a vezérlőegység-modell használatára egyszerűsíthető. A valós világban a két modellnek a motor és a vezérlőegység felel meg. A legújabb vezérlőegységek fejlesztése szoftverérvényesítési folyamattá egyszerűsödik, amelynek elvégzése után az adott motor máris a piacra kerülhet.

A MOTORFEJLESZTÉS MEGÚJÍTÁSA

Közvetlen befecskendezésű Toyota-motor fejlesztése. Közvetlen befecskendezésű DISI (Direct Injection Spark Ignition) motorkísérleteket a Toyota a '70-es évek közepe óta folytat, rétegzett töltetű, nagy előkamrájú motorokon. A kísérletek, amelyeket a '80-as években folytattak, a keverékképzés, a befecskendezés és a gyújtás optimalizálására irányultak, a '96-ban, az első generációjú



17. ábra: a 2. generációjú DISI koncepciója

közvetlen befecskendezésű motorok sorozatgyártásával kerültek rendszerbe állításra.

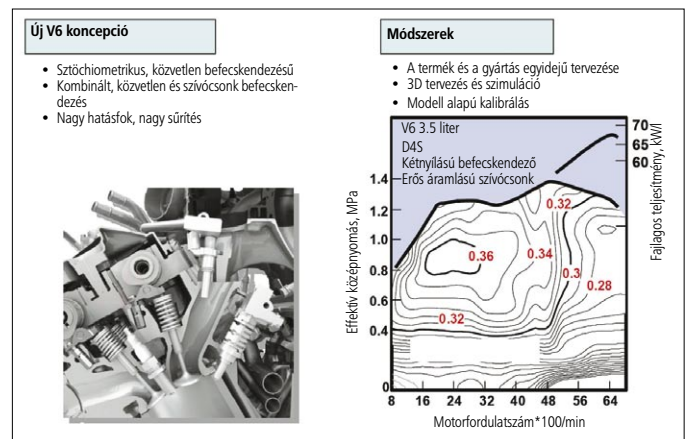
Továbbfejlesztésükre '99-ben, a második generációjú, falvezérlésű közvetlen befecskendezésű motorokon került sor.

Ezek eredményeit a Toyota-mérnökök 2005-ben, a kettős befecskendezésű, sztöchiometriai keverékkonceptiójú motorgeneráción fejlesztették tovább, nyitva hagyva a folytatás, szegény keverékképzéssel végzett finomításának igényét.

A közvetlen befecskendezésű Toyota-motor fejlesztési módszerei.

Az első generációjú közvetlen befecskendezésű motorok működését falvezérelt örvénylésű égésfolyamat, hátrahajló égéstér, a középen üreges permetkúpú befecskendezés, a legutóbbi változataikat 13 MPa befecskendezési nyomás, sok fejlesztési kísérlet, számos fejlesztési hiba és hosszú fejlesztési idő jellemezte.

A második generációjú közvetlen befecskendezésű motorok falvezérelt örvénylésű égésükről, rétegzett töltetképzésükről és örvénylés nélküli szívásfolyamatukról voltak megismerhetőek. Rétegzett benzin-levegő keverék, nagy mozgási energiájú benzinpermet és legyező alakú égéstér hozta létre. A második generációjú közvetlen befecskendezésű motor kulcsmegoldását



18. ábra: a kettős befecskendezésű (D4S) DISI motor koncepciója

a befecskendezőszepel jelentette, amely teamfejlesztéssel készült. Ennek során a befecskendezőszepel belső furatát lézerirányítású, féregmozgás vezérlésű szikraforgácsolóval munkálták meg, a keverékképzést és a lángterjedést számítógépes áramlásmodellezéssel szimulálták.

A soros hengerelrendezésű motor V6-osra váltásakor a motornyomaték növelése volt a cél, aminek elérése érdekében kettős (D4S; közvetlen és szívócső) befecskendezéstechnikát alkalmaztak. A vizsgálatokhoz a fejlesztők részletesen tanulmányozták a benzin levegővel való keveredését, hengeren kívül és hengeren belüli áramlását. Mivel a befecskendezett mennyiséget a motor légnyelése határozta meg, az egyes hengerekbe jutó légáramlást modell alapú kalibrálással optimalizálták.

Toyota hibridjármű-motorok fejlesztése. 1990-ben a menedzsment a környezeti levegő hosszú távú védelme és az energia-hordozó készletek tartós kímélete érdekében, szélsőségesen kis fogyasztású és károsanyag-kibocsátású modellek bevezetése mellett döntött. 1997-ben a fejlesztők ennek alapján kezdtek hozzá a Toyota hibrid járműveinek, elsőként a Prius fejlesztéséhez, amelynek fontos részfeladata volt a jármű gazdaságos, kis károsanyag-kibocsátású, olcsó belső égésű motorjának kifejlesztése.

Következő munkával nagy sűrítési viszonyú, 37%-os termikus hatásfokú benzinmotort fejlesztettek ki, amely feleannyit fogyasztott a japán emissziós ciklusvizsgálat során, mint az aktuális Corolla. A teljesítménye azonban alatta maradt a hagyományos

benzinmotoros gépkocsikénak, amit a vásárlók joggal kifogásoltak.

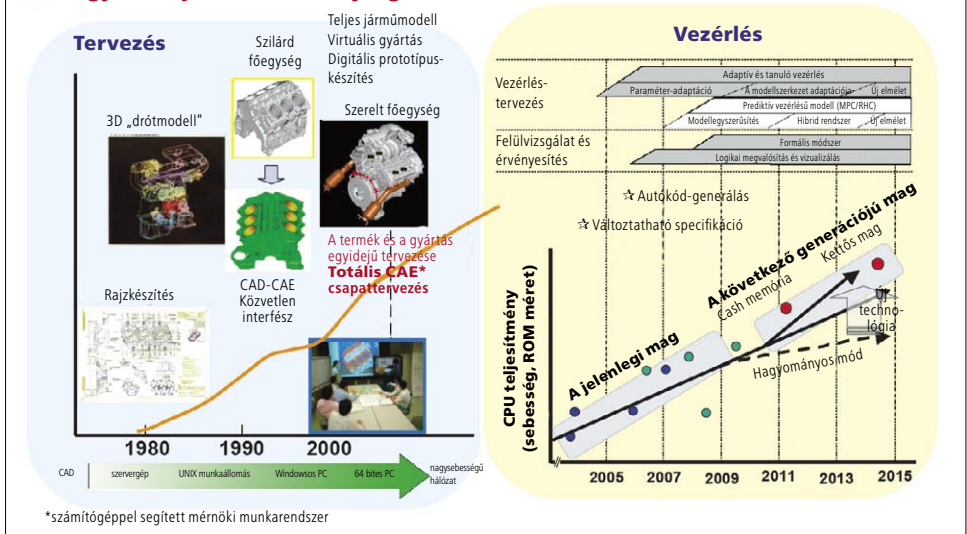
A JÖVŐ KUTATÁS-FEJLESZTÉSI MÓDSZEREI

Amint a bevezetőben említettük, várható, hogy az elkövetkezőkben a kutatás-fejlesztés feladatai bővülni, a fejlesztések időráfordításai pedig csökkenni fognak. Nem túl távoli a jövő, amikor a teljes járműmodellt digitális módszerekkel tervezik, és virtuális gyárban, számítógéppel segített, CAE mérnöki munkarendszerben állítják majd elő.

A motorok szabályozásában, a motorirányító eszközök és szoftverek fejlesztése fokozatosan modell alapú fejlesztéssé válik. 2020-ra várható, hogy a jármű innovációs modelljét egybekapcsolják majd a teljes jármű működését irányító egységes modellével, ami hatalmas előnyöket kínál a fejlesztési folyamat felgyorsításában és az adott modell egységes elvek szerint végzett innovációs megújításában egyaránt. A mindennapi fejlesztőmunka során azonban továbbra is meg kell küzdeni a virtuális tervezői világ és a való világ tényleges járművei között fennálló ellentmondásokkal. A jövőben a prototípus-fejlesztés a fejlesztőmunka része marad, ez kiküszöbölheti a prototípus tervezői és a való világa között ma még fennálló rést. A szoftverfejlesztésre koncentrálnak mérnökök eltérhetnek a gyártási beállításoktól, illetőleg a tényleges probléma lényegétől.

Rövidebb fejlesztési idő

Nagyobb fejlesztéshatékonyság

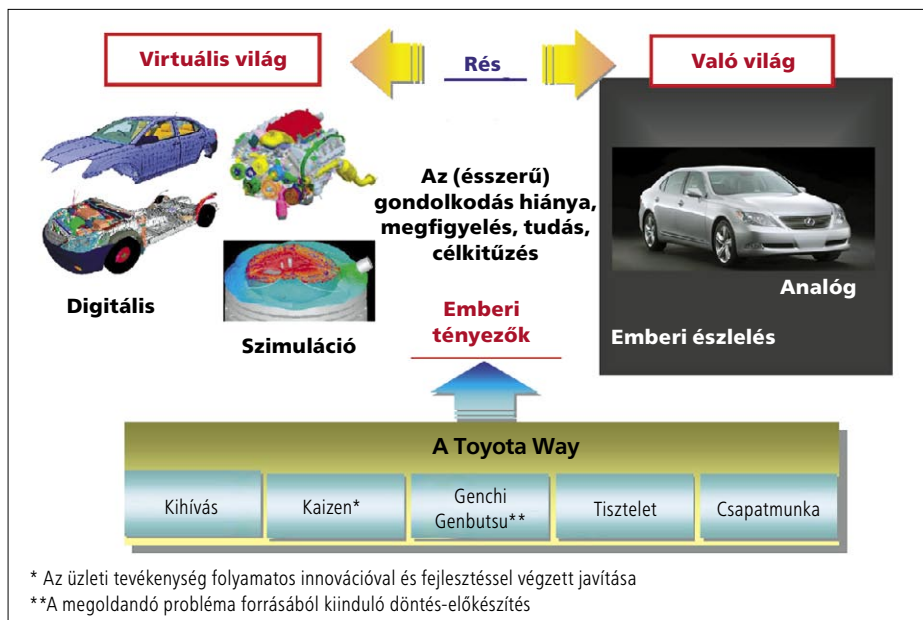


19. ábra: a jövő innovatív kutatás-fejlesztése

A mérnökök számára ezért fontosabb előnyben részesíteni a részletes megfigyelések tapasztalatait a fejlesztési célokkal szemben és a valós probléma megoldásával foglalkozni. Valós konfliktus esetén ezért helyes magatartás „a probléma gyökeréig lehatolni (Genchi Genbutsu)”, „folyamatos javítással (Kaizen)” és „csapatmunkával (Teamwork)” keresni a megoldást. A Toyota Way elvei így mozdítják elő a termékfejlesztés innovatív módszereinek alkalmazását, tiszteletben tartva a környezetet, a vásárlók, a jövő generációk és más érintettek igényeinek megvalósítását.

Toyota minilexikon

- **Kaizen:** folyamatos javítás
- **Genchi Genbutsu:** a megoldandó probléma forrásából kiinduló döntés-előkészítés
- **Jidoka:** emberi intelligencián alapuló automatizálás
- **Andon:** a gyártósor, minőségi probléma esetén végzett leállítása
- **Heijunka:** egyenletes, szinkronizált termelés, a heti gyártás kiegyenlítésével
- **Kakushin:** folyamatos innováció
- **WUS-technika:** a veszteségek, egyenletlenségek, túlterhelések (waste, unevenness, strain) gyors felszámolása
- **Hansei:** a szervezet elmélyült elemzésen alapuló tökéletesítése



* Az üzleti tevékenység folyamatos innovációval és fejlesztéssel végzett javítása

**A megoldandó probléma forrásából kiinduló döntés-előkészítés

20. ábra: az innovatív fejlesztés módszerének alkotói

Nagy méretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa

Dr. Péter Tamás
egyetemi docens,
BME Közlekedés-
automatikai Tanszék

Dr. Bokor József
akadémikus,
MTA SZTAKI

A cikk intelligens közúti közlekedési rendszerek modellezésével, online együttműködésre képes hálózati szabályozási rendszerek kifejlesztésével foglalkozik. Szoftverfejlesztés terén olyan intelligens modellalkotó rendszerek kifejlesztése a cél, amelyek az emberi oldalt lehetőség szerinti minimalizálják. Fontos feladat az új eszközök ipari alkalmazásának bevezetése, ill. az új eredményeknek egyetemi oktatásban történő hasznosítása is.

The document deals with the modeling of road transportation systems and the design of network control systems capable of cooperating with each other. At the area of software development the design of intelligent modeling systems is our goal. Other significant tasks are the implementation of these systems, and the creation of education materials.

1. BEVEZETÉS

A közlekedési operatív program 2007–2013 között prioritásként kezeli a felszíni közlekedés fejlesztését. A területen nagy jelentősége van a hazai innovatív szakembergárda mozgósításának. A fejlesztés széles körű hatást gyakorol az új módszerek, anyagok és technológiák elterjedésére. Ezek a szempontok és az ezekből származó előnyök az „FP7 Cooperation Work Programme” „Transport”-szekciójának 2007. évi témakiírásaiban is szerepelnek, mivel valóban nagy a gazdasági és társadalmi jelentőségük. Olyan kreatív mérnöki innovációs tevékenységeket támogat és hoz előtérbe, amely jelentősen gazdagítja a közlekedési fejlesztési programokat és ez által alapvető eredménnyel járul hozzá a beruházásokhoz.

Új, társadalmi jelentőségű technikai és technológiai eredmények bevezetését szolgálja, illetve a korábban ismertek alapvető megújításában elért gyakorlati eredmények elterjesztéséhez járul hozzá.

Ugrásszerű műszaki-technológiai fejlődés várható az alábbi területeken:

1. Infokommunikációs technológiák alkalmazásainak elterjedése terén, a jármű-jármű, a jármű-infrastruktúra között (multiszenzoros platform, CALM-szabványok elterjedése stb).
2. Kooperatív járműirányítási rendszerek alkalmazása terén (Ertico, Sparc és Chauffeur2 stb.)
3. Az UNIO autópálya-hálózatain, a közlekedési információk cseréjét biztosító rendszer fejlesztése terén (pl. a továbbításra alkalmas DATEX formátum, a forgalomirányító központok adatgyűjtő funkciójának illeszkedése, a főútvonalak forgalmi mérőszámainak jellemzése és automatikus forgalomszámláló rendszerek vonatkozásában).
4. A forgalom szabályozása az optimális kapacitáskihasználás, a biztonság, a környezetvédelem, a gazdaságosság, a teljesítőképességek optimális kihasználása érdekében, ütközésmentes pályatervezés, pályakövetés és mesterséges intelligencia alkalmazása terén.

2. NÉHÁNY MEGÁLLAPÍTÁS A NEMLINEÁRIS HÁLÓZATI MODELL FELÉPÍTÉSÉVEL KAPCSOLATBAN

Nyilvánvaló, hogy egy közúti közlekedési modell általában igen bonyolult rendszer:

- Számos geometriai jellemző szab feltételeket.
- Számos egyedi szabályozás működik.

- Igen nagyszámú résztvevő kap szerepet.
- Igen jelentős befolyása van a humán tényezőknek.
- Sokféle külső tényező, szezonális hatások, időjárás stb. játszik közre.

Mindezek ellenére a használható modellekkel szemben alapkövetelmény a hatékonyság:

- A modell vegyen figyelembe minden olyan elemet, amely a rendszer működése során tényleges hatást gyakorol, és elhanyagolása eltorzítaná az eredményeket.
- Matematikailag legyen korrekt és megalapozott.
- A szimuláció esetén numerikusan gyors legyen.
- Szabályozás esetén valós idejű szabályozás valósuljon meg.

Ennek érdekében speciális makroszkopikus modellt alkalmazunk, ezáltal elkerüljük a parciális differenciál-egyenletrendszerekre vezető matematikai modellt.

- Speciális modellünkben nem kap kitüntetett szerepet a csomópont!
- Szakaszok vannak, amelyek kooperálnak vagy nem. (Pl. speciális szakasz a parkoló is és kooperálhat pl. két párhuzamos sáv is).
- Modellünkben a járműsűrűség alatt azt az „s” ($0 \leq s \leq 1$) mérőszámot értjük, amely az egy szakaszon tartózkodó járművek együttes hosszának és a szakasz hosszának arányát méri. Parkoló esetén, az ott tartózkodó járművek száma és a parkolóban elhelyezhető maximális járműszám arányát méri.
- A közúti közlekedési modellünk egy zárt görbe által körülhatárolt tartományban elhelyezkedő úthálózat szakaszain, az áramlás következtében fellépő járműsűrűségeket vizsgálja.
- A tartományba beáramló és onnan kiáramló járműfolyamatokat ismeretnek tekintjük. Ezeket a tartomány vizsgálatánál input és output folyamatoknak tekintjük.
- Ezek a közlekedési folyamatok, amelyek első ránézésre „inputjai” és „outputjai” a közlekedési rendszernek, valójában (a tartományon kívüli bevezető útszakaszokon mért járműsűrűségek mint gerjesztések, a tartományon kívüli kivezető szakaszokon mért járműsűrűségek pedig mint fojtások) együtt jelentik a matematikai modell inputfolyamatait. Őket jelöljük $s_i(t)$ -vel ($0 \leq s_i(t) \leq 1$) és m külső szakasz esetén $i=1, 2, \dots, m$.
- A tartomány útszakaszain fellépő sűrűségek a rendszer állapotjellemzői. Őket jelöljük $x_i(t)$ -vel ($0 \leq x_i(t) \leq 1$) és n belső szakasz esetén $i=1, 2, \dots, n$.

Az [1] munkánkban tárgyaltuk az n db belső útszakaszból álló közlekedési hálózati modellünket, amely a közúti/városi közlekedési rendszer, egy zárt görbével körülhatárolt tartományában

helyezkedik el. A zárt görbét úgy vettük fel, hogy a vizsgált n útszakaszból egyetlen egyet sem metszett át és a tartomány nem tartalmaz egyetlen olyan útszakaszt vagy annak részét sem, amelyet nem kívánunk vizsgálni. Ebben a tartományban a térkép alapján 1, 2, ..., n számmal megjelölve beszámozunk minden figyelembe veendő útszakaszt és parkolót. Jelen vizsgálatunkban a modellt továbbfejlesztettük és a térkép alapján beszámozunk minden olyan külső szakaszt is, amely közvetlen kapcsolatban áll valamely tartományon belüli szakasszal, tehát amely a közlekedési forgalom szempontból input szakaszt vagy output szakaszt jelent, ezeket rendre: 1, 2, ..., m számmal jelöljük. (A gráf éleinek beszámozása, geometriai és kapcsolati adatainak rögzítése egérművelettel történik és ezek az adatok egy fájlba kerülnek. Egyúttal automatikusan kiszámoljuk a szakaszok hosszát és a szakaszokon maximálisan megjeleníthető járműszámokat, egységjárműre számítva. A parkolóknál a maximális járműszámokat megadjuk. (Megjegyezzük, hogy modellünk esetén a tartomány nem szükségképpen egyszerűen összefüggő, ezáltal kéreg alatt bevezetett külső szakaszok is kapcsolódhatnak a modell belső szakaszaival.)

A hálózati matematikai modell megalkotásához alapvető fontossággal bír a hálózatot definiáló kapcsolati mátrix, amely egy hipermátrix és az alábbi négy kapcsolati mátrixból áll:

1. a tartományon belüli folyamatok figyelembevételét szolgálja a belső hálózati kapcsolati mátrix,
2. a tartományba kintől beáramló folyamatok figyelembevételét szolgálja a külső és belső hálózati elemek kapcsolati mátrixa, amelyet input kapcsolati mátrixnak nevezünk,
3. a tartományból kiáramló folyamatok figyelembevételét szolgálja a belső és külső hálózati elemek kapcsolati mátrixa, amelyet output kapcsolati mátrixnak nevezünk, végül
4. a tartományon kívüli áramlatok figyelembevételét szolgálja a külső hálózati kapcsolati mátrix.

A modellünk tehát négy kapcsolati mátrixot alkalmaz. A kapcsolati mátrixok, átvitelt engedélyeznek vagy letiltanak a kapcsolatban álló elemek között egyrészt automatikusan, a hálózaton kialakult forgalomsűrűségek alapján, továbbá a szabályozások (lámpa, rendőr stb.) szerint is. Kapcsolat esetén olyan sebességátvitelt biztosítanak az egyes csatlakozó szakaszelemek között, amely figyelembe veszi ezek forgalomsűrűségeit, a meglévő forgalomcsillapítást, ill. a forgalomrásegítést is. A kapcsolati mátrixok elemeinek fizikai tartalma tehát áramlási sebesség: 1. ábra.

Egy kapcsolati mátrix felépítése oszloponként történik: végigmegyünk minden j szakaszon és a j-edik oszlop minden olyan i-edik sorába beírjuk a K_{ij} kapcsolati függvényt ($i \neq j$, $1 \leq i, j \leq n$), ahol a gráf felépítésénél nemzérus kapcsolati kód adódott.

$$\mathbf{K} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{j-ik szakasz kapcsolata} \\ (j) \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{i-ik szakasszal} \dots (i) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \dots & K_{ij} = k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t) \dots \end{bmatrix} \end{matrix}$$

1. ábra: a belső hálózat kapcsolati mátrixa

A kapcsolati mátrix K_{ij} kapcsolati függvényénél figyelembe kell venni minden, a forgalmi rend kialakításánál meghatározott szabályozási kapcsolati jellemzőt (pl. lámpa vagy lámpa nélküli útszakasz, parkoló stb. kapcsolatokat), ezeket írjuk le a $k_{ij}(t)$ függvénnyel. Ezen kívül figyelembe kell venni, hogy a forgalom létrejöttékor fellépnek belső szabályozási automatizmusok is! Modellünkben, a forgalomsűrűségtől függő belső szabályozásokat vettük figyelembe az $S_i(t)$, $E_j(t)$ és $v_{ij}(t)$ függvények alkalmazásával. Így tehát K_{ij} -t négy tényező határozza meg.

A $k_{ij}(t)$ függvény jelentése sokféle:

- elméletben az értéke, ha lámpa van az 1 vagy 0 értékeket vesz fel, a lámpa állapota szerint.
- A gyakorlatban előforduló további jelenségek a modellben is figyelembe vehetők: így például az, hogy a járművek nem azonnal indulnak el amikor zöldre vált a lámpa, hanem késleltetve, tehát egy „fűrészfog” szerű felfutással érjük el 0-ról az 1 értéket. Ha azt is modellezni kívánjuk, hogy a sárgára (és sajnos még a pirosra) váltáskor is előfordulhat „jármű-átfutás”, akkor az 1-ről 0-ára is egy folytonos függvény szerint megyünk át. Ezeket a gyakorlatban fellépő jelenségeket az átbocsátásnál a zöldidőben alkalmazott „trapéz-szerű” lámpajel alkalmazásával lehet figyelembe venni.
- Ha állandó lámpa nélküli kapcsolat van és a j szakasz csak i-re dolgozik, akkor 1 konstans az értéke, ha nincs geometriai kapcsolat a két szakasz között, akkor 0 konstans.
- Ha a j-edik szakasz több szakaszra dolgozik lámpa nélkül, akkor $0 < \alpha_{ij}(t) < 1$ elosztási arányt vesz fel, ahol egy j-oszlopban $\sum(i) \alpha_{ij}(t) = 1$.
- Ha a kapcsolatot zavarják, pl. keresztező járművek, gyalogosok vagy baleset, akkor $0 < \beta_{ij}(t) < 1$ zavarási tényező értéket vesz fel.
- Ha a kapcsolatot segítik, pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor $1 + \beta_{ij}(t)$ rásegítési tényező értéket vesz fel $0 < \beta_{ij}(t)$.
- Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, ill. elosztás és rásegítés is, akkor $\alpha_{ij}(t) \beta_{ij}(t)$ ill. $\alpha_{ij}(t) [1 + \beta_{ij}(t)]$ szorzat lép fel.
- Az α_{ij} és β_{ij} lehetnek konstans értékek is, de a modell finomítása során inkább $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(t)$, $\beta_{ij} = \beta_{ij}(t)$ időtől függő függvények a jellemzőek.
- A parkoló és útszakasz kapcsolatát $\gamma_{ij} = \gamma_{ij}(t)$, függvénnyel adjuk meg, $0 \leq \gamma_{ij}(t)$.

Az $S_i(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1 vagy 0 értékeket vesz fel. Kapcsolat engedélyezése, ha az i-ik szakasz sűrűsége $x_i(t)$ kisebb, mint 1, egyébként 0.

$$S_i(t) := \begin{cases} 1 & x_i(t) < 1 \\ 0 & 1 \leq x_i(t) \end{cases}$$

Az $E_j(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1, 0 értékeket vesz fel. Kapcsolat tiltása, ha a j-edik szakasz sűrűsége $s_j(t)$ kisebb vagy egyenlő 0, egyébként 1.

$$E_j(t) := \begin{cases} 1 & 0 < s_j(t) \\ 0 & s_j(t) \leq 0 \end{cases}$$

A $v_{ij}(t)$ a j-edik szakaszból i-edik szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a csatlakozó szakaszok sűrűségeinek függvénye, $v_{ij}(t) = f(x_i(t), x_j(t))$. A kapcsolat leírására az irodalom számos függvénytypust ajánl. Néhányat az alábbiakban ismertetünk. Ezek mérésekből adódó kapcsolatok, amelyekben szereplő S_M , V_M , g konstansok regressziós módszerek eredményeként kapott értékek. A s jelöli a sűrűséget és v a járműsebességet.

$$v := V_M \left(1 - \frac{s}{S_M} \right)$$

$$v := V_M \left(1 - e^{\left(-g \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{S_M} \right) \right)} \right)$$

$$v := V_M \ln \left(\frac{S_M}{s} \right)$$

$$v := V_M \left(1 - \frac{s}{S_M} \right)^2$$

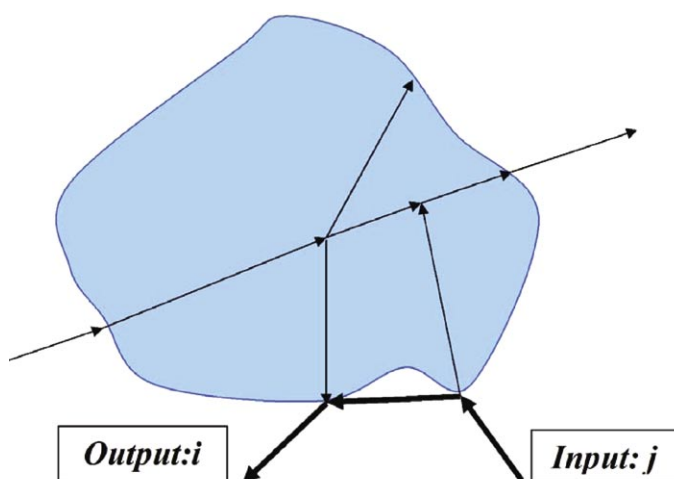
$$v_D := V_M \left(1 - \frac{s}{S_M} \right)^{\left(\frac{3}{2} \right)}$$

$$v := V_M e^{\left(-\frac{s}{S_M} \right)}$$

Egyes függvényeket közülük erős kritikával kell fogadni, így pl. az $\ln$ függvényt alkalmazó összefüggést, azonban a lényegi összefüggést tartalmazzák, (növekvő járműsűrűség esetén a járművek haladási sebessége monoton csökken).

A fődiagonális j -edik helyén szereplő K_{jj} kapcsolati függvényt, a *belső hálózati kapcsolati mátrix* és az *output kapcsolati mátrix* j -edik oszlopban szereplő K_{ji} ($i \neq j$) függvények összegének ellentettje adja, mivel minden realizált átadás esetén a j -edik belső szakaszból elvonás történik.

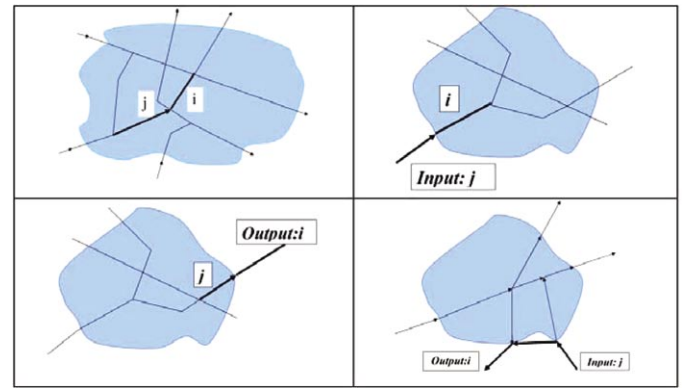
Létezik az az eset is (lásd 2. ábra), hogy az m db külső szakasz némelyike egymásra is dolgozik, azonban jelen esetben a matematikai modell szempontjából ez nem releváns, mivel a közvetlen input és output szakaszok sűrűségeit mérjük és a mért értékek kialakulása már figyelembe vette ezeket a külső kapcsolatokat is. Ezen kívül, ha egy input külső szakaszra is dolgozik, ezt az elosztást már figyelembe vettük az input kapcsolati mátrix felépítésénél.



2. ábra: a j -edik külső szakasz dolgozik az i -edik külső szakaszra

3. A KAPCSOLATI MÁTRIXOKBÓL ÁLLÓ HIPERMÁTRIX

Modellünk figyelembe veszi a négy különböző kapcsolati változatot, ezáltal hiper mátrixa, a tárgyalt négy kapcsolati mátrixból épül fel az alábbi 3. ábra szerint.



j . belső szakasz dolgozik

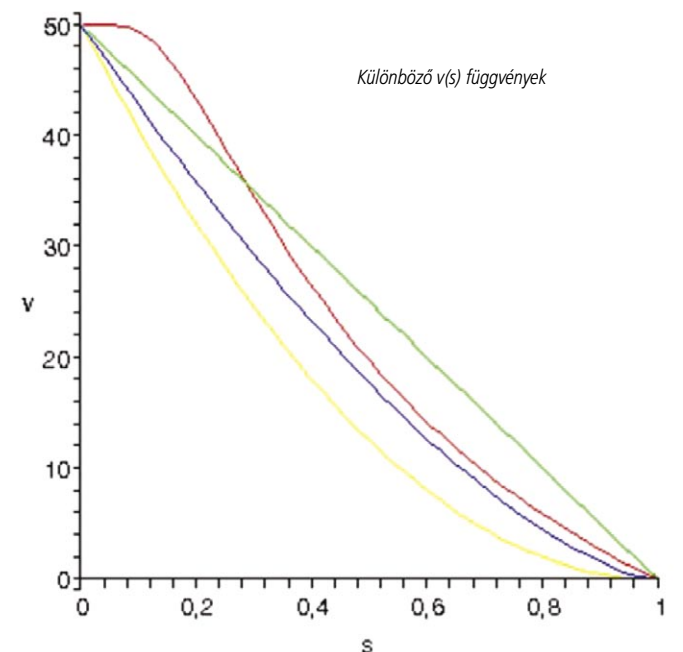
j . külső szakasz dolgozik



3. ábra: a kapcsolati mátrixokból álló kapcsolati hiper mátrix

4. A NEMLINEÁRIS HÁLÓZATI MODELL

Az egymáshoz csatlakozó szakaszoknál a v_{ij} sebesség értéke a t időpillanatban, az együttes szakaszon fellépő sűrűségtől függ. Lásd 4. ábra, amely városi forgalomra vonatkozik és több lehetséges függvényt is bemutat, amelyek figyelembe veszik a különböző útvizonyokat is. A V_{max} ill. a függvény lefutásának változtatása további tényezők vizsgálatát is lehetővé teszi, időjárás, látási viszonyok stb.



4. ábra: v járműsebesség [km/h], a járműsűrűség függvénye

Tekintsük a hálózatot t időpontban és vizsgáljuk a $t+\Delta t$ időpontban kialakult helyzetet. Egymáshoz csatlakozó szakaszokon Δt időtartam alatt a v_{ij} sebességgel átviramló járművek $\Delta l = v_{ij} \Delta t$ úthosszat tesznek meg. 100%-os járműsűrűség esetén és h várható (átlagos) járműhossz érték mellett a Δn átviramló járműszám: $\Delta n = \Delta l / h = v_{ij} \Delta t / h$.

Természetesen a j szakaszból valóban átviramló járműszám befolyásolja a j szakaszon mérhető s_j járműsűrűség értéke is, így: $\Delta n = s_j v_{ij} \Delta t / h$. Ez alapján a hálózat egyes szakaszain tartózkodó járművek számát $t+\Delta t$ időpontban az alábbi egyenletrendszer írja le:

$$\underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) = \underline{N}_{(n \times 1)}(t) + [\underline{K}_{(n \times n)} \underline{K}_{(n \times m)}^{\text{inp}}] \begin{bmatrix} \underline{N}_{(n \times 1)}^a \\ \underline{N}_{(m \times 1)}^{\text{inp}} \end{bmatrix} \Delta t/h$$

Az $\underline{N}_{(n \times 1)}^a = [x_j(t)] \Delta t/h$, a belső szakaszoknál, az $\underline{N}_{(m \times 1)}^{\text{inp}} = [s_j(t)] \Delta t/h$ a külső j -edik szakaszból, 1 m/s sebesség mellett átdatott járműszámokat tartalmazó vektorok, (A tartomány belső szakaszairól a tartományból kiáramló jármű-folyamatot a $\underline{K}_{(n \times n)}$ mátrix főátlójában vettük figyelembe.) Részletesebben felírva kapjuk az (1) egyenletrendszert:

$$\underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) = \underline{N}_{(n \times 1)}(t) + \underline{K}_{(n \times n)} [\underline{K}_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) V_{ij}(t)] \underline{N}_{(n \times 1)} [X_j(t)] \Delta t/h + \underline{K}_{(n \times m)}^{\text{inp}} [\underline{K}_{ij}^{\text{inp}}(t) S_i(t) V_{ij}(t)] \underline{N}_{(m \times 1)}^{\text{inp}} [S_j(t)] \Delta t/h. \quad (1)$$

A fenti egyenlet differenciaegyenletként nagy méretű nemlineáris hálózatok szimulációs vizsgálatára alkalmazható.

A szakaszokon időben kialakuló járműsűrűség-függvények t -szerint differenciálható függvények (mivel a járművek áramlási sebessége a szakaszokon t -szerint differenciálható függvények és a járműsűrűségre felírt, sebességtől függő analitikusan megadott függvények a sebesség szerint szintén differenciálható függvények).

Rendezve az (1) differenciaegyenletet és $\Delta t \rightarrow 0$ határátmenetet alkalmazva, a szakaszok sűrűségére az alábbi elsőrendű nemlineáris mátrix differenciálegyenlet-rendszert kapjuk:

$$\frac{d}{dt} \underline{N}_{(n \times 1)} = \underline{K}_{(n \times n)} [\underline{K}_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) f(x_i(t), x_j(t), s_j(t))] \underline{N}_{(n \times 1)} [X_j(t)] + \underline{K}_{(n \times m)}^{\text{inp}} [\underline{K}_{ij}^{\text{inp}}(t) S_i(t) f(x_i(t), s_j(t))] \underline{N}_{(m \times 1)}^{\text{inp}} [S_j(t)]. \quad (2)$$

Tehát a nemlineáris közlekedési hálózati rendszer $\underline{x}$ állapotjellemző vektorára az alábbi tömörebb alakú differenciálegyenlet-rendszer adódott:

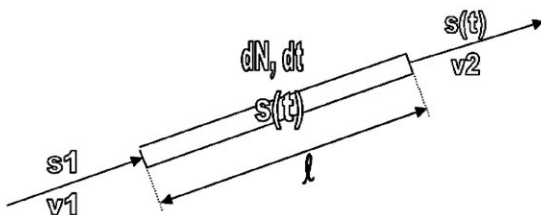
$$\underline{N}_{(n \times 1)}' = \underline{K}_{(n \times n)} [\underline{K}_{ij}(t) \underline{N}_{(n \times 1)} + \underline{K}_{(n \times m)}^{\text{inp}} \underline{N}_{(m \times 1)}^{\text{inp}}]. \quad (3)$$

Ahol: $\underline{K}$, és $\underline{K}^{\text{inp}}$ kapcsolási mátrixok elemei, a kapcsolási függvényeket és a sűrűségi állapotoktól függő függvényeket tartalmazzák.

5. EGY HÁLÓZATI MODELL ÉS NÉHÁNY SZIMULÁCIÓS EREDMÉNY

Az [1] cikkben tárgyalt hálózati mintamodellre alkalmazva a matematikai modellt, megfigyelhető, hogy stacionárius (állandósult) inputok és outputok esetén, az általuk meghatározott stacioner egyensúlyi állapotba kerül a rendszer akkor is, ha a belső szakaszokon a kezdeti sűrűségértékek a $[0, 1]$ intervallum tetszőleges értékeit veszik fel. Ezt szemléltetik a 7 – 12. ábrák, ahol kezdeti értékként először minden belső szakaszon 0 jármű-sűrűséget tételeztünk fel, majd a második esetben minden belső szakaszon teljes telítettséget, azaz maximális járműsűrűséget vettünk fel.

Vizsgáljunk egy szakaszt (5. ábra), amely tetszőleges $0 \leq s(0) \leq 1$, kezdeti belső sűrűségi állapottal rendelkezik. Matematikailag egyszerűen belátható, hogy ha a szakaszra állandósult (konstans) input beszállítás és állandósult (konstans) output



5. ábra: stacioner járműsűrűség kialakulása egy szakaszon (alapeset)

kiszállítás jellemző, akkor az input-output sebesség és sűrűség folyamatok által meghatározott stacioner egyensúlyi állapotba kerül egy idő után és a szakaszokon felvett kezdeti értékek hatása eltűnik.

Tehát, ha konstans beszállítással és kiszállítással dolgozunk, akkor a differenciálisan kis dt idő alatt a járműszám változása dN lesz:

$$e1 := dN(t) = \frac{(v_1 s_1 - v_2 s(t)) dt}{h}$$

Az $e1$ egyenletben v_1 a beszállítás sebességét, s_1 a beszállító szakasz sűrűségét, v_2 a kiszállítás sebességét $s(t)$ pedig a vizsgált szakasz t időpontban mért sűrűségét, végül h , az egységjármű hosszát jelöli. Kissé átrendezve $e1$ egyenletet, kapjuk:

$$e1 := \frac{dN(t)}{dt} h = v_1 s_1 - v_2 s(t)$$

Tekintsük az $s(t)$ sűrűséget definiáló $e2$ egyenletet:

$$e2 := s(t) = \frac{N(t) h}{l}$$

majd ezt rendezzük át,

$$e2 := N(t) h = s(t) l$$

és $e2$ egyenlet mindkét oldalát t szerint differenciálva,

$$e3 := \frac{dN(t)}{dt} h = \frac{ds(t)}{dt} l$$

a kapott $e3$ összefüggést használjuk fel $e1$ -nél:

$$e1 := \frac{ds(t)}{dt} l = v_1 s_1 - v_2 s(t)$$

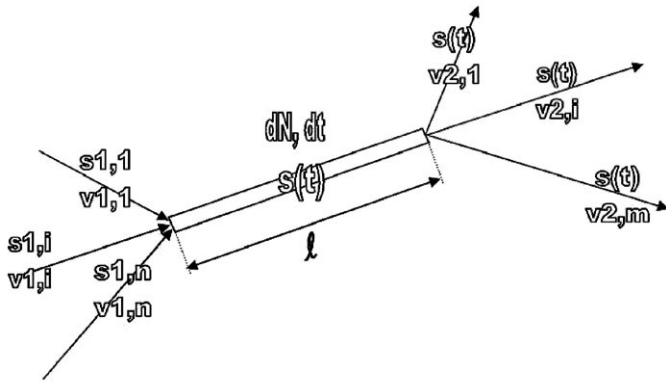
Az így felírt differenciálegyenlet megoldása különösebb nehézség nélkül elvégezhető:

$$e1 := s(t) = \frac{v_1 s_1}{v_2} \left(1 - e^{-\frac{v_2 t}{l}} \right) + s(0) e^{-\frac{v_2 t}{l}}$$

Látható, hogy esetünkben $s(t)$, az $s(0)$ -tól függetlenül asszimptotikusan stacionárius lesz:

$$s_h := \lim_{t \rightarrow \infty} s(t) = \frac{v_1 s_1}{v_2}$$

Ez a levezetés természetesen kialakult és állandó v_1, v_2, s_1 értékekre igaz. Ha $v_1(t), v_2(t), s_1(t)$, folytonos függvények, akkor $t \rightarrow T$ esetén rendre felveszik a $v_1(T), v_2(T), s_1(T)$ konstans értékeket. Ha $v_1(t), v_2(t), s_1(t)$ függvények olyanok, hogy $T \leq t$ értékeknél már megtartják a T -beli értékeiket, akkor T -beli kezdeti értékekre vonatkozik a levezetés. (Megjegyezzük, hogy a tényleges folyamatainknál egy szakaszon a stacionaritás azt jelenti, hogy bármely $t_1, t_2, \dots, t_n$ időpillanatban a járműsűrűség eloszlása azonos, azaz első rendben



6. ábra: stationer járműsűrűségek kialakulása egy szakaszon (n bevezetés és m kivezetés esetén)

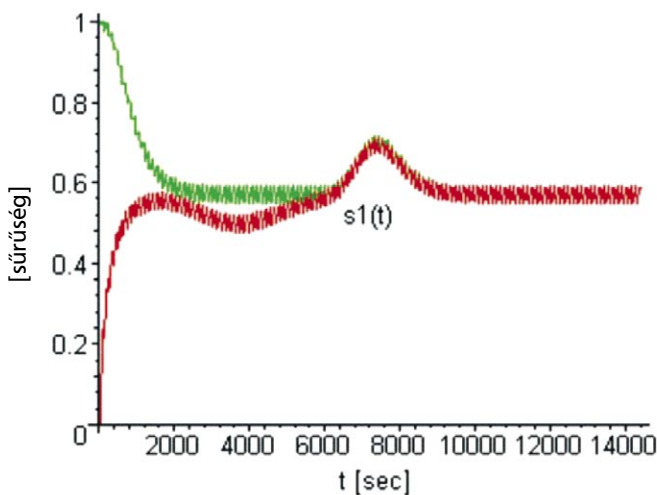
stationárius a folyamat. Ebből következik, hogy a vizsgált szakaszon a járműsűrűség várható értéke és szórása is állandó, bármely időpontban. A gyakorlatban még azt is előírjuk az eloszlásra, hogy minimális szórású legyen.).

Végezetül, hasonlóan írható fel a differenciálegyenlet és végezhető el a vizsgálat, ha a tekintett szakaszra n szakaszból történik bevezetés, majd innen m szakaszra történik a kiszállítás 6. ábra.

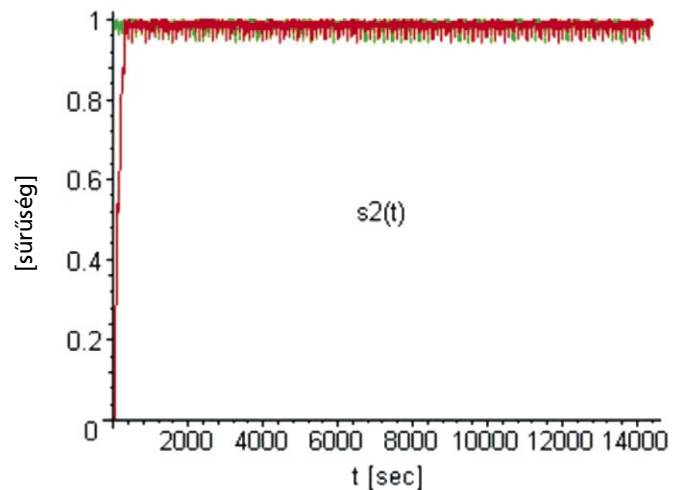
$$el := \frac{l ds(t)}{dt} = \left(\sum_{i=1}^n v l_i s l_i \right) - \left(\sum_{i=1}^m v 2_i \right) s(t)$$

$$s_h := \lim_{t \rightarrow \infty} s(t) = \frac{\sum_{i=1}^n v l_i s l_i}{\sum_{i=1}^m v 2_i}$$

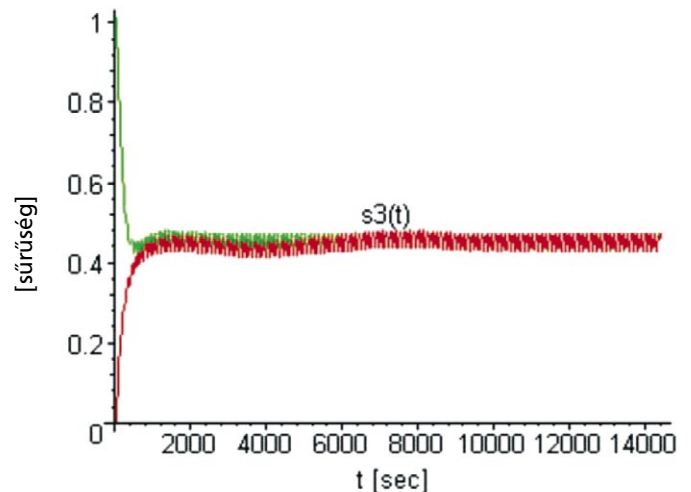
A szimulált modell által nyert járműsűrűségeknél ez figyelhető meg a 7.-12. ábrákon.



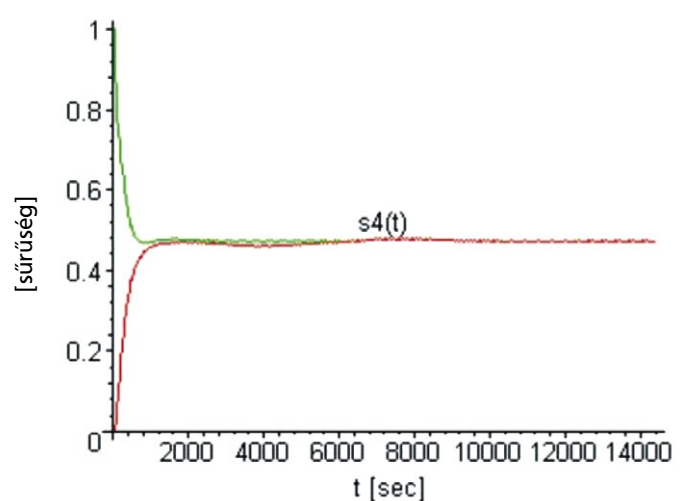
7. ábra: járműsűrűségek az 1-es szakaszon



8. ábra: járműsűrűségek a 2-es szakaszon



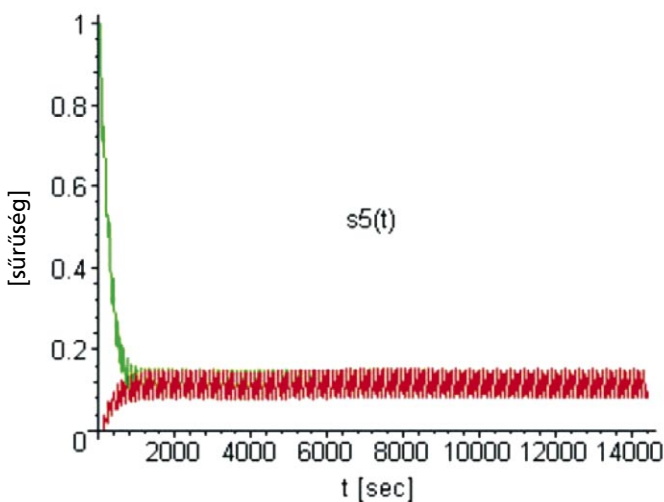
9. ábra: járműsűrűségek a 3-as szakaszon



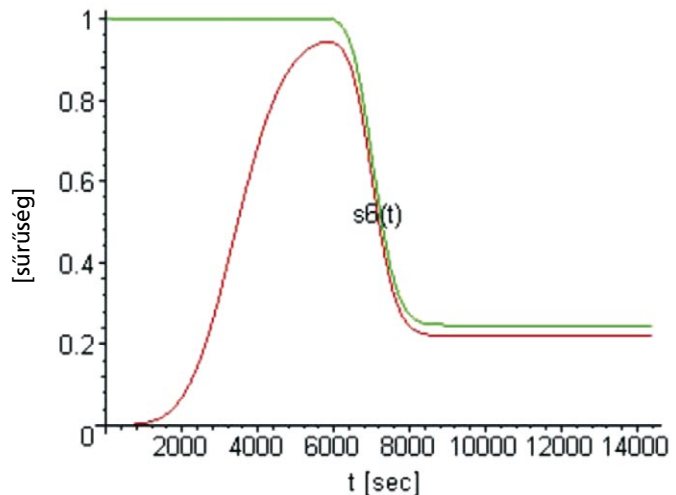
10. ábra: járműsűrűségek a 4-es szakaszon

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az n db belső útszakaszból álló közlekedési hálózati modellünk a közúti/városi közlekedési rendszer egy zárt görbével körülhatárolt tartományában helyezkedik el. A hálózati matematikai modell megalkotásához alapvető fontossággal bírt a hálózatot definiáló kapcsolati mátrix, amely egy hipermátrix. A tárgyalt modell alkalmazható a nagy méretű közúti közlekedési hálózatok szimulációs vizsgálatára, ill. tervezésére. A továbbiakban a közlekedési rendszerek szabályozására terjesztjük ki vizsgálatainkat – a most tárgyalt modell alkalmazásával. Ez esetben, a belső hálózaton kialakuló járműsűrűségek a rendszer állapotjellemzői, rendre $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, ..., $x_n(t)$ és adottak a külső hálózaton kialakuló járműsűrűségek $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_m(t)$, amelyeket mérések alapján ismerünk. A nemlineáris szabályozási probléma megoldása a későbbiekben történik.



11. ábra: járműsűrűségek az 5-ös szakaszon



12. ábra: járműsűrűségek a 6-os szakaszon (parkolón)

Irodalom

- [1] Péter T. – Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, Bp., 06, 1–2 pp19–23.
- [2] Markos Papageorgiou: Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems. Pergamon Press, 1991.
- [3] Kachroo P. – Özbay K.: „Feedback Control Theory for Dynamic Traffic Assignment”, Springer, 1999.
- [4] Péter T.: Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp. 2005. pp. 1–465. Magyar Mérnökakadémia Symposium.
- [5] Drew, D. R.: Traffic Flow Theory and Control, New York, McGraw-Hill Book Company, 1968
- [6] Maklári J.: Közforgalmú csomópontok teljesítőképességének vizsgálata. Városi közlekedés 2001/4
- [7] Bécsi T. – Péter T.: An Adaptive Approach to Modeling Traffic Flow and Incident Detection on Highways, Proceedings of the 3rd International Conference on Global Research and Education in intelligent Systems, Interacademia 2004, Budapest

A vezetékek nélküli hálózattal összekapcsolt járművek irányítása intelligens közúti kereszteződésben

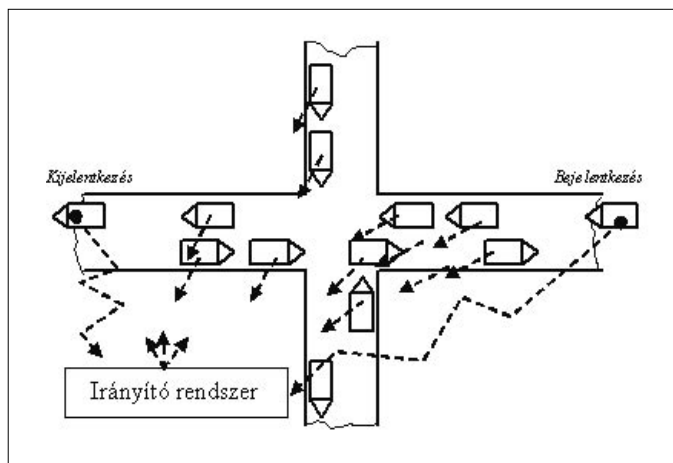
Luspay Tamás
Dr. Németh Erzsébet
Dr. Varga István
Dr. Soumelidis Alexandros
 MTA SZTAKI

A jövő járművei újszerű kihívásokat támasztanak a közúti forgalomirányítással szemben, ugyanakkor a járművekbe épített műszaki berendezések számos új lehetőséget is kínálnak a forgalomirányítás számára. A közúti közlekedésirányítás fejlesztésének legfontosabb iránya az aktuális forgalmi igények maradéktalan kielégítése, ami dinamikus irányítórendszereket és struktúrákat igényel. Jelen cikkünkben egy ilyen új rugalmas csomóponti forgalomirányító rendszer koncepcióját mutatjuk be.

The advancement of modern automobiles imply advanced requirements against road traffic control systems, on the other hand modern on-board units offer several new adaptability for such systems. The main goal of developing traffic control systems is to optimise the traffic transaction for different traffic situations; this can be achieved only with dynamical control systems and structures. The paper presents the concept of such a flexible, modern control system for road traffic crossings.

1. BEVEZETÉS

A kutató- és fejlesztőmunkák egy olyan csomóponti forgalomirányító rendszer kidolgozására irányulnak, amely valós időben nyomon követi a forgalom alakulását, minden járművel kétirányú közvetlen kapcsolatban áll. Az intelligens közúti kereszteződés (1. ábra) legfontosabb feladata, hogy felügyeli a hatókörében közeledő járműveket, átvezeti azokat a kritikus szakaszokon, végül a járműveket kivezeti a rendszer hatókörzetéből. Úgy lehet ezt elképzelni, mint a jelenlegi légi közlekedésben a repülőtér szerepét.



1. ábra: intelligens közúti kereszteződés

Egy ilyen csomópontban a jármű fedélzeti kijelzőjére lehet küldeni a kereszteződés elsőbbségi viszonyait, azaz érvényes jelzőtáblákat, illetve a jelzőlámpák jelzéseit. Ezáltal nincs szükség útmenti telepített kijelzőeszközökre, aminek előnye, hogy gyorsan, rugalmasan alakíthatók a kereszteződés forgalmi viszonyai. Az intelligens kereszteződés teljes kiépítettségében nemcsak jelzéseket küldhet majd a jármű fedélzeti egységére, hanem át is vezetheti a járműveket a csomóponton egy megadott trajektórián. Ez az utóbbi elképzelés bár műszakilag megvalósítható, de a megoldatlan jogi és közgazdasági kérdések miatt még utópisztikus.

A jelen cikkünkben vázolt intelligens csomóponti forgalomirányító rendszer már a közeljövőben is működőképes lehet, mert a járművezető a döntési szerepét továbbra is megtartja.

2. INTELLIGENS KÖZÚTI KERESZTEZŐDÉS FORGALOMIRÁNYÍTÓ RENDSZERE

A forgalomirányító rendszer három fő részre osztható: adatgyűjtő modul, döntéshozó modul, beavatkozó modul. Ezek a modulok egymással és az irányított csomópont hatókörében lévő járművekkel együttműködve valósítják meg az irányítási feladatot.

Az intelligens közúti kereszteződésben egy jármű az alábbi lépések végrehajtásával jut át a kereszteződésen:

- a kommunikációs hálózat felépülése, adatok gyűjtése a körzetben tartózkodó járművekről (prioritás, pozíció, sebesség, irány stb.);
- meghatározott kritériumok alapján (célfüggvények) a központi egység kiválasztja az adott közlekedési szituációra alkalmazható forgalomirányítási stratégiát, előállítja a fázis-időtervet;
- a forgalomirányító rendszer beavatkozik a forgalomba: a jármű megkapja a kereszteződés fázisidőtervének a jármű forgalmi sávjára vonatkozó aktuális jelzéseképét;
- az elsőbbségi viszonyok alapján a jármű továbbhalad;
- a kommunikációs csatornák leépülése.

Látható, hogy egy hagyományos és az intelligens rendszer között alapvetően az információcsere folyamatában, vagyis az adatgyűjtésben és beavatkozásban van a különbség, melyek egy speciális kommunikációs rendszerben bonyolódnak le. Az információs folyamat nagyobb rugalmasságot jelent, ami így kihat a döntéshozatalra is. Természetesen a rendszer működéséhez valamennyi járműnek rendelkeznie kell olyan fedélzeti egységgel, amely képes az irányítórendszerrel kommunikálni.

2.1. Adatgyűjtés, adatfeldolgozás

Az intelligens kereszteződés hatókörében tartózkodó összes járműről pontos adatokkal kell rendelkezünk. Ez kétféle adatforrásból lehetséges, vagy minden jármű méri a saját adatait, feldolgozza és továbbítja azokat az irányítórendszerhez, vagy kívülről, hagyományos eszközökkel detektáljuk a járművek adatait. A járművek gyakorlatilag minden saját adatot tudnak mérni, de kérdés, hogy ezt elég megbízhatóan teszik?

Valós megoldásnál mindkét adatforrási lehetőségre szükség van. Mivel az intelligens közúti kereszteződés a hatókörében tartózkodó összes járművel egy meghatározott szintű biztonsági rendszer, ezért nem szabad csak az egyéni járművek adataira támaszkodni, hanem azoknak egy másodlagos (külső) forrásból származó ellenőrzése is szükséges.

A rendszerben a járművekre telepített autonóm fedélzeti egységek egy vezeték nélküli ad hoc hálózat (wireless ad hoc network) egymással kommunikáló független pontjaiként vannak jelen. A forgalomirányító rendszer egy kitüntetett központi egység, amely kezeli a dinamikus változó hálózati pontokat (ki- és behajtó járművek) és azokkal a megfelelő kommunikációt.

A valós idejű működés követelmény, ezért fontos a globális időalap megteremtése (óraszinkronizáció). A feldolgozott mérési adatok továbbításán kívül kommunikációt igényel a küldött adatok megérkezésének ellenőrzése és visszacsatolása. A járművön elhelyezkedő szenzorhálózat feladata, hogy az érzékelőktől a megfigyelt jelenség valamilyen attribútumára vonatkozó információt eljuttassa a megfigyelőig (fedélzeti egységig), azonban a megfigyelőnek nincs szüksége magát az érzékelőt érintő fizikai vagy információtechnológiai ismeretekre. Így az érzékelési, a feldolgozási és a kommunikációs feladatok különválaszthatóak.

A vezeték nélküli hálózattal szemben megköveteljük a biztonságkritikus működést és a nagy rendelkezésre állást, ezért a következő műszaki kérdéseket kell megválaszolni:

- a nagy megbízhatóságú adatátviteli protokoll (zaj, elhalkulás, interferencia), adatvesztés kérdése;
- megfelelő sávszélesség;
- a maximálisan kezelhető aktív pontok száma hogyan befolyásolja az irányítórendszer terhelését, a kommunikáció sebességét, rendelkezésre állását és megbízhatóságát.

2.2. Döntéshozatal, forgalomirányítási stratégia kiválasztása

A forgalomirányító rendszer a beérkező adatok alapján döntést hoz az adott közlekedési szituációra alkalmazható irányítási stratégiára vonatkozóan valamilyen célfüggvények segítségével, majd a kiválasztott irányítási stratégia alapján a hatókörben tartózkodó egyes járművekre meghatározza a beavatkozó jelet.

Ezáltal az intelligens rendszer a hagyományos rendszerekkel szemben rugalmasabb és ezáltal eddig nem kezelhető forgalmi szituációk megoldására is képes. A célok meghatározása történhet előre definiált és a helyszínen tárolt parancsokkal, de lehetőség van ezeknek egy forgalomirányító központból történő folyamatos változtatása is.

Egy csomópont esetén a cél lehet:

- a csomóponton történő átjutási idő minimalizálása,
- a csomóponton áthaladó összes jármű várakozási idejének a minimalizálása,
- a kitüntetett (tömegközlekedési eszközök, mentő, tűzoltó) járművek kiemelt kezelése,
- a szennyező anyagok kibocsátásának a minimalizálása,
- egyéb, kiegészítő funkciókat megvalósító célok.

2.3. Beavatkozás

A korszerű technikai megoldások, az informatikai és a távközlési bevezetések gyors fejlődése egyre több lehetőséget biztosítanak a forgalmi folyamatba történő beavatkozásra. Hagyományos beavatkozó eszközök a jelzőlámpák, a jelzőtáblák és a változtatható jelzőképpé táblák. Újszerű eszköznek számít a jármű fedélzeti berendezéseihez küldött dinamikus jelzések lehetősége. Jelenleg ez inkább a rádiók által közvetített információküldést jelenti, de a fedélzeti számítógépek és LCD-kijelzők elterjedésével már nem tűnik utópisztikusnak a járművezetők felé történő vizuális információközlés.

Egy intelligens csomópontban nincsenek előre telepített jelzőlámpák és jelzőtáblák, hanem ezt a funkciót az előbb említett fedélzeti kijelzők által közvetített képek veszik át.

3. PROTOTÍPUS RENDSZER

Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont 1.2 „Rendszerirányítás kommunikációs hálózatokon keresztül, a járműflotta kooperatív irányítási kérdései” alprojektben az intelligens kereszteződés egy prototípusának kifejlesztése a cél. A minta kereszteződés térbeli alapja egy síkfelületre felrajzolt geometriájú kereszteződésből áll. A járműveket a feladathoz megfelelően átalakított modelljárművek tesztelik meg. A modelljárművek alapját elektromos meghajtású, autonóm autómódellek képezik, melyek az irányítási feladat megoldásához szükséges perifériákkal, valamint hatékony fedélzeti és kommunikációs rendszerrel rendelkeznek. Az autómódellek sebesség-, yaw-rate és gyorsulásszenzorral vannak felszerelve. A fedélzeti egységek képesek összetett irányítási algoritmusok valós idejű (real-time) végrehajtására, valamint a különféle szenzor- és aktuátorperifériák hatékony kezelésére.

Terveinkben szerepel egy valódi közúti forgalomirányító berendezés alkalmazása, de jelenleg az irányítóközpont funkcióit egy normál számítógép helyettesíti. A számítógép az adatkommunikációt kezelő szoftver és a magas szintű irányítást végző szoftver révén válik egyedivé, azaz intelligens csomópontot irányító központi egységgé.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az intelligens kereszteződések folyamatosan változtatható, de előre meghatározott célfüggvények alapján működnek, ezáltal az ilyen csomópontokból felépülő városi hálózat egy rendkívül forgalomfüggő, dinamikus közúti forgalomirányító rendszerré válhat.

Irodalom

- [1] Varga István: A vezeték nélküli ad hoc hálózattal kapcsolódó járművek irányítása intelligens közúti mintakereszteződésben. Rendszerterv. (1.2-K0-1) EJJT RET Kutatási jelentés 2006 (11 oldal)
- [2] Bécsi Tamás, Varga István, Dr. Péter Tamás, Dr. Várlaki Péter: Közlekedési csomópont irányítási és kommunikációs problémáinak vizsgálata a kooperatív irányítás figyelembevételével. (1.2-K0-2) EJJT RET Kutatási jelentés 2006 (19 oldal)
- [3] MTA SZTAKI – PA Rt.: Ipari hálózati kommunikáció. Ajánlás a PA Rt. ipari kommunikációs alaphálózatának kialakításához. 2004. 04. 15.

3D navigációs algoritmusok analízise és hardver-szoftver particionálása

Dr. Arató Péter

Bíró Imre

Egri Attila

Kertész Zsolt

Kocza Gábor

Dr. Loványi István

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Irányítástechnika és Informatika
Tanszék

A kamera és a környezet relatív térbeli mozgása olyan vizuálisan érzékelhető változásokat eredményez, melyek megragadásával nemcsak magát a mozgást jellemezhetjük, hanem kiegészítő információt nyerhetünk a környezet struktúrájáról is. A 3D navigáció, vagy más szóval a 2D kamera térbeli mozgásának becslése és az ismeretlen környezet kellő feltérképezése visszavezethető kellő számú, „feature” vagy „template” jellegű képi tulajdonság robusztus megkeresésére és képszekvenciákon keresztüli követésére. Az ezt követő 3D rekonstrukció megbízhatósága és gyorsasága pedig alapvetően függ a kiválasztott és implementált algoritmusok egyes tulajdonságaitól és a szóhajóható implementációs technikáktól. Ezért a cikkben az elvárt funkcionalitást megvalósító algoritmusok analízisét és hardver-szoftver particionálási lehetőségeit ismertetjük – utóbbival megalapozva az optimális FPGA implementációt is.

Relative motion of camera and environment results in such visual cues, which may characterize 3D motion as well as the 3D structure of environment. 3D navigation is comprising both tasks (motion and surrounding 3D structure estimation) and can be based on the robust extraction and tracking of feature-type and/or template-type visual cues throughout video frame sequences. Reliability and real-time feature of 3D reconstruction mainly depends on the specificities of selected algorithms and design metrics of implementation technology. Due to this motivation, first we analyze a selected set of tracking algorithms aiming to prove their conformity to previous functional system design. Then we introduce the hardware-software partition alternatives seeking an optimum of FPGA implementation.

1. BEVEZETÉS

Járművek autonóm videó alapú navigációja az 1. ábra szerinti általános lépések szerint zajlik, előre nehezen modellezhető komplex környezetben (pl. bonyolult textúrájú háttér előtt több függetlenül mozgó objektum). Kihívást jelent a zajos adattömegnek a valós idejű működési kritérium diktálta extrém feldolgozási sebességgel való feldolgozása is. Biztosítani kell továbbá az algoritmusok geometriai torzításra (transzláció, rotáció, skálázás,

affin transzformációk), megvilágítási zajra (kontraszt, intenzitás, irányfüggő árnyékolás), részleges takarásra, valamint a felismerhető és követhető képi tulajdonságok megjelenésére és eltűnésére való immunitását is.

Kezdetben a képszekvencián a jellegzetes pontokat az úgynevezett SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) algoritmussal kerestük meg [8]. Azonban a kísérletek során figyelmünk egyre inkább az SSD, illetve a KLT algoritmusok implementálása felé fordult, mivel azok – eltérő tulajdonságtípusok követésére – bő évtizede bizonyítottan beváltak és széleskörűen alkalmazottak, noha számos más jó tracking algoritmust is kidolgoztak azóta.

A továbbiakban bemutatott algoritmusok adaptálásával célunk egy olyan univerzális 3D navigációs célhardver elkészítése, mely képes a bejövő nagy mennyiségű adatot gyorsan feldolgozni, és az alkalmazási területtől függően az egyes feldolgozási algoritmusok közötti alternatívát biztosítani.

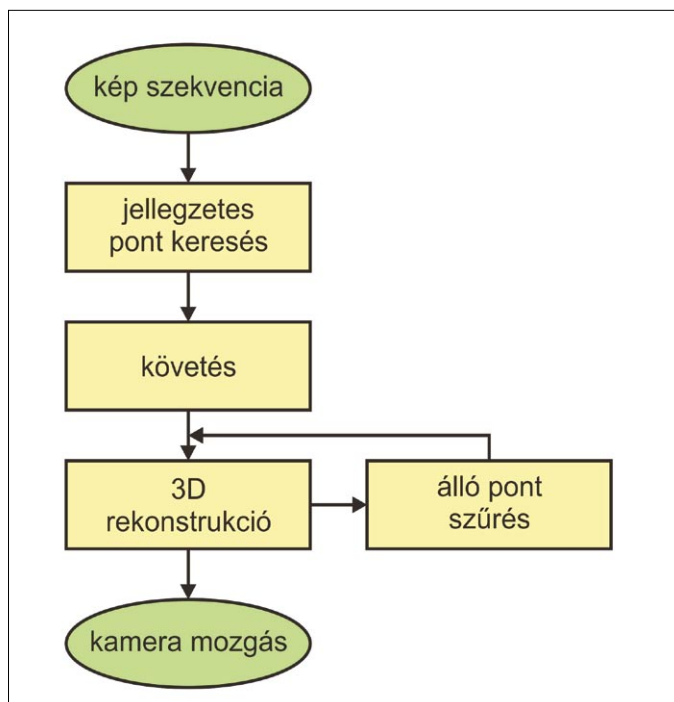
2. TULAJDONSÁGKERESÉS ÉS -KÖVETÉS

A Sum of Squared Differences (SSD) algoritmus

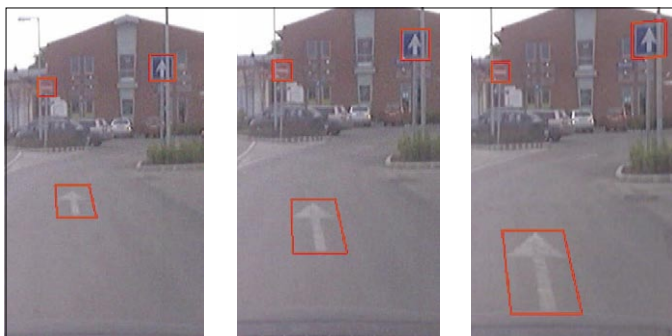
Az SSD eljárásokkal általában sikseszerűnek és nagyjából merevnek tekinthető objektumokat – mint érdekes képrészletet (Region Of Interest) – követhetünk a térben. Több kép alapján meg tudjuk becsülni a követett objektum térbeli helyét és orientációját, amihez az eljárás egyszerűbb változataiban az információt egy sablon és az aktuális kép közötti intenzitásváltozásból nyeri ki. Az újabb változatok a tér- és időbeli deriváltakkal egyaránt számolnak, a térbeli elfordulás (nézőpontváltás) mellett a kismértékű takarás és megvilágításváltozás ellenére is képesek az objektumot követni [1].

A 2. ábrán például az egyirányú utcát jelző tábla részben takarásban van. (A benchmark videofelvételek saját készítésűek, a gépkocsivezető feje felett elhelyezett kamerával készültek.)

A módszer hátránya, hogy a követésre szánt ROI kijelölése egyéb megfontolásokat is igényel, például optical flow eljárással



1. ábra

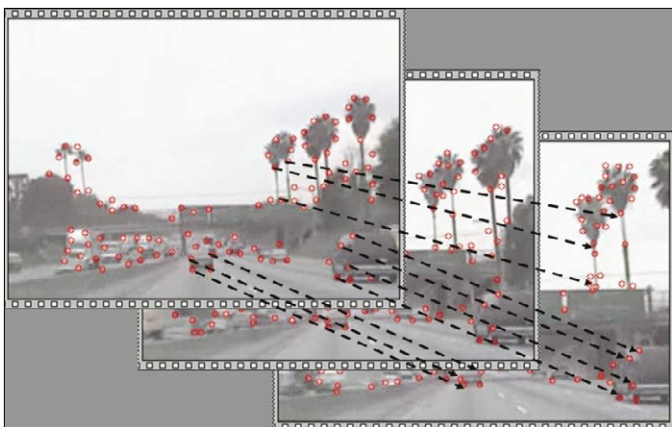


2. ábra

meghatározott összefüggő területekre vagy előre ismert objektumok (felfestések, táblák stb.) felismerésére van szükség. Az SSD algoritmussal követett régiók elhelyezkedéséből és geometriai torzulásából a nézőpont pozíciójára és orientációjára lehet következtetni.

A Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) algoritmus

A KLT algoritmus egy vizuális tulajdonságpont (feature) követési eljárás, melynek célja egy objektum pozíciójának és orientációjának becslése a 3D térben [2]. Az objektumokhoz kötött pontoknak jól megkülönböztethetőnek és az egyes képkockákon stabilan felismerhetőnek és követhetőnek kell lenniük. Ezt a tulajdonságot leginkább a sarokszerű képrészletek elégítik ki, amelyeket arról ismerünk meg, hogy egy kis méretű ablakon keresztül nézve a képrészletet, majd az ablakot bármely irányba eltolva, a pixelek nagy átlagos intenzitásváltozása következik be (lásd 1. táblázat).



3. ábra

Matematikailag ezt a tulajdonságot az autokorrelációs függvényvel lehet kifejezni, mellyel az egyes pontokat sarokszerűség szempontjából rangsoroljuk.

A tulajdonságpontok követése során a két szomszédos kép közötti transzformációt számoljuk úgy, hogy a legkisebb négyzetes hibát minimalizáljuk.

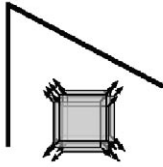
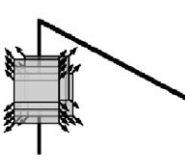
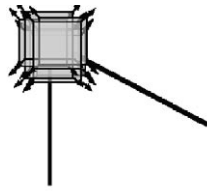
A transzformáció jellege:

- 2 szabadságfokú eltolás,
- 6 szabadságfokú affin transzformáció.

Ha a pontkövetés során egy tulajdonságpontot elveszítünk (például kimegy a képből, takarásba kerül, vagy fényviszonyok megváltozása miatt eltűnik), akkor helyette új pontot választunk a sarokszerűség szerinti rangsor alapján, majd a következő képeken azt követjük.

A 3. ábrán a KLT algoritmussal kijelölt pontok egy képszekvencián való követése látszik: az algoritmus által felismert és azonosnak

regisztrált tulajdonságpontokat néhány képkockán „kézzel” is összeköttöttük. (A feldolgozott videofelvétel a Google videotárból származik, szintén a gépkocsivezető szemszögéből készült, benchmark adatként használtuk fel vizsgálatainkban.)

Nem követhető pontok		Jól követhető pontok
		
Sík régió, nincs változás egyik irányban sem	Él régió, él irányában nincs változás	Sarokszerű képrészlet, szignifikáns változás az összes irányban

1. táblázat

KLT és SSD algoritmus kvalitatív összehasonlítása

A kiválasztott algoritmusok szoftver implementációin elvégzett funkcionális tesztek, illetve a C programok analízisének alapuló előzetes adatfolyam gráfok vizsgálata alapján kvalitatív megállapítások tehetők, melyek kijelölték az implementáció további irányát. (lásd 2. táblázat). Kvantitatív értékelés a végleges FPGA implementáció tesztelése és analízise után végezhető el.

Vizsgált algoritmus-jellemzők	Kanade-Lucas-Tomasi (KLT)	Sum of Squared Differences (SSD)
követett objektum	jellegetes pontok	képrészletmintázat (ROI)
objektum kijelölése	automatikus	összefüggőséget/felismerést igényel
matematikai eljárás	Gauss-Newton optimalizálás	korreláció jellegű eljárás
komplexitás	összetettebb műveletek	nagyszámú egyszerűbb művelet
sw. futási idő	gyors	lassú
párhuzamosíthatóság	pipeline	pipeline
rekurzív jelleg	nem domináns	nem domináns
memória-hozzáférés	nem kritikus	kritikus

2. táblázat

3. A KAMERA TÉRBELI MOZGÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA

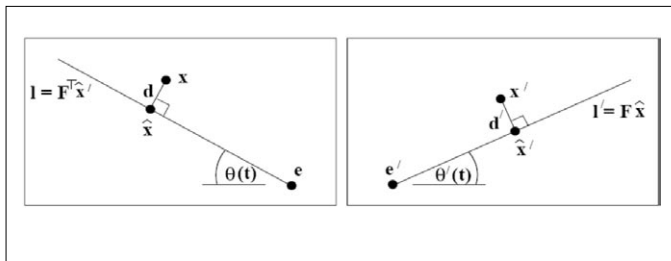
A kamerák vagy egy kamera által több nézetből szolgáltatott képek alapján a látott tér struktúrájának meghatározását 3D rekonstrukciónak nevezzük. A probléma megoldására születt algoritmusokat különböző szempontok alapján osztályozhatjuk [4]. Az egyik ilyen szempont, hogy a kamera kalibrálása off-line vagy on-line képsorozat alapján történik. A cikkben tárgyalt alkalmazás esetén a kamera belső paramétereinek számítása off-line, míg a külsők on-line történnek. A kamera külső paraméterei a kamera-koordináta-rendszer, illetve egy tetszőlegesen választott világ-koordináta-rendszer közötti transzformációt (transzláció, rotáció) jelentik. Mivel a világ-koordináta-rendszer tetszőlegesen megválasztható, adott i , j időpillanatok esetén, a j -edikhez tartozó külső paraméterek meghatározása során világ-koordináta-rendszernek vehetjük az i -edikhez tartozó kamera-koordináta-rendszert. Ekkor a kamera külső paraméterei a kamera sorozatos relatív elmozdulásait és elfordulásait jelentik.

A 3D rekonstrukciós algoritmusoknak, melyek on-line kalibrációt igényelnek, egy szokásos menete a következő:

1. Pontpárok alapján fundamental mátrix számítása (normalizált 8 pontos algoritmus [3]).
2. Projektív rekonstrukció számítása.
3. Kamera-paraméterek számítása.
4. Finomítás metrikus rekonstrukcióról.

Ez a négy lépés abban az esetben indokolt, mikor a kamera paramétereiről semmilyen információ nem áll rendelkezésre, illetve a cél alapvetően a tér pontjainak 3D elhelyezkedése egy skálázási faktor erejéig. Például ezeknek az algoritmusoknak egy csoportja a térről a-priori tudást használ fel (pl. párhuzamos egyenesek), mely segítségével meghatározza a végtelenben levő pont képét, ami alapján a kamera belső paraméterei becsülhetők, viszont számunkra ezek adottak.

A fundamental mátrix ismeretében a detektált pontok helye optimálissá tehető zárt formában két nézet esetén [3]. Optimális alatt a geometriai hiba minimalizálását értjük. A gondolat lényege, hogy módosítsuk úgy az összetartozó pontpárok helyét, hogy azok a lehető legközelebb lévő epipoláris egyenesekre kerüljenek, és ezzel kielégítsék az epipoláris kényszert (lásd 4. ábra).



4. ábra

Ezután a lépés után pontos kameramatrixok esetén a pontpárok alapján számított vetítési sugaraknak metszeniük kell egymást. Egy pontpárra felírva ezeket az egyeneseket és az új transláció, rotáció értéket ismeretlennek tekintve 3 egyenletet (3D vektorok) és 8 ismeretlent (transzláció: 3, rotáció: 3, egyenes paraméterek: 2) kapunk:

$$\mathbf{x}_1 + \mathbf{n}_1 t_1 = \mathbf{x}_2 + \mathbf{n}_2 t_2.$$

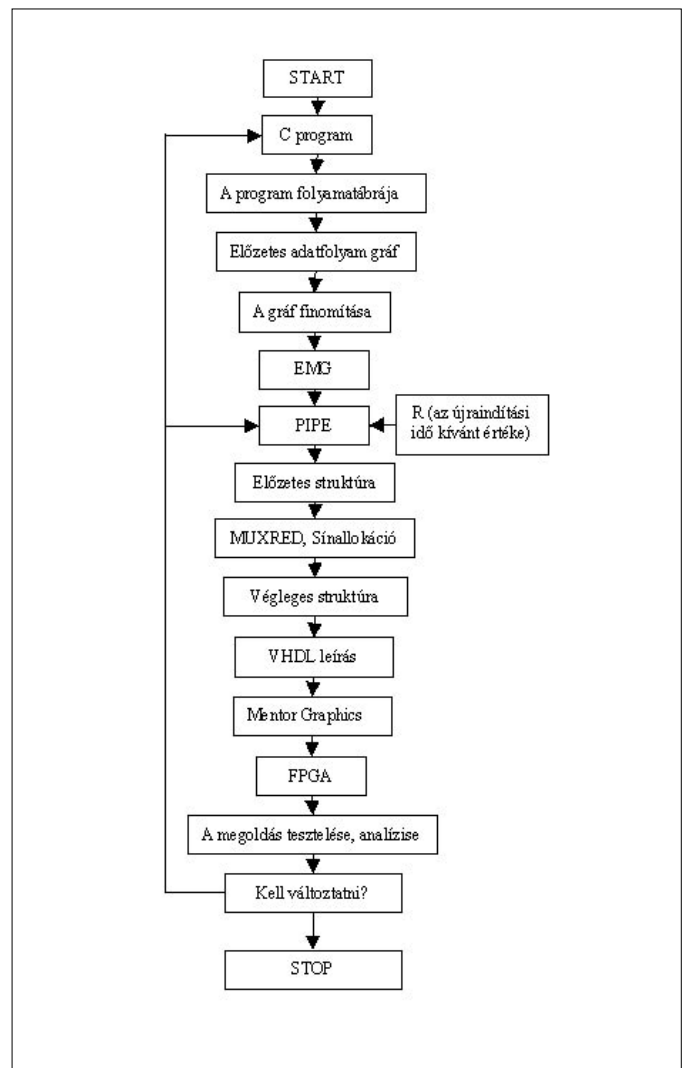
Viszont újabb pontpár felvétele újabb 3 egyenletet jelent, de csak 2 újabb ismeretlent (paraméterek). Ez minimálisan hat pontpár ismeretét igényli. Mivel az egyenletekben az ismeretlenek szorzata is szerepel, több pontpár esetén Levenberg–Marquardt iteratív optimalizációs algoritmus [5] használható például egy addicionális gyorsulásmérő adataival inicializálva.

4. HARDVERIMPLEMENTÁCIÓ

Az előzőekben kiválasztott algoritmusok alapján megkezdett hardverimplementáció főbb lépéseit nyomon követhetjük az 5. ábrán – a C-programtól kezdve az FPGA megvalósításáig.

A fő cél a C-programnak vagy egy alkalmasan kiválasztott részének a hardver megvalósítása olyan módon, hogy a rendszert sebesség és költség szempontjából megfogalmazható peremfeltételeknek megfelelően optimalizálni tudjuk.

Ennek során a pipeline üzemmód alkalmazása mindenképpen szükséges, mert a nagy mennyiségű adat rövid idő alatt történő feldolgozási igénye az elsődleges az adott alkalmazásban a valós idejű sebességgel szemben. A célul kitűzött hardvernek ugyanis az a fő feladata, hogy a kamerá(k)ról folyamatosan beérkező adattömeget a lehető leggyorsabban feldolgozza, azaz feature-öket keressen és kövesse azokat.



5. ábra

A továbbiakban a szintézis lépéseit mutatjuk be:

C-program

Első lépésként meg kell határozni az alkalmazás azon részének a C nyelvű leírását, amelynek a hardver implementálása a cél.

A program folyamatábrája

A C nyelvű leírás alapján a folyamatábra azért szükséges, hogy annak alapján egy előzetes adatfolyam gráf könnyebben legyen megfogalmazható.

A gráf finomítása

Az előzetes adatfolyam gráf alapján fokozatos finomítással létre kell hozni az ún. Elemi Műveleti Gráfot (EMG), amely a magas szintű szintézis eljárás bemeneteként kezelhető. Ez a lépés a nagyobb egységek kisebbekre történő lebontásával hajtható végre. Mindegyik elemi függvényt külön kell kezelnünk. A rekurzív hurkokat egyszerű műveleteknek kell tekintenünk [1]. A rekurzív hurkok mellett a feltételes elágazások és a nem rekurzív for és while ciklusokat, illetve a képfeldolgozás memóriairási ciklusait (a feature-ök memóriába való írását) szintén külön kell kezelnünk. A memóriairás és -írás egyenként két-két műveletet, vagy más néven csomópontot fog jelenteni az Elemi Műveleti Gráfban (EMG) hiszen az első művelet a memóriarekesz címét dolgozza ki, azaz egy címdekódolást végez el, az öt követő művelet pedig magát a

memóriából való olvasást, vagy az abba való írást valósítja meg. A for és while ciklusok EMG-be történő formális konverziója a képfeldolgozó algoritmusok egyszerű rekurziós tulajdonságán alapul. Mivel algoritmusaink ciklusai többnyire a ciklusparaméteren kívül más, a ciklusmagban szereplő változót nem használnak fel a feltétel ellenőrzésénél, ezért egyszerűsítést alkalmazhatunk. Így a feltételt vizsgáló egység részeként tekintjük a ciklusváltozónak kezdeti értéket adó számlálót, melyet egy Δ idő eltelte után inkrementálunk. Ezt a Δ időt a ciklusmag lefutási idejének a maximumára kell választanunk.

EMG

A gráf finomítását addig kell folytatni, amíg az ún. elemi műveletekig el nem jutunk. Így rendelkezésünkre áll a PIPE magas szintű tervezőrendszer bemenete. E gráfban a műveletek egy-egy csomópontot képeznek, be- és kimenetekkel, illetve paraméterként a végrehajtási idővel rendelkeznek. A gráf élei az adatkapcsolatokat jelentik.

PIPE

A PIPE tervezőrendszer [1] bemenete az EMG-n kívül az újraindítási idő (restart time, R), amely a bemenő adatok gyakoriságának a minimumát szabja meg. A PIPE-rendszer a költségoptimumot biztosítva puffereket illeszt be, és bizonyos műveleteket többszöröz, hogy a kívánt R szerint érkező adatokat fogadni tudja a rendszer. Esetünkben ezt az időt a kamerák fps-e fogja meghatározni. Ezután a szinkronizáció következik, melynek során a műveletek időbeni elhelyezése, az ütemezés (scheduling) kerül sorra úgy, hogy ezáltal lehetőleg kedvező feltételek adódjanak minél több művelet közös konkrét műveletvégző egységgel (processzorral) történő megvalósítására (allokáció).

Előzetes struktúra

A fentiek alapján a PIPE-rendszer eredményül szolgáltat egy olyan gráfot, amely közel optimális feldolgozási időt ad a megkívánt bemeneti adatgyakorisághoz. A PIPE által adott kimeneti kapcsolásnak a hardvermegvalósítás szempontjából az a hátránya, hogy rendszerint túl sok multiplexert tartalmaz, melyek számát redukálnunk kell. E célból külön algoritmusok állnak rendelkezésre [2].

MUXRED és sín allokáció

Ebben a lépésben az előzetes struktúra alapján egy egyszerű sínrendszer kialakítását végezzük el, és a [2]-ben bemutatott algoritmusok alapján (MUXRED, BUSRED) a struktúra optimalizálását kíséreljük meg.

Végleges struktúra

A MUXRED és a BUSRED után kiadódó összeköttetések már a megvalósítandó hardver kapcsolási tervének tekinthetők. Ezek után következhet a Mentor Graphics tervezőrendszer bemeneteként kezelhető VHDL-leírása a végleges struktúrának.

VHDL-leírás, Mentor Graphics indítása

A Mentor Graphics fejlesztőrendszerrel elvégezhető a végleges struktúra FPGA-ban történő implementálása.

A megoldás tesztelése és analízise

A funkcionális tesztelés a kiindulási C-programmal történő összehasonlítás révén végezhető. Az analízis során meg kell vizsgálni,

hogy a létrejött rendszer sebessége megfelelő-e és költség szempontjából nem lépi-e túl az előre megadható peremfeltételeket. Az időbeli analízis alapján meg tudjuk határozni, hogy szükséges-e a hardvert újratervezni, esetleg módosítani.

5. KONKLÚZIÓ

A kiválasztott és az alkalmazás előírta tervezési metrikához adaptált 3D navigációs algoritmusok analízisének, valamint FPGA-alapú implementációjának közös motivációja egy, a szenzorfüzión alapuló, önkalibráló, a-priori ismeretlen, sőt változó környezetben is működőképes 3D navigációs látórendszer kifejlesztése. Ennek az eszköznek a koncepcióját már korábban kidolgoztuk – elsősorban intelligens járművek autonóm navigációs képességeinek növelésére olyan kritikus közlekedési situációkban, mint például: sávelhagyás, ráfutás, parkolási manőverezés stb. Eddigi kísérleti eredmények alátámasztották az eredeti célkitűzések realitását – különösen a hatékony FPGA tervezési módszertan és a korszerű implementációs technológia bevetése esetén. A kiválasztott algoritmusok szoftverimplementációin elvégzett funkcionális tesztek, illetve a C-programok analízisen alapuló előzetes adatfolyam gráfok vizsgálata alapján kvalitatív megállapításokat tettünk az egyes algoritmusok optimális hardverimplementációját tekintetében.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett munka a BME irányítástechnika és informatika tanszékén, az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont keretében, a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával folyik.

Irodalom

- [1] G. D. Hager and P. N. Belhumeur: Efficient Region Tracking of with Parametric Models of Illumination and Geometry. IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intelligence, 20(10):1025–1039, October 1998.
- [2] C. Tomasi and T. Kanade: Detection and Tracking of Point Features Carnegie Mellon Univ. Technical Report. April 1991
- [3] Hartley R. I. and A. Zisserman. Multiple View 3D Geometry in Computer Vision. Cambridge. University Press, ISBN:0521570518, 2004.
- [4] Ye Lu, Jason Z. Zhang A Survey of Motion-Parallax-Based 3-D Reconstruction Algorithms IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews, Vol. 34, No. 4, november 2004
- [5] More J. The Levenberg-Marquardt algorithm, implementation and theory. Numerical Analysis, Lecture Notes in Mathematics 630. Springer-Verlag, pages 95–101, 1977.
- [6] P. Arató, T. Visegrády, I. Jankovits: High-level Synthesis of Pipelined Datapaths. John Wiley & Sons, 2001 p. 250.
- [7] Kandár Tibor, Hierarchikus rendszer szintű szintézis PhD értekezés, BME irányítástechnika és informatika tanszék, 2007
- [8] Egri Attila, Loványi István: Szenzorfüzión alapuló önkalibrációs látórendszer. A jövő járműve. I. évfolyam. 3-4 szám. HU-ISSN 1788-2699.

Integrált irányítási alkalmazások járműrendszerekben

Dr. Bartha Tamás
tudományos főmunkatárs
MTA SZTAKI

Dr. Gáspár Péter
tudományos főmunkatárs
MTA SZTAKI

Az integrált irányítás területén a folyamatos kutatásnak köszönhetően egyre újabb módszerek és megvalósítási eljárások jelennek meg. A következőkben néhány alkalmazási példa segítségével a jelenleg fejlesztés alatt álló különféle – főleg ember nélküli és autonóm – integrált irányítási közlekedési alkalmazások architekturális és tervezési elveibe szeretnénk betekintést adni.

The ongoing research in the field of integrated control brings continually new and improved methods and realization processes to the practice. In the following we give an insight to the architectural and design principles using some interesting examples taken from various –mainly unmanned and autonomous– traffic applications.

1. BEVEZETÉS

Az amerikai National Institute of Standards and Technology (NIST) az 1970-es évek végén kezdte el feltárni a robotok és az automatizálás felhasználási lehetőségeit. Ebben az időben a mesterséges intelligencia (AI) és a szabályozásméleti tudományos közösségek között véleménykülönbség volt abban a tekintetben, mi is az „intelligens gépek” fejlesztésének legcélravezetőbb módja. Az NIST úgy döntött, hogy mindkét közösség javaslatai közül veszi a legjobbakat, és egyesíti ezeket egy referenciáirányítási architektúrában. Az architektúra főbb jellemzői a modularitás, a laza csatolás a részrendszerek között, a szoros csatolás a részrendszerekben belül, és az inkrementális fejlesztési metodika voltak.

Mindezen jellemzők ötvözése egy közös architektúrán belül az NIST számára azon cél elérése érdekében volt szükséges, hogy a különféle (rész)technológiák felhasználhatóságát és hatékonyságát értékelni tudja. Ennek a munkának egyik termékeként került megfogalmazásra egy hierarchikus szabályozási rendszer, amit valós idejű irányítórendszernek (Real-Time Control System, RCS) neveztek el. A kidolgozott módszertan egy elemzési és tervezési fázisból (terv), valamint egy fejlesztési és tesztelési fázisból (implementáció) áll.

Felülről induló (top-down) tervezési metodika. Az első lépés a rendszerfejlesztési folyamat során a megvalósítandó célok meghatározása és rögzítése. A célok kifejezhetők egy követelménydokumentáció formájából, ami definiálja a rendszer funkcionális és működési követelményeit. Ezen követelménydokumentációból nem hiányozhat azon jellemzők azonosítása, amelyek vizsgálata alapján megítélhető, hogy a rendszer, illetve a rendszerfejlesztési folyamat mennyire volt sikeres, a kitűzött célokat milyen fokon és mértékben sikerült elérni.

A következő lépésben azt kell eldönteni, hogy mely feladatokat milyen (rész)rendszereknek kell végrehajtaniuk. Az RCS metodikában ezt a fajta elemzést feladatlebonthatásnak nevezik. A feladatlebonthatásnak egy olyan „fordított faszerkezetet” kell eredményeznie, ahol a magas szintű rendszerfunkciókat megvalósító magas szintű modulokból indulva egyre egyszerűbb funkciókat végrehajtó alacsonyabb szintű modulokhoz jutnak el.

A közös referenciamodell irányelvek (tervezési minták) használatának egyik előnye az egyszerűbb fejlesztési folyamat a jobb áttekinthetőség és könnyebb érthetőség következtében, és a szoftver újrafelhasználhatósága, ami a fejlesztési költségek csökkentését is eredményezi. Azonban nem kötelező minden rendszernek követnie a referenciamodellt. A piacon lévő (azaz a fejlesztés kezdetekor már létező) komponensek is felhasználhatók az RCS keretei között, amennyiben moduláris felépítésűek és jól definiált interfészeket alkalmaznak.

Alulról építkező (bottom-up) megvalósítás. A klasszikus tervmódszertanokban a következő lépés a szoftvermodulok részletes specifikációjának a kidolgozása, az ún. modultervezés. Bár ez a lépés sok esetben hasznos lehet, magas kockázatú környezetben a (nagy megbízhatóságú és/vagy biztonságkritikus) szoftverek fejlesztésének kulcsa a gyors, prototípus-orientált konstrukció és a szimuláció (illetve, ha lehetséges, a kimerítő rendszervizsgálatot lehetővé tevő formális verifikáció és validáció) segítségével végzett tesztelés.

A hierarchikus modellépítési metodika nagyon jól bevált ebben a környezetben. A rendszerek modularizálása és egyértelmű interfészek kialakítása révén a modulokat és külső eszközöket olyan szimulációs szoftverkomponensek segítségével tesztelhetik, amiket a rendszer- és azon belül az interfészspecifikáció egy-egy lehatárolt része alapján külön-külön fejlesztettek ki.

A prototípuskészítés lehetővé teszi a rendszerek gyors, alulról építkező inkrementális fejlesztését. A prototípus modulok segítenek a rendszer architektúrájának finomításában. A „kimerítő”, azaz teljes körű tesztelésnek sikeresen alávetett modulok ún. „szállításra kész kóddá” válnak és beépülnek a rendszerbe.

2. REFERENCIA-ARCHITEKTÚRA

Az új autonóm járműépítési technológia értékelésének lehetővé tételéhez az NIST egy irányítási referenciamodelt fejlesztett ki. A referenciamodell azt írja le, hogy az autonóm járművekben milyen általános irányítási funkciókat kell végrehajtani, és ezeket megpróbálja egy következetes irányelvkészlet alapján szervezni.

Az 1. ábra egy autonóm földi jármű irányítási architektúráját mutatja be a referenciamodellben. A következő modulokat találjuk a hierarchiában: érzékelőktől kapott jelek feldolgozása (Sensor Processing, SP-PAL), környezetmodellezés (World Modeling, WM) és feladatlebonthatás (Task Decomposition, TD).

Feladat szint

Küldetéstervezés – Az egyéni járműirányítás legmagasabb irányítási szintje ez a Feladat szintű modul. Ez a modul felelős a szimbolikus formában megfogalmazott küldetési feladatok végrehajtásáért (mint például: „juss el az Alfa találkozási pontra” vagy „készülj fel konvojban haladásra”). Egy jármű több olyan alrendszerrel is el lehet látva, mint például a navigációs, észlelési és küldetési modulok, amiket a Feladat szint irányít az adott küldetési feladat bizonyos fázisainak megvalósítása érdekében.

Egy olyan feladat esetén, ami a jármű egy helyszínhez való eljutását igényli, a Feladat szint szimbolikus térképeket használ az

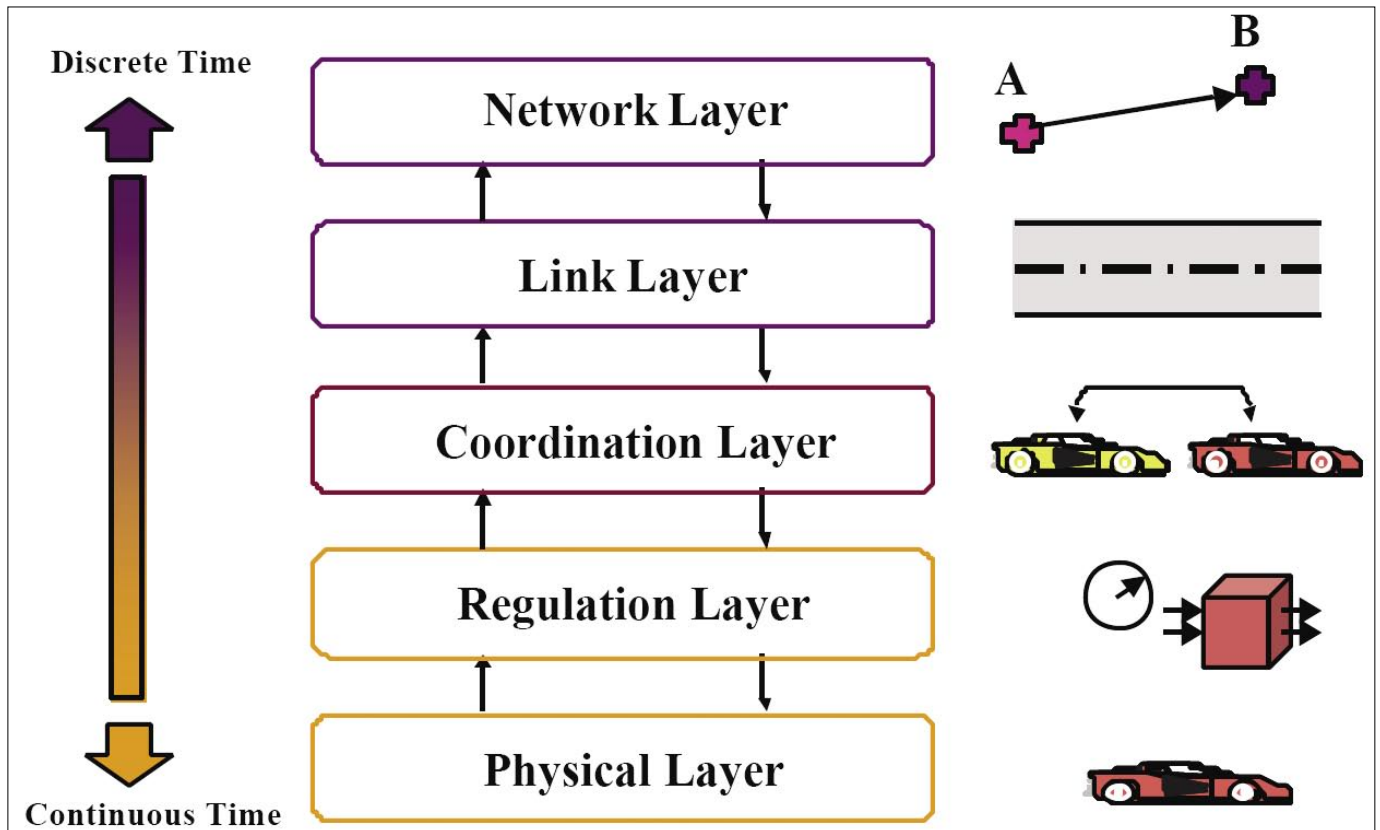


Objektumfelismerés – a Feladat szintű érzékelő feldolgozási funkció célja a tárgyak, objektumok felismerése. A modell alapú felismerés belső 3D modellek segítségével megkísérli egy modell adott leképéseit olyan címkézett jellemzőkkel illeszteni, mint pl. az élek és a felszínek. Ezek a jellemzők az észlelési alrendszer alacsonyabb szintjeiből származnak.

Akadályelkerülés – az Emove szintű modul olyan elemi parancsokat fogad, mint „juss el az X, Y koordinátákra”. A modul arra használja a világmodellből származó információkat, hogy a jármű mozgásához olyan „átjárókat” számítson ki, amelyek mentesek az akadályoktól. Minden megtalált átjárót átküld a Primitív (Prim) szintnek. Az Emove modul néhány száz milliszekundumonként határoz meg új célokat.

Felszínfelismerés – Ez az Emove szintű érzékelőfeldolgozási modul felelős az útfelszín felismeréséért. Felszíneket meghatározni például a Prim szintű érzékelőfeldolgozó funkciók által előállított élhatárok vizsgálatával lehet. A lézerszennekerek további közvetlen mélységi információt nyújthatnak adott felszínekhez. Az akadályokként azonosított felszíneket a mozgási modul arra használja, hogy elkerülő trajektóriákat tervezzen meg.





3. ábra: a PATH Programban alkalmazott hierarchikus irányítási architektúra

Primitív (Prim) szint

Járműtrajektória – Ez a Prim szintű modul olyan szimpla parancsokat értelmez, mint a „Goto X, Y”. A modul feltételezi, hogy az útvonal mentes az akadályoktól és csak azzal foglalkozik, hogy egy sima járműtrajektóriát hozzon létre. A modul néhányszor tíz milliszekundumonként állít elő kimenetet.

Jellegkiemelés – Ez az észlelésért hierarchia megvalósítását célzó Prim szintű modul olyan jellegzetességeket emel ki az észlelők által szolgáltatott képsorozatokról, mint például a görbék, sarkok, felszíni foltok. Ezt útmodell-illesztési, sztereólatási és mozgáselemzési módszerekkel érik el.

Szervo szint

Beavatkozószervek – a mozgási aktuátorok a kormányművet, a féket és a gázadást foglalják magukban. A látási aktuátorok kamerabeállításainak vezérléséből, forgatási és döntési mozgató funkciókból és stabilizált felfüggesztő/rögzítő mechanizmusokból állnak. A modulok alacsony szintű szervókat vezérelnek és aktuátorirányító jeleket hoznak létre néhány milliszekundumonként.

Képfeldolgozás – ez a modul alkotja az észlelési hierarchia legalsóbb szintjét. Olyan funkciókat hajt végre, mint a képsűrítés, képminőség-javítás, objektumhatár-meghatározás és régió növelés. A modul kimenetére egy példa (a hierarchiától függően) egy kép élpontjai halmazának előállítására.

3. ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

3.1 Automatikus pályakövetés

Az NIST az ismertett általános architektúrán alapuló, automatikus útpályakövetésért felelős algoritmusokat tesztelt és integrált egy demonstrációs jármű irányítási rendszerébe. A megvalósított pályakövetést végző architektúrát mutatja a 2. ábra.

Az alkalmazott architektúrát az általános jármű referencia architektúra két alsó szintjéből származtatták. A mozgásvezérlő rendszer szempontjából fontos specifikus útjellemzők ebben az esetben a haladási sávnak a járműhöz viszonyított koordinátái. A kamerás képfeldolgozó rendszer az út sávhatarainak egy modelljét használja az út geometriájának követésére és predikciójára. Az út középvonalának koordinátáit meghatározva lehetővé válik, hogy a jármű előre definiált pontok megadott listája helyett valós időben kövesse az utat.

3.2 Automatizált autópálya-rendszerek

Az UC Berkeley egyetem által fémjelzett PATH Program olyan stratégiát javasolt az automatizált autópálya-rendszerek (AHS) megvalósítására, ami akár a szállítási kapacitás négyszeres növekedését is eredményezheti, miközben a közlekedésbiztonságot is növeli. A kidolgozott stratégia az autópályán/országúton való haladáshoz több jármű által alkotott konvojok kialakítását ajánlja. Egy járműkonvojon belül a járművek távolsága kicsi (kb. 2 m), míg a különböző konvojok közti távolság nagy (legalább 60 m). A járművek mozgását egyszerű, koordinált manővereken keresztül valósítják meg (konvojhoz csatlakozás, konvojról leválás, sávváltás, pályára behajtás és pályáról kihajtás).

Már a PATH Program járműkonvojok kialakításával és vezérlésével foglalkozó ún. „platooning” kutatási projektjének korai fázisában kiderült, hogy az automatikusan irányított járműláncok bizonyos körülmények közt ún. „láncinstabilitási jelenségeket” mutathatnak, azaz a járműlánc elején bekövetkező zavarok felerősödnek, ahogy hatásuk a lánc mentén végigterjed.

Lineáris átviteli függvény alapú analízis segítségével kimutatható volt, hogy a szóban forgó láncinstabilitási jelenségek kiküszöbölésének egyik lehetséges módja egy közös referencia trajektória alkalmazása minden jármű esetében. Ha a láncban lévő járművek közül mindegyik rendelkezik információval a vezető jármű

abszolút sebességéről, akkor ún. „gyenge láncstabilitást” lehet megvalósítani, azaz semmilyen zavar sem erősödhet fel a lánc mentén történő fokozatos továbbterjedés során.

Továbbá azt is sikerült bizonyítani, hogy ha a láncban lévő járművek közül mindegyiknek van ismerete a maga és a vezető jármű közötti relatív pozícióhibáról is, akkor ún. „erős láncstabilitást” lehet megvalósítani, tehát minden kezdeti zavart mértanilag gyengíthetnek, ahogy azok terjednek a lánc mentén. A vezető járműre vonatkozó információt a láncot alkotó minden járműhöz el kell juttatni vezetékek nélküli kommunikációs kapcsolaton keresztül.

A PATH Programban az automatizált autópálya-rendszerek (AHS) megvalósítására alkalmazott hierarchikus irányítási architektúrát a 3. ábra mutatja be. A PATH AHS architektúra automatizálási stratégiája a következő rétegeket szervezi egy egységes irányítási hierarchiába:

A **fizikai réteg** az automatizált járművekből áll. A járműdinamikus modelleket nemlineáris közönséges differenciálegyenletek formájában adják meg.

A **szabályozási réteg** az olyan egyszerű manőverek biztonságos végrehajtásáért felelős alrendszereket felügyeli és irányítja, mint a csatlakozás, leválás, sávváltás, behajtás és kihajtás. A járműdinamika irányításához olyan irányítási szabályokat fogalmaz meg, mint a járműállapot vagy megfigyelt jellemző visszacsatolási szabályok.

A **koordinációs réteg** olyan kommunikációs protokollokat nyújt, amelyeket a járművek és autópálya-szegmensek használnak a manővereik koordinálására a nagy átbocsátóképesség biztonságos megvalósításához. A protokollokat véges államátmeneti rendszerek segítségével fogalmazzák meg.

A **kapcsolati réteg** definiálja azokat az irányítási stratégiákat, amiket az autópálya-szegmensek az átbocsátóképesség maximalizálása érdekében követnek. Az autópálya forgalmának tevékenységi folyam modell alapú irányításához olyan irányítási szabályokat fogalmaz meg, mint a járműállapot vagy megfigyelt jellemző visszacsatolási szabályok.

A **hálózati réteg** végponttól végpontig terjedő útválasztást biztosít azt is garantálva, hogy a jármű által kommunikált üzenetek torlódás kiváltása nélkül eléri a címzettet. Az irányítási szabályok ebben az esetben sorbanállási modellek formájában adóttak.

A fizikai, a szabályozás és koordinációs rétegek minden járművön megtalálhatóak, míg a kapcsolati és hálózati rétegek az út mentén elhelyezett berendezésekben. Az egyszeres hibapontok elkerülése és a maximális rugalmasság elérése érdekében, a javasolt kialakítás elosztott ágensekből felépített irányítási stratégiát alkalmaz. Minden jármű és mindegyik autópálya-szegmens a saját irányításáért felelős. Mindazonáltal ezeknek az ágenseknek egymással össze kell hangolniuk tevékenységüket a magas átbocsátóképesség és a nagy közlekedési biztonság fenntartásához.

Robusztus szabályozó tervezése járműirányítási feladatok megoldására

Rödönyi Gábor
Dr. Gáspár Péter

MTA SZTAKI Rendszer- és
Írányításméleti Kutató
Laboratórium

A dolgozatban teherjárművek elektronikus fedélzeti egységének egy lehetséges biztonsági funkcióját és annak egyik szabályozási feladatát mutatjuk be. A vezető rosszulléte vagy elalvása miatt bekövetkező balesetek megelőzése érdekében a fedélzeti egység a sávot tartva lelassítaná és a sáv szélére kormányozná a járművet. A kormányzás szabályozási feladatát olyan járművekre oldjuk meg, ahol az egyetlen beavatkozási lehetőség az elektronikus fékrendszeren keresztül történhet. A szabályozót az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJJT) támogatásával kifejlesztett algoritmussal tervezzük, mely a létező robusztus irányítási módszerekhez képest a beavatkozásszervek kisebb energiafelhasználását és a jármű pontosabb szabályozását biztosítja.

The paper presents one of the control problems of a potential safety function of on-board electronics of heavy vehicles. In order to prevent accidents due to some lipothymy or drowsiness of the driver, the on-board control unit slows down the vehicle while keeping it in the lane. The steering control problem is solved for vehicles, in which the only means to intervene in steering the electronic brake system. The controller is designed by the algorithm developed with the support of the Advanced Vehicles and Vehicle Control Knowledge Center. Compared to existing methods the presented one presented in this paper less energy consumption of the actuators and more accurate control of the vehicle.

BEVEZETÉS

A közúti járművek irányítási algoritmusában egyre nagyobb szerepet kapnak a dinamikus modell alapú szabályozások, melyek a formálisan definiált feltételek teljesülése esetén stabilitási és minőségi tulajdonságokat garantálnak. Az elterjedten alkalmazott, úgynevezett optimális szabályozások (pl. LQ, LQG) a hibamentes modell (optimum) esetén biztosítják a legjobb megoldást. A módszer hátránya, hogy viszonylag pontos névleges modell igényel, a dinamikus modell hibája a szabályozás minőségének (energiafelhasználás, referenciakövetés pontossága) drasztikus romlásához, esetleg a stabilitás elvesztéséhez is vezethet. Biztonságkritikus alkalmazásokban ezért indokolt a legrosszabb esetre felkészülni és annak hatását minimalizálni. Erre a feladatra keres megoldást a robusztus irányítások elmélete. A továbbiakban ezek egy széles körben elterjedt esetével, a H_∞ szabályozással foglalkozunk.

A robusztus H_∞ szabályozó tervezésének alapjául szolgáló nominális modellt kiegészítjük egy bizonytalansági modellel, amely a külső zavarások és az elhanyagolt (vagy ismeretlen) dinamika hatásait írja le. A teljes bizonytalan modellben az elhanyagolt dinamika egy olyan rendszerként jelenik meg, amelynek csak a H_∞ normájára adott felső korlát ismert. Hasonlóan a külső zavarások olyan tetszőleges jelek, amelyeknek csak valamilyen jelnormájára (például L_2) adott felső korlát ismert. A korlátokat a frekvenciatartományban definiált súlyfüggvényekkel szokás megadni. Szintén súlyfüggvények specifikálják a szabályozás minőségi követelményeit. E súlyfüggvényekkel kiegészített általánosított rendszerre DK-iterációval [1] tervezhetünk szabályozót. A bizonytalansági modell megalkotása általában a fizikai rendszer alapos ismeretét, mérnöki intuíciót és sok zártköri kísérletet vagy szimulációt követel meg. A robusztus H_∞ szabályozások a modellhiba legrosszabb esetére optimálisak és a korlátoknál kisebb hibákra stabilitást és a minőségi követelmények teljesülését garantálják. Ha a rendszer tartósan vagy gyakran olyan

munkaponton működik, ahol a zavarások és elhanyagolások nem jelentősek, akkor a robusztus szabályozó konzervatívnak bizonyulhat, azaz jobb minőség (kevesebb energiával pontosabb szabályozás) is elérhető lenne.

Ez a dolgozat a bizonytalansági modellből származó konzervatívizmust csökkentő DKW-iterációs módszert [2] mutatja be. Az eljárás hatékonyságát a fékekkel történő kormányzási feladaton illusztráljuk. A módszer feltételezi, hogy a külső zavarások véges energiájú (L_2) jelek. A járműirányításoknál ez indokolt feltételezés, hiszen gyakoriak a hosszú állandósult állapotok, amikor a zavarások sem jelentősek. Két ilyen munkapont közötti átmenetkor véges idejű – így véges energiájú – jelek lépnek fel. A módszer azon az állításon alapszik, hogy a nominális modell hibájában a bizonytalanság forrásai – azaz elhanyagolt dinamikai komponensek és külső zavarások – nem különböztethetők meg, a szabályozó bemenetén a mért jelekben ezek együttes hatása jelenik meg, így nem szükséges a bizonytalansági modellel a valóságos bizonytalan komponenseket modellezni. Például leírható a modellhiba tisztán külső zavarás hatásaként vagy megfelelő struktúrájú elhanyagolt dinamika hatásaként is. Hogy melyik a jobb választás? Azt a zártköri minőségnek kell alárendelni. Hogyan válasszuk meg a bizonytalansági modell súlyfüggvényeit, ha a fizikai modellezésre nem támaszkodunk? Úgy, hogy a teljes bizonytalan modell mindig képes legyen reprodukálni a mérési adatokat. Ez csak egy korlátozást jelent a bizonytalansági modellre, amely a minőségi kritérium szerint hangolendő.

Végül azt kell megválaszolnunk, ez az eljárás miért csökkenti a szabályozás konzervatívizmusát, miért várhatunk minőségi javulást? Egyrészt szabályozási feladattól függően a bizonytalan komponensek eltérő jelentőséggel bírnak, célszerű ezért a nominális modellhibát annak a komponensnek tulajdonítani, amelyekre kevésbé érzékeny a szabályozás. Másrészt a valóságban bekövetkező zavarások a feltételezett korlátozott jeltérnek sokszor csak egy részhalmazát fedik le csakúgy, mint az elhanyagolt dinamikai komponensek a véges H_∞ normájú rendszerek terében. A

különböző komponensek a modellhibában kiolthatják egymást. A komponensek ilyen értelmű összefüggését a fizikai modellezéskor nehéz lenne figyelembe venni.

A FÉKKEL KORMÁNYZÁS SZABÁLYOZÁSI FELADATA

Európában a közúti balesetek 5–9 százalékát teszi ki a vezető fáradtságára, elalvására visszavezethető pályaelhagyásos balesetek száma. A veszélyt érzékelő, figyelmeztető hangokat adó vagy a kormánykerék rezgetésével ébresztő rendszerek már több járműtípusban beépítésre kerültek. Az aktívan beavatkozó sávtartó rendszerek fejlesztését, kutatását minden nagyobb autógyártó támogatja, de ezek alkalmazásáig még sok technikai és jogi akadályt kell leküzdeni. Ebben a dolgozatban a sávtartás szabályozási feladatát olyan járművekre oldjuk meg, ahol elektronikusan vezérelhető kormány nem áll rendelkezésre, az egyetlen beavatkozási lehetőség az elektronikus fékrendszeren keresztül valósulhat meg. Nem foglalkozunk a biztonsági rendszer azon komponenseivel, amelyek a beavatkozás szükségességét észlelik, meghatározzák a sáv helyzetét és a jármű által befutni kívánt pályát. Feltételezzük, hogy a pálya befutásához szükséges r_{ref} legyezeési szögsebességet egy külső szabályozási hurok előállítja, és megtervezünk azt az algoritmust, amely az r_{ref} kívánt értéket a járművel végrehajtja. Az r_{ref} referenciát szeretnénk minél kevesebb fékezéssel, minél pontosabban követni.

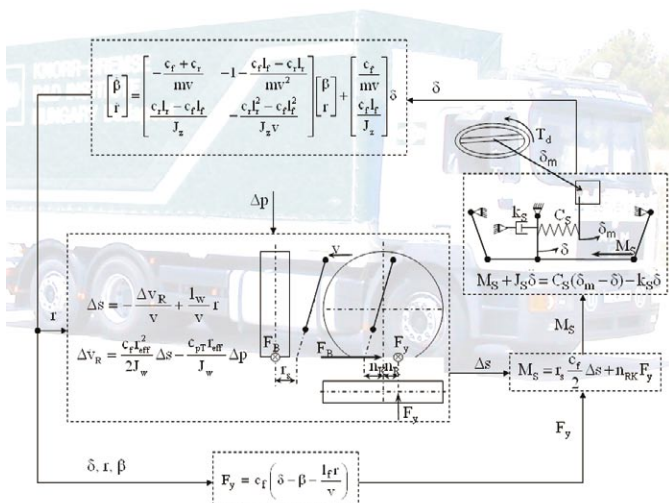
A kanyarodás valamelyik első kerék fékezése miatt elforduló kormányművön keresztül jön létre, feltéve hogy a vezető kormányke-rekre kifejtett nyomatékát a fékezés legyőzi. A szabályozó megtervezéséhez ismerni kell a legyezési dinamika, a kormányrendszer és a fékezés kapcsolatát. Az 1. ábrán látható fizikai modellt egyszerűsítve kapjuk a következő folytonos idejű állapotteres modellt:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx,$$

ahol

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-p_1}{v} + p_2 v & p_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{p_4}{v} + p_5 v & -p_6 & p_7 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ p_8 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

ahol $x = [r \quad \delta \quad \dot{\delta}]^T$ állapotvektor az r legyezési szögsebességből, a δ kormányszögéből és annak deriváltjából áll; az $u = \Delta p$ szabályozójel az első kerekre adott féknyomások különbsége, a p_i állandók fizikai paramétereket rejteneek.



1. ábra: a jármű modellje

A kísérleteket egy MAN teherautó 17-szabadságfokú Matlab/Simulink szimulátorán végezzük, amely tartalmazza a pneumatikus fékbeavatkozó szerv, a kormánymű, a kerékelfüggesztések és a kerekek dinamikus modelljét és az út oldaldőlésének hatását is. Valós körülmények között végzett kísérletek megmutatták, hogy az út néhány fokos oldaldőlési szöge is jelentősen befolyásolja a fékezésessel elérhető kormányászóget. A két szabadságfokú modell dinamikája ennél jóval egyszerűbb és az út oldaldőlésének hatását sem írja le, megbízható szabályozó tervezéséhez azonban szükséges a modell hibájának figyelembevétele. Az ismert robusztus tervezési módszerek a hibát a modell és a valóság közti különbség analízise révén kapott strukturált formában, az ún. Δ -P alakban írják fel. Az egyes modellperturbációs blokkokhoz és a zavarás bemenetekhez frekvencia-súlyfüggvényeket rendelnek az adott komponens nagyságáról alkotott elképzelések alapján. A kapott modell lehetőség van mérési adatokkal ellenőrizni (validálni).

A javasolt módszer egyik előnye, hogy leegyszerűsíti és megbízhatóbbá teszi a bizonytalanságmodellezés folyamatát. A bevezetőben rámutattunk, hogy véges energiájú külső zavarások esetén nincs szükség a valós rendszer elemzésére, a modellhibát szinte tetszőleges struktúrával leírhatjuk. A frekvencia-súlyfüggvényeket pedig mérési adatok segítségével automatikusan határozzuk meg. A módszer másik előnye, hogy a bizonytalansági modell az adott szabályozási feladat és követelmények szerint a szabályozó tervezéssel egyidejűleg hangolható. Ennek eredményeképpen a szabályozás teljesítményén – pl. energiateljesítmény csökkenése és referenciakövetés pontosságának növelése – javíthatunk. Az algoritmus részletes leírása [2]-ben található.

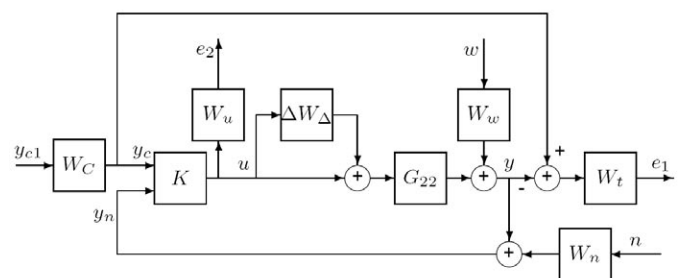
A KORMÁNYZÁSI FELADAT MEGOLDÁSA SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZETBEN

A bizonytalansági modell struktúrája legyen

$$y = G_{22}(1 + \Delta W_\Delta)u + W_w w, \quad \|\Delta\|_\infty \leq 1, \quad \|w\|_2 \leq 1$$

alakú. A névleges modell G_{22} , A Δ modellhiba a két dinamika különbségéből adódik, a w külső zavarást pedig a szimulációban az út oldaldőlési szögének változtatásával állítjuk elő. A valóságban néhány fokos dőlésszög a fékkel kormányzást láthatóan befolyásolja.

A referenciakövető szabályozás minőségi előírásait a 2. ábrán definiáljuk, ahol a W_t és W_u súlyfüggvényekkel 1 rad/s alatt várunk el jó követési tulajdonságot. A mérési zajt W_n veszi figyelembe, a referenciájel alakját pedig W_c . A jármű haladási sebessége $v=12$ m/s.

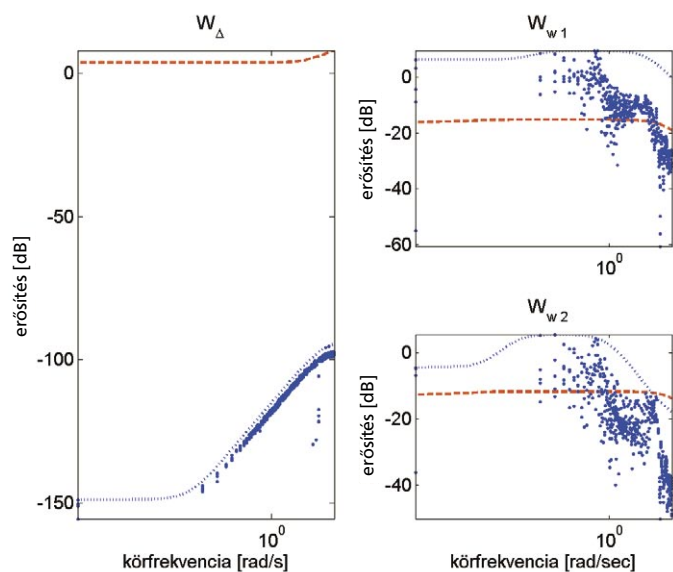


2. ábra: a referenciakövető szabályozási feladat blokkvázlata

Adatgyűjtés céljából öt kísérletet végeztünk: az u féknyomáskülönbség növekvő frekvenciájú négyszögimpulzus-sorozat volt +4 és -4 bar nyomások között, miközben az út oldaldőlését véletlenszerűen változtattuk +2 és -2 fok között. A W_A és W_w súlyfüggvények kezdeti értékét azzal a feltételezéssel határoztuk meg, hogy az útdőlés hatása elhanyagolható a dinamikai elhanyagoláshoz képest, azaz minimális W -t terveztünk.

A tervezett szabályozót akkor tekintjük elfogadhatónak, ha a zárt kör erősítése minden Δ : $\|\Delta\|_{\infty} \leq 1$ esetén kisebb egynél. Ez a robusztus teljesítmény feltétele. A következőkben két szabályozót hasonlítunk össze: az egyik a kezdeti W_{Δ} és W_w függvényeket állandó értéken hagyó DK iteráció, a másik a súlyfüggvényeket is hangoló DKW iteráció eredménye. A DK tervezés a robusztus teljesítmény feltételét nem tudta teljesíteni, a zárt kör erősítése a legrosszabb Δ és w realizáció esetén 2.05. A DKW tervezés a bizonytalanság modellt átrendezi. A 3. ábrán látható, hogy a modellhiba kezdetben elhanyagolt dinamikából származik, a szabályozási feladat szempontjából viszont kedvezőbb, ha külső zavarás hatásaként írjuk le. Ezzel a modellel a DKW szabályozó a robusztus teljesítmény feltételeit teljesíti, mert a zárt kör erősítése a legrosszabb Δ és w realizáció esetén 1-nél kisebb. A 4. a és 4. b ábrákon a két szabályozó zártkörü kísérletének eredménye látható. A bizonytalansági modell hangolása következtében kisebb tranziensekkel és statikus hibával, kisebb energiabefektetéssel lehet követni az alapjelet.

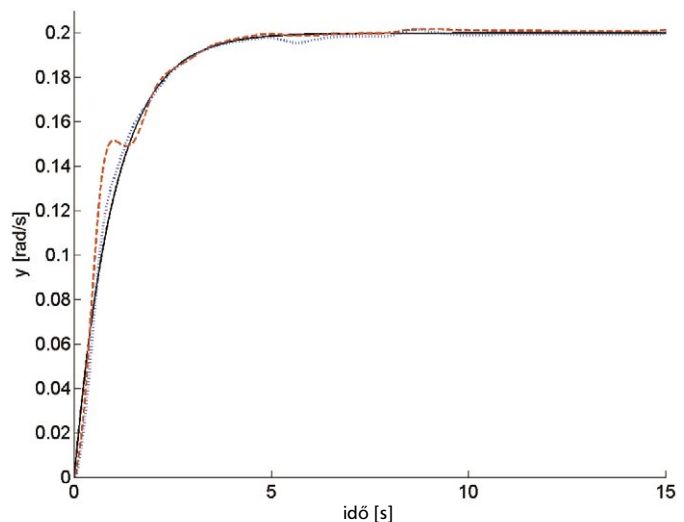
A szabályozó alkalmazhatósága szempontjából fontos a szabályozó állapotainak száma és pólusainak abszolút értéke. A DK szabályozónak 19 állapota van és a legnagyobb pólusa -2161.5 tehát egyszerűsítés és minőségromlás nélkül nem implementálható. A DKW szabályozónak 21 állapota van és a legnagyobb pólusa -100 , tehát 0,01 s mintavételi idő mellett a Nyquist kritériumnak eleget tesz. Összefoglalásként elmondható, hogy az első kerekek viszonylag enyhe fékezésével a jármű kormányozható. A bizonytalansági modell hangolása javítja a szabályozás minőségét: kisebb féknyomással a jármű pontosabban követi az előírt legyezési szögsebességet. A kapott lineáris dinamikus folytonos idejű állapotteres szabályozó 0,01 s mintavételi idővel diszkrétizálható.



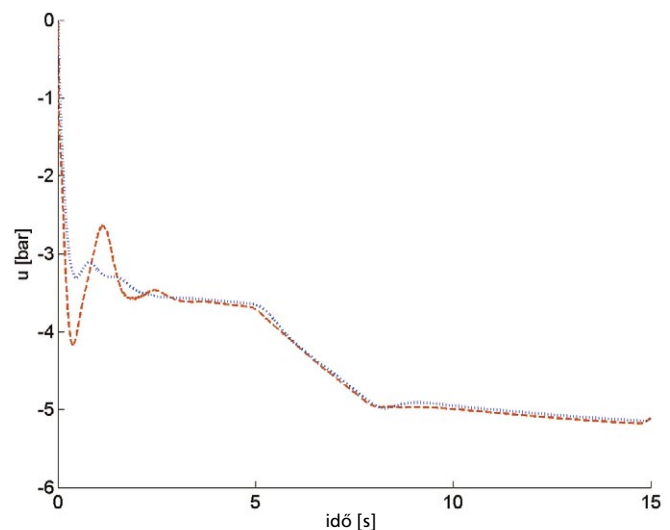
3. ábra: súlyfüggvények alakulása a DKW iterációban – jelölés: kezdeti érték (piros szaggatott), eredmény (kék pontozott) és az adatpontok (kék pontok)

KÖVETKEZTETÉSEK

Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJJT) támogatásával egy járműbiztonsági rendszer számára fejlesztettünk szabályozási algoritmust. Állandó útviszonyok



a) Legyezési szögsebesség alapjel (fekete folytonos) követése



b) A szabályozók beavatkozási jele

4. ábra: a DK (piros szaggatott) és DKW (kék pontozott) szabályozók összehasonlítása

mellett megmutattuk, hogy fékezéssel a jármű hatékonyan és biztonságosan kormányozható. A tervezéshez alkalmazott eljárást szintén az EJJT támogatásával dolgoztuk ki. A járműirányításban is jól alkalmazható robusztus szabályozótervezési algoritmus megkönnyíti, leegyszerűsíti a tervezést és javítja a szabályozás minőségét. A tervezéshez azonban szükség van elegendő, az alkalmazási körülményeket jól reprezentáló, valós mérési adatra.

Irodalom

- [1] K. Zhou, J. C. Doyle and K. Glover. Robust and optimal control. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 1996.
- [2] G. Rödönyi and J. Bokor. A joint structured complex uncertainty identification and mu-synthesis algorithm. Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications, Munich, Germany, p. 2927–2932, 2006.

Biztonságkritikus járműrendszerek kvalitatív megbízhatósági elemzése

Fülep Tímea

doktorandusz hallgató
BME Közlekedésmérnöki Kar
Gépjárművek Tanszék

Dr. Nádai László

tudományos főmunkatárs
MTA SZTAKI

A biztonságkritikus rendszerek fejlesztése a jövő járműveivel kapcsolatban főleg arra a társadalmi követelményre épül, miszerint az emberek biztonságosabb, megbízhatóbb járműveket akarnak látni az utakon, amelyek képesek a vezetőnél összetettebb feladatok kezelésére. Az említett elvárások biztosításának a járművet felépítő rendszerek és alrendszerek fejlesztése során az ezzel kapcsolatos megbízhatósági vizsgálatok szerves részét képezik.

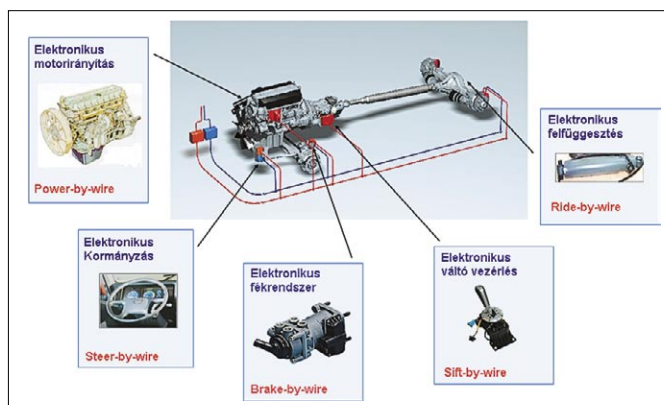
The development of safety critical systems is mainly driven by that social demand that the societies want to see safer, more reliable vehicles on the roads, which can also handle more complex situations than the human driver can. In order to provide these features the development of these systems and subsystems concerning their reliability analyses are indispensable.

BIZTONSÁGI ÉS INTELLIGENS JÁRMŰRENDSZEREK

Az esetek legnagyobb részében vezetési hiba miatt következik be baleset. [2] A gépkocsi vezetője nincs tisztában saját képességeivel és a fizika törvényeivel. Ez különösen olyankor szembetűnő, amikor a kanyart túlzottan nagy sebességgel vesz, és elveszíti uralmát a jármű fölött. Összehasonlítva a személygépkocsikkal a haszongépjárművek majdnem kétszer annyi testi sérülést, több mint háromszor annyi halálesetet és a vagyontárgyakban kétszer annyi kárt okoznak. [1]

Az ismert biztonsági rendszerek, úgymint ABS (blokkolásgátló fékrendszer), ESP (elektronikus menetstabilizáló program) aktív rendszerek és a passzív rendszerbe sorolt légszák egyedülálló rendszerek, elkülönített funkciókat töltenek be a járművekben és nem kommunikálnak egymással, továbbá a fék- és kormányrendszerek még nem elektronikusan vezéreltek. Ezért fontos alapelvnek véve fejleszteni a közlekedés biztonságát és hatékonyságát intelligens technológiák integrálásával egy intelligens, teljesen elektronikusan vezérelt hajtásláncba.

Az intelligens járműrendszerek alkalmazásával bizonyos mértékben növelhető a közlekedési sűrűség úgy, hogy a közlekedési balesetek száma nem feltétlenül növekszik. A by-wire technológiák (1. ábra) mind működési, mind konstrukciós előnyökkel bírnak, de alkalmazásuk biztonságkritikus rendszerekben különleges kezelést igényel a tervezési és fejlesztési folyamatok során. [3]



1. ábra: az intelligens járműirányítás alapját képező rendszerek

HASZONGÉPJÁRMŰ-FÉKRENDSZEREK NAPJAINKBAN

Az előírásoknak megfelelő haszonjármű-fékrendszereket back-up szintjeinek és fékkörök számának függvényében csoportosíthatjuk az 1. táblázatban látható módon.

Az elektronikus fékrendszer, haszonjárművekben már 1996 óta szériafelszereltség, személygépkocsikban pedig most kezd

	Hátsó tengely backuppal		Hátsó tengely backup nélkül	
	TCM (2P)	TCM (1P)	TCM (2P)	TCM (1P)
FBM (2P + 1E)				
FBM (1P + 1E)				

TCM – Trailer Control Module, FBM – Foot Brake Module

1. táblázat: haszonjármű-fékrendszerek rendszerezése

elterjedni. A rendszer az irányítása szempontjából valóban brake-by-wire, a vezető lassulásra vonatkozó igényét egy redundáns, egyszerre több jelet szolgáltató szenzorral mérjük, majd több más jellemző alapján a központi vezérlőegység kiszámítja, hogy az adott keréken milyen fékezési nyomatókat kell megvalósítani, és a kerékhez közeli elektropneumatikus, hidraulikus vagy távlatban az elektromechanikus aktuátor azt végrehajtja. Ilyen értelemben nincs közvetlen (mechanikus, pneumatikus) kapcsolat a fékpedál és a kerékfék között. Az eddigi tapasztalatok alapján ezek a rendszerek nagy megbízhatósággal működnek. Ami miatt mégis minden jármű fel van még szerelve hidraulikus vagy pneumatikus vészvisszaállító, úgynevezett back-up rendszerrel, az a vevői igény és bizonyos fokú bizalmatlanság. De ez a rendszer a fékezési folyamatban csak akkor vesz részt, ha az elektronikus rendszer meghibásodik. A 2. ábrán látható egyik rendszer jelölése 1E + 2P, ami egykörös elektronikus és kétkörös pneumatikus rendszert jelent (jogsabályi szempontból elég lenne az 1E + 1P rendszer is). Az említett fékrendszer, mivel a féknyomatók anélkül is kifejezhető, hogy a vezető a fékpedálra lépne, több fékfunkció alapját képezi, amelyet a hagyományos rendszerekkel nem lehet megvalósítani. Ilyen a vontató és vontatmány összehangolását, kompatibilitását megvalósító vonópontri erőszabályozás vagy az ESP-funkció. Az ABS-funkció nem újdonság, egyike a legfontosabb elektronikus fékfunkcióknak. Az elektronika beavatkozása nélkül a vezetőnek nincs lehetősége a kialakult helyzet befolyásolására, amíg az ABS-rendszer ugyanolyan feltételek mellett stabil járműmozgást eredményez.

TERVEZÉS ÉS MEGBÍZHATÓSÁG

A koncepció fázisban végrehajtott megbízhatósági vizsgálat alapvetően befolyásolja a megfelelő rendszerarchitektúra kiválasztását figyelembe véve a különböző forrásból érkező követelményeket, legyen az törvényi, ill. jogsabályi, vevői vagy a cég által meghatározott, ún. belső előírás. A rendszertervezés mindig a követelmények meghatározásával kezdődik, majd a specifikáció folyamán ezek lefordításra kerülnek a rendszer paramétereinek szempontjából. Minden potenciális és ismert hibamód, azok okai és következményei azonosíthatóak a hibamód- és hatáselemzés (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) módszerének alkalmazásakor.

KVALITATÍV MEGBÍZHATÓSÁGI ELEMZÉSI MEGKÖZELÍTÉS

Az eljárás előzetes gondolkodás által megelőző módon biztosítja a lehetséges gyenge pontok megtalálását, azok jelentőségének felmérését, kiértékelését és megfelelő időben megfelelő intézkedések bevezetését, azok elkerülését, illetve felismerését segítő céllal. A gyenge pontok szisztematikus elemzése és a kiváltó okok megszüntetése a kockázat minimalizálásához vezet, amely által csökken a hiba által okozott költség, valamint megnő a megbízhatóság. A módszer sajátossága, hogy mindig csak egy pillanatnyi hibát elemez, nem hibakombinációkat, amelyek kezelése a kvantitatív megközelítésű hibafa elemzéssel lehetséges.

Az elemzés, mintegy mellékhatásaként, segíti a rendszert, a folyamatokat leírni és általa jobban megérteni, miközben egy dokumentumot eredményez mindarról, amivel foglalkoztunk, arról, ahogy a rendszer vagy folyamat működik (tudásbázis felépítése).

A FUNKCIÓ- ÉS RENDSZERSTRUKTÚRA FELÉPÍTÉSE

Ahhoz, hogy az adott architektúra elemzése szisztematikus és strukturált legyen, szükséges mind a funkciók, mind a rendszert felépítő alrendszerek és komponensek megfelelő felbontása, amely támogatja a rendszer teljes körű vizsgálatát, anélkül hogy bármelyik alkotóelem kimaradna. Egy úgynevezett mátrix FMEA felépítésének előnye, túl azon, hogy a rendszert mint faszervezetet mutatja be, hogy lehetséges a funkció- és a rendszerstruktúra párhuzamos kibontása, amely magában a mátrixban kapcsolódik utána össze.

SPARC félpótkocsi rendszer	Jogi	Vevői	Belső
	Elvárások		
ABS státuszinformáció	X		
RSP státuszinformáció	X		
Sárga figyelmeztető jel	X		
Piros figyelmeztető jel	X		
Kitámasztó láb vezérlése		X	
Karosszéria magasságának állandó szinten tartása		X	
Manuális kezelhetőség megőrzése		X	
Kompresszorvezérlés			X

2. táblázat: rendszerszintű funkciófelosztás (részlet)

A legfelső szinten (2. táblázat) csak a rendszerrel szemben támasztott törvényi, vevői, belső követelmények rendszerezése szerepel, amelyek a későbbiekben kapcsolódnak az alrendszerekhez. Komponensek nem szerepelnek a rendszerszintű funkcióösszeköttetésekben.

A mátrix rendszerének felépítése a következő három kérdésen alapul:

- Mi az elemzendő rendszer vagy termék?
- Milyen előírásoknak, szabványoknak, vevői elvárásoknak kell a rendszernek megfelelnie (funkciók és/vagy követelmények)
- Melyek a rendszert vagy terméket felépítő alrendszerek és ezekhez milyen funkciók rendelhetőek hozzá (közvetlenül vagy közvetetten)?

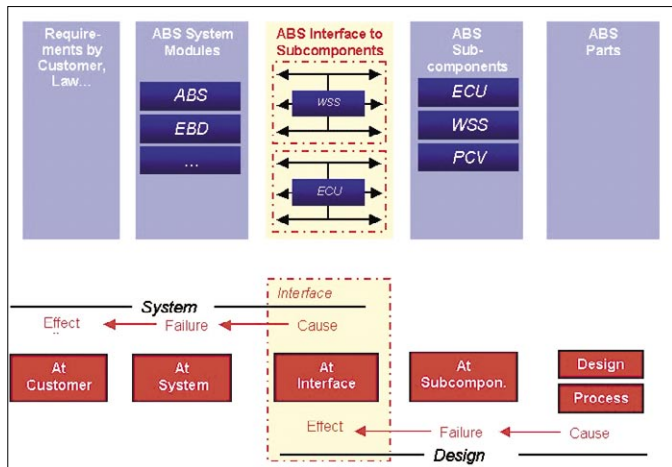
Ezt a megközelítést használva a következő képen (3. táblázat) látható egy részlet egy félpótkocsi elektronikus fékrendszerhez tartozó elsődleges követelmények és a rendszert felépítő alrendszerek kapcsolataiból, ahol X jelöli az összefüggést. A kapcsolódási pontok a funkciók esetén közvetlen, a hibák szempontjából közvetett hozzárendelést jelentenek.

Félpótkocsi	CTC ¹	AM1 ²	AM2	AM3	ASU ³	NRG ⁴	TAUX ⁵
ABS státuszinformáció	X	X	X	X			X
RSP státuszinformáció	X	X	X	X			X
Sárga figyelmeztető jel	X	X	X	X	X	X	
Piros figyelmeztető jel	X	X	X	X	X	X	
Kitámasztó láb vezérlése	X				X	X	X
Karosszéria magasságának állandó szinten tartása	X	X			X	X	
Manuális kezelhetőség megőrzése	X					X	X
Kompresszorvezérlés	X				X	X	

¹ CTC – Central Trailer Controller, ² AMx – Axle Module, ³ ASU – Air Supply Unit, ⁴ NRG – Energy Unit, ⁵ TAUX – Trailer Auxiliary Unit

3. táblázat: rendszer- és funkciómátrix (részlet)

A komponensek alkotják azt a felületet, ahol a System FMEA és a Design FMEA a képen (5. ábra) látható módon összekapcsolódnak. Ez egyben jelenti a két elemzés szétválasztását és összekapcsolását is. A hibalánc a hibaok – hiba(mód) – hibahatás sorozatát szemlélteti.



2. ábra: a System és Design FMEA kapcsolódása

Terméktervezés (Design) FMEA során a lehetséges hibákat, amelyek a rendszer egyes komponenseinél léphetnek fel, a D-FMEA segítségével lehet szemügyre venni és előrelátó módon elkerülni. A hibaokokat itt elsődlegesen a konstrukció okozhatja, de a gyártás milyenségétől is függhetnek azok.

Ilyen módon tehát lehetséges a különböző FMEA-k párhuzamos lefutása a fejlesztési folyamat bizonyos fázisában, amely a koncepció FMEA (a komponensek rendszerre gyakorolt hatásának vizsgálata) kivitelezését teszi lehetővé.

ÖSSZEFOGLALÁS

A már említett előnyökön kívül további haszonnal számolhatunk egy ilyen elemzés elvégzésekor, beleértve egy szisztematikus megközelítést a hardverhibák csoportosítására, a fejlesztési idő, költség és tervváltozatok csökkenését, könnyen érthetőségét, hatékonyabb teszttervezést, a biztonságra való nagyfokú odafigyelést, illetve a növelt vevői elégedettséget. Hatékony eszköz kis, nagy és komplex rendszerek elemzésére is, hasznos módszer költséghatékony megelőző karbantartó rendszerek fejlesztésekor, biztosíték a jövőben újra felbukkanó hibák ellen, összehasonlíthatóak általa elemzett rendszerek, megjelenítése segítség a vezetőnek, továbbá a részletezett szinttől felfelé halad és fejleszti a kommunikációt a designelemzés területével. [3]

Irodalom

- [1] Fülep T., Palkovics L.: Reliability analysis of redundant electronic brake system for heavy goods vehicle, VSDIA 2004 Mini Conference, Budapest, Hungary
- [2] Palkovics L.: Intelligens járműrendszerek, Mindentudás Egyeteme előadás, 2005.
- [3] Fülep T., Óberling J., Palkovics L.: Design of redundant brake-by-wire architecture for commercial vehicles based on qualitative reliability approach, BRAKING 2006 Conference, York, United Kingdom.

Kockázati alapú fejlesztési kritériumok a járművek biztonsági rendszereiről

Szabó Géza

egyetemi adjunktus

BME

Közlekedésautomatikai Tanszék

A cikk bemutatja a járműtervezésben, ezen belül a közúti járművek tervezésében is egyre fontosabb szerepet kapó kockázati alapú követelmények specifikálásának folyamatát és problémáit. Foglalkozik a kockázati paraméterek fejlesztésre, illetve tágabb értelemben a járművek teljes életciklusára gyakorolt hatásával, és hangsúlyozza a teljes életciklusban részt vevők kockázati alapú gondolkodásának szükségességét. A kérdés azért is nagyon fontos, mert pont a közúti járműveknél a járművek életciklusában sok nem szakember vesz részt. Ezen résztvevőknek is érteniük kell azonban azt, milyen alapokon, milyen feltételekkel kerültek meghatározásra a biztonsági paraméterek, miért ilyen módon és milyen következményekkel járnak ezek az üzemeltetésre.

Mivel a kockázati alapú követelmények bevezetését a teljes életciklusban elkövethető emberi okú hibák elleni védekezés motiválta, a kritériumok bevezetésének nagy hatása van az életciklusra, elsősorban a termékek fejlesztésére. A kritériumoknak való megfelelés könnyebbé tétele, és ezen keresztül az erre fordítandó humán és anyagi erőforrások csökkentése érdekében fejlesztéstámogató informatikai rendszert célszerű alkalmazni – cikkünk felvázolja egy ilyen rendszer fő funkcióit.

The paper introduces the process of the risk estimation based safety requirements specification applied in the vehicle industry and its problems. This type of requirements has an increasingly important role. The paper deals with the effects of the specified safety requirements to the development and the activities in the whole life-cycle and emphasizes the importance of the risk based mind of the participants in the life-cycle both professionals and inexperienced like costumers of cars. These people also must know on which base, with which conditions the safety parameters are determined and what the consequences of these parameters are to the operation and maintenance.

As the introduction of the risk based criterion was initiated by the prevention of the human errors caused during the activities in different life-cycle phases, the criterion has a great influence to the whole life-cycle, mainly to the development. To make the fulfillment of the criterion more easy, and through this to decrease the human and economic resources needed, an information system supporting risk based development shall be applied - our paper summarizes the main functions of this information system.

BEVEZETÉS

A nagy biztonságú rendszerek fejlesztői, ellenőrei, jóváhagyói és üzemeltetői kénytelenek voltak szembenézni az elektronikus, programozható elektronikus rendszerek terjedésével előtérbe kerülő problémával, a rendszer működésében keletkező, nem a hardver meghibásodásából, hanem hibás emberi tevékenységekből (téves specifikálás, hibás tervezés, elégtelen ellenőrzés és tesztelés vagy üzemeltetés stb.) származó funkcióvesztéssel. Ez a probléma azért is jelentős, mert a rendszerek bonyolódásával azok működési állapottere is robbanásszerűen nő, és ez az ellenőrzéshez szükséges, reprodukálható, objektív tesztelési esetek számának az elfogadhatón túli növekedését jelenti. Tehát szembe kellett nézni azzal a ténnyel, hogy a korszerű, nagy bonyolultságú rendszerek nem tesztelhetők teljes körűen. Fel kellett ismerni azt a tényt, hogy a biztonságot fokozó rendszerek sem lehetnek tökéletesek, „abszolút biztonság nem létezik”. Természetesen lehet a biztonságot minden határon túl növelni, de valamekkora működési kockázat, biztonságihiányos állapot lehetősége mindig fenn fog állni. Ráadásul a biztonság növelése egyre nagyobb és nagyobb ráfordításokat igényel, így gondolni kell a megfizethető biztonságra is. (Példák erre a személygépkocsik biztonsági felszerelése: egy adott vásárló az ár, illetve saját kockázattűrő képességének ismeretében dönt a személygépkocsi megvásárlásakor a megrendelendő biztonságot fokozó berendezésekről is. Számtalan példát látunk arra, hogy

valaki légszákók nélkül vásárol autót, noha azok kedvező hatása mindenki számára ismert.)

A fentiek ismerete, illetve figyelembevétele a közlekedésben is nagyon fontos. A vasúti és légi közlekedés a kockázati alapú megközelítéseket már régóta alkalmazza, és napjainkban már a közúti közlekedésben részt vevő járművek gyártói is ilyen elvek mentén határozzák meg az alrendszerek biztonsági követelményeit. Az elektronikus fékekre vagy kormányrendszerekre vonatkozó fejlesztések tervezésénél, kivitelezésénél a kockázati alapú megközelítés nemcsak fontos, de hasznos is. Ugyanakkor ki kell jelentenünk azt is, hogy a kockázati alapú gondolkodás, illetve a fejlesztés ilyen ismérvei nem csak a gyártók számára (meg)ismerendő területek. Ismernie kellene ezt minden, a járművek életciklusában részt vevő szereplőnek, így az engedélyezési eljárások résztvevőinek és az üzemeltetőknek (személygépkocsiknál a széles fogyasztói rétegnek) is.

A terület fontosságát mutatja, hogy napjainkra általános (pl. EN 61508 [1]) és ágazatspecifikus (pl. vasúti területen az EN 50126 [2], lásd még [3]) szabványok is részletesen foglalkoznak a kérdéssel.

Cikkünkben bemutatjuk a biztonsági követelmények kockázati alapú specifikálását, a specifikált értékek fejlesztésre, illetve a rendszer életciklusára gyakorolt hatását, majd vázoljuk egy, a kockázati alapú követelményekkel is rendelkező fejlesztést támogató információs rendszer koncepcióját.

BIZTONSÁGI KÖVETELMÉNYEK KOCKÁZATI ALAPÚ SPECIFIKÁLÁSA

A korai rendszereknél elsősorban a rendszer vagy annak komponensei hardver okú meghibásodásából származó funkcióvesztéssel számoltak. Természetes tehát, hogy ekkoriban a rendszer biztonságosságát a hardver jószágával (meghibásodási gyakoriságával vagy valószínűségével) azonosították. Egy adott rendszert tetszőleges fokú hibátűrővé lehet tenni a hardvermeghibásodások hatásai ellen: redundancia alkalmazásával elkerülhetőek a nem kívánt hatások (fault-tolerant technika), vagy hibafelismerés esetén a rendszert biztonsági állapotba lehet vezélni (fail-safe technika). Természetesen a hardver jósága továbbra is fontos paraméter, a teljes rendszer veszélyes állapotot okozó meghibásodási rátáját meg lehet feleltetni az ún. eltűrhető veszélyességi rátának (Tolerable Hazard Rate, THR).

Ahogy a bevezetőben már említettük, a hardvermeghibásodások mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a helyesen működő rendszer elemek mellett bekövetkező funkcióvesztések. Ezeket minden esetben valamilyen téves emberi cselekvésre lehet visszavezetni (pl. hibás feladat-meghatározás vagy karbantartási hiba). Ezek a téves tevékenységek ellen is védekezni kell – sajnos ahogy a hardvermeghibásodások jól számszerűsíthetőek, az itt említett hibák kvantitatív módon nehezen kezelhetőek. Éppen ezért terjedt el az ilyen hibák elleni védekezésnél az osztályba sorolás (biztonságintegritási szint – Safety Integrity Level, SIL).

Természetesen a THR- és SIL-értékeknek összhangban kell lenniük: nem érdemes olyan rendszert gyártani, amely a hardvermeghibásodások ellen nagyfokú védett, de tele van emberi hibákkal, és ezért gyakran tévesen hajt végre funkciókat, mint ahogy az sem jó megoldás, hogy egy emberi hibák ellen nagyfokú védett rendszert gyenge hardveren valósítsunk meg. Az összerendelés módja triviális: a számszerűen is meghatározott THR-érték alapján választjuk ki a THR-értéknek megfelelő SIL-szintet.

A THR-érték meghatározásánál az eltűrhető kockázatból (vagy kockázatokból) kell kiindulnunk: maga a kockázat a veszélyes állapotok gyakorisága és a veszélyes állapotokhoz tartozó lehetséges kár függvénye.

Alapszituációban a rendszer az általunk elviselhetőnél magasabb kockázatokat rejt magában, ezt kell csökkentenünk a berendezéseinkkel legalább az elviselhető szintre (és megfontolandó, hogy ne túlzottan az elviselhető szint alá, mert az ilyen megoldásnak a költségvonzatai lesznek jelentősek és nem tolerálhatóak). Ezt a kockázatsökkentést a beépített védelmi berendezéseink által kell biztosítani, és a kockázatsökkentés számszerű követelménye

meg is határozza a már korábban említett biztonságintegritási követelményt is.

Az 1. ábra egy rendszer alrendszerre (alrendszernek tekinthető például fékrendszer egy járművön; de független elektronikus és pneumatikus fékrendszerek esetén önálló alrendszer az elektronikus fék) vonatkozó követelmények megállapításának folyamatát mutatja.

Az 1. ábra szerinti eljárásban először a teljes rendszerrel (pl. egy gépjárművel) szemben támasztott kockázati kritériumokat kell meghatározni. Itt minden esetben a funkciókból kell kiindulni, illetve a funkciók nem vagy téves teljesülése esetén figyelembe veendő következményekkel kell számolni. A következmények veszteségben (emberélet, anyagi vagy természeti javak stb.) történő kifejezése és egy, a társadalom által eltűrt értékhez viszonyítása segítségével megállapítható, hogy az adott funkcióhiba milyen gyakorisággal engedhető meg. Ennek a megengedett értéknek az elnevezése az „Eltűrhető Veszélyességi Gyakoriság”, angolul Tolerable Hazard Rate, THR.

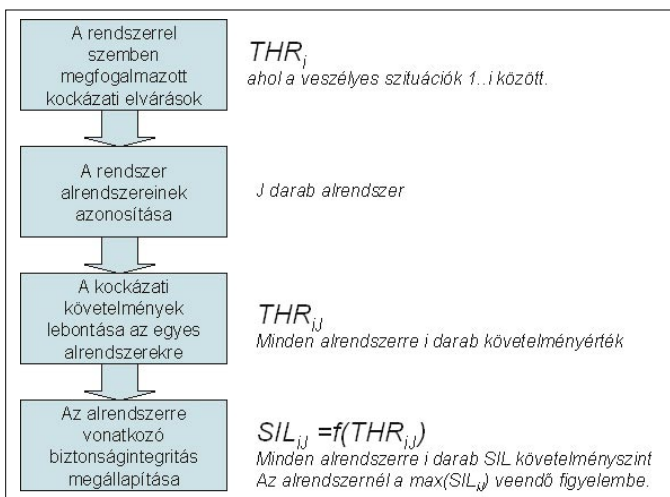
A funkciók sokfélesége miatt egy adott rendszerre többféle kockázati követelmény is támasztható, értelemszerűen mindegyikük egy-egy funkcióhíához kapcsolódik (az ábrában ezt i funkcióit feltételezve THR _{i} jelöli).

A fenti lépés legnehezebb pontját a „társadalom által eltűrt veszteség” vagy más megfogalmazásban a „társadalom által elfogadott kockázat” értékének meghatározása jelenti. Noha a szakemberek mindegyike tisztában van azzal, hogy az élet minden területe rejt magában veszélyeket (és ki ne gondolt volna abba bele – főleg egy sok közúti halálesetet produkáló nyári hétvége után –, hogy beülve az autónkba velünk is történhet baleset), mégis nagyon nehéz kijelenteni azt, hogy a rendszerbe bele van kódolva a veszteség: pl. úgy tervezzük meg járműveinket, hogy – igaz nagyon, sőt a nem szakemberek számára felfoghatatlanul ritka esetként, – de előfordulhatnak műszaki hibából adódó balesetek még a leggondosabb karbantartás mellett is.

Éppen ezért nagyon fontos a szakemberek és a döntéshozók felelőssége is a kockázati alapú gondolkodás társadalom felé történő kommunikálásában, illetve társadalmi elfogadtatásában! A feladat nem egyszerű és nem is népszerű, mert ki az, aki könnyen elfogadja, hogy az ő életére mások kritériumokat szabnak? Mindenesetre a dolog gazdasági oldala is fontos: az adott kockázati, illetve biztonsági szint elérése pénzbe kerül; egy magasabb szint elérése több pénzbe; és egyre kisebb biztonságemelés csak egyre nagyobb befektetések árán finanszírozható. Tehát a megfizethetőségi oldalt is figyelembe kell venni: amíg a személyt érintő közvetlen vagy közvetett gazdasági vonatkozásokra nem derül fény, addig másoktól mindenki a maximumot követelné meg a saját biztonsága érdekében. Példaként nézzük a személygépjárművek biztonsági elemeit: van, aki ABS és ESP nélkül nem vásárol autót, és van, aki ezek nélkül is használja a sajátját – nyilván az anyagi teherbíró képességének és az egyéni kockázatviselő képességének függvényében dönt a vállalt kockázat mértékéről (feltételezve, hogy ez egy tudatos kockázati döntés) – itt mindenesetre a közvetlen gazdasági kapcsolat nyilvánvaló. Ugyanakkor egy atomerőmű biztonsági szintjének növelését is a teljes lakosság fizeti meg az energia árán keresztül, vagy a vasúti járművek biztonságnövelését a viteldíjon keresztül, a gazdasági kapcsolat mégis sokkal kevésbé nyilvánvaló.

Az eljárás második lépése a funkcionálisan független alrendszerek feltárása. Az alrendszerek kapcsolata lehet soros: ekkor bármelyikük funkcióvesztése a teljes rendszer funkcióvesztését okozhatja; és lehet párhuzamos: ekkor az összes alrendszer egyidejű funkcióvesztése szükséges a rendszerszintű funkcióvesztéshez; valamint lehet ezek tetszőleges kombinációja. Fontos megjegyezni, hogy egy adott rendszer funkciói szempontjából az alrendszerek más-ként és másként viselkedhetnek, adott esetben egyes alrendszerek egyes rendszerfunkciók szempontjából nem is relevánsak.

Ezen a szinten kezelhetjük a kockázatsökkentési igényeket is: ez esetben két párhuzamos alrendszerről beszélünk, az egyik a



1. ábra: a biztonsági követelmények meghatározásának folyamata

korábbi, túl nagy kockázatú rendszer maga, míg a másik a kockázatot tovább csökkentő, ún. védelmi rendszer.

Adott esetben a rendszer alatt teljes közlekedési rendszert is érthetünk, míg más esetekben a járműszint a megfelelő kiindulási alap.

A harmadik lépésben a korábban feltárt alrendszerek közötti kapcsolatnak megfelelően a követelmények alrendszerekre lebontása történik meg. A lebontásnál figyelembe lehet venni, hogy már létező alrendszerek adott kockázati (funkcióvesztési) rátával rendelkeznek. Teljesen eredeti fejlesztésnél viszont szabad a fejlesztő keze a követelmények allokálásánál – ilyenkor azt kell figyelembe venni, hogy a különböző technológiákon alapuló, különböző bonyolultságú alrendszerekkel milyen biztonságot lehet reálisan elérni, és a magasabb kockázati követelményt az egyszerűbb, biztonságosabb alrendszerre kell kiosztani. Fontos megjegyezni, hogy párhuzamos alrendszerek esetén a rendszerrel szemben támasztott követelményeknél enyhébbek az egyes alrendszerekre lebontott követelmények, míg soros alrendszerek esetén szigorúbbak.

Az eredmény az alrendszerek egyes funkcióira vonatkozó megengedett funkcióvesztési ráta vagy valószínűség. Ezt az eredményt már a hardverrel szemben támasztott megbízhatósági követelményként kezelhetjük: mivel az alrendszer tervezése, gyártása, üzemeltetése (általánosságban: életciklusa) során elkövetett emberi hibából származó funkcióvesztés számszerűsítése nem megoldott, így azok ellen a biztonságintegritási szinten keresztül szokás védekezni, és csak a hardvermeghibásodásból származó funkcióvesztéseket számszerűsítjük.

A negyedik lépés a biztonságintegritási követelmények meghatározása az alrendszerek szintjén. Erre az előző fejezetben említett okok, az emberi vagy más néven közös okú hiba (azért nevezik így, mert azonos körülmények között minden azonos berendezésnél jelentkeznek) hatásainak megfelelően alacsony szintre csökkentése, illetve a csökkentés támogatása.

A biztonságintegritás tehát szinteket takar, különböző szintű védetség igényt a fenti hibákkal szemben. Ezért értéke (általánosságban 1–4 között, SIL4 a legmagasabb igényű) szorosan összefügg a THR-szinttel, abból származtatható (példaként az EN50126 kapcsolódó, EN50129 szabványában definiált összefüggést mutatjuk be az 1. táblázatban).

THR értéke (egy órára vonatkoztatva)	SIL
$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$	1

1. táblázat: THR és SIL összerendelés

(Megjegyzés az 1. táblázathoz: a 10^{-9} értéknél szigorúbb követelménnyel rendelkező alrendszert vagy több egyedi alrendszerként, vagy járulékos kockázatcsökkentésekkel SIL4-es rendszerként kell megvalósítani.)

Ahogy egy alrendszernek több THR-értéke lehet a különböző funkcióvesztésekre, úgy azokból több SIL-szint is származhat az alrendszerre. Ezek közül mindig a legkritikusabbat kell figyelembe venni.

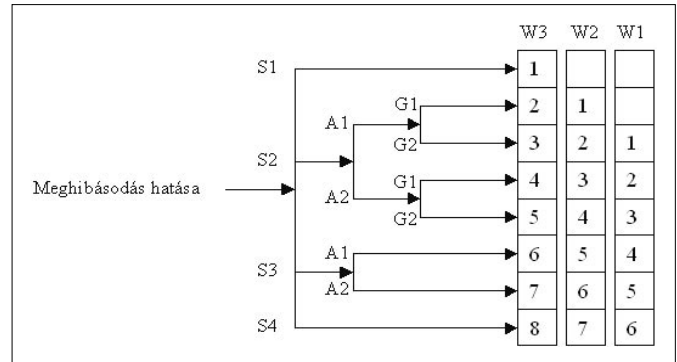
A folyamat végeredménye az alrendszerekre vonatkozó THR- és SIL-követelmény.

ALTERNATÍV MÓDSZEREK

Az előző fejezetben bemutatott módszer nagy hátránya, hogy ki kell mondani, a fejlesztésnél adott veszteségeket (emberélet, anyagi javak) figyelembe vettek. Egy adott szintű veszteség mértékének, de már önmagában a ténynek is az elfogadtatása nagy nehézségekbe ütközik.

Éppen ezért alkalmazzák az olyan alternatív módszereket, amelyek csak egy adott alrendszer szintjén, az alrendszer néhány paramétere alapján sorolják be az alkalmazást valamely biztonságintegritási vagy ahhoz hasonló kategóriába (ezekben az esetekben tehát THR-számítás és allokáció nem történik).

A 2. ábrán az előzőkre példaként a DIN 19250 német szabványból származó, de módosításokkal sok egyéb előírás által javasolt és



2. ábra: biztonsági szint megállapítása DIN19250 alapon

sok felhasználási helyen alkalmazott kockázatértékelési gráfot mutatjuk be.

A gráf négy (elégé szubjektív) paramétert használ:

1. a meghibásodás által okozható kár mértéke (4 fokozat, S1–S4),
2. a veszély által érintett zónában való tartózkodás (2 fokozat, A1–A2),
3. a veszély elhárításának lehetősége (2 fokozat, G1–G2), valamint
4. a meghibásodás bekövetkezésének valószínűsége (3 fokozat, W1–W3).

Adott alkalmazáshoz a négy paraméter kategóriáinak a megfelelő megválasztásával az alrendszereket biztonsági osztályokba lehet sorolni (a 2. ábra nem SIL szerinti négy, hanem a DIN-szabvány szerinti 8 kockázati osztályt alkalmaz, itt is a növekvő érték növekvő biztonsági igényeket jelent).

A SPECIFIKÁLT ÉRTÉKEK KÖVETKEZMÉNYEI

A biztonsági követelmények – a biztonsági funkciók előírásán túl – az előző fejezetben bemutatottaknak megfelelően – két kategóriába sorolhatók:

- az alrendszerek hardver okú hibáinak korlátait specifikáló THR-értékek,
- az alrendszer közös okú hibavédetségét előíró SIL-szint.

A THR-értékeket többek között a hardverarchitektúra, az elemek kiválasztása és meghibásodási módjaik detektálásának megtervezése, valamint a szükséges karbantartási ciklusidők és az üzemeltetési körülmények specifikálása során kell figyelembe venni. (Fontos, hogy az alrendszer hosszú távú biztonságát is a fejlesztés során kell megalapozni, pl. megfelelő üzemeltetési előírásokkal.)

A SIL-szint az alrendszer teljes életciklusát meghatározza. Speciális minőségbiztosítási rendszerrel szemben támasztott igényként fogható fel az alábbi fő pontokkal:

- az életciklusfázisok pontos tervezése (fázisok bemeneti információi; tevékenységek az adott fázisban; az előállítandó kimeneti információk; a fázis eredményeinek verifikálása);
- az egyes tevékenységek és eredmények (az információáramlás) szigorú rögzítése (dokumentálása);

- a folyamatokban részt vevők szakképzettségének, tapasztalatának és egymástól való függetlenségük előírása;
- az egyes életciklusfázisokban alkalmazandó módszerek és eljárások előírása.

Értelemszerűen a különböző biztonsági szintekhez a fenti vonatkozású követelmények is differenciáltak: a különböző SIL-szintek különböző mélységű követelményeket támasztanak az előbb bemutatott négy fő pont szerint.

A FEJLESZTÉST TÁMOGATÓ INFORMATIKAI RENDSZEREK

A kockázati kritériumokon alapuló fejlesztések egyik kulcspontja a SIL-követelmények megfelelő értelmezése, az alternatív módszerkombinációk közül a fejlesztésnek, a résztvevők tudásának, valamint a cég igényeinek legjobban megfelelő módszerkombináció megválasztása, illetve a fejlesztési folyamat megfelelőségének nyomon követése [4].

Ez a nyomon követés „manuális” módon is megvalósítható: egy erre a célra kijelölt személy (biztonsági vezető, assessor stb.) ellenőrzi a vonatkozó követelményeket, az aktuális állapotot és az előrehaladásokat. Ugyanakkor az ellenőrzéshez szükséges funkciók jól tárolhatóak informatikai rendszerekben, amelyek egyes kiértékeléseket is meg tudnak valósítani, és jelentéseket is automatikusan tudnak generálni. Ráadásul az így tárolt és feldolgozott információ a folyamatokban részt vevők számára is könnyen hozzáférhető, ezért jelentős munkaidő- és ezen keresztül gazdasági megtakarítás érhető el alkalmazásukkal.

A fejlesztést biztonságintegritási szempontból támogató informatikai rendszerektől az alábbi funkciók várhatók el:

- Statikus funkciók (az életciklus egy adott pontján elvégzendő feladatok támogatása vagy statikus információszolgáltatás):
- 1. Tegyük lehetővé az életciklusfázisok tervezését, és a fázisokra adjanak javaslatot;
- 2. Tegyük lehetővé a kockázat és a biztonságintegritás meghatározását;
- 3. Tegyük lehetővé a fázisokon belül a bemeneti információk, a tevékenységek és a kimeneti információk tervezését; ehhez adjanak javaslatot; az információkhoz rendelkezzen megjelenési formát;
- 4. Tegyük lehetővé a fázisokban alkalmazandó módszerkombinációk összeállítását; tartalmazzanak utalásokat a szabványokra az engedélyezett vagy tiltott módszerek vonatkozásában, a megkövetelt SIL-szint figyelembevételével, valamint adjanak módszertani útmutatót a módszerek alkalmazásához;
- Dinamikus funkciók (Folyamatos információgyűjtés a projektről, az adott állapotnak megfelelő jelentések létrehozása):
- 1. Tegyük lehetővé a munka előrehaladtának, valamint az elkészült információk monitorozását; tiltsák meg egy adott fázis megkezdését, ha az indulás feltételei nem adottak (pl. előző fázis még nem zárult le);
- 2. Nyújtsanak automatikus verziókövetést az egyes fázisokban létrejött információ módosulásáról;
- 3. Kezeljenek jogosultságokat a részt vevők azonosíthatósága érdekében;
- 4. Generáljanak jelentéseket a fejlesztés állásáról és egyéb követelményeknek való megfeleléséről.

Már a statikus funkciók megvalósítása jelentős segítséget nyújthat az adott alrendszer életciklusa során, de ez esetben még nem

beszélhetünk többről, mint interaktív szabvány- és módszertani adatbázisról, amely a lekérdezéseknél elsődleges szűrési feltételként a biztonságintegritási szintet használja, és csak azokat az információkat szolgáltatja, amelyek az elérendő biztonságintegritási szintnél szükségesek, valamint különböző tevékenységeket (pl. életciklus-tervezés) támogató szerkesztőrendszerrel.

Az igazán hasznos támogatórendszer a dinamikus funkciók integrálásával jön létre: ezzel egy, az életciklust mindenkor jól követő, azt dokumentáló rendszer kerül a kezünkbe, amely képes a biztonságintegritási szint elérését bizonyító összefoglalók és jelentések automatikus elkészítésére is, így a folyamatok résztvevői, illetve a felelős vezetők folyamatosan képet kapnak a fejlesztés biztonsági vonatkozású megítéléséről. Ez utóbbi funkció azért is kiemelten fontos, mert a külső szakértők és engedélyezők által elvégzendő vizsgálatok alapját képezhetik.

Természetesen az általános, széles körben alkalmazható támogató rendszer alternatíváját képezheti a speciális, adott vállalati informatikai környezetbe illeszkedő támogatórendszer, hiszen jelentős mértékű információigény a vállalati fejlesztő-irányító rendszerekből történő információátvétellel teljesíthető (pl. résztvevők személyi adatai, egyes fázisok eredményei stb.)

ÖSSZEGZÉS

Cikkünkben összefoglaltuk a biztonságintegritási kritériumokra támaszkodó fejlesztések specifikumait, a kritériumok származtatásának menetét. Kiemeltük a kockázati kritériumok fontosságának, illetve a kockázati alapú gondolkodásnak a szerepét, illetve rávilágítottunk arra a problémára, amely abból származik, hogy a széles fogyasztói közönség, amely az ilyen kritériumok alapján létrehozott rendszerek, pl. járművek vásárlója, illetve üzemeltetője lesz, tájékozatlan a kockázat fogalmát, szerepét illetően, valamint nincs tisztában a kockázatsökkentés gazdasági vonatkozásaival sem. E területen a szakemberek és a döntéshozók felelősségét hangsúlyoztuk, a döntéshozókét a kockázati alapok melletti elkötelezettség kinyilvánítása területén, a szakemberekét pedig a háttér-információk, ok-okozatok érthető és elfogadható tálalása területén.

Cikkünkben új eredményként javaslatot tettünk egy, a fejlesztést biztonságintegritási szempontból támogató információs rendszer fő funkcióira. Napjainkban a fő funkciók között kiemelt statikus funkciók megvalósítására már léteznek kulcsrakész megoldások, de a dinamikusnak minősített funkciók megvalósítása előrelépésként értékelhető.

Irodalom

- [1] MSZ-EN 61508: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
- [2] MSZ EN 50126: Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemkészség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása.
- [3] Szabó G. – Tarnai G.: A vasúti biztonság bizonyítására vonatkozó új európai szabványok alkalmazási kérdései. Vezetékek Világa, Magyar Vasúttechnikai Szemle, 2003/1. szám, 2–6. oldal, 2003.
- [4] Szabó G. – Szabó K. – Zerényi R.: Safety Management Systems in Transportation: Aims and Solutions. Periodica Polytechnica, Ser. Transp. Eng, 2004. Vol. 32. No. 1-2, pp. 123–134.

Komplementáris fényjelzések hatásvizsgálatának mérés technikája

Fekete Róbert Tamás

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Mechatronika, Optika és Műszertechnika
Tanszék, frt@mom.bme.hu

Dr. habil Ábrahám György

Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem
Mechatronika, Optika és Műszertechnika
Tanszék, abra@mom.bme.hu

A cikk első felében emlékeztetőül ismertetünk egy, már ebben a lapban bemutatásra került kiegészítő féklámpatípust, majd részletezzük a fékezés intenzitását is kijelző fénysor és a hagyományos féklámpák különbségeit vizsgáló mérőállomást és mérési eljárást. Rávilágítunk, hogy már a tesztelés kezdeti szakaszában is felfedezhetők szignifikáns különbségek a két kijelzési mód között.

The first part of this article describes a novel proportional stop lamp under development at our department. The stop lamp is capable of signalling braking intensity. The second half of the article details a measurement process and an instrument measuring the difference in the effects of standard stop lamps and the proportional stop lamp on the driver.

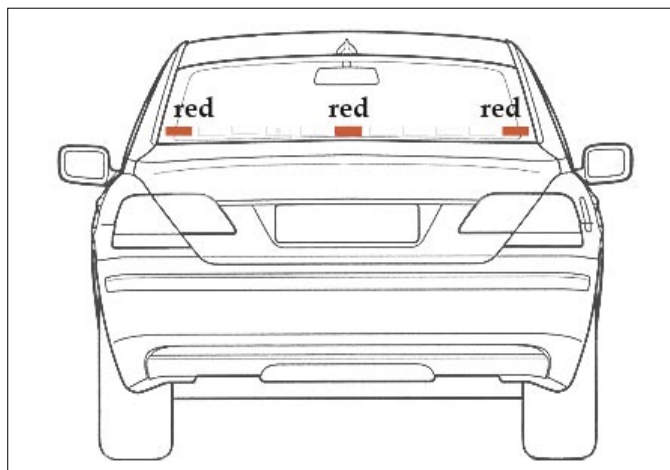
BEVEZETÉS

Világszerte széles körű kutatások folynak az intelligens jármű-irányítási rendszerek fejlesztésével. A gépjárművezetőt segítő fényjelek nagymértékben hozzájárulnak a közlekedési balesetek számának csökkentéséhez. Felmerült tehát az igény, hogy az eddigi kutatások, fejlesztések eredményein túl szélesítsük a fényjelek használatát. Ezen felismerés nagymértékben járult hozzá egy olyan többletinformációt szolgáltató, vizuális elven működő rendszer kidolgozásához, amelynél a tiszta felelősségű helyzet a konstrukcióból adódik, és ahol az emberi szem jelenti a legfontosabb szenzort. Az alábbiakban bemutatott fékezési intenzitást kijelző kiegészítő féklámpa a vezető támogató rendszerek egy új fajtáját igyekszik megvalósítani, a jövőben értékes, eddig ki nem nyert információhoz juttatva a járművezetőket, ezzel jelentősen csökkentve többek között a rosszul értékelt forgalmi helyzetek számát és növelve a közlekedés biztonságát. 2006 végén hosszas kutatás és humán tesztelés után létrehoztunk egy működő, és megbízható adatokat szolgáltató mérési eljárást a hozzá tartozó mobil mérőállomással, amely a fékezési intenzitását is kijelző proporcionális féklámpák létjogosultságát vizsgálja, és amely az alábbiakban szintén bemutatásra kerül.

JÁRMŰVEK MOZGÁSÁLLAPOTÁNAK FÉNYJELEK ÚTJÁN TÖRTÉNŐ KÜLSŐ KIJELZÉSE

Az említett kiegészítő féklámpa olyan fényemittáló diódákból kialakított eszköz, amely a járművek mozgásállapotáról a közlekedő társak számára pillanatszerű rátekintéssel becslésre alkalmas vizuális információt szolgáltató.

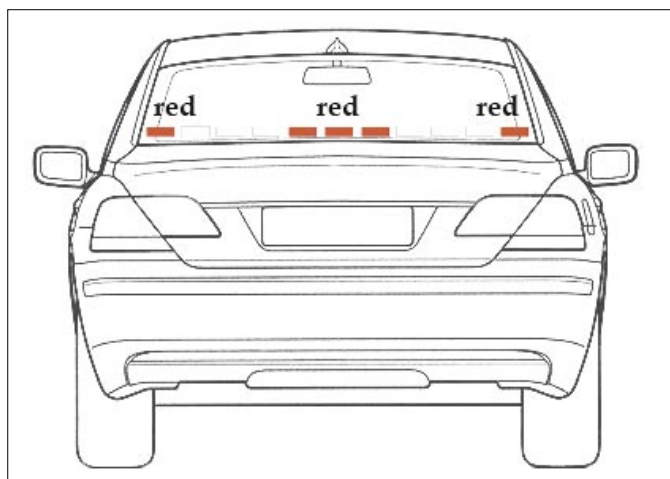
A járművek fékezési intenzitását kijelző proporcionális féklámpa vonalszerűen kerül kialakításra a járművek hátsó szélvédőjének alsó vagy felső részén, a járművek hosszanti tengelyére merőlegesen úgy, hogy azok fénye csak kívülről látható. Az egy időben világító elemek száma, avagy a világító fénycsík hossza jelenti a fékezés mértékét. A rövid vonal a gyenge fékezést, a hosszú vonal az erős fékezést. A két végpont között természetesen több fokozat kijelzése lehetséges. A kibocsátott fény színe praktikusán vörös. A fékerő növekedésével szimmetrikusan nő a világító vonal hossza a szélvédő közepétől jobbra és balra. Annak érdekében, hogy a fékerőt a távolságtól függetlenül meg lehessen becsülni, a vonalszerűen kialakított proporcionális féklámpa a jármű hátsó szélvédőjének teljes szélességét igénybe veszi, és két szélső szegmense állandóan világít. Így a fénysor teljes szélességéhez lehet viszonyítani az aktuálisan világító elemek által alkotott világító vonal hosszát, ezáltal a fékezési intenzitás távolság-függetlenül megbecsülhetővé válik.



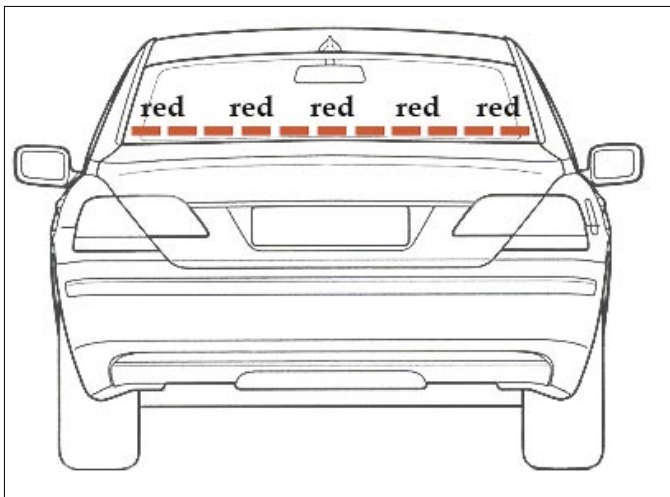
1. ábra: a proporcionális féklámpa enyhe fékezés közben

A JÁRMŰVEK FÉKEZÉSI INTENZITÁSÁNAK MÉRÉSÉRE

A járművek fékezési intenzitását mérésére több eljárás ismert. Az egyik ilyen a fékpedál állásának mérése, ahol a fékpedál állása arányos kapcsolatban van a fékerő nagyságával, azonban a különböző útviszonyok mellett a fékerő más-más hatással van a tényleges gyorsulásállapotra, továbbá az álló helyzetben, illetve blokkoló kerekeknél mért és kijelzett fékerő nem jellemzi a valós



2. ábra: a proporcionális féklámpa közepes fékezés közben



3. ábra: a proporcionális féklámpa blokkoló fékezéskor

gyorsulást. Egy másik elv a gyorsulás közvetlen mérése, amelyvel megismerhető a jármű mindenkoris valós gyorsulásállapota, mind fékezés, mind gyorsítás közben, azonban síktól eltérő úton haladva a gyorsulásmérőre ható nehézségi erő hatása a legtöbb gyorsulásmérőnél hibajelként jelentkezhet. Továbbá lehetséges a sebesség adott idő alatt bekövetkező megváltozásának mérése is, amely megoldás előnye, hogy a legtöbb gépjárműben rendelkezésre áll egy sebességgel arányos jel. Azonban hátrányt jelent, hogy blokkoló kerekekkel történő vészfékezés esetén a sebességgel megváltozása a kezdeti igen nagy negatív értéket követően zérus, illetve a blokkolás hirtelen megszűnése esetén a kerekek felpörögéséből adódó kezdeti igen nagy pozitív értéket követően ismét a vészfékezést jellemző nagy negatív érték.

FÉKLÁMPÁK VEZETŐRE GYAKOROLT HATÁSAINAK KÜLÖNBBSÉGÉT VIZSGÁLÓ MÉRŐÁLLOMÁS ÉS MÉRÉSI ELJÁRÁS ISMERTETÉSE

A mérés célja, hogy a tesztalanyoktól reprezentatív humán reakciógörbéket nyerjünk. A reakciógörbék az alanyok reakciójának az idő függvényében vett intenzitását ábrázolják. A különböző vetített közlekedési helyzetekben mérjük, hogy az alanyok a fékpedált milyen mértékben nyomják le, mely adatsorból a reakciógörbe meghatározhatóvá válik. Cél továbbá, hogy kimutassuk a vezetői reakciók közötti különbséget a hagyományos és a proporcionális féklámpával felszerelt járművek mögött haladó járművezetők esetében, különböző fékezési helyzetek vizsgálatán keresztül. A mérési eljárás kialakítása során elsődleges a valós körülmények minél élethűbb átültetése a szimulációs környezetbe. A mérés során szimulációs videókat vetítünk az alanyoknak, akik az ábrázolt közlekedési helyzetekre egy kormány-pedal szimulátor segítségével reagálnak. Az alanyokat a vetítőtábla előtt olyan távolságban kell elhelyezni, hogy az ábrázolt járművek szimulációsán megvalósított távolságából számolható elméleti látószög és a megvalósított látószög minél jobban megközelítse egymást.

ESZKÖZÖK

A mérés fontos eszköze egy adatgyűjtő szoftverben készített mérőprogram, továbbá az adatfeldolgozást és kiértékelést elősegítő táblázatkezelő rendszer. A videoanyagok elkészítésére háromdimenziós, animációs szoftvert használtunk. A mérés tárgyi eszközeihez tartozik egy erőviszacsatolt szimulációs kormány a hozzá tartozó pedálokkal. A reakciógörbe felvételekor elsősorban a fékpedál jeleit figyeltük, azonban a többi beavatkozó szerv, a kormány és a gázpedál állása is rögzítésre került. A fékpedál mérési tartománya 38 mm. E tartomány 32 767

szakasza van felosztva, ami igen nagy felbontóképességet eredményez. Egy osztásváltozást 0,001196 mm elmozdulás vált ki. A kormány és a pedálok jelei USB-kábelon keresztül jutnak el a regisztráló számítógéphez. A szimulációs videók vetítése sötétíthető teremben történt, SVGA 800 x 600-as projektorral, 1955 mm-es vetítőtáblára.

MÉRÉSI FELADAT

A feladat a vetített közlekedési helyzetekre való életszerű, arányos reagálás. A szituációk során a megfigyelő járműve előtt egyenletes sebességgel haladó személygépkocsi valamely előre nem ismert hosszúságú idő eltelte után ismeretlen mértékű fékezést hajt végre. A tesztalany feladata, hogy az általa érzékelt fékezési intenzitást, közelséget és veszélyérzetet mérlegelve, a szituációra az általa megítélt szükséges fékezési intenzitásnak megfelelően, a fékpedál különböző erejű lenyomásával reagáljon. A fékpedál lenyomásának ideje, és a lenyomás mindenkoris intenzitása regisztrálásra kerül.

A MÉRÉS MENETE

A mérés során sor kerül a mérési alany betanítására és a 24 szimulációs videó levetítésére. A mérés menete a következő:

Tesztalany elhelyezése a vetítőtábla előtt: az elméletihez minél közelebbi látószög elérése érdekében a tesztalany a vetítőtábla előtt 3 méterrel foglal helyet. A magassági viszonyok helyes beállítása érdekében a fejmagasságot a szimulációs videók horizontvonalával egy szintbe kell hozni. A kormány és a pedál beállítása, személyre igazítása.

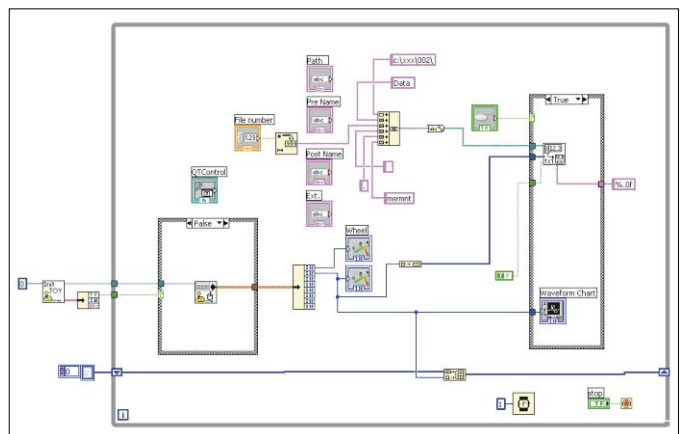
A mérési feladat elmagyarázása a mérési alanyok: a feladat tiszta megértése érdekében a mérőprogram, és a levetítendő szimulációs videókhoz hasonló néhány minta videó bemutatásra kerül.

A 24 darab szimulációs videó folyamatos lejátszása a tesztalanyok: a videók lejátszása közben az adatgyűjtés folyamatos. Az egyes közlekedési helyzetekre adott válaszok a videók pontos ismeretében később kiválogathatók a teljes adathalmazból.

MÉRŐPROGRAM

A mérőállomáson alkalmazott mérőprogramot egy adatgyűjtő szoftverben készítettük el. A program kezelőfelületén egy adatfájlmezőt, egy fék- ill. gázpedál állását jelző mezőt és egy, az azokat mutató grafikont helyeztünk el. A program a mérés elkezdése után egy előre meghatározott fájlban tárolja el a pedálok állását az idő függvényében. A pedál mindenkoris értéke az USB joystick portján keresztül kerül leolvasásra.

Az alábbi képeken a program blockdiagramja és kezelőfelülete látható.



4. ábra: block-diagram



5. ábra: kezelőfelület

SZIMULÁCIÓS VIDEÓK

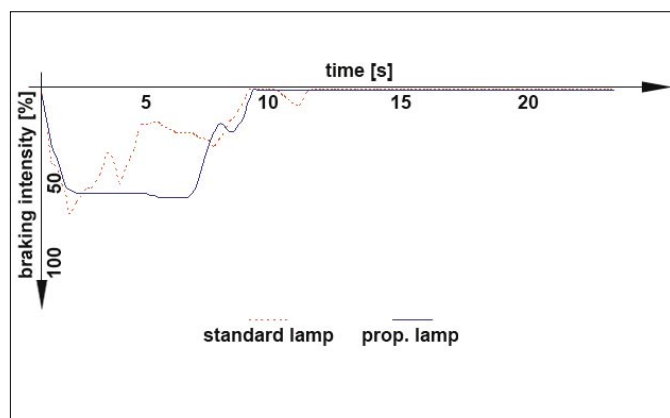
A videók összeállításakor elsődleges szempont volt, hogy azok valós közlekedési helyzeteket szimuláljanak, és ezekben a helyzetekben lehetővé tegyék a hagyományos és proporcionális féklámpák összehasonlítását. A videókat emiatt úgy készítettük el, hogy az alanyok minden közlekedési szituációban kétszer vesznek részt, egyszer hagyományos féklámpával felszerelt, egyszer pedig proporcionális féklámpával is felszerelt járművek mögött autózva. A számos szimulált helyzetet ismeretlen, véletlenszerű sorrendben kell levetíteni a megfigyelőknek.

Az egyszerű közlekedési szituációk forgatókönyve arra az alapesetre épül, amikor egy egyenes úton haladó autót bizonyos távolságban követünk. Az egyes forgatókönyvek három dologban különböznek. Eltér a járművek kezdeti távolsága, a fékezés intenzitása, és emellett egyes videókon proporcionális, más videókon hagyományos féklámpát láthatunk. Ezen hétköznapi helyzetek vizsgálatára huszonegy különböző szimulációs videó készült. A vizsgált egyszerű szituációk kiválóan alkalmasak annak bemutatására, hogy az eltérő féklámpák más reakciókat váltanak ki a követő autósban, azonban semmiképpen sem fedik le a közlekedési helyzetek túlnyomó hányadát. Ezen okból kifolyólag sok más helyzet vizsgálata is elengedhetetlen volna, hogy ezekben is bebizonyosodjon a proporcionális lámpák előnye. A videók megalkotásakor kidolgozott koncepció arra a feltételezésre épül, hogy a követő jármű vezetője az elől haladó mozgását másolja le, valamekkora időkéssleltetéssel. A mozgás lemásolásakor az elől haladó megelőző gyorsulás



6. ábra: egy pillanatkép az animációs videoanyagból

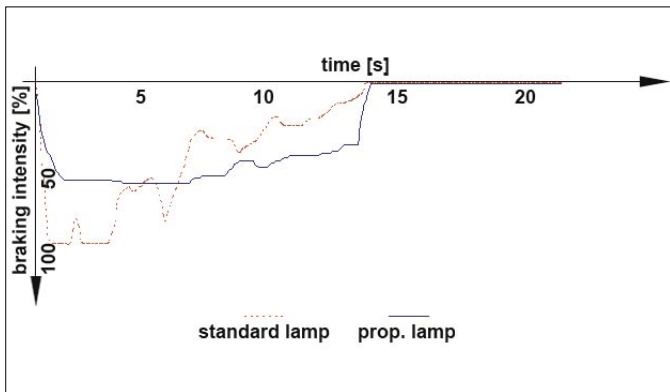
állapotát örökli, ami a sebességállapot és a relatív helyzet azonosságát is maga után vonja. Ez a koncepció számos eltérő változat közül lett kiválasztva. A többi változat azért került elvetésre, mert mindegyik valamilyen formában feltételezte a tesztalany várható reakciójának előzetes ismeretét. Ez a feltételezés a válaszadás befolyásolásának egy formája lett volna, ami a mérés hitelességét rontaná. Az alapkoncepciónak megfelelő forgatókönyvek kidolgozása egy összetett táblázat alkalmazásával egyszerűsödött le, ami a bemenő paraméterek, mint a gyorsulástartók, reakcióidő, kezdeti távolság stb. megváltoztatásának hatására a mozgástörvények ismeretében a helyzeteket azonnal újraszámolja, azokat megjeleníti, és így a forgatókönyvek életszerűségének megítélését megkönnyíti. A bemenő paraméterek a kezdeti sebességek és helyzetek, a lassítás és gyorsítás legnagyobb értékei, az állandó sebességű mozgásszakaszok időtartama, a reakcióidő és a legkisebb távolság értéke. Ezekből a program kiszámolja a lassító és gyorsító mozgásszakaszok idejét, a mindenkor sebességet, helyzetet és a járművek közötti mindenkor távolságot. A számítások alapját az képezi, hogy a gyorsító és lassító szakaszokon a gyorsulás értéke a kezdeti ugrás után konstans nagyságú, és a lassítás, majd a gyorsítás előtt is beállítható hosszúságú, állandó sebességű szakaszok következnek. Peremfeltételeket a kezdeti és a minimális távolság képeznek. Ezekből az adatokból a sebességek és a helyzetek numerikus integrálással



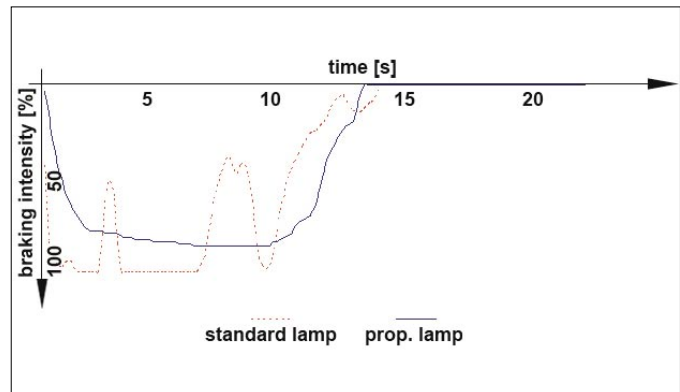
7. ábra: példák a mért görbékre: kis távolságon, közepes fékerő esetében

kaphatóak meg. A szimulációs videók egy háromdimenziós modellezőprogrammal készültek. A program lehetővé tette a modelljárművek és a megfigyelő kamera mellett számos más, látványos elem elhelyezését a videókon. Ilyen elemek a háttérben látható házak és egyéb objektumok, illetve az úton közlekedő más járművek. Ezek az objektumok a valós közlekedési helyzetekhez hasonlóan összetetté teszik a helyszínt, hogy a tesztalany figyelmét megosszák.

A helyzet- és gyorsulástartók megfelelő formázás után a táblázatkezelőből a 3d. szoftver számára átadhatóvá válnak. Ezek alapján lehet beállítani a modelljárművek mindenkor helyzetét, illetve a proporcionális és hagyományos féklámpák bekapcsolásának idejét és intenzitását. Az adatok direkt átadásának köszönhetően a mozgások teljes fizikai hűséggel rendelkeznek. A modellek, a mozgások és a helyszín beállítása után az animációkat élethűséget növelő effektusokkal, árnyékokkal, fényekkel láttuk el, melyek a helyzetnek és a kívánságoknak megfelelően ki- és bekapcsolhatóak, változtathatóak. A videók igen jó minőségben, számos órán át több számítógépen készültek, hogy minőségük a kivetítő nagy mérete ellenére is jól használható maradjon.



8. ábra: példák a mért görbékre: közepes távolságon, kis fékerő esetében



9. ábra: példák a mért görbékre: kis távolságon, közepes fékerő esetében

AZ EREDMÉNYEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK METODIKÁJA

A rendelkezésre álló adatfájlokból táblázatkezelőbe importáljuk az adatokat, melyeket feldolgozunk és grafikonokat készítünk belőlük, ebből szemléletesebben láthatóak a különbségek. A mérési próbák alatt arra összpontosítottunk, hogy magát a mérési eljárást kifejlesszük, kipróbáljuk és tökéletesítsük. Ehhez a munkához megfelelő számú mérést végeztünk, azonban próbaméréseken kívüli mérések hiányában reprezentatív mintáról természetesen nem beszélhetünk. Meg kell továbbá említeni, hogy a LED-soros rendszer egyik fő előnye, a nyugodtabb vezetési körülmények létrehozása már e kisszámú mintából is tökéletesen látható. Erre az alábbi ábrákból lehet következtetni. Ugyan a statisztikai mintánk nem reprezentatív, ezen eredményt nem hallgathatjuk el.

A grafikonokon látható, hogy a proporcionális féklámpás esetekben a fékezési görbe kiegyenlítettebb. Ez azt sugallja, hogy a járművezetők – tesztalanyok – a LED-es kijelzőn látták az előttük haladó jármű fékezési intenzitását, majd ennek megfelelően fékeztek a hagyományos féklámpás helyzetekkel ellentétben, ahol a vezetők csupán a fékezés tényét látták, intenzitását nem, ezért az észlelet pillanatában ráléptek a fékre, nem törődve a szükséges fékerő megválasztásával. A megfelelő fékerő megválasztása csak ezután következett. Sok esetben a vezetők az elől haladó jármű méretváltozásából következtettek a fékezési intenzitásra, majd többszöri fékerő-módosítással érték el a kívánt hatást, amit a proporcionális féklámpás esetben szinte azonnal tudtak.

ÉRTÉKELÉS

Célul tűztük ki egy mérési procedúra kidolgozását humán reakciógörbék mérésére. A mérés célja különféle forgalmi helyzetekben a járművezetők fékezési intenzitásának vizsgálata. A mérés eredményeképpen reakciógörbéket kapunk – fékezési intenzitás

az idő függvényében –. Megfelelő számú mérés után ebből következtethetünk a különböző féklámpákkal ellátott járművek esetében a standard viselkedésekre. Létrehoztunk tehát egy mérési eljárást, mérési állomást és elkészülte után le is teszteltük. Az eljárás persze sok finomítanivaló van, de tulajdonképpen ez a továbblépésünk kulcsa is egyben. Kutatásaink alatt egyre biztosabban lettünk benne, hogy a fent bemutatott fékezési intenzitást is kijelző proporcionális féklámpa hatalmas előnyt jelentene az utakon és egészen biztos, hogy pozitívan befolyásolná a közlekedés biztonságát. Mindazonáltal ahhoz, hogy bevezetésre kerülhessen először tesztelni kell, és úgy gondoljuk, hogy eddigi kutatásaink ezt a folyamatot nagy mértékben segítették elő.

TOVÁBBI CÉLOK

A továbbiakban nagy erőket fordítunk az imént bemutatott mérési eljárás tökéletesítésére. A fejlesztések során a videoanyagok élethűségének javítására, és az interakció szükségességének megállapítására törekszünk. Előzetes becslések szerint fél éven belül rendelkezésre fog állni egy véglegesen kidolgozott mérési eljárás és mérőállomás a féklámpák és kiegészítő féklámpák összehasonlító vizsgálatára. Továbbá beadásra kerül egy már kidolgozott szabadalom is, amelynek témája egy, a fent említett mozgásállapot kijelzésére alkalmas kiegészítő féklámpa.

Irodalom

- [1] Dr. Ábrahám György–Fekete Róbert: Járművek fényjelekkel történő kooperatív irányítása [EJJT] Budapest University of Technology and Economics, 2006
- [2] Dr. Ábrahám György: Járművek mozgásállapotának fényjelek útján történő külső kijelzése. Oltalmi beadvány, [1998]

Hibrid járműhajtású autó irányítási rendszerek

Könyves Vera
Juhász Árpád
Falvy Bence
 Knorr-Bremse
 Fékrendszerek Kft.
 K+F Intézet

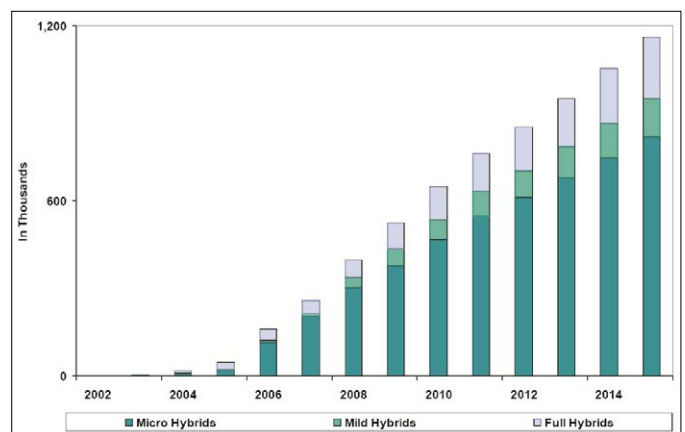
A kimerülő kőolajkészletek és a szénhidrogének elégetésével járó légszennyezés mértéke mindenképpen új technológiák kifejlesztését vagy eddigiek – mint pl. a hibrid meghajtású autó elterjesztését, népszerűsítését sürgeti. Vizsgálataink céljaként egy 2004-es Toyota Prius energiamededzsmentjének és vezérlésének visszafejtését tűztük ki, hogy a hibrid technológia által nyújtott lehetőségeket egy esetleges későbbi projekt során maximálisan kihasználhassuk. Miután a Prius THS II rendszer pár paraméterét CAN-kommunikáció útján kinyertük, a vezérlés és a hajtáslánc paramétereinek identifikálásához egy ADVISOR nevű, MATLAB/Simulink környezetben írt rendszeranalizáló szoftvert használtunk.

The facts that petroleum resources are running out and the vast majority of the air pollution is due to burning hydrocarbons are pushing us to develop new technologies in the automotive industry, besides we are making up-to-now ones – for example the hybrid cars – widely spread. We carried out the analysis of the energy management and control of a Toyota Prius (2004), in order to apply this know-how later on. Via CAN communication, parameters of the Prius THS II system were retrieved, then, the ADVISOR, a systems analysis tool written in MATLAB/Simulink environment was used for the identification of the main parameters of the control logic and the drive train.

BEVEZETÉS

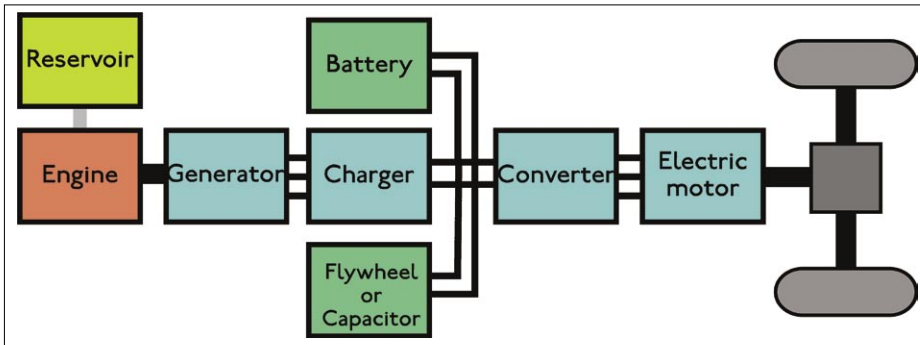
Előrejelzések szerint a Föld népessége 2050-re a jelenlegi 6,5 milliárdról 10 milliárd főre fog emelkedni, tehát az utóbbi időben kísértő kimerülő üzemanyagkészletek mellett a szénhidrogének elégetésével járó légszennyezés problémája is sürgeti újabb megoldások, technológiák kifejlesztését és elterjesztését az autóiiparban. Az elmúlt tizenöt év fejlesztései alapján a környezetbarát motorok három alapvető típusát említhetjük meg mint szóba jöhető alternatívákat. Ezek a tisztán elektromos árammal működtetett akkumulátoros autók, az üzemanyagcellás személygépkocsik és a vegyes meghajtású (hibrid) járművek. Egy tisztán elektromos autót villanymotor hajt, melynek hatásfoka jóval magasabb, mint a belső égésű motoroké, s emellett működés közben káros anyagot sem bocsát ki. Sajnálatos módon a meghajtásukhoz szükséges akkumulátorok terjedelmesek és súlyosak, valamint csak hosszú idő alatt tölthetők újra. Az is igaz, hogy míg egy belső égésű motort tartalmazó jármű egy tankolásával akár 500–700 kilométer távolságra eljuthatunk, addig egy elektromos autó kevesebb mint 200 kilométer megtételére képes, egyszeri töltéssel. Ahhoz, hogy ez utóbbi távolság növekedjen, és az elektromos gépkocsik elterjedjenek, az akkumulátorok fejlesztése szükséges. Az autóiipar érdeklődése az utóbbi időben egyre inkább a hidrogén felé is fordul, ugyanis ez az üzemanyagcellás járművek potenciális erőforrása. Talán általánosnak tekinthető az a nézet, hogy a környezetkímélő modellek előállításának „végső” állomását látják az üzemanyagcellás járművek kifejlesztésében. Az üzemanyagcellás megoldás lényege, hogy az energiaforrás – a hidrogén – az oxigénnel egyesülve elektromos áramot termel, melléktermékként pedig vízgőz keletkezik. Hidrogén szinte korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre, de emellett számos műszaki problémát kell megoldani, melyek minden új technológia bevezetése előtt fölmerülnek. Ezért kevésbé optimista szakemberek szerint még legalább 20–30 évet kell várunk az üzemanyagcellás járművekre. Végül koncentráljunk a vegyes meghajtású rendszerek közül a hibrid elektromos járművekre (HEV), melyek technológiai megoldásai kulcsfontosságúak az üzemanyagcellás járművek szempontjából is. A HEV-ek fejlesztésének és piaci bevezetésének létjogosultságát a releváns mértékű üzemanyag-megtakarítás, illetve ezzel összefüggésben

a károsanyag-kibocsátás (pl. CO₂) radikális csökkentése – mint mára megvalósított célok – igazolják. Az európai autógyártók is belátták, hogy a hibrid elektronikus technológiák bevezetése elkerülhetetlen, amennyiben követni akarják a vonatkozó kibocsátási normatívákat, s nem utolsósorban versenyképességüket is meg akarják tartani. 2010-re történő előrejelzések szerint Európában a mostani adatokhoz képest mintegy 30-szor több hibrid jármű fog az utakon közlekedni (1. ábra). Ez hatalmas piaci lehetőséget jelent mind a járműgyártók, mind a beszállítók számára. Magyarországon döntően beszállítói tevékenység folyik, tehát hasonló, ezzel arányos termelési növekedés várható hazánkban is. Ezzel párhuzamosan Magyarországon jelentősen nőhet a területen végzett K+F tevékenység is.



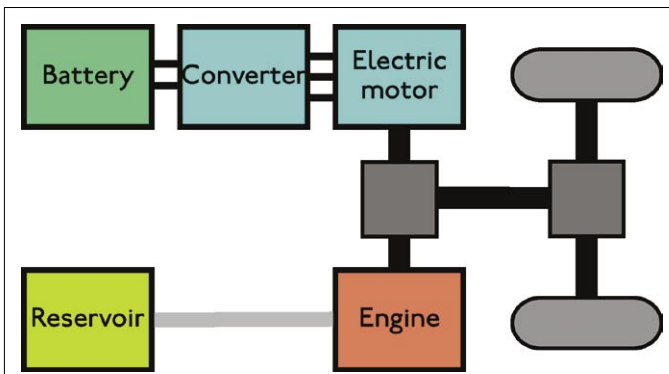
1. ábra: „Micro-”, „Mild-” és Full-hibrid járművek Európára előrejelzett eladásai 2015-ig (forrás: Frost & Sullivan)

A hibrid elektronikus járművek működésének egyik alapelve az, hogy a belső égésű motor csak akkor működik, ha szükséges, és akkor is csak annak optimális üzemi tartományában. Ha a forgalmi szituáció ezt nem engedi, akkor felváltjuk vagy kiegészítjük villamos meghajtással. A második alapelv a fékezési energia akkumulátorokba való visszatáplálása. Ezáltal lehet még jobban



2. ábra: egy soros felépítésű hibrid jármű szerkezete

fokozni a jármű energiafelhasználásának hatékonyságát. Egy hibrid járműnek három alapvető technikai feltételt kell teljesítenie, melyek a következők: (1) az energiafelhasználás csökkentése kombinált hajtáslánc segítségével, (2) a környezeti terhelés csökkentése, különös tekintettel a károsanyag- és zajkibocsátásra, illetve (3) közúti biztonság és vezethetőség javítása. Ez utóbbihoz nagyban hozzájárulnak a villamos komponensek (pl. generátor, villanymotor) gyors és pontos vezérelhetőségükkel. Kb. 40 százalékos üzemanyag-megtakarítást, így nagyságrendekkel kevesebb károsanyag-emissziót érhetünk el. A kombinált motorok elsődleges alkalmazási területe a nagyvárosi közlekedés. Ezen alapelvek megvalósításának mértékétől függően három kategóriába szokás sorolni a hibrid járműveket:



3. ábra: párhuzamos elrendezésű hibrid konfiguráció

Micro (vagy start/stop) hibrid: a jármű álló helyzetében leállítja a belső égésű motort, mely így pl. közlekedési lámpák előtt vagy forgalmi dugókban is kikapcsolt állapotban marad, majd csak induláskor kapcsol be újra. Gyorsításra segítőként esetleg használhatunk erősebb indító villanymotort, és minimális fékenergia-visszatáplálás is megoldható. Az elektromos motor jellemzően 2–4,5 kW-os. „Mikro-hibrid” gépkocsival városi forgalomban kb. 10%-os, vegyes használatban pedig mintegy 6%-os fogyasztásmegtakarítást érhetünk el, miközben a CO₂-kibocsátás is csökken.

Mild hibrid: az ezekben használt villanymotor közepes teljesítményű (10–15 kW), mely már nemcsak gyorsítás, illetve lassítás – és így az akkumulátorba történő fékenergia-rekuperáció esetén

– funkcionál, de önállóan még nem tudja mozgatni a járművet. Itt még a benzinmotor folyamatosan működik, nincsen tisztán elektromos üzem, ám olcsóbb és könnyebb a teljes hibrid rendszereknél. Segítségével valamelyest csökkenthető az üzemanyag-fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás.

Full (teljes) hibrid: nagy teljesítményű villanymotorral (20–60 kW) rendelkezik, mely önállóan is képes mozgatni a járművet, illetve nagyfokú fékenergia-visszatáplálás jellemzi e kategóriát.

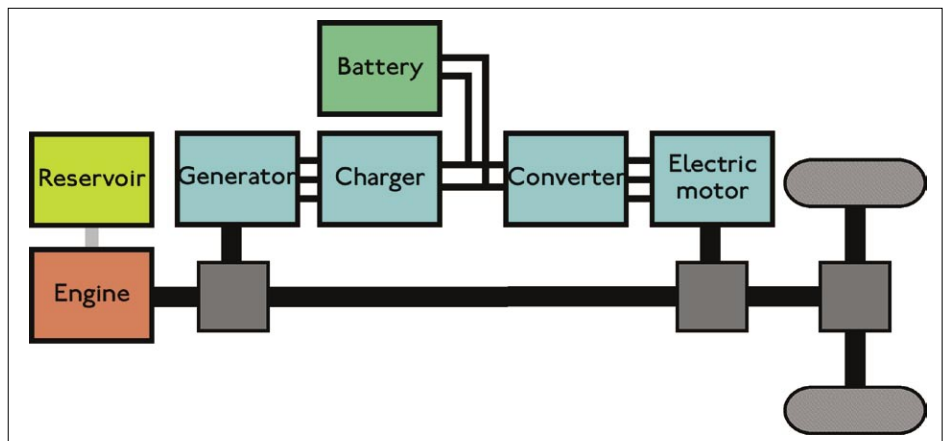
Ezek a kategóriák egymásra épülnek, egyben tartalmazási sorrendet is jelentenek. A „full hibrid” járművel megvalósítható a többi kategória is, a „mild hibrid” pedig tartalmazza a „micro hibrid” kategória funkcionalitását is.

A teljes hibridek technikai megvalósításukat tekintve, az erőátvitel módja szerint a következő alkategóriákba sorolhatók:

Soros kapcsolású rendszer (2. ábra): ebben a megvalósítási formában a belső égésű motor csak áram, illetve feszültség generálására szolgál, az akkumulátort tölti a vele összekapcsolt generátor segítségével. A meghajtásról tehát csak és kizárólag a villamos motor gondoskodik. A soros megoldás elektromos vezérlése egyszerűbb, azonban nagy méretű akkumulátorra és hajtómotorra van szükség működtetéséhez.

Párhuzamosan kapcsolt hibrid (3. ábra): ebben az esetben a belső égésű motor nemcsak generátorként funkcionál, hanem a hajtásláncban keresztül direkt rá tud hajtani a kerekre. Ez a megoldás bonyolultabb a sorosnál, több előnnyel is jár (pl. jobb hatásfokú). Párhuzamos elrendezés mellett az energia két úton, párhuzamosan folyhat, vagyis a belső égésű és a villanymotor egyaránt forgathatja a hajtásláncot.

Vegyes (vagy power-split) hajtás (4. ábra): a vegyes rendszerű hibrid jármű az előző kettő keveréke, vagyis a benzinmotor és az elektromos motor akár egyszerre, akár külön-külön is hajthatja az autót. Itt a belső égésű motor nyomtatékát egy differenciálváltón keresztül vezetik a kerekre. Ez az elrendezés jó hatásfokot biztosít, vezérlése komplikált. A nyomtélkelesztő rendszer, azaz a bolygómű megfelelő vezérlésével érhető el mind a párhuzamos, mind a soros üzemállapot. A bolygómű előnye, hogy teljesítményelágazást lehet vele megvalósítani több tengelyre, kis tömegű és térfogatigényű, jó hatásfokú. Vegyes hajtás esetén ezenkívül megvalósítható az akkumulátorok menet közbeni töltése is. Ilyen típusból az első gyártásérett modellt a Toyota hozta forgalomba 1997-ben, Prius fantázianévvel. Ma a világon ebből a márkából értékesítik a legtöbbet.



4. ábra: egy vegyes rendszerű hibrid elektromos jármű szerkezete

ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT

Az érzékenységvizsgálat arra ad választ, hogy a modell kimenő paraméterei mennyire függnek a rendszer bemenő paramétereinek változásától, pl. mennyire és hogyan függ a belső égésű motor bekapcsolási pontja a kezdeti SoC értéktől. Ha egy bemenő paraméter kicsi változtatása a kimenő paraméterek viszonylag nagy változását okozza, akkor azt mondhatjuk, hogy a kimenő paraméterek érzékenyek az adott kezdeti paraméterre.

A modellszimulációból kijövő paramétereket a CAN-csatornákon mért ugyanazon paraméterekkel vetettük össze. Az egyes kimenő paraméterek hibáit, mindkét tesztesetben vizsgált bemenő paraméterek függvényében kiszámítottuk, a következő összefüggésnek megfelelően:

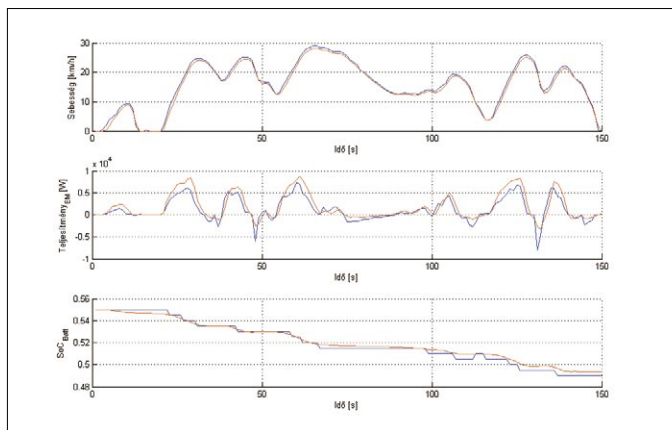
$$\varepsilon_p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_m(t) - p_{sz}(t)}{\max(p_m - p_{sz})} \right)^2 dt}$$

ahol ε_p az adott kimenő paraméter hibája, p_m a Priusszal mért paraméter, míg p_{sz} az ADVISOR beépített és módosított modelljével szimulált ugyanazon paraméter. A cél az egyes hibák minimalizálása, s ezáltal az adott tesztesetre vonatkozó hiba minimalizálása volt, melyet az

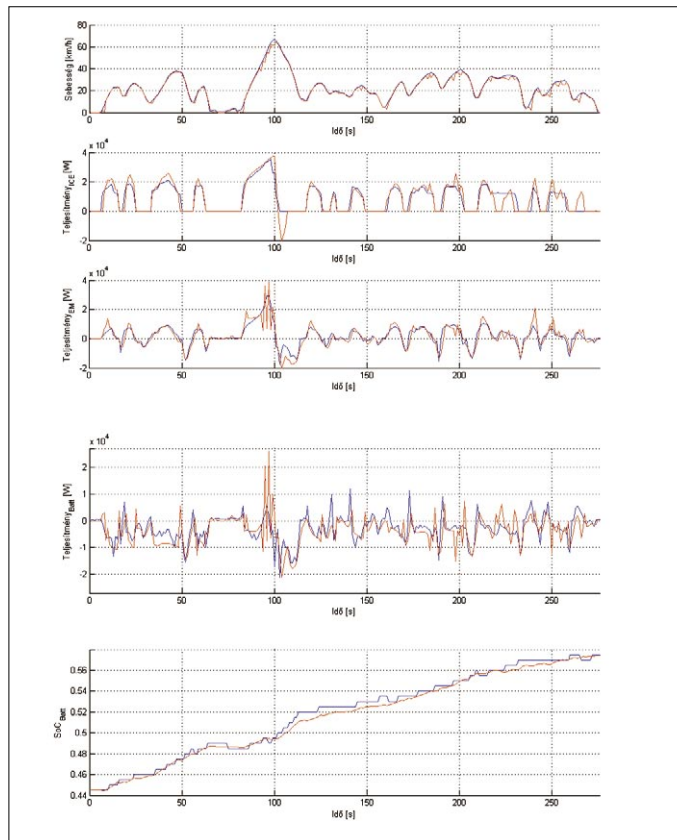
$$\varepsilon_{\text{Partial}} = \sqrt{\eta_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{p_i}}$$

összefüggés adja meg, ahol η_i egy súlyozó vektor.

Tiszta elektromos üzemmód esetén a járműsebesség, az elektromotor teljesítmény és az akkumulátortöltöttség adatait vetettük össze. A mért CAN-adatok és a Simulink modell eredményei között a 6. ábra szerinti legjobb egyezést sikerült elérni. Vegyes üzemmódban, amikor mind az elektromos, mind a benzinmotor működött, ez utóbbi paramétereit is identifikálhattuk (7. ábra).



6. ábra: tiszta elektromos üzemmód esetén kapott identifikált paraméterek (kék görbe: CAN-adatok, piros görbe: szimulált eredmények)



7. ábra: vegyes üzemmódból nyert paraméterek – az ábrán jól látható, hogy az elektromos és a belső égésű motor működésén kívül az akkumulátor is töltődik (kék görbe: CAN-adatok, piros görbe: szimulált eredmények)

KITEKINTÉS

A károsanyag-kibocsátás és zajterhelés csökkentése, a járművek energiahatékonyságának növelése mind sürgető tényezőként hat az autóiipari fejlesztésekre. Ezek a törekvések elkerülhetetlenek, ha a versenyképességet is meg akarjuk őrizni, de emellett hosszabb távon a hibrid jármű tudásbázis létrehozása, különböző oktatási szintekbe való visszacsatolása is jelentős hatású lehet. Az elkövetkező években Magyarországon is várható termelési növekedés, illetve a K+F tevékenység növekedése a bővülő európai hibridautó-piac következtében.

Irodalom

- [1] www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/120761.pdf
- [2] www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/121119.pdf
- [3] www.nrel.gov/vehiclesandfuels/hev/
- [4] www.engin.umd.umich.edu/vi/w4_workshops/Miller_W04.pdf
- [5] www.engin.umd.umich.edu/vi/s4_workshops/VI_S05_miller.pdf

Járműakkumulátorok modellezése és szimulációja

Untener Kornél
Gajdáty Gábor
Kokavetz János

Szegedi Tudományegyetem
 Műszaki és Anyagtudományi
 Intézet Járműipari
 Előfejlesztési Laboratórium

Mihálffy Tamás
 kutatómérnök
 Furukawa Electric
 Technológiai Intézet

Juhász Árpád
 fejlesztőmérnök
 Knorr-Bremse
 Fékrendszerek Kft.
 K+F Intézet

Napjaink járműipari fejlesztései jellemzően a gépjármű elektromos energiaigényének növekedése irányába mutatnak. A jövőbeli fejlesztések között egyre több biztonságkritikus elem is szerepel, melyek megbízható elektromos energiaellátása szükségessé teszi egy akkumulátor monitoring rendszer kifejlesztését. Ezen fejlesztés egyik súlyponti eleme az akkumulátor elektrokémiai modellje. Jelen dolgozatban áttekintjük a savas ólomakkumulátor elektrokémiai rendszerének legfontosabb törvényeit: a fő- és mellékreakciók kémiai egyenleteit, az elektródák áramsűrűségét meghatározó Butler-Volmer egyenletet, az elektrokémiai kettősréteg áramát, valamint a sav diffúzióját. Megadjuk továbbá az elektródákat jellemző paraméterek (porozitás, aktív anyag mennyisége) időfejlődését leíró összefüggéseket. A modell paramétereit egy 12 voltos 17 Ah kapacitású, szelepezérelt ólomakkumulátoron végzett mérések alapján kalibráltuk és kidolgoztunk egy háromlépéses identifikációs eljárást. Végül az elkészült modellt verifikáltuk egy valóságos elektromechanikus fék jellemző terhelési mintázatára. A modell átlagos hibája cellánként ± 6 mV értékűnek adódott.

Typical automotive developments nowadays predict increasing electrical energy consumption of motor vehicles. Future designs will contain more and more safety critical elements which require reliable supply of electric energy. Hence, there's a remarkable need to develop a battery monitoring system and its key element the electrochemistry based battery model. In present article, we review first principles of the lead-acid batteries: main and side reactions, the Butler-Volmer equation governing the electrode current density, the current of the Helmholtz double-layer capacitance and the diffusion of sulfuric acid. Equations describing the time evolution of electrode parameters (porosity, amount of active material) are also given. We calibrated the model parameters via measurements on a 12 V 17 Ah valve regulated lead-acid battery and developed a three step identification procedure. Finally, the completed model has been verified with a typical load pattern of an electromechanical braking system. The average error of the battery model is about 6 mV per cell.

BEVEZETÉS

Napjaink járműipari fejlesztései jellemzően a gépjármű elektromos energiaigényének növekedése irányába mutatnak. A jövőbeli fejlesztések között egyre több biztonságkritikus elem is szerepel, melyek biztonságos elektromos energiaellátást igényelnek. Ez különösen fontosá teszi annak ismeretét, hogy az igényelt elektromos energia rendelkezésre áll-e a gépjármű elektromos energiatároló rendszerében. A rendelkezésre állás mértékét feladattól függően többféle mérőszámmal jellemezhetjük. Az SOF (State of Function) 1 bites állapotjelző arról ad információt, hogy egy előre meghatározott áramigényt az elektromos energiatároló rendszer az aktuális üzemi körülmények között teljesíteni tud-e. Az SOC (State of Charge) állapotjelző az elektromos energiatároló rendszer töltöttségét mutatja.

Az elektromos energia tárolása jelenleg a gépjárművek döntő részében savas ólomakkumulátorokban történik. A savas ólomakkumulátort, az első, újratölthető akkumulátortípust, Gaston Planté francia fizikus találta fel 1859-ben. Alacsony előállítási költsége, csekély önkisülése és nagy rövidzárási árama miatt ez az akkumulátortípus széles körben elterjedt. Az 1970-es években jelentek meg a kereskedelmi forgalomban az első szelepezérelt (ún. VRLA) savas ólomakkumulátorok, amelyek a belső oxigén rekombinációs folyamatnak köszönhetően gyakorlatilag nem igényelnek karbantartást.

A savas ólomakkumulátorokhoz nem található olyan könnyen mérhető paraméter, melynek mérésével a szükséges SOC- vagy SOF-értékek meghatározhatók lennének. Ez szükségessé teszi

olyan akkumulátor monitoring rendszer kifejlesztését, amely akár működés közben is képes nyomon követni az akkumulátor belső állapotát, és ez alapján megbízhatóan előre jelezni az áramforrás rendelkezésre állási képességét. Az akkumulátor monitoring rendszer központi eleme egy, a savas ólomakkumulátor belső folyamatait a külső terhelés és a hőmérséklet függvényében leíró elektrokémiai modell.

ELEKTROKÉMIAI MODELL

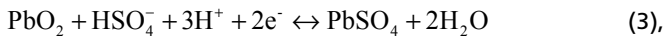
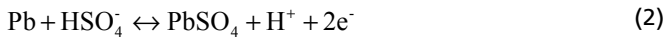
A járműiparban elterjedten használt 12 voltos savas ólomakkumulátorok hat, azonos elektrokémiai cellát tartalmaznak soros kapcsolásban. A modellezés során egyetlen cella leírására fókuszálunk. A cella leírására egy elosztott paraméterű, egydimenziós modellt alkalmazunk, mely az elektród lemezek síkjára merőleges irányban figyelembe veszi a fontos fizikai és kémiai paraméterek helyfüggését. Az ólomakkumulátor cellája három térrészből áll, a negatív és pozitív elektródát a szeparátor választja el egymástól. A szeparátor feladata kettős, elektromosan elszigeteli a negatív és pozitív elektródákat, miközben lehetővé teszi az elektrolit ionjainak hatékony diffúzióját, valamint a kémiai reakcióhoz szükséges kénsav jelentős részét is a szeparátorban tárolják. Az akkumulátor működésének szimulációjakor figyelembe vesszük a savas ólomakkumulátor szinte minden belső fizikai és kémiai folyamatát, többek között elektródán lejátszódó elektrokémiai folyamatok kinetikáját, az elektródák porozitásának és aktív felületének változását, a diffúzió, az elektródákon kialakuló Helmholtz kettősréteg kapacitásának hatását.

A modell matematikai értelemben véve egy nemlineáris állapotterve modell, melynek állapotegyenlete a következő:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \underline{x}}{\partial t} &= \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}) \\ y &= \underline{g}(\underline{x}, \underline{u})\end{aligned}\quad (1)$$

Az egyenletben szereplő $\underline{x}$ vektor az akkumulátorcella állapotvektora. A három elemből álló $\underline{u}$ vektor tartalmazza a szimuláció bemeneti paramétereit: az áramterhelést, a hőmérsékletet és a szimulációs időlépés hosszát. A modell kimenete (y) a szimulált cella sarkain mérhető feszültséget adja meg.

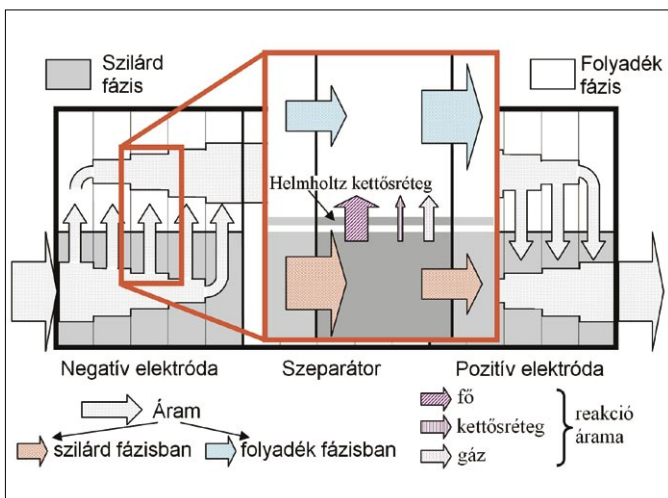
Az energiatárolás a savas ólomakkumulátorban a kettősszulfát-elmélet szerint a következő elektrokémiai reakciók segítségével történik:



ahol a második egyenlet a negatív elektródán, a harmadik egyenlet pedig a pozitív elektródán végbemenő folyamatokat írja le. A pozitív elektródán kisütéskor az ólom-dioxid, míg a negatív elektródán az ólom alakul ólom-szulfáttá. Az energiatárolást biztosító főreakciók (2–3) mellett ún. másodlagos reakciók, oxigénfejlődés (4), oxigén rekombináció (5) is végbemennek. A gyakorlatban más másodlagos reakciók is végbemennek (hidrogénfejlődés, az elektródátartó rácsok korróziója). Ezeket a reakciókat a modell nem veszi figyelembe.



A másodlagos reakciók okozzák az ólomakkumulátorok „kiszáradását” és önkisülését. A hidrogén és az oxigén fejlődése ólomfelszínen erősen gátolt folyamat, ennek köszönhetően az ólomakkumulátorok önkisülése csekély.



1. ábra: az elektromos áram iránya kisütés esetén

Az akkumulátor elektródái porózusak, a porozitás mértékét az ε skalárral jellemezzük, amely a folyadékfázis térfogati arányát mutatja a teljes térfogathoz viszonyítva. Mivel az ólom-szulfát,

az ólom-dioxid és a fém ólomsűrűsége eltérő, ezért kisülés/töltés során a porozitás a következő módon változik:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = (i_{\text{kivett}} - i_{\text{O}_2}) \cdot \frac{\rho_{\text{PbSO}_4} - \rho_{\text{Pb} / \text{PbO}_2}}{2F \cdot V} \quad (6)$$

A hatos egyenletben i_{kivett} a kivett áramot, míg i_{O_2} az oxigénreakció áramát jelenti. Az M és ρ jelöli az adott vegyület moláris tömegét és sűrűségét, míg F a Faraday-állandót, V az elektróda térfogatát szimbolizálja. A folyadék-szilárd határfelületen átlépő elektromos áramsűrűséget az η túlfeszültség határozza meg a Butler-Volmer egyenlet szerint a következő módon:

$$i = A_{\text{elektróda}} \cdot \left(i_0^M \cdot \left(\frac{c}{c_{\text{ref}}} \right)^\beta \cdot \left\{ e^{\alpha_a \frac{F}{RT} \eta_M} - e^{-\alpha_c \frac{F}{RT} \eta_M} \right\} + i_0^{\text{O}_2} \cdot \left(\frac{c}{c_{\text{ref}}} \right)^\beta \cdot e^{\alpha_{\text{O}_2} \frac{F}{RT} \eta_{\text{O}_2}} \right) \quad (7)$$

ahol az $A_{\text{elektróda}}$ jelöli az elektróda aktív felületének nagyságát, i_0^M és $i_0^{\text{O}_2}$ a főreakciók, illetve az oxigénreakciók csereáram-sűrűsége. A c a kénsav koncentrációját jelöli, β pedig az áramsűrűség koncentrációtól való függését határozza meg. Végül α az ún. átlépési tényező.

A folyadék-szilárd határfelületen kialakul az ún. Helmholtz kettősréteg, amelyet egy síkkondenzátorként modelleztünk. Ezen kondenzátor η feszültséggel van feltöltve, és η változásakor a kondenzátorból származó áram a következő módon adható meg:

$$i_c = A_{\text{elektróda}} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial t} \cdot c_{\text{cap}}, \quad (8)$$

ahol c_{cap} a síkkondenzátor kapacitása.

A kénsav koncentrációját a diffúzió és a kémiai reakciók határozzák meg. A kémiai reakciók hatását egy forrástagg ($\rho(x)$) segítségével vesszük figyelembe. A koncentráció térbeli és időbeli eloszlását a következő parciális differenciálegyenlet megoldása adja:

$$\varepsilon(x) \cdot \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial \left(D(x) \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x} + \rho(x) \quad (9)$$

A kilences egyenletben $D(x)$ a diffúziós állandó, melynek értéke erősen hőmérsékletfüggő és térbeli eloszlását a porozitás változása határozza meg. A forrástagg értékét az akkumulátorból kivett áram függvényében a 2. és 3. egyenletek segítségével határozhatjuk meg:

$$\int \rho(x) dx = \frac{(i_{\text{kivett}} - i_{\text{O}_2})}{F} \quad (10)$$

Az elektródák aktív anyagának időfejlődését leíró egyenlet a következő:

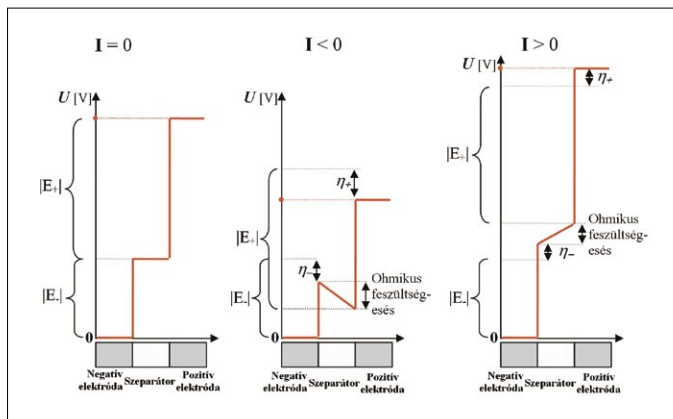
$$\frac{\partial \theta_{p,n}}{\partial t} = \frac{(i_{\text{kivett}} - i_{\text{O}_2})}{2F}, \quad (11)$$

ahol $\theta_{p,n}$ a pozitív és a negatív elektróda aktív anyagának anyagmennyiségét jelenti.

Végül, a cella sarkain mérhető feszültséget a következő egyenlet határozza meg:

$$U = (E_+ - E_-) + i_{\text{kivett}} \cdot R + (\eta_+ - \eta_-), \quad (12)$$

ahol E_+ és E_- a pozitív és a negatív elektródák standardpotenciálja, amely függ a kénsav koncentrációjától. Az elektrolit elektromos ellenállását egy ohmikus taggal (R) vettük figyelembe.



2. ábra: a cella feszültségviszonyai nyugalom, kisütés és töltés esetén

A modell állapotfejlődését leíró f függvény a (2–11) egyenletek segítségével írható fel, míg a g függvény a 7. és 12. egyenletek alapján írható fel.

IDENTIFIKÁCIÓ

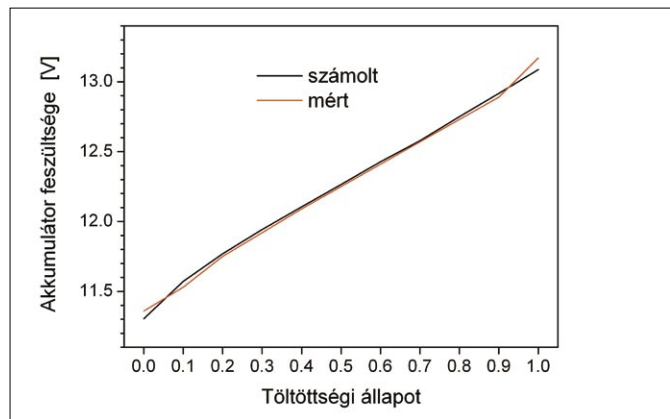
A modell identifikációját egy CSB12170B1 típusú, szelepvezérelt savas ólomakkumulátoron végrehajtott mérések segítségével végeztük. A modellben szereplő paraméterek meghatározásához három identifikációs lépést hajtottunk végre.

Első lépésben egy CSB12170B1 akkumulátort szedtünk szét. Meghatároztuk az elektródák és a szeparátor geometriai méreteit, a párhuzamosan kapcsolt cellák számát és az akkumulátorban lévő gázok által kitöltött térfogat nagyságát (3. ábra).



3. ábra: a cella geometriai méreteinek meghatározása az akkumulátor szétszerelésével

A következő lépésben megmértük az akkumulátor nyugalmi feszültségét, különböző töltöttségi állapotokban (4. ábra). A mérési eredményeket az irodalomból származó standardpotenciál táblázatok segítségével illesztettük. Az illesztés segítségével a kénsav kezdeti mennyiségét és koncentrációját határoztuk meg.

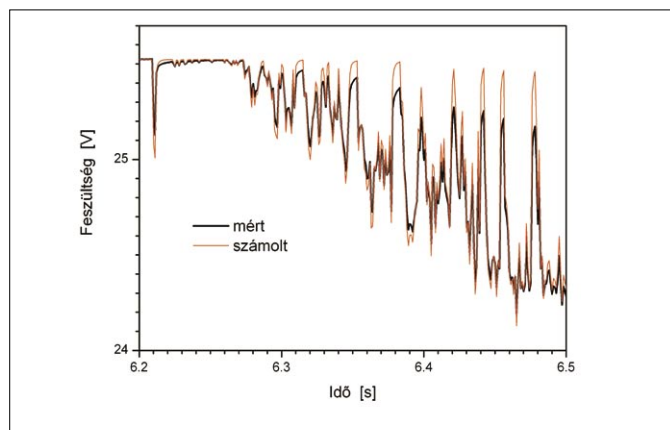


4. ábra: a kénsav kezdeti mennyiségének és koncentrációjának meghatározása

Végül dinamikus töltés- és kisütési mintázatokkal terheltek az akkumulátort és a feszültségi adatokból megbecsültük a belső ellenállás, a kettősréteg kapacitás és a diffúziós állandó értékét.

VERIFIKÁCIÓ

A modell verifikációját egy elektromechanikus fék terhelési mintázatára végeztük (5. ábra). A modell átlagos hibája cellánként ± 6 mV értékűnek adódott.



5. ábra: az akkumulátor modell verifikációja – a terhelési mintázatot egy elektromechanikus fék működés közbeni áramigénye alapján állítottuk be

ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen cikkben bemutattunk egy szelepvezérelt savas ólomakkumulátor működésének modellezésére alkalmas állapotter modell. Bemutattuk a modell identifikációja során használt fő lépéseket, és egy elektromechanikus fék terhelési mintázatára elvégeztük a modell verifikációját is.

A bemutatott modell alkalmas lehet gépjárművek energiatárolási rendszerének akkumulátor monitorozó alrendszerében SOC- és SOF-paraméterek becslésére.

Üzemanyagcellák alkalmazása járművekben

Juhász Árpád

fejlesztőmérnök

Knorr-Bremse

Fékkendszerek Kft.

K+F Intézet

Dr. Nádai László

tudományos főmunkatárs

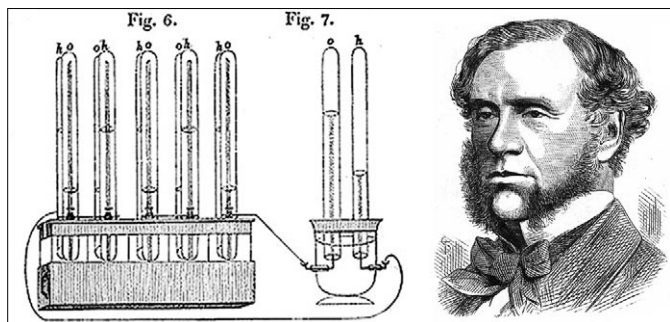
MTA SZTAKI

A cikkben először röviden áttekintjük a mai üzemanyagcellák történeti előzményeit, majd ismertetjük a járműiparban leggyakrabban használatos ún. PEM-cella felépítését és működését. Kitérünk a cella hatásfokát meghatározó tényezőkre, és bemutatjuk az üzemeltetési körülmények szabályozásának általános keretrendszerét. Végül az üzemanyagcellák nagy sorozatban történő gazdaságos alkalmazhatóságát járjuk körül, melynek kritikus pontjai a tiszta és olcsó hidrogén előállítása, a drága adalékok (platina) kiváltása, illetve az egymásnak ellentmondó méret-, súly- és hatásfok-követelmények.

In the paper first we briefly outline the historic preliminaries of nowadays fuel cells; then describe the structure and operation of the so-called PEM cell that is the most widely used in vehicle industry. We examine the factors that determine the efficiency of the cell, and we also describe the control system designed for optimizing the operation of the plant. Finally we summarize the questions arising when planning the market introduction: production of clean and cheap hydrogen, replacing the platinum with less valuable materials, and contradicting size, weight and efficiency requirements.

AZ ÜZEMANYAGCELLÁK RÖVID TÖRTÉNETE

Az első üzemanyagcellát Sir William Grove fejlesztette és építette meg 1839-ben Angliában. Majd 1889-ben két kutató, Charles Langer és Ludwig Mond végzett sikeres kísérleteket levegő- és szénázüzemű cellákkal, maga az üzemanyagcella elnevezés is nekik köszönhető. A következő komoly előrelépést dr. Francis Thomas Bacon, az angliai Cambridge Egyetem mérnöke tette 1939-ben, majd 20 évvel később, 1959-ben vállalata 5 kW-os teljesítményű berendezést épített. Az 1960-as évek elején a Pratt & Whitney vásárolta meg a Bacon-féle cella licencét, és tökéletesítette azt a NASA Apollo-programjának számára. Ez a technika a közlekedésben 1993-ban hozott áttörést, amikor a kanadai Ballard cég által kifejlesztett cellát először alkalmazták járműben.



1. ábra: William Robert Grove és az üzemanyagcellája

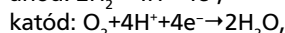
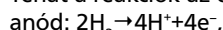
ÜZEMANYAGCELLÁK FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE ÉS HATÁSFOKA

A járműipar döntően kétféle cellát használ: Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC), illetve Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) típusút, mert ezeknek a legnagyobb a fajlagos teljesítménysűrűsége, és alacsony hőmérsékleten (20–100 °C) üzemelnek. A működésük alapján ezeket a cellákat Proton Exchange Membrane (PEM) típusként is emlegetik. Az elektrokémiai áramforrások működésének lényege az, hogy egy kémiai reakció szabadentalpia-változását alakítják át munkává. Ez úgy történik, hogy az anódon (a negatív elektródon) oxidáció (elektronleadás), míg a katódon (a pozitív elektródon) redukció (elektronfel-

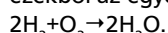
vétel) játszódik le. Az elektronok a két elektródot összekötő fémes vezetón jutnak el az anódtól a katódig. Fogyasztó (pl. elektromotor) beiktatásával az elektronokkal munkát lehet végeztetni, amelynek nagysága a két elektród közötti potenciálkülönbségtől és az áthaladt töltésmennyiségtől függ. A potenciálkülönbség nagysága az alkalmazott reakciópartnerek minőségétől, míg a hasznosítható töltésmennyiség azok mennyiségétől függ. Tehát az üzemanyagcellák három fő részből épülnek fel: egyrészt két elektródból (anódból és katódból), továbbá a katalizátorból (ami lehet platina vagy annak ötvözei), és végül az elektrolitból vagy membránból (ami lehet szilárd anyag és folyadék is).

Az üzemanyagcella működési folyamata az anódon átvezetett hidrogénnel kezdődik, ezt a platina katalizátor szétválasztja hidrogénatomokra. Ezután a H^+ ionok a membránon keresztül jutnak el a katódhoz. A membránt ezért nevezik protoncserélőnek, mivel csak a hidrogén iont, azaz a protont engedi át, míg a negatív töltésű elektront nem. Az elektronok egy külső fogyasztón keresztül tudnak átjutni a katódra. A katódra vezetett oxigénmolekulák a katalizátor segítségével szintén lebomlanak oxigénatomokra, melyek az anódból átáramló elektronokkal és a membránon átjutott hidrogénionokkal egyesülve vizet hoznak létre.

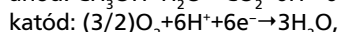
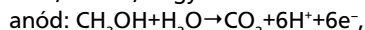
Tehát a reakciók az elektródokban:



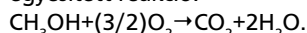
ezekből az egyesített reakció:



A DMFC működési elvét tekintve hasonló, mint a H_2 üzemanyagú cella, kivéve, hogy itt metanol oxidálódik:



egyesített reakció:

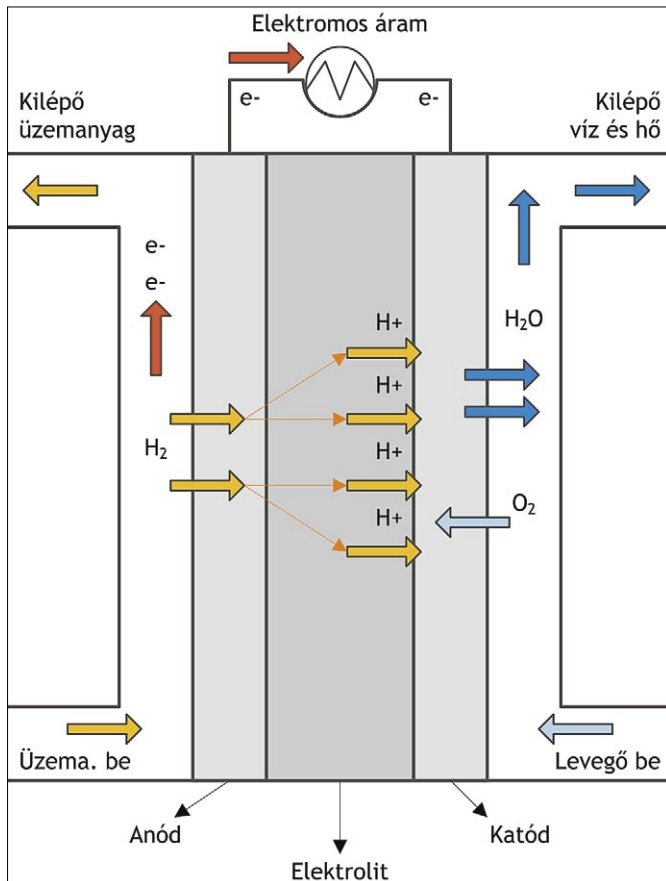


Az egy cellával elérhető maximális elektromos munka egyenlő a Gibbs-féle szabadenergia-változással, ami az elektrokémiai reakciók során történik

$$W = \Delta G = -nFE \quad (1)$$

ahol n a reakcióban részt vett elektronok száma, F a Faraday-konstans, és E a cella ideális potenciálja. Másrésztől

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$



2. ábra: a PEM üzemanyagcella felépítése és működése

ahol H az entalpia és S az entrópia, ami a tulajdonképpeni veszteséget okozza. Általában az üzemanyagcellában lejátszódó reakció

$$\alpha A + \beta B \rightarrow \chi C + \delta D \quad (3)$$

Ebből a szabad energia megváltozása egy referencia hőmérsékleten és nyomáson (általában 298 K és 1 atm)

$$\Delta G^0 = \chi \Delta G_C^0 + \delta \Delta G_D^0 - \alpha \Delta G_A^0 - \beta \Delta G_B^0 \quad (4)$$

és

$$\Delta G = \Delta G^0 - RT \ln \left(\frac{f_C^\chi f_D^\delta}{f_A^\alpha f_B^\beta} \right) \quad (5)$$

ahol f az adott anyagra vonatkozó fugacitás. Ezt egyenlővé téve az (1) egyenlettel kapjuk a cella feszültségét

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{f_C^\chi f_D^\delta}{f_A^\alpha f_B^\beta} \right) \quad (6)$$

Ezt az összefüggést Nernst-egyenletnek is hívják.

Az (1) és (2) egyenlet összevetéséből látszik, hogy a cella feszültsége és a hatásfok között egyenes arányosság áll fenn. Az elméleti maximális hatásfokhoz tartozó feszültség H_2 üzemanyag esetén

$$E_{\max} = \frac{-\Delta H}{nF} \sim 1.48 \text{ V.}$$

Tehát egy üzemanyagcella hatásfokát a feszültsége is indikálja

$$\eta = \frac{E_{\text{cella}} [\text{V}]}{1.48}$$

A tapasztalat azt mutatja, hogy az üzemanyag egy része nem lép reakcióba, hanem csak áthalad a cellán, ezért a hatásfok képletét módosítani kell

$$\eta = \eta_f \frac{E_{\text{cella}}}{1.48}$$

ahol $\eta_f \sim 0.95$. A veszteségek alapvetően három kategóriába sorolhatók:

Az aktivációs veszteség, amit a reakció sebessége és a reakció aktiválási energiája okoz. A töltésslépésnek gyorsnak kell lennie. Ha bármelyik elektródreakciónak nem elegendően nagy a sebessége, az értelemszerűen meghatározza az áram nagyságát. A sebesség az aktiválási energia nagyságával függ össze, a nagy aktiválási energia ugyanis újfent energiavesztést okoz. Ezért olyan elektródot kell választani, amely katalizálja az adott reakciót. A PEM üzemanyagcellákban H_2 -t akarunk oxidálni. E folyamat csereáram-sűrűsége – ez jellemzi az adott elektródreakció sebességét – nyolc nagyságrendet is változhat attól függően, hogy milyen anyagból van az elektród. A legjobb katalizátor a platina. A platínával ugyanis a hidrogén reakcióba lép, és disszociatív adszorpciót szenved: $2\text{Pt} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{Pt-H}$. Abban az esetben, amikor ez a folyamat nem játszódik le, például higanyon, akkor az igen stabil H_2 -molekula atomokra való bontásához 431 kJ/mol energia szükséges. Az sem jó, ha az adott fém túl erősen köti meg a hidrogénatomokat, mert akkor ezek deszorpciója igényel nagy energiát. Az adszorpciónál, katalízisnél nemcsak a fém minősége, hanem a felület állapota is kritikus, ezért annak kialakítása (nagy felület/térfogat arány, aktív helyek számának növelése, a katalizátor mérgeződésének csökkentése, lásd később) is meghatározó tényező. Tehát a platina a legjobb katalizátor, viszont drága és ritka fém, ezért a platínát vagy ötvözeit minél kisebb mennyiségben kell leválasztani a protoncserélő membrán felületére.

Az ohmikus veszteségek azok, melyek az ion- és elektronáramlásból adódnak, ezért fontos, hogy a membrán jó protonvezető és elektronszigetelő legyen, míg az elektródnál épp fordított a helyzet. Az elektrolitnak még sok egyéb feltételnek is meg kell felelnie, például stabilnak kell lennie az adott feszültségtartományban, valamint nem fagyhat meg.

A tömegtranszport-vesztéseket az anyagáramlás vesztesége és változásának végessége okozza. A pórusos elektród és membrán, a cellageometria kialakítása, a gáz áramlási sebességének optimalizálása is komoly mérnöki feladatot jelentenek. Az előzőekből következik, hogy az üzemanyagcella hatásfokát nagyban befolyásolják az üzemeltetés körülményei. Ezek szabályozását az ún. Balance of Plant (BOP) végzi. Tehát a gyakorlatban is működőképes rendszert a BOP és a cellák sorozata alkotja.

BALANCE OF PLANT (BOP)

A BOP feladatai alapvetően öt kategóriába sorolhatók.

Az üzemanyag-előkészítés alatt az üzemanyag szűrését és elektródákhoz juttatását, valamint az optimális nyomás-, koncentráció- és hőmérséklet-beállítását értjük (ugyanis a Nernst-egyenlet mind a három paraméter függvénye). A szűrés főleg a platina-katalizátor miatt szükséges, mivel bizonyos anyagokkal reagálva elveszti katalizáló képességét. A legfontosabb káros vegyületek a CO , CO_2 , H_2S és az ammónia. Ezekkel szemben a platínát mint ötvözetet használják, ezzel csökkentve a káros anyagokra való érzékenységet, pl. PtRu. Még napjainkban is kutatások folynak a platina helyettesítésére más fémekkel, illetve ötvözeikkel, pl. Fe, Co, Ru, Mo.

A levegő előkészítése az üzemanyaghoz hasonlóan szintén a szűrést, valamint a hőmérséklet és a nyomás optimalizálását jelenti.

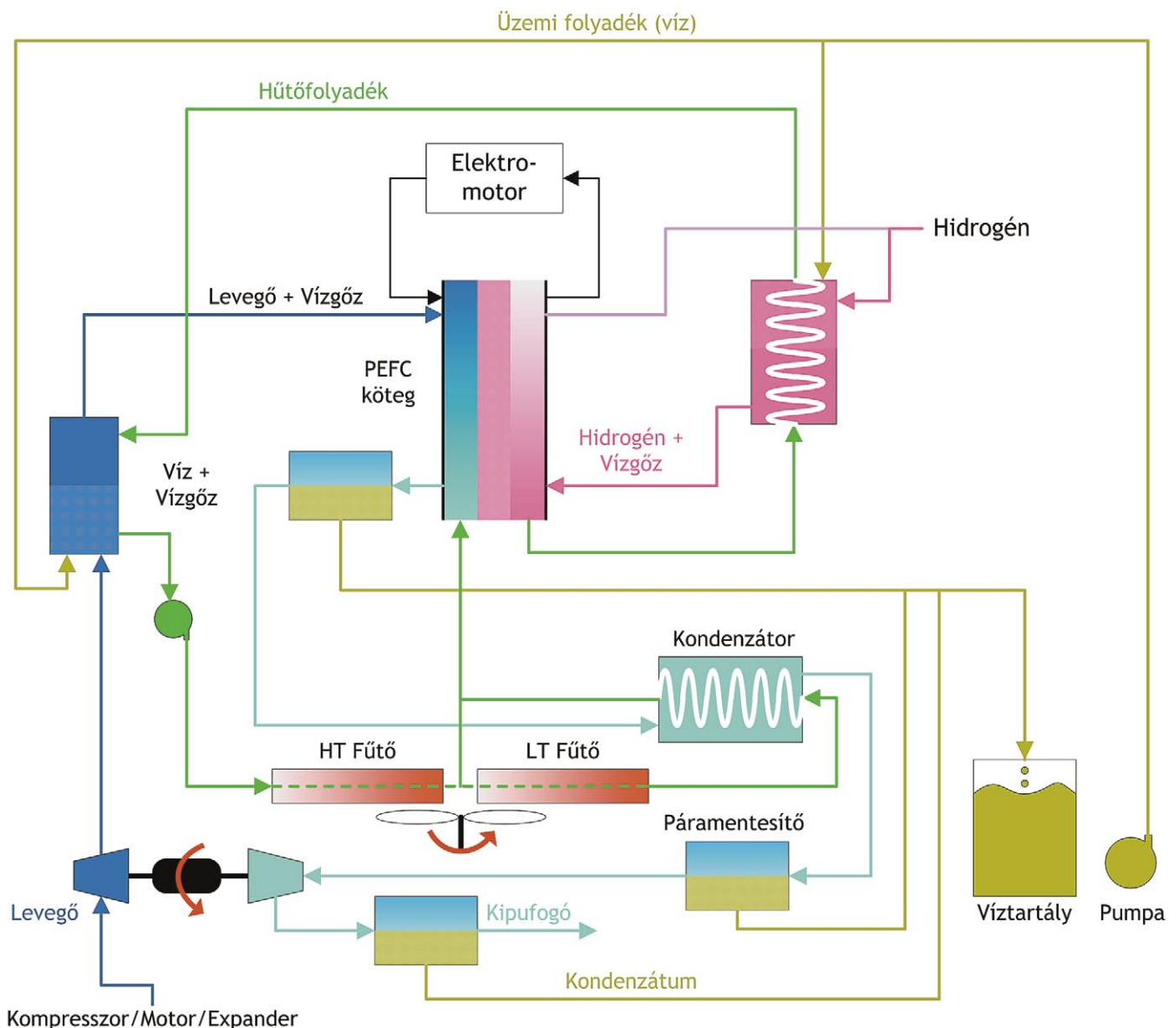
A nedvességtartalom szabályozása részben a membrán miatt fontos, ugyanis a Nafion típusú membránok ionvezető képessége kis és nagy nedvességtartalom esetén is romlik. Újabban azonban léteznek már „szárazon” is üzemelő membránok. A nedvességtartalom szabályozása befolyással van még az elektródák közötti ozmózis nyomás beállítására is, ugyanis ez határozza meg a membránon keresztüli nedvesség áramlásának irányát, amelynek egybe kell esnie a protonáramlás irányával, mert ellenkező esetben éppen gátolja azt. Másrészt a reakció végterméke is víz, ezért lényeges annak elvezetése.

A hőmérséklet szabályozásán a PEM típusú cellák optimális üzemi hőmérsékletének 80 °C fok körüli tartását értjük. Összehasonlítva a belső égésű motorokéval, az üzemanyagcella nagyobb kapacitású hűtőrendszert igényel, mivel a belső égésű motoroknál a hő egy jelentős részét az égéstermékek viszik el, míg a cellák esetében épp ellenkezőleg, fokozottan fennáll ez a helyzet magas külső hőmérséklet esetén. A hőmérséklet szabályozása ráadásul a celláknál adott esetben nemcsak a

hűtést, hanem a fűtést is magában foglalhatja, ugyanis nagyon alacsony hőmérsékleten a membránba fagyott víz gátolja a protonok áramlását.

Az elektromos konvertálásra az ohmikus veszteségek kiküszöbölése miatt van szükség, mivel az üzemanyagcellák – az akkumulátorokhoz hasonlóan – áramgenerátorként foghatók fel, ami a villamosenergia-transzport szempontjából nem túl szerencsés. Részben ezért, részben pedig az AC üzemű villamos gépek miatt szükséges DC/DC és DC/AC konverterek alkalmazása.

Ha az üzemanyagcellát mint rendszer tekintjük, lényeges a BOP komponensei számának csökkentése és a komponensek hatásfokának maximalizálása, mert ez nagyban befolyásolja a teljes hatásfokot. Általában egy PEM típusú Nafion membrános cella hatásfoka 50–70%, míg a teljes rendszer hatásfoka 30–50%. A járműiparban nem, vagy csak ritkán alkalmazott üzemanyagcellák is léteznek: Alkaline Fuel Cell (AFC), Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC), Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC), Solid Oxide Fuel Cell (SOFC), azonban műszaki tudományos szempontból a járműiparban nem maga a cella, hanem a BOP jelent komoly kihívásokat, és igényel helyenként teljesen új szemléletmódot.



3. ábra: az üzemanyagcella mint rendszer

A HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSA ÉS TÁROLÁSA

A hidrogén tisztasága kritikus tényező, mint ahogy azt az első fejezetben is láttuk. Az ideális megoldást a hidrogén előállítására a víz elektrolízise jelentené, ennek kivitelezése azonban ipari méretekben jelenleg még igen drága. A jövőben feltehetően a nap-, a szél- és a geotermikus megújuló energiaforrások jobb kihasználása az elektromos áramot olcsóbbá teheti, és akkor az elektrolízis versenyképessé válhat. Mivel a hidrogén előállítható olyan molekulákból, amelyek tartalmazzák – ezen alapul a metanol vagy a földgáz reformálása –, így a gépkocsiknak nem hidrogént kell magukkal vinniük, hanem metanolt vagy szénhidrogént (pl. metánt) tankolhatnak. A reformálási reakció úgy játszódik le, hogy az elpárologtatott metanolt (vagy szénhidrogént) katalizátor fölött vezetik át egy fűtött csőben, ahol is CO , H_2 és O_2 keletkezik, majd az oxigén tovább oxidálja a szén-monoxidot CO_2 -vé. E módszer hátránya, hogy a szén-monoxid egy része a levegőbe kerülhet, illetve „mérgezi” a katalizátort.

Másik fontos kérdés a hidrogén tárolása. Az egyik célszerű tárolási megoldásnak az acélból készült palack tűnik. A palackokban a hidrogént 150 bar nyomáson hozzák forgalomba. Ezek a palackok nehezek, még nagyobb nyomáson is a hidrogén tömege csak az össztömeg 0,5–1%-a, ráadásul a nagy nyomás komoly biztonsági kockázatot rejt magában. Valamivel jobb a helyzet kompozit (főleg polietilén alapú) palackok esetében, itt a tömeg 7%, nagyobb nyomás is elérhető, a palack alakja a gépjárműhöz alakítható, és balesetnél az ütközési energia jelentős részét elnyeli. Az újabb törekvések közül említést érdemel a hidrid formájában való tárolás. Különösen a vas-titán-hidridek (FeTiH , FeTiH_2), lantan-nikkel-hidridek (LaNi_5H_6), és a nátrium-bór-hidrid, nátrium-boranát (NaBH_4), amelyek tárolóképesége mintegy 30 g H_2 /1 kg hidrid, jutott eddig jelentősebb szerephez. Ezekből víz és katalizátor hatására szabadítható fel a hidrogén: $\text{NaBH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{NaBO}_2$. A másik termék, a NaBO_2 nem mérgező, sőt például mosószerek adalékanyagaként használják. A NaBH_4 alkalmazásával jelentősen megnövelhető az adott térfogatban szállítható hidrogén mennyisége, jelenleg egy „tankolás” 150–500 km-re elegendő. Ezt a megoldást először a Daimler-Chrysler kisbuszánál alkalmazták 2001-ben. Az egyetlen, de nagy hátrány a vegyületek ára. A legújabb ötletek közé tartozik, hogy nagy nyomáson és hőmérsékleten hidrogént préselnek szén nanocsövek vagy zeolitok üregeibe. A hidrogén közönséges hőmérsékleten nem, csak hevítés hatására szabadítható fel.

Végül néhány szó a hidrogén biztonsági problémáit illetően. Igaz, hogy a hidrogén éghető és robbanásveszélyes gáz, de sok szempontból biztonságosabb, mint a benzin. A hidrogén kis sűrűsége miatt ugyanis igen gyorsan eltávozik a levegőbe ha a tartály ereszt vagy kilyukad, így a robbanáshoz szükséges hidrogén-oxigén gázkeverék nem, vagy csak nagyon kis valószínűséggel jöhet létre. Ráadásul a hidrogénből négyeszer akkora koncentráció kell a robbanáshoz, mint a benzinből.

AZ ÜZEMANYAGCELLÁK ALKALMAZÁSÁNAK GAZDASÁGOSSÁGI KÉRDÉSEI

Minden új technológia piaci bevezetését számos (korlátozó) tényező befolyásolja, különösen is igaz ez a közlekedésre, figyelembe véve a piac méretét, a pénzügyi hajtóerőket, a vevői elvárásokat, a termékekkel szemben támasztott teljesítmény-, biztonsági és megbízhatósági kritériumokat, a hagyományos és alternatív technológiák egymás mellett élését, az üzemanyag-

elosztó hálózat determinizmusát, az OEM cégek haszonkulcsát, valamint a társadalmi és kormányzati elvárásokat. Az utóbbi tartalmazza a káros anyagok és üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklését, a hatásfok növelését, illetve végső soron az energiapolitikát. A felsorolt kihívásoknak a (nagy) járműgyártók – természetesen egyéb fejlesztéseik mellett – úgy próbálnak megfelelni, hogy célul tűzték ki költséghatékony, tisztán elektromos meghajtású személyautók kifejlesztését. Például, az amerikai Energiaügyi Minisztérium (US Department of Energy) célkitűzése az, hogy 2015-re az ilyen hajtásláncok költsége ne legyen magasabb, mint 30 \$/kW_e.

Az üzemanyagcella az egyik potenciális „tisztá” energiaforrás a jövő járművei számára. Bár – amint azt a korábbiakban áttekin tettük – még számos technológiai jellegű probléma is megoldásra vár, a technológia piaci bevezetése gazdaságossági szempontból is kérdéseket vet fel. Annak érdekében, hogy az üzemanyagcellák, illetve a hidrogén (mint üzemanyag) számottevő piaci részesedésre teheszenek szert, az új technológiának versenyképesnek kell lennie a jelenlegi belső égésű technológiákkal, illetve a kölajszármazékokkal, a teljesítmény, a hatásfok és a költségek vonatkozásában.

KRITIKUS TÉNYEZŐK

Cellafeszültség. A költségek csökkentése és a járműbe való beépíthetőség megkönnyítése a méret- és súlycsökkentés irányába hat, azonban ez sajnos ellentmondásban van a hatásfok maximálásának igényével. Ha adott teljesítmény mellett megnöveljük a cellafeszültséget, akkor a hatásfok növekszik, de ezzel együtt a cella mérete, tömege, és az előállítás költsége is nő.

Energiasűrűség. Az aktív zóna energiasűrűsége, illetve az üzemanyagcella élettartama nagymértékben függ az olyan igen drága adalékanyagok mennyiségétől, mint a platina.

A platina ára. Az elmúlt néhány évben a platina világpiaci ára megduplázódott, ez különös jelentőséget ad a platinát helyettesítő fémek vagy ötvözetek alkalmazására irányuló anyagtechnológiai kutatásoknak.

Integrált gyártás vagy beszállítói lánc. A különböző komponensek előállítása eltérő kulcskompetenciákat igényelhet, ezért a sorozatgyártásra felkészülés előrevetíti egyes alkatrészek (membrán-elektrodák, gázdifúziós rétegek, bipoláris lemezek, BOP egyes elemei) gyártásának kiszervezését, ami bizonytalanná teszi az előállítás költségeinek pontos előrejelzését.

Minőségbiztosítás. Az új technológia bevezetésének első szakaszában minden bizonnyal fel kell készülni a feltáratlan hibákból eredő minőségi panaszok orvoslására, aminek nyilván lesznek költségvonzatai is.

Irodalom

- [1] E. J. CARLSON, P. KOPF, J. SINHA, S. SRIRAMULU, Y. YANG: Cost Analysis of PEM Fuel Cell Systems for Transportation. TIAX LLC, Cambridge, Massachusetts, 2005.
- [2] Fuel Cell Handbook (Seventh Edition) 2004, U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory.
- [3] Gregor HOOGER: Fuel Cell Technology Handbook. 2003, CRC Press.
- [4] INZELT György: Régi-új áramforrások: A tüzelőanyag-elemek. Fizikai Szemle, 2004/8.
- [5] James LARMINIE, Andrew DICKS: Fuel Cell Systems Explained. Second edition, John Wiley & Sons

A deformációs energia eloszlásának modellezése baleseti járműtest-deformáció esetén

Harmati István
egyetemi adjunktus,
Széchenyi István Egyetem,
Matematika és
Számítástudomány Tanszék

Dr. Várlaki Péter
egyetemi tanár,
Széchenyi István Egyetem,
Matematika és
Számítástudomány Tanszék

A járművek deformációs folyamatának modellezése fontos szerepet játszik mind a balesetelemzésben, mind pedig a biztonságos jármű megtervezésében. A deformáció során elnyelt energia és az annak megfelelő energiaekvivalens sebesség szintén nagy jelentőséggel bír. Ezen mennyiségek pontos meghatározása vagy mérése rendkívül bonyolult, szinte lehetetlen feladat, hiszen a deformáció (baleset) körülményeit általában nem ismerjük kellő pontossággal. Így csupán a minél pontosabb, megbízhatóbb becslési módszerek kidolgozása lehet a célunk. Az alábbiakban az ütközés során fellépő deformációs energia eloszlásának modellezésére mutatunk be egy lehetséges eljárást.

Car body deformation modelling plays a very important role in crash accident analyses, as well as in safe car body design. The determination of the energy absorbed by the deformation and the corresponding energy equivalent speed can be a key of modelling. Exact determination or measuring of these quantities is almost impossible task, because the circumstances of the deformation (accident) are usually not known exactly. So our aim is just to work out more precise and reliable estimations for modelling the changing of the energy distribution during the deformational process.

BEVEZETÉS

A balesetelemzés és ezzel összefüggésben a biztonságos járművek tervezése egyre fontosabb feladattá válik. A felmerülő problémák között az egyik legnehezebb és leginkább használható eredményeket ígérő a demonstrációs folyamat rekonstruálása. A folyamat modellezésének elméleti alapját rendszerint egy egyszerűbb rendszer klasszikus leírása adja, mely kiegészül számítógéppel támogatott numerikus megoldással is ([8]). Sajnos azonban ezek a modellek az esetek nagy részében megoldhatatlanul bonyolulttá válnak, ha egy olyan összetett valódi rendszerre próbáljuk alkalmazni, mint amilyen például egy jármű. Egy lehetséges út ezen probléma megoldásához az ún. lágy számítási módszerek (Soft Computing) alkalmazása, melyeket sikerrel alkalmaztak már pl. a deformációs energia és az EES meghatározásánál ([1], [2], [3]).

Az optimális járműtest megtervezéséhez rengeteg adatra, így aztán sok-sok töréstartományra lenne szükség ([4]). Viszont az ilyen típusú tesztek rendkívül költségesek, a nagyobb gyárak is alig néhány százat végeznek el évente. Ezeket természetesen még kiegészítik a valós töréstartományok adatain alapuló

számítógépes szimulációkkal ([5]), így a vizsgált esetek száma feltornászható néhány ezerre. Ez a szám azonban még mindig nagyon kevés, ha az utakon közlekedő járművek számát és a közlekedési balesetek számát tekintjük, ezért egyre növekvő igény jelentkezik a pontosabb, gyorsabb, alacsonyabb komplexitású modellek iránt.

A közúti balesetek vizsgálatából szerzett járműspecifikus információk felhasználhatók a jövőbeni biztonságosabb járműszerkezet tervezésében, az eredeti jármű struktúrájának és paramétereinek módosításában.

Az egyik legfontosabb ilyen jellegű információ a deformáció során elnyelt energia mennyisége és eloszlása a járműtest egyes részein, illetve ezen eloszlás változása a deformáció lefutása alatt. Bár a véges elem módszerek jó eredményeket szolgáltatnak, de valós esetben nehezen használhatóak, hiszen rengeteg paraméter ismeretét tételezik fel és az ilyen jellegű program számítási igénye is igen magas. A felvetésünk célja így olyan, a deformációs folyamat leírására alkalmas módszer kidolgozása, amely az eddigieknél hatékonyabban képes közelíteni a deformációs folyamat során elnyelt energia eloszlásának változását.



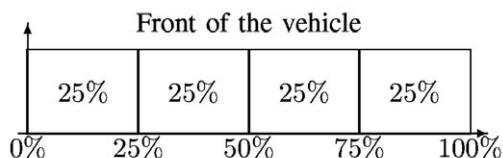
1. ábra: töréstartomány...



2. ábra: ...és a valóság

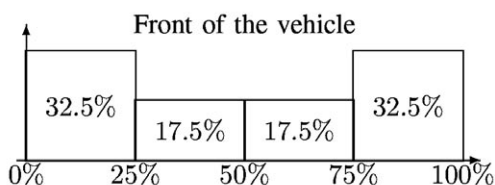
STATIKUS MODELLEK

A baleseti statisztikák vizsgálatából világosan kiderül, hogy a leggyakrabban előforduló baleset a frontális ütközés valamely formája. Ennek megfelelően a deformációt leíró modellek leginkább a járművek elejének energiaelnyelő képességére és deformációjára vonatkoznak. Az egyik legegyszerűbb eljárás, ha a pontosan rögzített tesztkörülmények között megrongálódott járművet hasonlítjuk össze hasonló típusú, de ismeretlen körülmények között roncsolódott autóval. Ekkor egy tapasztalt emberi szakértő általában jól használható becslést képes adni az ütközés kérdéses paramétereire. A humán szakértő ezen tudását természetesen mindig is szeretnék volna beépíteni a modellbe. Az első ilyen jellegű statisztikai adatokon alapuló modell K. Campbell nevéhez fűződik, majd ezt mások továbbfejlesztették. A modell alapját merev falnak történő ütközések sorozata jelentette. A kísérletek kiértékelésével Campbell arra jutott, hogy a maradandó alakváltozás a sebesség függvénye, továbbá feltételezte, hogy a deformációs energia egyenletesen oszlik el a jármű teljes szélességében.



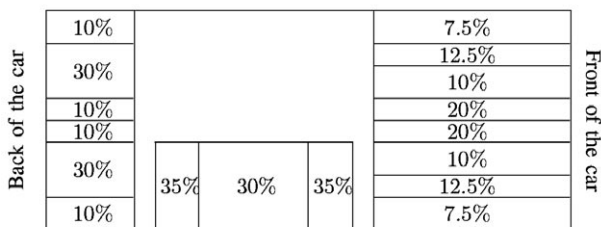
3. ábra: a Campbell-modell

Elsőként Röhlich fejlesztette tovább Campbell módszerét. A különböző mértékű átfedésekkel végrehajtott ütközési kísérletekből kapott eredmények alapján elvetette a deformációs energia egyenletes eloszlását, s így jóval pontosabb eredményeket kapott.



4. ábra: a Röhlich-modell

További fejlődést jelentett Rau, Schaper energiahálójá, ahol az egyes cellákban az energiaeloszlás százalékos értékeit szintén ütközési kísérletek alapján határozták meg.



5. ábra: a Schaper-modell

DINAMIKUS MODELL

Az előzőektől eltérően olyan modellt szeretnénk alkotni, amely a teljes deformációs folyamat során információt nyújt az elnyelt energia eloszlásáról és nem csak a végeredménnyel foglalkozik ([6], [7]). A töréstechnikából és a balesetek elemzéséből az alábbiakra lehet következtetni:

- Egy-egy cella energiaelnyelő képessége a deformációs folyamat során nem jellemezhető állandó értékkel.
- A cellák energiaelnyelő képessége erősen irányfüggő: előfordulhat, hogy egyik irányban könnyebben, míg más irányban jóval nehezebben deformálhatóak.
- Bizonyos esetekben fontos lehet a szomszédos cellák közötti energiaterjedés (nyíróerők).

A fentieknek megfelelő modell rövid leírása a következő: tekintsük a járműtest kétdimenziós derékszögű rácshálójával történő felbontását (felülnézetből, a jármű hossz tengelyével párhuzamos és arra merőleges élekkel). A felosztást az egyes részek energiaelnyelési képességét figyelembe véve tesszük meg úgy, hogy egy-egy cella közelítőleg homogén legyen. A felbontást természetesen három dimenzióban is megtehetjük, ekkor a járműtestet a felülnézeti kép mélységében is cellákra osztjuk fel.

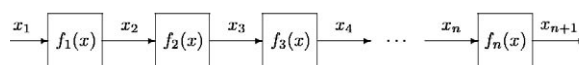
A deformációs energia modellezéséhez minden egyes cellához rendelhetünk egy-egy függvényt, amely leírja az adott rész energiaelnyelési tulajdonságát. A deformáció során a cella elnyelési képessége erősen változhat, bizonyos mennyiségű elnyelt energia után hasonló mértékű deformáció csak jóval nagyobb energiabefektetéssel érhető el, vagyis a cella tulajdonképpen telítődni kezd. Ezen jelenség leírására egy monoton csökkenő függvényt választunk: a cella a beérkező energia egyre kisebb hányadát képes elnyelni, a többi egyszerűen „átfolyik” rajta, és a szomszédos cellák bemenetét képezi. Egyszerű választás lehet egy szakaszonként lineáris vagy szigmoidszerű függvény. A pontosabb közelítés érdekében akár vehetjük néhány ilyen típusú függvény konvex kombinációját is. A cella által elnyelt energia tulajdonképpen az így definiált elnyelési függvény integráljaként adódik.

Tény, hogy a járműtest felosztásával kapott cellák energiaelnyelési tulajdonsága erősen irányfüggő: a cellát valamilyen irányban könnyű, míg egy másik (pl. az előzőre merőleges) irányban jóval nehezebb deformálni, vagyis hasonló mértékű deformáció eléréséhez jóval nagyobb bemeneti energiára van szükség. Ezért célszerűnek tűnik minden egyes cellához több, a szóba jöhető ortogonális irányoknak megfelelő függvényt definiálni. Célszerű itt a felosztásnál alkalmazott rácsháló tengelyeivel párhuzamos irányokat használni. Ezen irányok fogják szolgáltatni a ráctengelyekkel nem párhuzamos külső hatások felbontásával keletkező komponensek irányait is. Mivel ütközéskor a külső hatás mozgási energiaként jelentkezik, ezért a felbontását egyszerűen a megfelelő sebességkomponensekre bontásából származtathatjuk. „Ferde” ütközés esetén így az energiaeloszlás az egyes komponensek hatásainak összegeként értelmezhető.

SPECIÁLIS ESETEK

A közúti balesetek jelentős része a frontális ütközés valamely formája (teljes vagy részleges átfedéssel), így szükséges ezzel külön is foglalkozni.

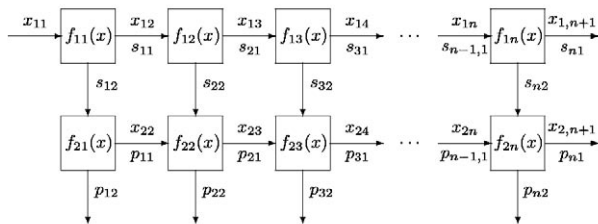
Teljesen átfedő ütközésnél a jármű teljes szélességében roncsolódik (pl. fálnak vagy másik járműnek csapódik). Ekkor az energiaterjedés folyamata leírható az egymás mellett álló cellák közötti energiaátvitel elhanyagolásával is, hiszen a deformációs energia nagy része a becsapódás irányának megfelelően az egymás mögött álló cellákon halad végig.



6. ábra: a frontális ütközés egyszerű modellje

Részlegesen átlapoló ütközés esetén (pl. fának ütközik a jármű) viszont fontos szerepet kap az egymás mellett álló cellák közötti energiaátvitel is, tulajdonképpen a külső hatás által deformált cella húzza maga után a vele szomszédosakat. Ezt a hatást a következőképpen vehetjük figyelembe: egy cella által átengedett energia

(a bejövő és az elnyelt különbsége) a vele szomszédos cellákkal való kapcsolatának szorosságát jellemző súlyok arányában oszlik el a szomszédjai között.

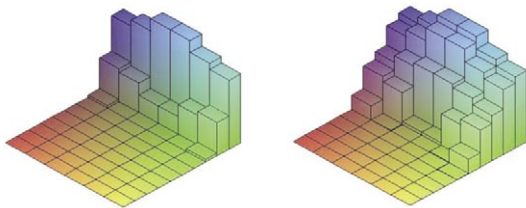


7. ábra: a részlegesen átfedő ütközés egyszerű modellje

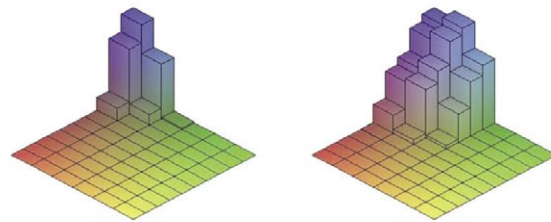
Természetesen a modellezés „jósága” az egyes cellákhoz rendelt elnyelési függvények paramétereinek és a cellák közötti kapcsolatot jellemző súlyok helyes megválasztásától függ. Ebben támaszkodhatunk a már ismert töréssztek eredményeire, digitális fotók és töréssztektről készült videofelvételek elemzésére is.

PÉLDÁK

A modell illusztrálásaként tekintsünk egy 6×10 -es rácsnál minden cellában fiktív elnyelési függvényekkel és a cellák között fiktív súlyokkal. A deformációs energia (külső hatás) növelésével jelentősen változik az elnyelt energia eloszlása mind a frontális, mind a részlegesen átfedő ütközést szimuláló esetben.



8. ábra: a frontális ütközés szimulációja



9. ábra: a részlegesen átfedő ütközés szimulációja

Irodalom

- [1] A. Rövid, A. R. Várkonyi-Kóczy, P. Várlaki, P. Michelberger: Soft computing based car body deformation and EES determination for car crash analysis, in proceedings of the instrumentation and measurement technology conference IMTC/2004, Como, Italy, 18-20 May, 2004
- [2] A. Rövid, A. R. Várkonyi-Kóczy, P. Várlaki: Intelligent methods for car deformation modeling and crash speed estimation, in proceedings of the 1st Romanian-Hungarian joint symposium on applied computational intelligence, Timisoara, Romania, May 25-26, 2004
- [3] A. R. Várkonyi-Kóczy, P. Baranyi: Soft computing based modeling of nonlinear systems, 1st Hungarian-Korean symposium on soft computing and computational intelligence, Budapest, Hungary, Oct 2-4, 2002, pp. 139–148.
- [4] H. Steffan, B.C. Geigl, A. Moser, H. Hoschopf: Comparison of 10 to 100 km/h rigid barrier impacts, paper no. 98-s3-p-12
- [5] P. Griskevicius, A. Ziliukas: The crash energy absorption of vehicles front structures, Transport vol. 18. No. 2, 2003, pp. 97-101.
- [6] I. Harmati, P. Várlaki: Estimation of energy distribution for car-body deformation, in. proc. of the 3rd International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics, March 28-30, 2007, Agadir, Morocco
- [7] I. Harmati, A. Rövid, P. Várlaki: Energy absorption modelling technique for car body deformation, in proc. of the 4th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timisoara, Romania, May 17-18., 2007, pp. 269-272.
- [8] E. Halbritter, G. Molnárka: Simulation of upsetting.in proc. of the 10th International DAAAM Symposium, Vienna University of Technology, October 21-22, 1999.

Tehetséggondozási programot indított a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont

A Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont (JRET) kutatási tevékenységével párhuzamosan, ahhoz szorosan kapcsolódóan 2006-ban indította el tehetséggondozási programját. A program célja a Széchenyi István Egyetem tehetséges, kreatív, gépész szakma iránt elhivatott hallgatóinak felkutatása, támogatása, szakmai munkába történő bevonása, ezáltal elméleti ismereteik és gyakorlati tapasztalataik bővítése, valamint a tudásközpont folyamatosan bővülő szakemberigényének kielégítése, jól képzett utánpótlás biztosítása. A tudásközpont a tehetséggondozás jegyében több módon hozzá kívánt járulni a hallgatók szakmai fejlődéséhez.

KUTATÁSI GYAKORLAT HALLGATÓK RÉSZÉRE

A központ diplomamunka-kidolgozás, tudományos diákköri munka, valamint kutatási gyakorlatok keretében egyéni feladatok megoldásával közel 12 hallgatót vont be a kutatási projektek megvalósításába. A kutatásokba az alapképzésben részt vevő diákokon túl a doktori iskola hallgatói is részt vesznek, akik az alkalmazott kutatások területén konkrét vállalati problémákon dolgozva jutnak előre tanulmányaikban.

A II. SZÉCHENYI FUTAM – ALTERNATÍV HAJTÁSÚ JÁRMŰVEK VERSENYE

2007. április 25-én immár második alkalommal került megrendezésre a győri Széchenyi István Egyetemen az alternatív hajtású járművek versenye, a Széchenyi Futam. A verseny alapkonceptiója, hogy megoldást keressünk a világon a közeljövőben súlyos problémát okozó üzemanyaghiányra. A rendezvény célja összetett: egyrészt az alternatív hajtások mind szélesebb körben való népszerűsítését vállalta magára a mérnökhallgatók, a középiskolások, a kutató- és fejlesztőközpontok, valamint a nézők és az érdeklődők körében, másrészt megfelelő teret próbál biztosítani azon fiatalok számára, akik kivitelezhető innovatív ötletekkel rendelkeznek, és elhivatottak ezek megvalósítása mellett. A verseny lehetőséget nyújt a résztvevőknek arra, hogy az elméleti oktatás során keletkező innovatív ötleteiket a gyakorlatban is megvalósíthassák. A megmérettetésen profi, illetve amatőr kategóriában kilenc csapat vett részt. A JRET az alternatív járművek versenyére történő felkészülés, a hallgatók által kitalált járművek ter-



vezésének, illetve kivitelezésének támogatására „Járd a jövő útját – a jövő járművével!” címmel hirdetett pályázatot, melyre számos színvonalas pályamunka érkezett. A tudásközpont két pályamunka kidolgozásához járult hozzá: a profi kategóriában harmadik helyezést elért „Pápmobil”, valamint a Show-car címet elnyerő „Overburn” nevet viselő jármű megépítése egyaránt a központ anyagi és technikai támogatásával valósult meg. A JRET ezeken felül egy pályázatnak technikai segítséget ajánlott fel a megvalósításhoz.

„PILLANTS VISSZA A JÖVŐBE” – ÖTLETPÁLYÁZAT

A tudásközpont a Sapu Bt.-vel közösen 2006-ban „Pillants Vissza a Jövőbe!” címmel a jövő innovatív jármű visszapillantó tükréi mint funkcióúritett mechatronikai rendszerek konstrukciós ötletpályázatot hirdetett. A pályázatban megfogalmazott ötletek mind a jármű külső, mind pedig belső visszapillantó tükréire vonatkozhattak. A javaslatok érinthették mind a tükrök elsődleges funkcióját, azaz a vezető/sofőr látómezejéből kieső tér folyamatos figyelemmel kísérhetőségének biztosítását, de vonatkozhattak speciális elhelyezkedésű karosszéria-, illetve beltéri elemekbe integrálható további értéknövelt funkciókra is. A beérkezett pályázatok elbírálását követően a nemzetközi zsűri két pályamunkát javasolt díjazásra.

GÉPÉSZMÉRNÖK HALLGATÓK ORSZÁGOS KONFERENCIÁJA

A gyakorlatorientált mérnökképzés jegyében 2007. április 22–25. között első ízben került megrendezésre a Gépészmérnök Hallgatók Országos Konferenciája. A rendezvény a győri egyetem



Practing Alapítványa, valamint a JRET támogatásával, az Egyetemi Hallgatói Önkormányzat Gépészmérnöki Hallgatói Szakbizottsága szervezésében valósult meg. A konferencia célja az országban tanuló tehetséges, kreatív és a szakma iránt elhivatott gépészmérnök hallgatók számára szakmai fejlődést, valamint kapcsolatok kiépítésének lehetőségét biztosítani, illetve ezeket a vállalati szféra innovációra, fejlesztésre való törekvéssel összefonni, és ezzel a gazdaság fejlődéséhez vezető folyamatokban közreműködni. A találkozón hét gépészképzést folytató hazai felsőoktatási intézmény – a Pannon Egyetem, a Pécsi Tudományegyetem, a Debreceni Egyetem, a Kecskeméti Főiskola, a Miskolci Egyetem, a Budapesti Műszaki Főiskola, valamint a főrendező Széchenyi István Egyetem – hallgatói vettek részt.

A konferencián, amely egyben szakmai verseny is, a hallgatók az érdekes elméleti és gyakorlati előadások mellett az ipari gyakorlatból vett gyártási, gyártástechnológiai és tervezési témákkal, feladatokkal, a vállalatoktól vett valós problémákkal is találkozhattak. A résztvevők csoportmunkában olyan feladatokat oldottak



A TUDÁSKÖZPONT JÖVŐBELI TERVEI

A tudásközpont oktatási és képzési tevékenysége 2006-ban felölelte a JRET-ben folyó kutatás és infrastruktúra-fejlesztés eredményeinek átvitelét az alap-, mester- és doktori képzésbe, valamint a vállalati továbbképzésekbe. Az év fő feladatai között szerepeltek a Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola és a JRET szakmai kapcsolatrendszerének a kidolgozása, valamint az együttműködés feltételeinek a megteremtése és a kutatási tevékenységhez kapcsolódó tantárgyak megjelenítése a képzési programban. Ezt kiegészítő tevékenység volt a hallgatók bevonása a JRET projektjeinek megoldásába diplomamunka-kidolgozás, tudományos diákköri munka vagy részfoglalkozású munkavállalás keretében, valamint az elsősorban hallgatóknak szóló rendezvények, események megrendezésének anyagi és technikai támogatása.

A tudásközpont az elkövetkező időszakban feladatuként fogalmazta meg az akkreditált és indításra engedélyezett mechatronikai mérnök mesterképzésben a korszerű mérési eljárások és műszerek megismertetését a hallgatókkal, illetve diplomamunka-ajánlatok kidolgozását. Kiemelt célunk a kutatások során keletkezett, publikálható eredmények átvitele az alapképzésbe, valamint a hallgatói tevékenység bővítése, kiegészítése még több egyéni feladattal. A tudásközpont közreműködik a gépészképzés keretében – az ipari trendek, képzési igények felmérésével, folyamatos nyomon követésével kidolgozásra kerülő – választható tantárgyak (pl. Alternatív hajtású járművek, Szellemi tulajdonvédelem – Iparjogvédelem) indításában. Fontosnak tartjuk a doktori iskolával való együttműködés további bővítését, illetve vállalati és egyetemi közös doktori témák indítását. 2007 szeptemberében PATLIB – Szabadalmi Iroda megnyitását tervezzük. A Széchenyi Futam keretében a jövőben is tervezzük a hallgatók támogatását újabb kreatív, innovatív alternatív járművek megépítésében.



meg, amelyek a hallgatók kreativitását, szakmai tudását tették próbára. A csapatokat a szervezők vegyesen, több intézményből válogatva alakították ki, ezáltal is életszerű helyzetet teremtve a problémamegoldáshoz. A versenyzőknek a találkozó utolsó napjára kellett kidolgozni és a cégek vezetői és az egyetemek oktatói előtt prezentálni az elért eredményeket, melyeket a megjelentek szakmai és megvalósíthatósági szempontból értékelték.

A versenyen megoldandó gyártási, gyártástechnológiai problémák kidolgozására a JRET is felkérést kapott. A központ által megfogalmazott feladat lényege egy széria jármű alternatív hajtású járművé történő átalakítása volt. A feladatmegoldás során belső égésű motor használatát a feladat kitalálói nem engedélyezték. A csapatnak a megfogalmazott feladat megoldására szakmai koncepciót és megfelelően alátámasztott költségvetési tervezetet kellett készítenie, melyet a hallgatók sikeresen megoldottak.

Tüzelőanyagelem-fejlesztés magyar szemmel

Dr. Faragó István

tanszékvezető egyetemi docens
ELTE, Alkalmazott Analízis
és Számítást. Tsz.

Dr. Inzelt György

egyetemi tanár, doktori iskola vezetője
ELTE, Fizikai Kémia Tsz.

Kriston Ákos

PhD hallgató
ELTE, Fizikai Kémia Tsz.

Kornyik Miklós

hallgató
ELTE

Szabó Tamás

hallgató
ELTE

A tüzelőanyag-elemek egyre népszerűbb áramforrások. Használatuk rohamosan terjed, az autóiparban is igen sikeresen alkalmazzák őket. Nemcsak fogyasztásuk, környezetkímélő üzemük fontos, hanem a villanymotor jelentette dinamizmus és vezetési élmény is az előnyei közé sorolható.

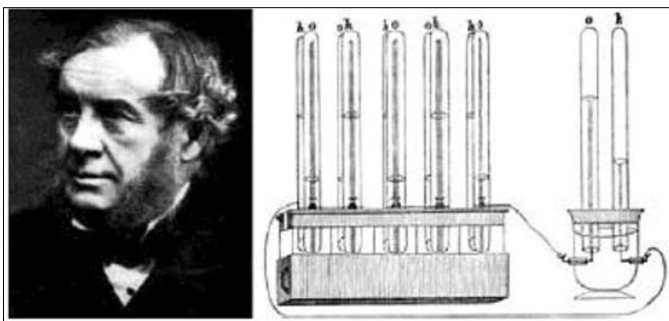
Kutatócsoportunk, a Tüzelőanyag-elem Szabályozástechnológiai Fejlesztő Központ az elektrokémiai, matematikai és informatikai tudás ötvöztetésével az ipar számára kíván költséghatékony eljárásokat kifejleszteni az tüzelőanyag-elemek és hibrid rendszerek teljesítményének, tartósságának növelésére.

Fuel cells are more and more popular power sources. Their applications are getting widespread and they have been tried successfully in the automotive industry, as well. Not only their low consumption, low carbon-dioxide footprint should be emphasized, but the electric motor's dynamism and the driving experience also belong to their advantages.

TÜZELŐANYAG-ELEMEK SZEREPE

Az utóbbi időben a globális felmelegedés és az olaj árának növekedése előtérbe helyezte a nem fosszilis energiával működő gépjárművek alkalmazását. Sajnálatosan mindez erős negatív felhanggal történt, mondván: azért kell ilyen autót használni, hogy ne szennyezzük környezetünket és ne szenvedjünk annyira az import olaj függőségtől. Ámde, aki ült már elektromos autóban (troliban), vagy hibrid hajtású autóban, az érezte azt a hihetetlen gyorsulást és dinamizmust, amelyet az elektromos motorok kínálnak számunkra. Nem véletlen, hogy először elektromos autót gyártottak, még maga Porsche is elektromos autók tervezésével kezdte pályafutását. Sajnos a teljesítmény és hatótávolság (bár energiasűrűségben mindig jobbak voltak) mindig komoly hátrányt jelentett, és ez végül az elektromos járművek visszaszorulását okozta.

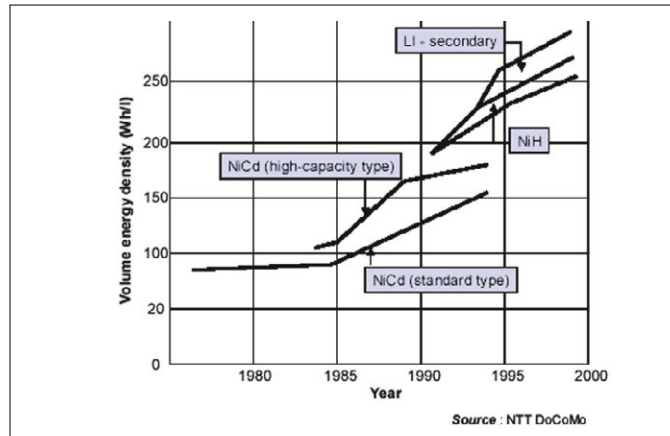
Tüzelőanyag-elemet először William Grove készített az 1830-as évek elején [1], egy véletlen felfedezés következményeként, nevezetesen a vízbontó kísérlet során észrevette, hogy a vízbontás befejeztével elektromos áram indul meg a rendszerben. Találmányát, a hidrogén oxidációjával és oxigén redukációjával működő elektromos áramforrást, egyszerűen gázelemnek nevezte. Ezt az elemet végül nem használták ebben a formában soha ipari áramtermelésre.



1. ábra: William Robert Grove portréja és a Grove-féle tüzelőanyag-cella rajza [1] – a rajzon őt „gázelem” soros kapcsolása látható, amellyel vizet bont a különálló cellában

Közel 100 évig nem történt lényeges előrehaladás, a cellák teljesítményét a robbanómotor gyorsan túlszárnyalta. Csak kevés és igazán egzotikus helyen alkalmazták őket, mint például az űrhajózásban, ahol az Apolló-programban üzemanyagcellák biztosították az elektromos energiát, illetve a bennük keletkező vizet az

űrhajósok vízellátására fordították. Mára a helyzet megváltozott. A mobiltelefonokban sikerrel alkalmazott Li-ion akkumulátorok kitölték azok alkalmazási lehetőségeit, de a piac és a fejlesztők új igényekkel léptek fel, amelyek az energia igényét tovább fokozták. Ehhez azonban új technológiát kell alkalmazni. A 2. ábrán a jelenleg használt áramforrások energiasűrűsége látható. Bár a technológia még rejt magában fejlődési lehetőségeket, de nem vetekedhet egy metanolos cella energiasűrűségével [3], amely közel 10-szeres!



2. ábra: akkumulátorrendszerek energiasűrűsége [2]

- Elméleti energiasűrűség: 5960 Wh/kg.
- Gyakorlati 35%-os hatásfokkal működő cella: 2086 Wh/kg
- Üzemanyagcellákat már ma is számos helyen alkalmaznak, mint például
- háttér energiátárolók (back-up power);
- raktárakban targoncák, ipari robotok üzemeltetésére.
- Ezek a helyeken nemcsak energiájuk és teljesítményük nagyobb, hanem már a piaci árak is megközelítik a hagyományos akkumulátoros árát. Emellett más, hasznos területen is alkalmazzák őket. Néhány példát mutat a 3. ábra.

Az ábrákon látható, hogy alkalmazásukra már ma is számos lehetőség kínálkozik, ugyanakkor további műszaki fejlesztés és főleg költségcsökkentés szükséges. Kérdés, hogy miben tud Magyarország versenyképes lenni egy olyan iparágban, amelybe pl.

csak az Egyesült Államok kormánya 1,2 milliárd dollárt investál (és még legalább ugyanannyit a magánszektor)? Kutatócsoportunk a tüzelőanyag-elemek fejlesztésének egy kis, ámde jelentős szeletével foglalkozik, nevezetesen azok szabályozásának és hatékonyabb működtetésének kérdéseivel. Célunk olyan algoritmusok kidolgozása, amely a cellák hatásfokát a nagy teljesítményű szakaszban is magasra tudja tartani. Ehhez ötvözzük az elektrokémiai, matematikai és informatikai ismereteket. Mindezt a tudást egy olyan szabályozó mikrochipbe kívánjuk integrálni, amely hasonló hatást vált ki, mint a ma széles körben népszerű chiptuning megoldások. Megoldásunk által a jövő autói nemcsak környezetbarátok lesznek, hanem felülmúlják benzin



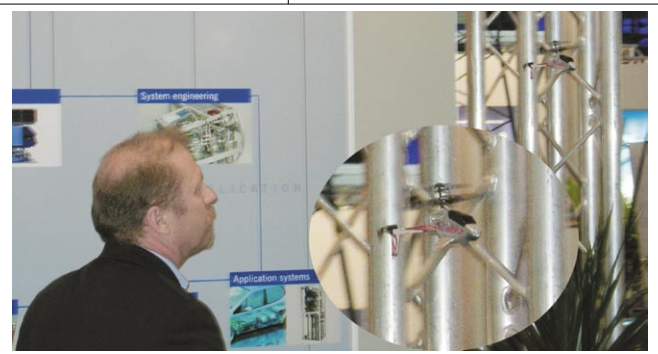
a) golfütő



b) elemilámpa 24 vagy 30 órás folyamatos működéssel – a lámpa nyele 22 liter hidrogént tud tárolni fém-hidrid tárolójában



c) robot



d) üzemanyagcellás mini helikopter működés közben

A TÜZELŐANYAG-ELEMEK MODELLJE

Mi volt az a technológia, amely a Grove-féle cella teljesítményét többszörözte és mára a gyakorlatban is használható áramforrássá tette? A válasz természetesen összetett, de az egyik legjelentősebb teljesítményfokozó a pórúdos elektródok alkalmazása volt. Az elektrokémiai reakció ugyanis két fázis határán játszódik le. Ez azt jelenti, hogy az elektród felülete és a reakció sebessége szabja meg az időegység alatt reagáló anyag mennyiségét, a cella teljesítményét. A katalizátorok a reakció aktiválási energiájának a csökkentésével érnek el hatékonyságnövekedést, míg a pórúdos elektródok az aktív felületet képesek több nagyságrenddel is megnövelni. Az ilyen elektródok olyanok, mint egy szivacs, rengeteg kis belső üreggel, ezáltal óriási aktív felülettel rendelkeznek, ahol a hidrogén oxidációja vagy az oxigén redukciója lejátszódhat. A pórúdos elektród sématis felépítését mutatja a 4. ábra. A szivacs mátrixában elektron, míg az elektrolit fázisában ionáram van. A két fázis között az elektrokémiai reakció játszódik a töltésneutralitás makroszkopikus megtartásával. Erre a rendszerre az alábbi differenciál egyenletrendszert írhatjuk fel Ong és Newman alapján [4]:

$$i_1 = -\sigma_{eff} \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \quad (1)$$

Ugyanezen megfontolás alapján az elektrolitban a hidrogénion vezetésére az

$$i_2 = -k_{eff} \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \quad (2)$$

összefüggés érvényes.

Az elektron neutralitása miatt az teljes áram $i_1 + i_2$ divergenciája zérus, azaz

$$-\frac{\partial i_1}{\partial x} = \frac{\partial i_2}{\partial x} \quad (3)$$

A továbbiakban az elektrokémiai reakciót és a kettős rétegkapacitást feltételezve, a (2) képletbe behelyettesítve a

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{eff} \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) = a \cdot C_{dl} \frac{\partial (\phi_1 - \phi_2)}{\partial t} + a \cdot i_0 \exp \left(\alpha \frac{F}{RT} (\phi_1 - \phi_2) \right) \quad (4)$$

összefüggést nyerjük. Bevezetve a

$$\eta := \phi_1 - \phi_2 \quad (5)$$

függvényt, (4) alapján a

$$a \cdot C_{dl} \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{eff} \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right) - a \cdot i_0 \exp \left(\alpha \frac{F}{RT} \eta \right) \quad (6)$$

egyenletet kapjuk.

Kezdetben a rendszeren nem folyik áram, ezért

$$\phi_1(x, 0) = \phi_2(x, 0) \quad (7)$$

azaz az új függvényre a

$$\eta(x, 0) = 0, \quad x \in [0, L] \quad (8)$$

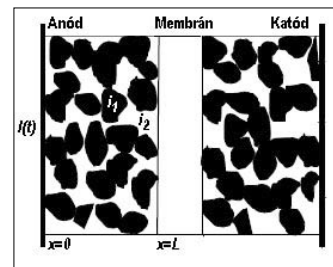
kezdeti feltételt kapjuk. A cella kapcsain mérhető elektromos áram, $I(t)$ a cella membrán részéhez eljutva teljes egészében ionárammá alakul át, ezért a peremfeltételek ebből közvetlenül származtathatók:

$$i_1(0, t) = I(t) \quad (10)$$

$$i_2(0, t) = 0$$

$$i_1(L, t) = 0 \quad (11)$$

$$i_2(L, t) = I(t)$$



4. ábra: az üzemanyagcella katalizátor és membrán rétegének sématis rajza

Az idő és helyváltozó

$$\tau := \frac{t}{a \cdot C_{dl} \left(\frac{1}{k_{eff}} + \frac{1}{\sigma_{eff}} \right) L^2} = \frac{t}{p} \quad (12)$$

$$X := \frac{x}{L} \quad (13)$$

transzformációjával, illetve a

$$v^2 := \frac{p \alpha F}{C_{dl} RT} i_0 \equiv a \left(\frac{1}{k_{eff}} + \frac{1}{\sigma_{eff}} \right) L^2 \frac{\alpha F}{RT} i_0 \equiv \frac{\alpha F}{RT} a \cdot i_0 \left(\frac{1}{k_{eff}} + \frac{1}{\sigma_{eff}} \right) \quad (14)$$

jelöléssel a feladat átírható egyszerűbb alakra. Az egyenlet

$$\frac{\partial u}{\partial \tau}(X, \tau) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(X, \tau) - v^2 \exp(u(X, \tau)) \quad (15)$$

$\tau > 0, x \in [0, 1]$

alakú, míg a kezdeti és peremfeltételek a transzformáció után:

$$u(X, 0) := U(LX, 0) = 0 \quad (16)$$

illetve

$$\frac{\partial u}{\partial X}(0, \tau) = L \frac{\partial U}{\partial x}(0, \tau) = -L \frac{\alpha F}{\sigma_{eff} RT} I(p\tau) \quad (17)$$

$$\frac{\partial u}{\partial X}(L, \tau) = L \frac{\partial U}{\partial x}(L, \tau) = L \frac{\alpha F}{k_{eff} RT} I(p\tau) \quad (18)$$

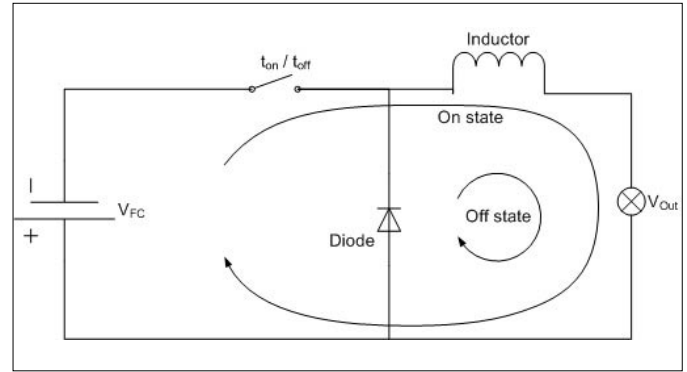
alakot öltik. A (16)–(18) parabolikus parciális differenciálegyenletet numerikusan megoldva jutunk a cellában a potenciál és túlfeszültség, illetve a reakciósebesség eloszlásához.

Az 5. ábra jól szemlélteti, hogy a reakció a pórusos elektródban nem egyenletesen játszódik le. Tulajdonképpen a két fázis veze-

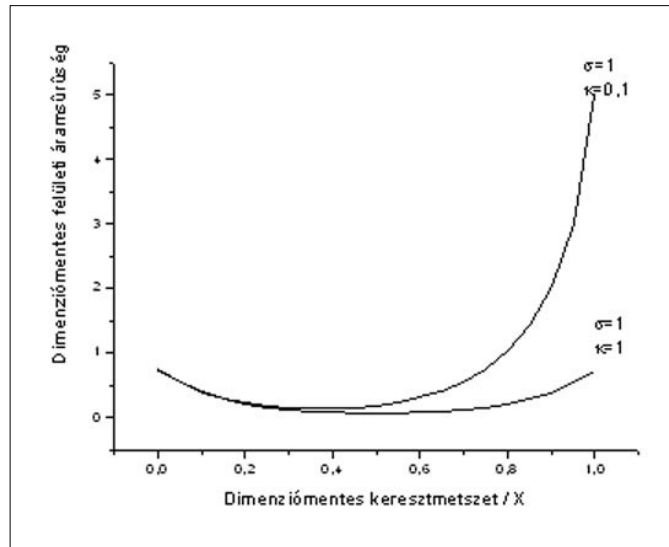
ionvezető fázis vezetőképessége tizede a mátrixénak), a reakció a membránhoz közelebbi oldalon játszódik le. Szemléletesen az áram a kisebb ellenállású fázis felé törekszik, így az elektrokémiai reakció is ennek megfelelően játszódik le.

AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A gyakorlatban természetesen nem tudjuk mérni az elektródon belül lejátszódó potenciál vagy áramsűrűség eloszlását. Ugyanakkor a cella kapcsain átfolyó áram és feszültség időbeli fluktuációja egyaránt mérhető. Ez a fluktuáció lehetőséget teremt az előzőekben bemutatott elmélet gyakorlati alkalmazására, nevezetesen, hogy valós időben kövessük nyomon a cellában bekövetkező nemkívánatos jelenségek kialakulását és még időben el tudjuk őket hátrítani, vagy kiküszöbölni. Mivel az üzemanyagcellák feszültsége legtöbb esetben nem felel meg a gyakorlati alkalmazásoknak, ezért azokat konvertálják. A legegyszerűbb ilyen eszköz látható a 6. ábrán. A kívánt feszültség a $t_{on} / (t_{on} + t_{off})$ arányától függ, miközben a kapcsoló ki-be kapcsolja az áramkört.



6. ábra: feszültségátalakító eszköz üzemanyagcellához



5. ábra: a reakciósebesség eloszlása az elektród hosszirányú keresztmetszetében

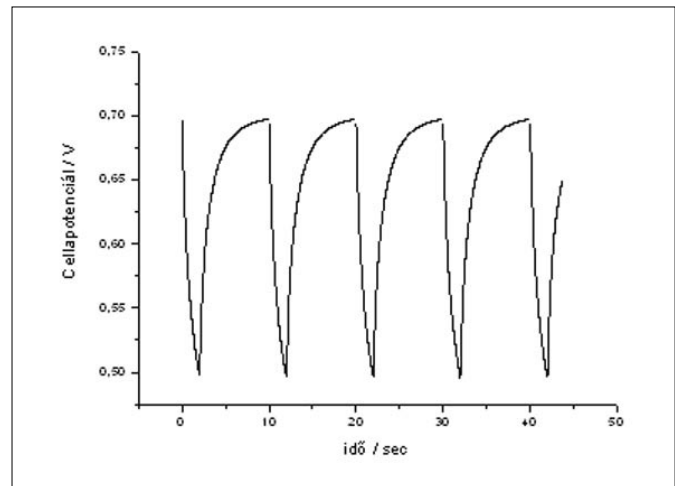
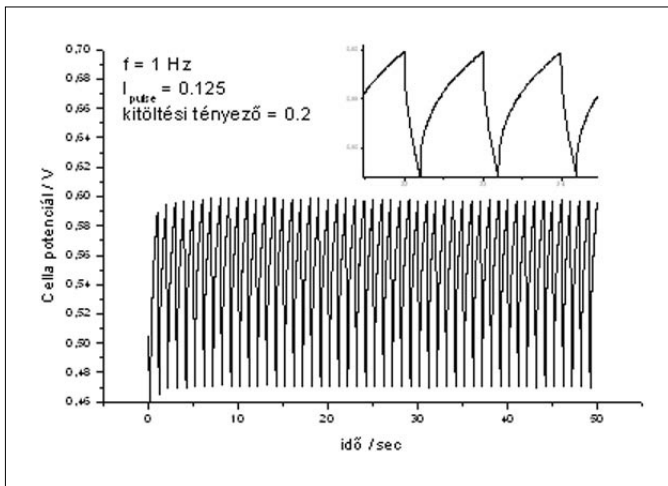
tőkéességének ($\sigma_{eff} / \kappa_{eff}$) az aránya határozza meg a reakció térbeli eloszlását. Abban az esetben, ha a fázisok vezetőképessége megegyezik, a reakció eloszlása szimmetrikus lesz. Amikor a vezetőképességben eltérések mutatkoznak (jelen esetben az

Eközben az üzemanyagcella feszültsége is folyamatosan változik relaxációk és impulzusok sorozatából. Természetesen ezen állapotokat a modell alapján is ki lehet számítani, amely a 7. ábrán látható a gyakorlatban mért eredményekkel összhangban.

A 7. ábrán látható, hogy bár kvalitatív és kvantitatív módon egyaránt számos egyezés tapasztalható, mindemellett jelentős különbségek is felfedezhetőek a feszültségprofilokban. Ezek a különbségek jelenleg oda vezetnek, hogy gyakorlatban nem tudjuk valós időben megfelelő relevanciával kiszámítani a cella belső paramétereit, mint a fázisok ellenállása vagy a reakció cseréáram-sűrűsége. További kutatások szükségesek a rendszer nemlineáris csatlásainak a felderítésére, amely új mérés-technika kifejlesztését is igényli. Kutatócsoportunk rendelkezik az üzemanyagcella-vizsgálatokhoz szükséges berendezésekkel, illetve az elektrokémiai folyamatok jobb megértését lehetővé tevő vizsgálóberendezésekkel, mint elektrokémiai impedancia spektroszkóp stb. A kifejlesztendő mérési és szabályozási eljárás, az üzemanyagcellák nemlineáris viselkedésének és szabályozásának megértése pedig hasonló tartalékokkal rendelkezik, mint a katalizátorkutatások. Ez a terület azonban mély matematikai, elektrokémiai és informatikai ismereteket igényel, amelyben hazánk és kutatócsoportunk is versenyképes lehet az egyébként rendkívül kiélezett versenyben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKTH „Egyéni 5LET” pályázatának finanszírozásával valósult meg. További információ: www.fuelcell.hu.



7. ábra: (a) a mért és a (b) szimuláció során nyert adatok ábrázolása

Irodalom

- [1] Dr. Inzelt György: Régi-új áramforrások: Tüzelőanyag-elemek Fizikai Szemle 2004/8. 252.o
- [2] European Comission Directorate General Information Society: Digital content for mobile services, 2002
- [3] U.S. Department of Energy: Fuel Cells for Portable Power Application, 2002
- [4] Ong, J. Newman, J. Electrochem. Soc., 146, 4360 (1999)

Van új a nap alatt...

Dr. Tóth-Nagy Csaba
tudományos munkatárs
Széchenyi István Egyetem
Közúti és Vasúti járművek
Tanszék

A cikk a stuttgarti Automotive Testing Expo Europe 2007 alkalmával bemutatott újszerű motorkoncepciókat, motorelrendezéseket és működési elveket mutatja be. A 2007. május 8–10. között megrendezésre került expó kiállítói a rendezvény keretében a látogatók elé tárhatták legújabb – termékminőség, megbízhatóság, tartósság és biztonság növelése érdekében végzett – technológiai, szolgáltatási és eszközfejlesztéseiket. A kiállítás – számos érdekes szakterület mellett – olyan tesztesési, értékelési és minőségi gyártási technológiák bemutatásának adott teret, mint például a tesztszimulációk, motor/emisszió tesztelés, járműdinamikai tesztek, anyagvizsgálatok, aerodinamikus és szélcsatornatesztek, mechanikai és elektronikus rendszertesztek, valamint járműszimulációk. A rendezvény nemzetközi jellegét jól mutatja, hogy a látogatók közel 61 országból érkeztek.

The article presents the novel internal combustion engine concepts, motor structures and operational principles presented at Automotive Testing Expo Europe in Stuttgart. Visitors to the Expo organized between 8-10 Mai 2007 were able to see exhibitors displaying the latest technologies, services and tools that are available to improve product quality, reliability, durability, and safety. Among a lot of interesting fields the Expo gave space for the demonstration of test, evaluation and quality engineering technologies including for example test simulation, engine/emissions testing, vehicle dynamics testing, materials testing, aerodynamic and wind tunnel testing, mechanical and electrical system testing and vehicle simulation. Demonstrating the true international draw of the event, visitors came from some 61 countries worldwide.

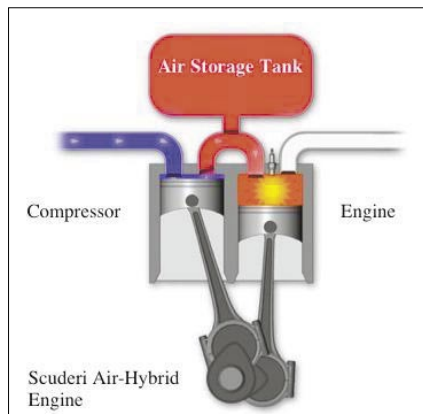
„A belső égésű motorok elérték a fejlődésük csúcspontját, a világ-megváltó találmányok kora lejárt” – hangzik a sokszor ismétlődő vélemény a szakemberek szájából, akik a jövőt a hibrid járművek, villamos autók vagy az üzemanyagcellás hajtás világában látják beteljesedni. Ennek ellenére, a fejlesztőmérnökök és a feltalálók nem hagyták magára a belső égésű motorok témakörét, továbbra is szabadon engedett fantáziával és szünni nem akaró lelkesedéssel próbálnak új motorelrendezéseket, koncepciókat, működési elveket kitalálni. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint a Stuttgart Motor Show alkalmával bemutatott eredeti motorkonstrukciók, amelyekből, a teljesség igénye nélkül, szemezgettünk.

A Stuttgart Motor Show egyik legnagyobb motoros standján az USA Massachusetts államából érkezett Scuderi Group mutatta be a motorjáról készült animációs filmet. A Scuderi lég-hibrid motor egy érdekes példája az osztott ütemű motornak. A bal oldali henger a kompresszor, ami a szívást és a sűrítést végzi, a jobb oldali henger a munkahenger (a motor), ami a szikragyújtás után a terjeszkedést és a kipufogást végzi, így minden fordulatra jut egy munkaütem. A kettő

közötti kapcsolatot egy átfolyócsatorna biztosítja, ami az elősűrített levegőt szállítja a bal oldali hengerből a jobb oldali hengerbe. Pneumatikus akkumulátor csatlakozik az átfolyócsatornához, ami normál üzemben a kompresszor által szállított többletlevegőt ugyanúgy eltárolja, mint azt a levegőt, amit a motorfékként használt szivattyú a tar-

tályba pumpál a fékezések során. A légtartály energiatárolóként működik, amíg elegendő nyomás van a tartályban, a szivattyú nem dolgozik, ezzel csökkentve a szívási és sűrítés során fellépő veszteségeket. Tervezőkkel nem sikerült beszélni, de a marketingesek tüzelőanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás, valamint az előállítási költségek csökkenéséről beszéltek, a cég által szponzorált uzsonna és frissítők elfogyasztása során.

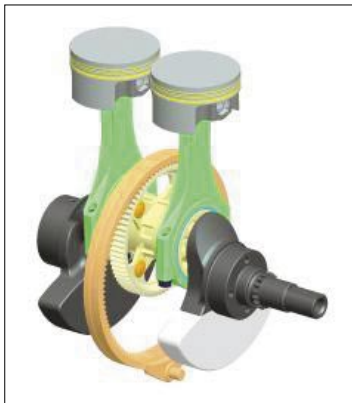
Egy pici standon bukkantunk a finn Aumet Oy cég 4/2 ütemű dízelmotorjára, amit Z-engine névre kereszteltek. Működése hasonló az előzőekben bemutatott lég-hibrid motorhoz. Itt a légsűrítés két lépcsőben történik, egy turbófeltöltő és az oldalt található dugattyús szivattyú segítségével. A Z-engine szabályozott HCCI (homogén töltés, kompresszió gyújtás) üzemmódban dolgozik. Ennek a motornak már prototípusa is készült, de mérési eredményeket még nem publikáltak az előre megjósolt korom, szénhidrogének, szén-monoxid, szén-dioxid és nitrogén-oxidok csökkenéséről. A legnépszerűbb a holland Gomecsys cég kiállítása volt, a tv-kamerák, riporterek és a fényképezőgépekkel felszerelt résztvevők szünet nélkül látogatták a standjukat. Nem csoda, hisz a már tesztelt és felmetszett két- és négyhengeres motorjuk mellett bemutattak egy egyszerű modellt is, ami érthetővé tette a koncepciót. A megértést az is segítette, hogy a fejlesztőmérnökök maguk



1. ábra: a Scuderi-motor



2. ábra: a Z-motor

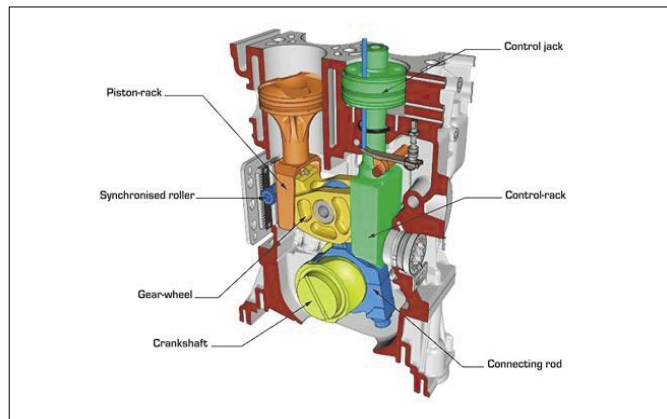


3. ábra: a Go-motor

mutatták be a motort, és minden kérdésünkre kész volt a kompetens válaszuk. A Go-Engine egy változtatható löketű, négyütemű, szikrával gyújtó motor. Itt a kéthengeres változatról mutatunk be egy képet. A két henger egyesített forgattyús csapjára egy excentrikus persely van illesztve, amit egy, a perselyhez szerelt fogaskerék gördít le a házban elhelyezett belső fogazású fogaskoszorún. A fogaskerék és a fogaskoszorú fogviszonya 1:1,5, ami úgy fordítja el az excentrikus perselyt, hogy a négyütemű

motor lökete minden ütemben különböző. A motor lökethossza a fogaskoszorú 0–90 fok közötti elforgatásával változik. Ezzel a Go-Engine egy relatíve egyszerű megoldást nyújt az Atkinson-ciklus nyújtott munkaütemére, a belső kipufogógáz-visszaforgatásra és a változtatható kompresszióviszonyra.

A francia MSE-5 motor standján is sok volt az érdeklődő. Nem csoda, hiszen egy újszerű változtatható kompresszióviszonyú motor került terítékre. A motor hajtókarjának szeme nem a dugattyúhoz, hanem egy kétkarú emelőként szolgáló fogaskerékhez kapcsolódik. A fogaskerék bal oldala merev dugattyúrúdhoz csatlakozik, a jobb oldala pedig egy hidraulikus munkahenger dugattyúrúdjához, így a hidraulikus munkahenger dugattyúhelyzetének állításával szabályozható a hengerben a kompresszióviszony. A motor érdekessége, hogy a kompresszióviszony minden hengerben külön állítható. A motor körül mormolt varázsigék: kisebb méret, alacsonyabb fordulatszám, változtatható kompresszió és expanzióviszony, szabályozott öngyulladás, stratified töltés, multi-fuel és még sok más ma népszerű és divatos koncepció. A fejlesztőmérnökökkel folytatott beszélgetés során azonban fény derült arra a nemkívánatos tényre, hogy a motorban minden teljesítmény a fogaskerék evolvensén gördül keresztül, ami számottevő teljesítményvesztéssel jár. A jövőbeni fejlesztések ezen veszteségek csökkentésére koncentrálnak majd.



4. ábra: az MCE-5 motor

A Stuttgart Motor Show standjait látogatva, a motorfejlesztésben megfigyelhetők a következő főbb irányvonalak: hengertérfogat-csökkentés, turbófeltöltés és változtatható kompresszióviszony, HCCI, s ezek mind a károsanyag-kibocsátás és a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentését tartják szem előtt.

Néhány ezek az új vagy újra felkapott motorkoncepciók közül háttérmentes lehetőségeket rejthet magában, mások viszont nagyszerű példák lehetnek arra, hogy a tervezőpapír mindent kibír, és nem változtatott ezen a számítógépek világa sem. Az ember azt hinné, hogy a számítástechnikai kapacitást arra használhatnánk, hogy egy újszerű koncepciót szimuláljunk, ezzel szemben néha az az érzésem, hogy az animációk csak arra szolgálnak, hogy hihetőbbé tegyék a légből kapott ötleteket, és meggyőzzék a kockázati tőkét arról, hogy az adott ötlet jó befektetés. Természetesen a működő prototípusok már több eredménnyel kecsegtetnek, de az új ötletek tömeggyártásba történő bekerüléséig még sok víznek kell lefolyni a Stuttgart melletti Neckar folyón.

Irodalom

- [1] www.scuderigroup.com/technology/the_technology.html
- [2] www.aumet.fi/docs/F2004F047-Paper.pdf
- [3] www.gomecsys.com
- [4] www.mce-5.com/mce-5_technology/index.htm

CAD–FEM integráció és alkalmazása járműfőegységek fejlesztésére

Horváth Zoltán

Széchenyi István Egyetem
Matematika és Számítástudomány
Tanszék

A cikkben bemutatásra kerül a Széchenyi István Egyetem matematika és számítástudomány tanszékén és Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontjában kifejlesztett, automatizált optimalizációt lehetővé tevő számítógépes szimulációs rendszer, melybe integrálták a járműipari gyártmányfejlesztés és a matematikai optimalizálás több szoftverét. Alkalmazásként egy dízelmotor-fejlesztési feladat megoldásának eredményeit is közöljük.

In the article a computerized simulation system, developed in the Department of Mathematics and Computer Science of Széchenyi István University as well as the Regional University Knowledge Centre for Vehicle Industry, will be introduced. The system in which more software of vehicle industrial product development and mathematical optimization were integrated, also makes automated optimization possible. As a pilot application we announce the results of the conclusion of a Diesel-motor development project.

1. BEVEZETÉS: A HAGYOMÁNYOS MÉRNÖKI GYÁRTMÁNY- FEJLESZTÉSTŐL A SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓKIG

A hagyományosnak mondható, napjainkig széles körben elterjedt gépészmérnöki, benne járműfőegységek fejlesztésének tipikus menete a következőképpen foglalható össze:

1. Modellalkotás a fejlesztendő alkatrészről;
2. A modell elemzése (pl. áramlástani, rugalmasságtani);
3. Döntés az elemzés alapján: az alkatrész jó-e, vagy folytassuk az 1. lépéstől.

Fenti sémában a modell lehet fizikailag megépített, esetleg egyszerűsített modell és így a hozzá tartozó elemzés mérések sorozatának elvégzését jelenti. Erre példának említhetjük egy gépkocsi aerodinamikai tulajdonságainak vizsgálata esetén a gépkocsi modelljének, makettjének elkészítését és a maketten végzett szélcsatornás méréseket.

A modell fizikai megépítése és rajta mérések sorozatának végzése sokszor nagyon költséges és időigényes. Napjainkban a számítógépek teljesítménye és a rajtuk futó elemző programok kidolgozottsága – ipari és egyetemi kutatóintézeteknek is megfizethető áron – elérnek egy olyan magas szintet, hogy a fenti fejlesztés lépései sok esetben számítógépes szimulációkkal kiválthatók. Ezzel megtakarítható a modell fizikai megépítése és a mérések költségének és a számítógépes fejlesztési lépések költségének különbsége, amely fejlesztési feladatok széles osztályánál jelentősen pozitív. Nem elhanyagolható előnye a számítógépes szimulációknak az sem, hogy az eredmények értékelése során rengeteg olyan információhoz is jutunk, amely fizikai modellezéssel nem érhető el. Például dízelmotor modellezésénél a nyomás, hőmérséklet, keveredő anyagok koncentrációja, térbeli eloszlása, tetszőleges pontban felvett értéke megkapható – méréssel ez legfeljebb néhány pontban végezhető el, ha egyáltalán lehetséges. Természetesen meg kell győződnünk a számítógépes szimuláció helyességéről; ehhez általában néhány tesztesetre elvégezzük a számítást is és a fizikai modellezést és méréseket is; ezen eredmények lényegi egyezősége esetén tekintjük csak a szimulációt érvényesnek és a belőle levont következtetéseket figyelembe veendőnek.

2. A SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓKKAL VÉGZETT FEJLESZTÉS LÉPÉSEI

Tekintsük át a fent bemutatott fejlesztési séma részlépéseit és azok jellemző vonásait, amikor azokat számítógépes szimulációkkal végezzük! A részlépéseket illusztráló ábrákat egy dízelmotor szívócsatornájának fejlesztési menetéből vettük (lásd [1],[2]).

2. a) Modellalkotás

A mai gépészmérnöki modellalkotás és -fejlesztés alapnyelve a CAD („Computer Aided Design”). Ez olyan számítógépes testmodellező rendszerek összességét jelenti, amelyek lehetővé teszik a modell egyszerűbb alakzatokból és eljárásokból való megkonstruálását, az összeállított test térbeli megjelenítését, átméretezését. Attól függően, hogy a térbeli test egészét vagy csak felületét modellezzük, beszélünk tömör test („solid”), ill. felület („surface”) modellező CAD-eszközökről. A gépészetben előzőre tipikus példa a PTC Pro/ENGINEER (lásd [3]), ill. utóbbira a Dassault Systems Catia (lásd [4]) nevű terméke.

Ezek a rendszerek paraméteresek abban az értelemben, hogy a testmodellben szereplő méretek (pl. szögek, távolságok) átírhatók, és ezután a program elkészíti az új méreteknek megfelelő térbeli alakzat modelljét – amennyiben az új értékekkel értelmes alakzatot kapunk. Az átméretezés leggyakrabban a számítógép manuális használatával történik, pl. a megfelelő paramétert egérrel kiválasztjuk és a megfelelő számértéket átírjuk, majd frissítjük a modellt. Az átméretezés történhet fájlbeli adatokból is, pl. Pro/ENGINEER rendszer alkalmazása esetén az ún. családtáblák segítségével, melyek használatával – ez is rendszerint tevőleges emberi közreműködéssel történik – egyszerre több paraméter értékét is módosíthatjuk. Megemlítjük, hogy a paraméteres 3D tervezőeszközök bevezetésükkor jelentős gyorsítást okoztak a gyártmányfejlesztésben, hiszen alkalmazásukkal lehetővé vált az, hogy lényegében egy, általában igen időigényes modellezés elvégzése után szinte külön időráfordítás nélkül hozhatjuk létre a fejlesztési folyamat különböző próbadarabjait.

Érdemes megjegyezni azt is, hogy a 3D CAD-modellek nemcsak a fejlesztés lépései során hasznosak, hanem a végső alkatrész, ill. ennek mintadarabjának gyártása is ennek alapján, gyakran ebből mint input adatból teljesen automatikusan történik (lásd pl. 3D-printing).



1. ábra: dízelmotor hengerének és szívócsatornájának Pro/E modellje

2. b) A modell elemzése

A létrejött CAD-modellek analízisének háttérében tipikusan egy, a modellezett jelenségtől (pl. gázáramlás, rugalmas alakváltozás) függő parciális differenciál- vagy integrálegyenletrendszer megoldása áll. Ezt valamilyen véges elem módszer („FEM” – „Finite Element Method”) vagy más matematikai módszer (pl. véges térfogatok módszere) felhasználásán alapuló program végzi. A mérnöki gyakorlatban ezt az elemzést – a háttérben alkalmazott matematikai módszer típusától függetlenül – FEM-analízisnek nevezik.

A FEM-analízis rendszerint három elválaszthatatlan lépésből áll: előkészítés („preprocessing”), a tényleges elemzés, utókezelés („post processing”). Ezek a lépések önmagukban is bonyolultak, alkalmazásuk nagy tapasztalatot igényel.

Az analízis előkészítési fázisának első lényeges feladata a megkapott CAD-modell tisztázása, az esetlegesen meglévő hibák, pontatlanságok – amelyek a CAD-modellezés során esetleg gondot nem okoztak – tisztázása. Sokszor egyszerűsíteni kell a modellt pl. nagyon közeli élek összevonásával, hogy a következő

lépést, a modell hálózását („meshing”) hatékonyan el lehessen végezni.

Az előkészítés legnagyobb része a modell hálózása. Erre azért van szükség, mert – amint fentebb írtuk – az analízis lényege egy parciális differenciál- vagy integrálegyenletrendszer megoldása; ezek közelítő megoldását állítják elő a FEM-programok úgy, hogy a vizsgált modellnek megfelelő térrészt kisebb elemekre, cellákra bontják, amelyeken külön-külön közelítve a megoldást kielégítő pontosságú eredményt kapunk. A hálózás nagy körültekintést igényel, mivel minősége nagy mértékben befolyásolja az analízishez

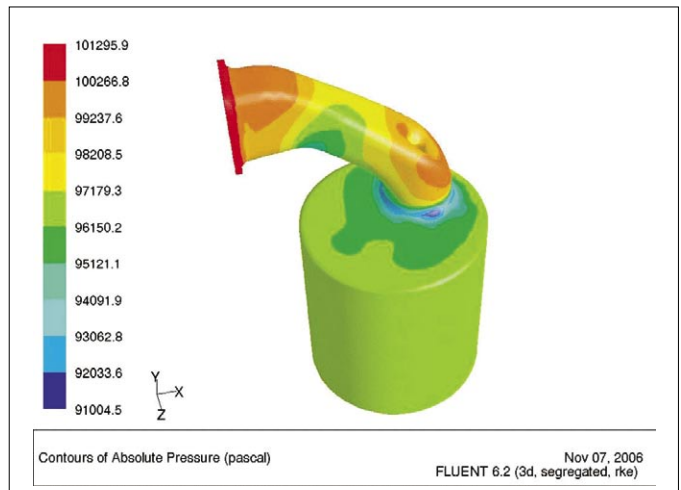
szükséges időt és a pontosságot. A feladat típusától függően szükséges a vizsgálat alá tartozó térrész felületének, illetve az általa határolt térrész térfogatának a hálózása. Például, lemezalakítási feladatokhoz elég a felületi hálózás, míg a gázáramlási feladatok megoldásához (egy felületi hálóból kiindulva) térfogati hálózás is szükséges. A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy erős kutatási tevékenység folyik olyan közelítő módszerek kifejlesztésére, amelyek hálózást nem igényelnek („meshless methods”), de ezek az ipari gyakorlatba lényegében még nem mentek át.

Az utókezelés során előállítjuk az analízis során előállított alapparaméterekből (pl. gázáramlási feladat esetén a nyomásból, lendületből és összenergiából) a döntéshozzá szükséges mennyiségeket, az ún. célfüggvény értékeket (pl. kilépő felületen mért tömegáram és adott tengelyre vonatkozó perdület) kiszámítását, grafikus megjelenítését.

Érdemes megjegyezni, hogy az elemzés különböző fázisait (előkészítést, számítást, utókezelést) általában különböző szoftverekkel végzik.

2. c) Döntés

Az analízis során kapott célfüggvény-értékekből általában a mérnöki tapasztalat figyelembevételével születik döntés arról, hogy a jelenlegi CAD-modell elfogadható-e a fejlesztési elvárásoknak. Ha nem, akkor a célfüggvény-értékekből és a számítási segédred-



3. ábra: számítási eredmények megjelenítése

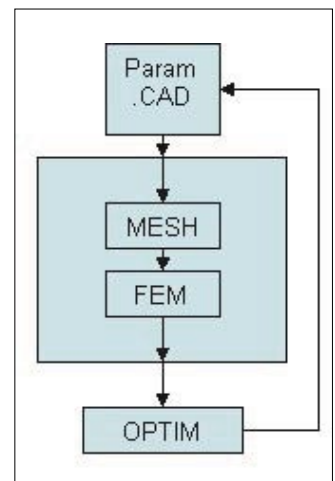
ményekből (pl. nyomásgradiens-mezőből) megfogalmazható az aktuális modell módosítása és folytatódik a fejlesztési eljárás.

3. AZ INTEGRÁLT CAD-FEM RENDSZER BEMUTATÁSA

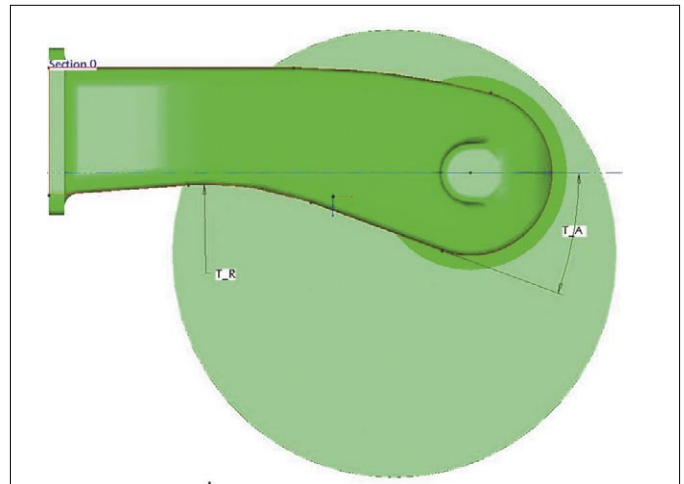
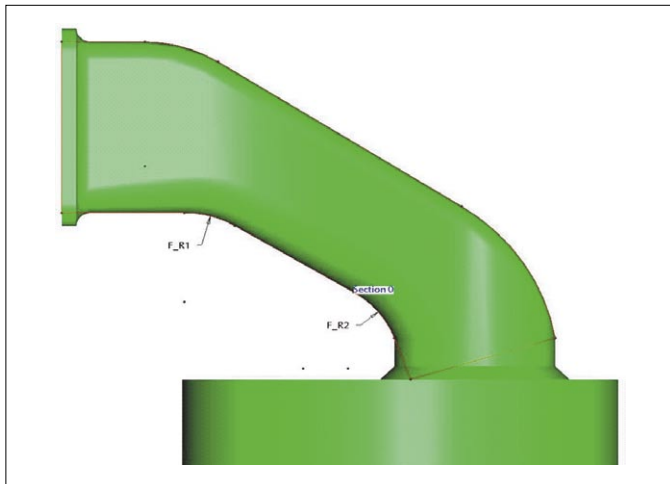
A 2. fejezetben bemutatott, számítógépes szimulációkon alapuló fejlesztés nagyobb részlépéseit, így a CAD-modellezést, a hálózást, a számítást, az utókezelést és a döntést általában a fejlesztő csoport különböző résztvevői, esetenként külön osztályai végzik, interaktívan megoldva a részfeladatokat. Ez mindenképpen gyakori adatátadással és emberi munkaórákkal jár. Ez erősen korlátozza a tervezésre fordítható, rögzített idő alatt elvégezhető módosítások számát, így behatárolja az elérhető legjobb konstrukció mértékét.

Jelentősen megnöveli az adott tervezési idő alatt elvégezhető módosítások számát az a szerző és munkatársai által kifejlesztett integrált rendszer, amely a cikkben vázolt fejlesztési ciklust automatizáltan, futás közbeni emberi közreműködést nem igényelve hajtja végre (lásd még [1],[2]). Lényege, hogy a fejlesztési ciklus 2. fejezetben leírt komponenseinek egymás után adódó részfeladatait összehangoltuk: minden megelőző lépés kimenetét a rákövetkező lépés bemenetének formátumára hoztuk. Így lehetővé vált egy automatizáltan végrehajtható algoritmus megkonstruálása, melynek sémája az alábbi ábrán látható.

Látható ebből a sémából, hogy döntési eljárásunkat egy optimalizálási feladatot megoldó algoritmusként fogtuk fel. Ebben az optimalizálásban a tervezési változók („design variables”) azok a paraméterei a CAD-modellnek, amelyeket a fejlesztési eljárás során változtathatunk; egy példát lásd a következő ábrán. Célfüggvényeink az analízis, ill. az utófeldolgozó rendszer által szolgáltatott mennyiségek által adóttak (ezt számítja ki az előző ábrán bejelölt középső, nagy blokk: MESH+FEM). Mivel általában semmi struktúrát nem tételhetünk fel a rendszerről, a feladatot mint globális



4. ábra: az integrált CAD-FEM rendszer



5. és 6. ábra: CAD-modell paraméterei mint a globális optimalizálási feladat tervezési változói

optimalizálási (GO) feladatot tekintjük; ezek elméletéről és gyakorlati alkalmazásairól lásd pl. [9]-et.

Ezt a rendszert – jelenleg – áramlástanai analízist igénylő feladatok megoldására dolgoztuk ki minden részletében. Ebben az egyes részfeladatok megoldására az alábbi szoftvereket használtuk, azaz rendszerünk az alábbi szoftvereket integrálja:

- CAD-modellezés: Pro/ENGINEER, Catia V5R17 (lásd [3], ill. [4])
- Felületi hálózás: HyperMesh 8.0 (lásd [5])
- Térfogati hálózás: TGrid 4.0 (lásd [6])
- Áramlástanai analízis: Fluent 6.3 (lásd [7])
- Optimalizálás: Lipschitz Global Optimizer (lásd [8])

Megjegyezzük, hogy bizonyos optimalizálási feladatok megoldására néhány mérnöki rendszer belülről is lehetőséget nyújt. Így például a Pro/E optimalizálni tudja a CAD-modellben számítható alapváltozókat; ez azonban csak néhány geometriai mennyiségre tehető meg. További példákat lásd [2]-ben.

4. EGY IPARI ALKALMAZÁS

A cikk előző fejezeteiben ismertetett rendszer ipari alkalmazásai közül ismertetünk egyet. Ebben a feladat egy létező, korábban ad hoc módon, kézzel optimalizált szívócsatorna optimalizálása. A szívócsatorna geometriáját a 2. és 3. fejezetben lévő ábrákon bemutattuk. Ez egy ún. „no-swirl port”, azaz nem kell figyelemmel lenni a tervezésnél a beszívott levegő perdületére (amely a keverékképződésben fontos szerepet játszik), csak az egy ciklus alatt beszívott friss levegő mennyiségét kell maximalizálni. Ezt a mérnöki gyakorlatban szokásos módszer szerint a következőképpen egyszerűsítik: adott állandó nyomáskülönbséget (a mi példánkban ez –5000 Pa a henger alsó síkjában, ahol a levegő szabadon áramolhat a hengerből ki-be) hoznak létre a be- és kiáramló felületek között (tehát a beáramló felület a modellezett szívócsatorna kezdetének síkja, kiáramló felület a henger alapsíkja). Ezután a levegő stacionárius állapotba való beállása után méri a kilépő levegő tömegáramát; ez a feladatunk célfüggvénye. Hasonló feladatra példát lásd [10], [11] alatt.

Alkalmazva a cikkben ismertetett integrált CAD–FEM rendszert a kilépő tömegáramot kb. 16 óra futásidő felhasználásával (Opteron processzoron) 2,3%-kal sikerült növelni. Ez a növekedés jelentős, hiszen egy korábban optimalizált geometriát sikerült tovább javítani, másrészt – gyártási és egyéb kényszer miatt – a geometria csak kis módosítása volt megengedve, így nagyobb nagyságrendű növekedés nem is volt várható.

5. ÖSSZEZÉS

A cikkben bemutatunk a Széchenyi István Egyetem matematika és számítástudomány tanszékén és Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontjában kifejlesztett, automatizált optimalizációt lehetővé tevő számítógépes szimulációs rendszert, melybe a járműipari gyártmányfejlesztés több szoftverét integrálták. A rendszer alkalmazásának fő előnye, hogy módot ad a fejlesztési folyamat alatti emberi időráfordítás kiküszöbölésére. A rendszer jelen állapotában áramlástanai elemzéseket igénylő fejlesztések megoldására alkalmas, de az analízis-szoftver alkalmas cseréjével más típusú gyártmányfejlesztés is lehetséges, ahol a CAD-alapú problémamegfogalmazás természetes és fontos.

Irodalom

- [1] Z. Horváth, T. Morauszki, K. Tóth: Automated CAD-based CFD-Optimization and Applications in Diesel Engine Design. 3rd European Automotive CFD Conference, 05-06 July 2007, Frankfurt, Germany (accepted)
- [2] Z. Horváth, T. Morauszki, K. Tóth: CAD-based optimization and applications in automotive engineering. 6th EUROSIM Congress, Ljubljana, Slovenia, September 9–13, 2007 (accepted)
- [3] PTC: Pro/Engineer www.ptc.com
- [4] Dassault Systems: Catia www.3ds.com/products-solutions/plm-solutions/catia/overview
- [5] Altair Engineering Inc.: HyperMesh 8.0., www.altair.com
- [6] Ansys Fluent Inc.: TGrid 4.0. www.fluent.com
- [7] Fluent Inc.: Fluent 6.3. www.fluent.com
- [8] Pintér Consulting Services Inc.: Lipschitz Global Optimizer. www.pinterconsulting.com
- [9] J. D. Pintér: Global Optimization in Action - Continuous and Lipschitz Optimization: Algorithms, Implementations and Applications. Springer Series: Nonconvex Optimization and Its Applications, Vol. 6. 1996.
- [10] A. Horváth, Z. Horváth: Optimal shape design of Diesel intake ports with evolutionary algorithm. Feistauer, M. (ed.) et al., Numerical mathematics and advanced applications. Proceedings of ENUMATH 2003, Czech Republic, August 18-22, 2003. Berlin: Springer. 459-470, 2004.
- [11] A. Horváth, Z. Horváth: Application of CFD numerical simulation for intake port shape design of a diesel engine. J. Comput. Appl. Mech. 4, No.2, 129-146, 2003.

Global Optimization: Application Perspectives in Engineering Design

János D. Pintér

PCS Inc., Halifax, NS, Canada
- jdpinter@hfx.eastlink.ca -
www.pinterconsulting.com

This article presents a brief introduction to the subject of globally optimizing nonlinear systems. We discuss the globally optimization model, highlighting solution approaches and software implementations. We conclude by discussing applications of global optimization in engineering studies. Most of these applications can be directly related to automotive model development and design optimization. As an example application, we refer to the calibration of a vehicle suspension system. Many further examples can be found in the list of references provided.

Nemlineáris rendszermodellek globális optimalizációját tekintjük át röviden. A GO-modell bevezetését követően megoldási módszereket és professzionális szoftvertermékeket sorolunk fel. A globális optimalizáció néhány fontos alkalmazására is rámutatunk, amelyek a járműipari tervezésben is relevánsak. Illusztratív alkalmazási példaként egy felfüggesztési rendszer optimális kalibrációját említjük meg; számos további alkalmazás található a hivatkozott munkákban.

1. INTRODUCTION

1.1 Nonlinear Systems Modeling and Global Optimization

Nonlinear phenomena and processes are found literally everywhere in natural and man-made systems. Consequently, nonlinear descriptive and optimization models are of relevance across a vast range of studies in the sciences, engineering, economics, and finances. For related in-depth discussions that illustrate this point, consult for instance Bracken and McCormick (1968), Rich (1973), Murray (1983), Hansen and Jørgensen (1991), Bazaraa, Sherali and Shetty (1993), Grossmann (1996), Pardalos, Shalloway and Xue (1996), Pintér (1996), Aris (1999), Bertsekas (1999), Corliss and Kearfott (1999), Floudas et al. (1999), Gershenfeld (1999), Papalambros and Wilde (2000), Chong and Zak (2001), Edgar, Himmelblau and Lasdon (2001), Gao, Ogden and Stavroulakis (2001), Schittkowski (2002), Tawarmalani and Sahinidis (2002), Diwekar (2003), Stojanovic (2003), Zabinsky (2003), Frittsen (2004), Neumaier (2004), Bartholomew-Biggs (2005), Hillier and Lieberman (2005), Lopez (2005), Nowak (2005), Pintér (2006a, 2007), Kampas and Pintér (2007), as well as many other topical works.

Decision support (strategic management, tactical optimization, and real-time control) models that incorporate a highly nonlinear system description often have multiple – local and global – optima. The objective of global optimization (GO) is to find the “absolutely best” solution of nonlinear optimization models under such circumstances. To illustrate this point, see Figure 1 that shows a highly multimodal function. To find the “lowest valley” in such a “mountainous” region is clearly a challenge that can not be tackled by (local) numerical optimization concepts and techniques alone. Unless one knows in advance in which “valley” (region of attraction) to start a numerical search procedure, traditional methods will fail to locate the global optimum that represents a context-specific best possible solution. System performance indicators (functions) qualitatively similar to Figure 1 occur in many applications: several of these will be highlighted later on. As an example, one can think of solving a system of nonlinear equations: the corresponding error (norm) function could have similar characteristics to the figure below: consult e.g. Pintér, Linder, and Chin (2006).

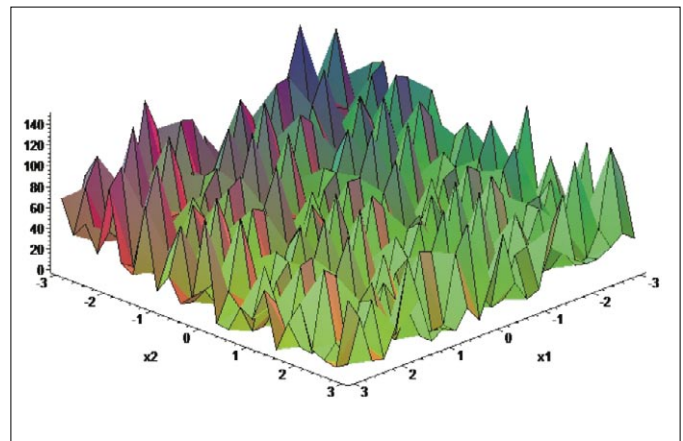


Figure 1: an illustrative (box-constrained) global optimization model

1.2 Global Optimization Model and Solution Approaches

The continuous global optimization (GO) model can be stated in a concise mathematical form as follows.

$$\text{minimize } f(x) \quad x \in D := \{x: l \leq x \leq u, g(x) \leq 0\}. \quad (1)$$

In (1) $x \in \mathbb{R}^n$ is an n -component (continuous real-valued) decision vector to optimize; l, u are finite component-wise vector bounds of x ; $f(x)$ is a continuous objective function that measures system performance, and $g(x)$ is the m -component vector of optionally added continuous constraint functions. If the functions g are absent, then we face a box-constrained GO model: Figure 1 shows such an example. Let us observe (without going to details) that if D is non-empty, then the above stated analytical assumptions guarantee that the optimal solution set X^* in the CGO model is non-empty. The GO paradigm – as described by (1) – subsumes and significantly extends the traditional local optimization framework in which an essentially convex model structure and/or the knowledge of a “sufficiently good” initial solution estimate is postulated. Let us remark that the model form (1) covers not only linear and convex nonlinear programming, but – as a highly special case – also the entire class of combinatorial optimization models. This fact immediately hints at the tremendous potential difficulty of the GO model class. The theoretical and numerical complexity of GO models could increase at a massively exponential rate as the number of decision variables and/or of constraints increases.

Due to its theoretical challenges and practical relevance, GO has become an important area of research in recent decades. As of 2007, a few hundred (English or other) textbooks, many thousands of research articles, and an increasing number of websites are devoted partly or completely to the subject. The most important GO model types and solution approaches are discussed in detail by the Handbook of Global Optimization volumes, edited by Horst and Pardalos (1995), and by Pardalos and Romeijn (2002). For illustration, we list also several other books that discuss the subject in research level detail. The early development in GO (approximately until the late 1980s) was primarily devoted to model classifications and structural studies, and to the analysis of algorithmic frameworks to handle such problems with proven deterministic or stochastic global convergence properties. Several of the most important, broadly applicable GO model classes are: concave minimization (over a convex or non-convex set), general (indefinite) quadratic programming, Lipschitz optimization (all functions are Lipschitz-continuous) or the most general case defined by merely continuous functions as in (1). These model classes are not disjoint; in fact, their hierarchy can be easily established. With respect to GO strategies, we mention here only a few prominent approaches. These include, in many variants, deterministically convergent branch-and-bound methods, and stochastically convergent adaptive search methods. The various heuristic approaches include adaptive neighborhood searches (simulated annealing and others), population-based (evolutionary and other) search procedures, as well as methods specifically targeted to handle GO models with computationally expensive functions. For technical discussions of GO models and methods, we refer to Horst and Pardalos (1995), Pintér (1996), Tawarmalani and Sahinidis (2002), Zabinsky (2003), Neumaier (2004), and Nowak (2005).

2. SOFTWARE DEVELOPMENT

The key theoretical advances have been followed by GO software implementations since the mid-eighties. Today (2007) professionally developed and supported software products are available for (C and FORTRAN, and several other linkable) compiler platforms, spreadsheets, optimization modeling languages (to our best knowledge, currently for AIMMS, AMPL, GAMS, LINGO, and MPL), and for integrated scientific-technical computing systems such as Maple, Mathematica, and MATLAB. In addition to professional software developments, non-commercial software projects are also devoted to solving various GO problem types: visit e.g. Mittelman (2006) and Neumaier (2006) for information on non-commercial systems. A summary listing of the currently available professional software products is presented below (again, to our knowledge, since the software scenery changes rapidly). For further details, visit the developers' websites, and consult Pintér (2006c).

- **AIMMS**, by Paragon Decision Technology (www.aimms.com): the BARON and LGO global solver engines are offered with this modeling system as add-on options.
- **AMPL**, by AMPL LLC (www.ampl.com): the LGO global solver engine is available.
- **Excel Premium Solver Platform (PSP)**, by Frontline Systems (www.solver.com). The developers of the PSP offer a global pre-solver option to be used with several of their local optimization engines: these include LSQR, LSSQP, and KNITRO. Frontline Systems also offers – as genuine global solvers – an Interval Global Solver, an Evolutionary Solver, LGO and OptQuest.
- **GAMS**, by the GAMS Development Corporation (www.gams.com): currently, BARON, DICOPT, LGO, MSNLP, OQNLP, and SBB are offered as solver options for global optimization.
- **LINGO**, by LINDO Systems (www.lindo.com): both the

LINGO modeling environment and What'sBest! (the company's spreadsheet solver) have built-in global solver functionality.

- **Maple**, by Maplesoft (www.maplesoft.com) offers the Global Optimization Toolbox as an add-on product.
- **Mathematica**, by Wolfram Research (www.wolfram.com) has a built-in function called NMinimize for numerical global optimization. Several third-party GO packages can be directly linked to Mathematica: these are Global Optimization, MathOptimizer, and MathOptimizer Professional.
- **MPL**, by Maximal Software (www.maximal-usa.com): the LGO solver engine is offered as an add-on.
- **TOMLAB**, by TOMLAB Optimization AB (www.tomopt.com) is a platform for solving MATLAB models. The TOMLAB global solvers include CGO, LGO, MINLP, and OQNLP. MATLAB's own Genetic Algorithm and Direct Search Toolboxes also have (heuristic) global solver capabilities.

Let us point out that the listed model development and solver environments are aimed at meeting the needs of different types of users. Key categories include educational users (instructors and students); research scientists, engineers, consultants, and other practitioners (possibly, but not necessarily equipped with an in-depth optimization related background); optimization experts, software application developers, and other "power users." (The user categories listed are not necessarily disjoint.) The pros and cons of the individual software products – in terms of their hardware and software demands, ease of usage, model prototyping options, detailed code development and maintenance features, optimization model verification and processing tools, availability of solver options and other auxiliary tools, program execution speed, overall level of system integration, quality of related documentation and support, customization options, and communication with end users – make the corresponding modeling and solver approaches more or less attractive for various user groups. We give here two generic examples, with a hint towards engineering applications. High-level integrated systems – Maple, Mathematica, and MATLAB – can provide a one-stop "universal" solution (platform) for interdisciplinary research and development (R&D) as well as for model prototyping. At the other end of the spectrum, compiler-based solver implementations can become part (as an optimization module) of specialized, proprietary decision support systems that are typically developed by larger companies.

3. GLOBAL OPTIMIZATION APPLICATIONS

Global optimization has become an established discipline that is now taught worldwide at leading academic institutions. GO technology and software is also increasingly applied in various contexts, including research and industrial practice. The currently available professional software implementations are routinely used to handle models with tens, hundreds, and sometimes even thousands of variables and constraints. Let us keep in mind, however the potential difficulty of GO model instances: if one is interested in a guaranteed high-quality solution, then software runtimes could easily become minutes, hours, days, weeks, or more, even on today's high-performance computers. Although one can expect further significant speed-up due to both algorithm and software development and to progress in computer technology, the theoretically exponential "curse of dimensionality" associated with the subject of GO will always remain valid.

In the most general terms, global optimization technology is well-suited to analyze and solve complex nonlinear models in applied mathematics and the sciences; advanced (acoustic, aerospace, automotive, chemical, control, electrical, environmental, process, telecommunications) engineering; biotechnology, medical and pharmaceutical studies; econometrics and financial modeling. For application examples, case studies, and further perspectives,

consult e.g. Corliss and Kearfott (1999), Edgar, Himmelblau and Lasdon (2001), Floudas et al. (1999), Gao, Ogden and Stavroulakis (2001), Grossmann (1996), Nowak (2005), Papalambros and Wilde (2000), Pardalos, Shalloway and Xue (1996), Pintér (1996, 2002, 2006a and b), Schittkowski (2002), Tawarmalani and Sahinidis (2002), and Zabinsky (2003). Without possibly aiming at completeness, an alphabetical list of existing and potential application areas is shown below.

- Analysis and optimization of dynamic (time-dependent) systems
- Combined simulation and optimization studies
- Data classification (clustering) and visualization
- Design of experiments (when model function evaluations are expensive)
- Model fitting to experimental data (calibration)
- Nonlinear approximation
- Systems of nonlinear equations and inequalities
- Systems optimization in presence of uncertainty (stochastic programming and related disciplines)

4. APPLICATION PERSPECTIVES IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

4.1 Computer-based Modeling in the Automotive Industry

In this section, we draw on some details of our recent technical discussion paper co-authored with domain expert engineers (Goossens et al., 2006). This paper examines the specific challenges of modeling and optimizing vehicle dynamics, including the potentials of global optimization in this area. Let us point out here that some of the general GO application areas listed in Section 3 are also of direct relevance in the automotive industry. In fact, our LGO global-local optimization software in its Maple (Global Optimization Toolbox) implementations is currently used by the R&D laboratories of leading car manufacturers. Vehicle manufacturers are constantly faced with the challenge of balancing fuel efficiency and safety against the demands for greater performance. This, along with the need for reducing design and prototyping costs, has led to the implementation of many innovations; not only in features of the vehicle components but also in the design and development process of those features. Through the use of model-based design and virtual prototyping, automotive manufacturers have been able to reduce design and prototyping costs significantly, while responding to government regulations and market demands. Driven by these needs, a wide range of computer-aided modeling tools have emerged, covering literally all aspects of the dynamic behavior of vehicles. These tools often tend to be very application-specific and use computationally intensive numerical methods. While these are useful for the “off-line” stages in the design process, where time-to-result may not be too critical, there is an increasing demand for faster simulations to the point where high-fidelity models need to be run in real-time for Hardware-in-the-Loop (HIL) testing. This need is becoming increasingly apparent as manufacturers replace traditional passive components by active mechatronic systems in order to reduce weight and costs, improve design efficiency and control dynamic stability. These sub-systems are typically made up of electro-mechanical components and electronic controllers, where the control software determines the dynamic behavior of the system. In newer model vehicles it is not uncommon to find 50 or more controllers, compared to a few years ago where there would be only one.

4.2 Design Optimization

One of the major benefits of using an integrated technical computing system (such as Maple) for dynamic systems modeling is that it is very easy to run through many “what-if?” scenarios and refine some selected design parameters. For many

practitioners, this seems to be as simple as adjusting (“tuning”) design parameter values and observing the results until “the best possible” results are achieved. Note however that such a procedure is not guaranteed to lead to success: hence optimality of the design found is questionable at best. Tweaking-by-hand approaches can easily become time consuming and expensive to the point that the time gains in the initial model development are lost. There are a number of fully automated optimization techniques available as off-the-shelf tools. These allow users to present the model, the target behavior (as model objectives) and the engineering, economic, environmental (or perhaps other) model constraints: then the optimization method will automatically return the “best possible” solution. Note however, that some optimizers are better than others e.g. at handling complicated nonlinearities. Therefore care should be taken in defining the problem, and then selecting the method for the task in hand. This in itself requires specialized knowledge. Used “blindly”, optimization solvers may either not return a solution or – just as bad – they could return an erroneous, infeasible or sub-optimal solution. Recall here our introductory discussion: in models that could possess multiple – local and “true” global – optima, most traditional numerical methods will find only the local optimum closest to an initial “guess” of the solution. As an example of a suitable global solver, the Global Optimization Toolbox (GOT) for Maple combines the LGO solver suite with the powerful modeling environment of Maple. This allows users to set up an optimization problem with little or no knowledge of the underlying numerical techniques. Users simply set up model variables, their bounds, and provide the target function and constraints using Maple’s rich inventory of built-in functions and their programmable extensions. The Global Optimization Toolbox – with its integrated global and local scope search algorithms – does the rest of the work.

To illustrate this point, let us briefly highlight an example (more examples can be found at the GOT product website www.maplesoft.com/products/toolboxes/globaloptimization/index.aspx, as well as in our writings). One of the many areas where the Global Optimization Toolbox is used extensively is model fitting or calibration. Engineers often will have a well-established theoretical model of a system under investigation; however, they do not know the necessary parameter values to make the model output (such as a trajectory) behave the same as the real system. In situations like this, one can capture experimental data from the real system to determine the target output of the model and then use optimization techniques to find the necessary parameter values to match that output as closely as possible. Since engineers typically deal with highly non-linear systems with dynamic responses, the use of global optimization for this very general type application is necessary, to obtain the “best fit”. This is a more general, flexible and more successful model-fitting approach than using traditional statistical regression techniques.

For a concrete example, let us consider a vehicle suspension system and assume that we need to find the values for the spring stiffness and damper parameters that provide a desired ride over road bumps. See Figure 2 that summarizes the design of an automotive suspension system, and notice the parameter optimization component. Specifically, from the basic (second-order differential equation) physical model, we can determine the time response of the system using Maple’s ODE solvers, but we need the stiffness and damper parameters. To do this accurately and efficiently, we have used the GOT. This is a relatively simple example to illustrate our point, but the underlying principles can be applied to far more complicated problems with many variables and constraints.

In closing this brief discussion, let us emphasize that GO has many

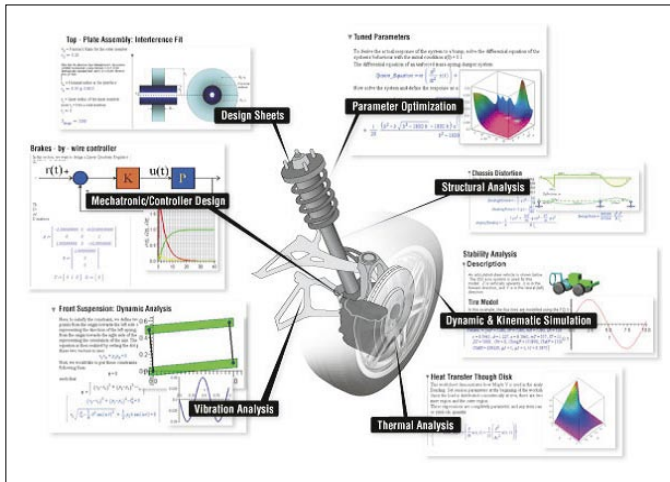


Figure 2: design of an automotive suspension system

Credits: Maplesoft, 2006. See http://maplesoft.com/engineering_design/index.aspx

other application possibilities in optimizing engineering design and operations. For example, a collection of recent scientific and engineering global optimization case studies is presented in (Pintér, 2006b). Let us also mention that in 2007 R&D cooperation has been established between the Széchenyi István University and PCS Inc. Specifically, the automated product design software system described by (Horváth, 2007) now also uses the LGO solver suite to find optimized design parameters.

CONCLUSIONS

Global optimization is a subject of growing practical interest: this fact is indicated by software implementations and by an increasing range of applications. In spite of a very remarkable progress, global optimization remains a field of extreme numerical challenges, not only when considering “all possible” GO models, but also in practical attempts to handle complex, sizeable problems within an acceptable timeframe. In spite of these challenges, the practice of global optimization is expected to grow dynamically. We welcome feedback regarding current and future development directions, new GO test challenges and application areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks for the invitation by Péter Tamás Szilasi (Managing Director, Regional University Knowledge Center for Vehicle Industry, Győr) that has lead to this article. Special thanks are due also to Zoltán Horváth (Széchenyi István University, Győr) for his kind invitation and arrangements to present a Global Optimization intensive course at the University.

ABOUT THE AUTHOR

János D. Pintér is a researcher and practitioner with over three decades of experience. His professional interests are primarily related to nonlinear optimization, including algorithm and software development, and a range of applications. He is president/owner of PCS Inc., and an adjunct professor at Dalhousie University, in Halifax, NS, Canada. He received M.Sc. (Eötvös University of Sciences), Ph.D. (Moscow State University), and D.Sc. (Hungarian Academy of Sciences) degrees in Mathematics, with specializations in Operations Research and Stochastic Optimization. Dr. Pintér wrote and edited several books, and authored over 170 research papers and technical reports. His book titled Global Optimization in Action received the 2000 INFORMS Computing Society Prize.

Among numerous other professional affiliations, he serves on the editorial board of the Journal of Global Optimization, the Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences, Algorithmic Operations Research, and the International Journal of Modeling, Identification and Control. Dr. Pintér has worked and presented lectures in over 30 countries of Europe, the Americas, and the Pacific Region. He is the principal developer of several professional nonlinear optimization software products for compiler platforms, modeling languages, and integrated scientific-technical computing systems. For further professional information, please visit www.pinterconsulting.com.

Literature

- [1] Aris, R. (1999) Mathematical Modeling: A Chemical Engineer's Perspective. Academic Press, San Diego, CA.
- [2] Bartholomew-Biggs, M. (2005) Nonlinear Optimization with Financial Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [3] Bazaraa, M.S., Sherali, H.D. and Shetty, C.M. (1993) Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. Wiley, New York.
- [4] Bertsekas, D.P. (1999) Nonlinear Programming. (2nd Edition) Athena Scientific, Cambridge, MA.
- [5] Bracken, J. and McCormick, G.P. (1968) Selected Applications of Nonlinear Programming. Wiley, New York.
- [6] Corliss, G.F. and Kearfott, R.B. (1999) Rigorous Global Search: Industrial Applications. In: Csendes, T., Ed. Developments in Reliable Computing, pp. 1-16. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [7] Diwekar, U. (2003) Introduction to Applied Optimization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [8] Edgar, T.F., Himmelblau, D.M., and Lasdon, L.S. (2001) Optimization of Chemical Processes. (2nd Edition) McGraw-Hill, New York.
- [9] Floudas, C.A., Pardalos, P.M., Adjiman, C., Esposito, W.R., Gumus, Z.H., Harding, S.T., Klepeis, J.L., Meyer, C.A., and Schweiger, C.A. (1999) Handbook of Test Problems in Local and Global Optimization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [10] Fritzson, P. (2004) Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1. IEEE Press, Wiley-Interscience, Piscataway, NJ.
- [11] Gao, D.Y., Ogden, R.W. and Stavroulakis, G.E., Eds. (2001) Nonsmooth/Nonconvex Mechanics: Modeling, Analysis and Numerical Methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [12] Gershenfeld, N. (1999) The Nature of Mathematical Modeling. Cambridge University Press, Cambridge.
- [13] Goossens, P., McPhee, J., Schmitke, C., Pintér, J., and Stahl, H. (2007) Driving Innovation: How Mathematical Modeling and Optimization Increase Efficiency and Productivity in Vehicle Design. Technical discussion paper published by Maplesoft; presented at the SAE Congress, Detroit, Michigan, USA, April 2007.
- [14] Grossmann, I.E., Ed. (1996) Global Optimization in Engineering Design. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [15] Hansen, P.E. and Jørgensen, S.E., Eds. (1991) Introduction to Environmental Management. Elsevier, Amsterdam.
- [16] Hillier, F.J. and Lieberman, G.J. (2005) Introduction to Operations Research. (8th Edition) McGraw-Hill, New York.
- [17] Horst, R. and Pardalos, P.M., Eds. (1995) Handbook of Global Optimization, Vol.1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [18] Horváth, Z. (2007) Automated product design based on CAD-FEM integration. (In Hungarian: CAD-FEM integráció alapuló automatizált gyártmányfejlesztés.) To appear: in AJJ.
- [19] Kampas, F.J. and Pintér, J.D. (2007) Advanced Optimization: Scientific, Engineering, and Economic Applications with Mathematica Examples. Elsevier, Amsterdam. (To appear)
- [20] Lopez, R.J. (2005) Advanced Engineering Mathematics with

- Maple. (Electronic book edition.) Maplesoft, Inc., Waterloo, ON. www.maplesoft.com/products/ebooks/AEM/.
- [21] Mittelman, H.D. (2006) Decision Tree for Optimization Software. See plato.la.asu.edu/guide.html.
- [22] Murray, J.D. (1983) Mathematical Biology. Springer-Verlag, Berlin.
- [23] Neumaier, A. (2004) Complete Search in Continuous Global Optimization and Constraint Satisfaction. In: Iserles, A., Ed. Acta Numerica 2004, pp. 271-369. Cambridge University Press, Cambridge.
- [24] Neumaier, A. (2006) Global Optimization. www.mat.univie.ac.at/~neum/glopt.html.
- [25] Nowak, I. (2005) Relaxation and Decomposition Methods for Mixed Integer Nonlinear Programming. Birkhäuser, Basel.
- [26] Papalambros, P.Y. and Wilde, D.J. (2000) Principles of Optimal Design. Cambridge University Press, Cambridge.
- [27] Pardalos, P.M. and Romeijn, H.E., Eds. (2002) Handbook of Global Optimization, Vol.2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [28] Pardalos, P.M., Shalloway, D. and Xue, G., Eds. (1996) Global Minimization of Nonconvex Energy Functions: Molecular Conformation and Protein Folding. DIMACS Series, Vol. 23, American Mathematical Society, Providence, RI.
- [29] Pintér, J.D. (1996) Global Optimization in Action. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [30] Pintér, J.D. (2002) Global Optimization: Software, Test Problems, and Applications. In: Pardalos and Romeijn, Eds., Handbook of Global Optimization, Vol.2, pp. 515-569.
- [31] Pintér, J.D. (2005) LGO – A Model Development System for Continuous Global Optimization. User's Guide (Current edition). Pintér Consulting Services, Inc., Halifax, NS. For summary information, including other software implementations, visit www.pinterconsulting.com.
- [32] Pintér, J.D., Ed. (2006a) Global Optimization: Scientific and Engineering Case Studies. Springer, New York.
- [33] Pintér, J.D. (2006b) Global Optimization with Maple: An Introduction with Illustrative Examples. An electronic book published and distributed by Pintér Consulting Services Inc., Halifax, NS, Canada and Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc., Waterloo, ON, Canada.
- [34] Pintér, J.D. (2006c) Global Optimization in Practice: State-of-the-Art and Perspectives. In: Gao, D. and Sherali, H., Eds., Advances in Mechanics & Mathematics, Vol. III., pp. 365-394. Springer, New York. (To appear)
- [35] Pintér, J.D., Linder, D., and Chin, P. (2006) Global Optimization Toolbox for Maple: An Introduction with Illustrative Applications. Optimization Methods and Software 21 (4) 565-582.
- [36] Pintér, J.D. (2007) Applied Nonlinear Optimization in Modeling Environments. CRC Press, Boca Raton, FL. (To appear)
- [37] Rich, L.G. (1973) Environmental Systems Engineering. McGraw-Hill, Tokyo.
- [38] Schittkowski, K. (2002) Numerical Data Fitting in Dynamical Systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [39] Stojanovic, S. (2003) Computational Financial Mathematics Using Mathematica. Birkhäuser, Boston.
- [40] Tawarmalani, M. and Sahinidis, N.V. (2002) Convexification and Global Optimization in Continuous and Mixed-integer Nonlinear Programming. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [41] Zabinsky, Z.B. (2003) Stochastic Adaptive Search for Global Optimization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

A Bosch koncepciója az alacsony árkategóriájú gépjárművek világszerte növekedő piacával kapcsolatban

Wolf Henning Scheider
a Robert Bosch GmbH
dízelszerek üzletág
igazgatóságának elnöke

Alacsony ár, nagy növekedés. Ez a képlet a gépjárműgyártás területén tapasztalható változásokra is érvényes, hiszen a kedvező árú és egyúttal jó minőségű termékek világszerte hódítanak. Nem kétséges tehát, hogy az alacsony árkategóriájú gépjárművek szegmensének jelentősége a jövőben is tovább fog nőni.

Big growth for a small price. This formula can also be applied to development in automotive production. Value for money has long been a trend throughout the world. There is no doubt that the low price vehicle segment will continue to grow in importance in the future.

A „Low Price Vehicles” az olyan gépjárművek gyűjtőfogalma, melyek nettó ára nem éri el a 7000 eurót. Becslésünk szerint ez a gépjárműosztály 2010-re a világ teljes gépjárműpiacának 13%-át fogja kitenni, és ez mintegy 10 millió gépjárművet jelent évente. Csak ennek a piaci szegmensnek az 5%-os átlagos növekedése több mint kétszer akkora, mint a teljes piac többi szegmensében tapasztalható növekedés összesen (ez előreláthatólag 2,3% lesz).

A Bosch-nak mindez jó okot ad arra, hogy betörjön erre a piacra, hiszen mi is szeretnénk részesek lenni ennek az erős növekedésnek. Az így megszerzett ismereteinket ugyanakkor a többi gépjárműosztály termékfejlesztési területén is hasznosíthatjuk majd.

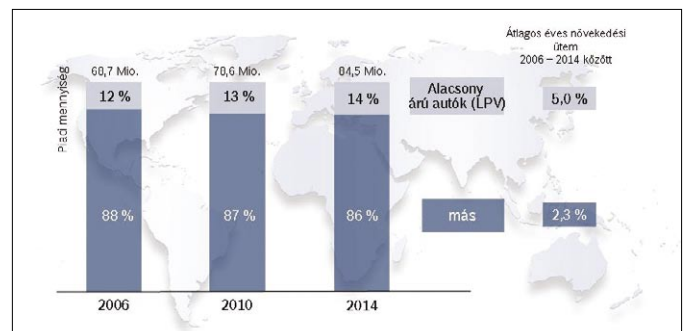
A gépjárműgyártók napjainkban egyre inkább felfedezik az alacsony árkategóriájú gépjárművek piaci szegmensét. A Renault csaknem egymillió darab 5 000 eurós Dacia Logan gyártását tervezi a 2009-es évre. Az indiai gépjárműgyártó, a Tata 2008-ra bevezeti az ún. „One-Lakh-Car”-t, melynek ára egy indiai lak, vagyis kereken 100 000 rúpia, vagyis 2000 euró. A Volkswagen egy a VW Fox-nál is alacsonyabb árkategóriájú modell bevezetését tervezi, a Toyota pedig az idei év kezdetén mutatta be a Dacia Logan árkategóriája alatt elhelyezkedő gépjárműve terveit.

Mindenekelőtt Kínában és Indiában lesz a legnagyobb a kereslet a kedvező árú gépjárművek iránt. Arra számítunk, hogy az alacsony árkategóriájú gépjárművek piacának a fele – két számjegyű növekedési rátával – erre a két országra fog összpontosulni. Ezekben az országokban olyan gépjárműmodellekre van igény, amelyek az adott ország kereseti viszonyaihoz igazodnak, és így a lakosság széles rétegei számára elérhetővé válnak. Annak, aki beszállítónak szeretne lenni, új – műszaki és árképzési – követelményekre kell felkészülnie. Gyors fejlesztésekre van szükség, és arra, hogy el tudja látni a piacot kiváló minőségű és nagy darabszámú termékekkel.

Jók az esélyeink arra, hogy ebben a piaci szegmensben is átvehetjük majd a vezető szerepet a piacon és a technológia területén egyaránt. A legfontosabb feltételeknek a Bosch a motor- és meghajtásmenedzsment területén betöltött vezető pozíciójának köszönhetően már most is megfelel. Előnyünket képezi az az átfogó termék- és rendszer-know-how, amely a benzin- és dízelmotorokhoz gyártott szívócsöves és közvetlen befecskendezésen, valamint a benzin-, etanol- vagy földgázmeghajtású (CNG) flex-fuel-motorvezérlésen át egészen a hibridrendszerekig és a hajtóműkomponensekig terjed. Az alacsony árkategóriájú gépjárművekhez gyártott termékekkel a 2010-es évben előreláthatólag 350 millió eurós forgalmat érünk el a dízelrendszerek üzletágán belül.

AZ ALACSONY ÁRKATEGÓRIÁJÚ GÉPJÁRMŰVEKBEN ÖTVÖZZÜK A TESTRE SZABOTT MŰSZAKI MEGOLDÁSOKAT A KIVÁLÓ MINŐSÉGGEL

Hogyan illeszthető össze a Bosch-nak a technológia területén betöltött vezető szerepe az alacsony árkategóriájú gépjárművek különleges igényeivel? A válasz meglepően hangozhat, de ez a két dolog remekül megfér egymás mellett. Hiszen nem arról van szó, hogy ezek a gépjárművek rossz minőségű, a legegyszerűbb felszereltséggel rendelkező autók lennének. A fogalom inkább



1. ábra: az LPV-autók részaránya az átlagot meghaladóan növekszik

takar olyan kedvező árú műszaki megoldásokat, melyek a korszerű technika alkalmazásával jönnek létre. E megoldások megfelelnek a vevők elvárásainak és a regionális igényeknek egyaránt.

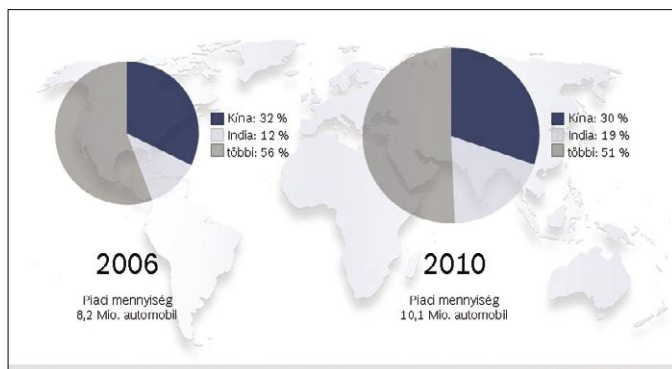
Ahhoz, hogy testre szabott megoldásokat nyújthassunk, pontosan kell ismernünk a vásárlóközönséget. Véleményünk szerint két csoport határozható meg: az elsőhöz tartoznak azok, akiknek anyagi helyzete eddig nem tette lehetővé, hogy autót vásároljanak. Most azonban a tartós gazdasági növekedésnek köszönhetően – Brazíliában, Oroszországban, Indiában vagy Kínában – már megengedhetik maguknak, hogy vásároljanak egy kedvező árú modellt. A másik csoportba tartoznak a fejlett ipari országok azon lakói, akik a számukra túl költséges új gépjárművek helyett eddig mindig a használt autó vásárlása mellett döntöttek.

Az alacsony árkategóriájú gépjárművek iránti kereslet így tehát mind a fejlődő, mind a fejlett országokban jelen van, az elvárások azonban meglehetősen eltérőek. Az Indiában első alkalommal autót vásárló vevő a kétkerekűről tér át négy kerékre. Számára az a legfontosabb, hogy a jármű robusztus, családias, és könnyen javítható legyen, miközben alacsonyak az üzemelési költségei. A nyugat-európai vásárló a biztonságra, a megfelelő menetteljesítményre és a nagyfokú megbízhatóságra helyezi a hangsúlyt – ő magas színvonalhoz szokott.

Az ebbe az osztályba tartozó gépjárművekkel szemben támasztott alapkövetelményeket az adott éghajlati körülmények, az utak állapota és a rendelkezésre álló üzemanyag minősége is meghatározza. Egy azonban elengedhetetlen: az autóba szerelt motornak alapvetően minden jelenlegi és jövőbeni emissziós előírásnak – beleértve a hamarosan életbe lépő euro-6-os normát is – meg kell felelnie. Az Otto-motorok esetében elengedhetetlen tehát a motorvezérlés lambda-szabályozása. A benzinmotorok tervezésénél ezen kívül lényeges szempont az is, hogy alkalmasak legyenek bio üzemanyaggal, etanollal történő üzemeltetésre is, ami különösen Dél-Amerikában fontos. Oroszországban a földgázmeghajtás kap egyre nagyobb jelentőséget, míg az indiaiak a tiszta dízelhajtóműveket helyezik előtérbe. Habár az egyes regionális és piaci elvárások teljesen különbözőek, mégis tökéletesen illeszkednek a már több mint 30 éve időszerű 3-S-programunk alapkövetelményeire, „biztonságos, tiszta, takarékos” („sicher, sauber, sparsam”) azaz: minőségi gépjárműtechnika kedvező áron.

A KÖLTSÉGCSÖKKENTÉS KREATIVITÁST ÉS TALÁLÉKONYSÁGOT IGÉNYEL

Az alacsony árkategóriájú gépjárművek piaci szegmensében a költségcsökkentés a legfőbb feladat. Ez egyaránt érvényes az autógyártókra, és ránk, gyári beszállítókra is. A már meglévő komponensek és rendszerek egyszerű lecsupaszítása nem elegendő ahhoz, hogy teljes körűen vonzó és versenyképes termékeket kínálhassunk. Különösen nagy szükség van ezen kívül a kreativitásra és a találékonyagra. Az „innováció” fogalma ebben a piaci szegmensben új



2. ábra: az LPV-autók fő piaca Kína és India

dimenzióval bővül: standard funkciókat kínálunk hihetetlen áron.

Jelenleg három különböző elv szerint dolgozunk:

1. A „top-down-módszer” a leggyorsabb és legegyszerűbb megoldás, melynek során a standard termékeket a célnak megfelelően leegyszerűsítjük. Gyakran elhagyhatunk bizonyos komponenseket és funkciókat, amelyeket az alacsony árkategóriájú gépjárművek esetében egyébként sem használna a vásárló.
2. A „bottom-up-módszer” az előbbivel ellentétes stratégiát követi. A motorkerékpárok motorvezérléséből kiindulva addig bővítjük a funkciókat és a rendszereket, amíg azok meg nem felelnek az autóval szemben támasztott követelményeknek.
3. Végül a radikális módszer: olyan teljesen új komponensekkel látjuk el a piacot, amelyeket kifejezetten az alacsony árkategóriájú gépjárművekhez fejlesztettünk ki. Ezt a stratégiát követjük az alacsony árkategóriájú gépjárművek esetében a teljes beszállítói palettánknál. A legjobb példa erre a „Value-Motronic”, az új vezérlésplatform a benzinmotorokhoz. A gyártástervet, a mechanikát, az elektronikát, valamint a szoftverarchitektúrát és -funkcionalitást már a kezdetektől fogva összehangoltuk. Így az összköltséget az összes területen minimálisra tudtuk csökkenteni.

A Value-Motronic kifejlesztésénél különös figyelmet fordítottunk a szoftverfunkciókra. Arra törekedtünk, hogy minimális fejlesztési ráfordítást igényeljenek, és hogy egyszerűen alkalmazhatók legyenek a legkülönbözőbb motorkoncepciók esetében. Fejlesztőink éppen ezért kizárólag a szívócsöves befecskendezésű 2–4 hengeres motorokra koncentráltak, így a turbófeltöltés és a közvetlen befecskendezéses megoldásokat anyagi okokból tudatosan mellőztük.

A Bosch stratégiája sikeres volt, hiszen elértük a költségekkel és az erőforrásokkal kapcsolatos minden célunkat, az ügyfelek felé betartottuk a megadott határidőket, és egyidejűleg megfeleltünk a különböző célpiacon elvárásainak. A motorvezérlési rendszer ezen kívül az európai fedélzeti (on-board) diagnosztika integrálásához is alkalmas.

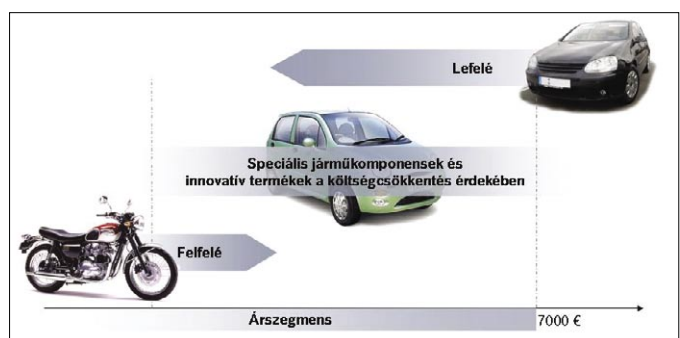
TÖBB MINT 30%-OS PIACI RÉSZESEDÉS LPV-MOTORVEZÉRLÉSSEL

A Bosch által kifejlesztett Value-Motronic az autóiipar részéről rögtön nagy elismerésnek örvendett. Az LPV-szegmensben a vezérlőegységekkel elért piaci részesedésünk az új vezérlésplatformnak köszönhetően további jelentős növekedést fog mutatni.

Annak érdekében, hogy a már meglévő kedvező piaci helyzetünket tovább építhessük, termékkoncepcióknak is egyre rugalmasabbá kell válnia. Így az alacsony árkategóriájú gépjárművek szegmensének egyik további kiindulópontja a szenzorrendszer szoftveralapú modellezése, melynek köszönhetően az eddig alkalmazott, drága szenzorok egy része szükségtelenné válik. Az intelligens megoldások hasonlóképpen az üzemanyag-befecskendezés költségeinek csökkentéséhez is hozzájárulnak.

Az újonnan kifejlesztett komponensek egyik érdekes példája a „ZSK 2x2 value” gyújtótekerccs. Habár a beépítési hely 40%-kal csökkent, fejlesztő munkatársainknak mégis sikerült ugyanabból a gyújtótekerccsből különböző gyújtási energiákat generálni. Ez a különböző üzemanyagfajtákkal – benzinnel, etanollal, földgázzal – üzemeltetett Otto-motorokhoz szükséges. Az új gyújtótekerccsel lehetőség nyílik a gyújtási sorrend felismerésére, és így egyszerűbb motorok esetében nincs szükség az egyébként elengedhetetlen fázisérzékelőre.

Fentiekben az új költségoptimalizált rendszerek néhány kiemelt példáját mutattuk be, de a fékek, fékkomponensek, indítómotorok,



3. ábra: LPV-fejlesztési stratégiák

generátorok, elektromos hajtóművek vagy a dízelmotorokhoz kifejlesztett common rail rendszerek területén is teljes erőbedobással dolgozunk összehasonlíthatóan hatékony ügyfélmegoldásokon. Az alacsony árkategóriájú gépjárművek területén – rövid fejlesztési ciklusokkal – végzett fejlesztéseink meggyőzték ügyfeleinket. Legfrissebb sikerünk az indiai Tata autógyártó cég megbízása, mely szerint a már említett „One-Lakh-Car” elnevezésű autóihoz generátorokat, fékeket, valamint Otto- és dízelmotorrendszereket szállítunk. Az új modell várhatóan a 2008-as évben kerül piacra.

A helyszínen dolgozó fejlesztő munkatársaink csupán 4 hónap leforgása alatt olyan meggyőző műszaki terveket és megoldásokat dolgoztak ki, melyek végül sikeres szerződéskötéshez vezettek.

FEJLESZTŐINK TÖBB HELYSZÍZEN MŰKÖDNEK EGYÜTT

A Bosch előnye azonban nem csupán a gyors fejlesztési folyamatokban, termékei minőségében és a piachoz igazodó áraiban rejlik. Az autógyártók számára az egyik legfontosabb sikertényező a világszerte jelen lévő Bosch-csoporton belüli nemzetközi együttműködésben rejlik. A megoldásokat nem központilag dolgozzuk ki, hanem fejlesztési központjainkkal, ún. kompetenciaközpontjainkkal („Centers of Competence”) való együttműködésben. A termékfejlesztéssel, gyártástervezéssel, beszerzéssel és folyamatfejlesztéssel kapcsolatos kérdésekért mindig a legnagyobb tapasztalattal és a legalaposabb piacismerettel rendelkező központ a felelős. Mindez lerövidíti a fejlesztési folyamatokhoz szükséges időt, kiküszöböli a későbbi költséges termékmódosításokat, valamint elősegíti a fejlesztés és a gyártás összehangolását.

A regionális fejlesztési központokban dolgozó munkatársaink közvetlenül a helyszínen segítik a felelős egységek munkáját. A Bosch ezzel a szervezeti felépítéssel biztosítja, hogy a fejlesztés a különböző nemzetközi helyszíneken egy időben és egymással összehangolva történjen. Így tudjuk világszerte kihasználni a különböző telephelyek nyújtotta anyagi előnyöket. Az alacsony árkategóriájú gépjárművek gyártásához így például Kínában fejlesztettük a vezérlőegységeket, a pneumatikus vezérlést és a benzines rendszereknél alkalmazott szenzorokat, Dél-Amerikában a flex-fuel rendszert, Indiában pedig a dízelrendszerek befecskendező komponenseit. A Bosch a koncepciófejlesztéssel párhuzamosan 16 nemzetközi telephelyen nyújt támogatást ügyfeleinek a komponenseknek a járművek rendszerspecifikus jellegzetességeivel történő összehangolásában. Munkatársaink nemcsak az ország- és ügyfélspecifikus elvárásokkal vannak tisztában, hanem a világ számos táján jelen lévő Bosch szervezeti egységeinek munkafolyamataival és termék-konceptióival kapcsolatban is kiismerik magukat. Testre szabott megoldásainkkal gondoskodunk arról, hogy vevőink igényeit maximálisan ki tudjuk elégíteni.

ALACSONY ÁRAK ÉS KIVÁLÓ MINŐSÉG EGYSZERRE

A fejlesztési és alkalmazási központok mellett pl. csak a dízelrendszerek üzletágunkat 29 gyártóhely képviseli világszerte. Ezekben olyan termékek gyártása folyik, amelyeket a helyi beszállítók és a helyi alapanyagok igénybevételével fejlesztettünk ki. Így bizto-

sítjuk a helyi értékek hozzáadását. Egyéb tevékenységeinkhez hasonlóan itt is érvényesül a világszerte elterjedt Bosch-alapelvek: „Minőség elsőfokon”.

A Bosch-nak ezáltal minden feltétel adott ahhoz, hogy az alacsony árú gépjárművek szegmensében óriási mértékű növekedést érhesen el. Mindezt olyan, nagy darabszámú termékekkel, – amelyek kedvező költségűek, mert a piaci igényeket figyelembe véve kerültek kialakításra, – amelyek egységesek, amennyire csak lehet, és eltérőek, amennyire szükséges,



4. ábra: Bosch Value-Motronic

– amelyeket a kompetenciaközpontok nemzetközi hálózatán belül a legmodernebb szabványoknak megfelelően fejlesztettek ki, – amelyeket az adott célpiac nyújtotta munkaerő helyi nyersanyagok felhasználásával a legmodernebb gyártási technológiák és folyamatok során hozott létre, – amelyek biztonságosak, tiszták és takarékosak, és ezzel megfelelnek mind a jelenleg érvényben lévő, mind pedig a jövőbeni környezetvédelmi előírásoknak.

Terveink szerint a 2010-es évben a benzinbefecskendezéses rendszerrel felszerelt alacsony árkategóriájú gépjárművek szegmensén belül több mint 30%-os piaci részesedést tudhatunk majd magunkénak. A gépjárműtechnika összes üzleti területét együttvéve mintegy egymilliárd euró forgalomra számítunk, amely 25%-os piaci részesedést jelent. Sikerünk alapját képezi piacismeretünk, a gépjárműgyártókhoz való közelségünk, valamint fejlesztési és gyártási kapcsolatrendszerünk, melynek segítségével beszállítóként az egész világon az autógyártók rendelkezésére állunk.

Motor- és váltógyártó üzemek Európában

AvtoVAZ	
Togliatti, Oroszország	0,8, 1,5 és 1,7 literes, karburátoros benzines motorok; 0,8, 1,3 és 1,5 literes központi befecskendezésű benzines motorok; 1,5, 1,6 és 1,7 literes multipoint befecskendezésű benzines motorok (Lada); 4 és 5 sebességes manuális váltók (Lada)
AvtoZAZ	
Melitopol, Ukrajna	1,1, 1,2 és 1,3 literes karburátoros benzines motorok (ZAZ Slavuta, Tavria, Zastava Florida, Zastava Koral, Zastava Skala); 1,3 literes központi befecskendezésű benzines motorok (ZAZ Slavuta és Tavria); 1,4 literes központi befecskendezésű benzines motorok (Chevrolet és ZAZ Lanos, Chevrolet Aveo)
BMW	
Hams Hall, Nagy-Britannia	4 hengeres benzines motorok (1-es és 3-as sorozat, X3, Z4); 4 hengeres benzines motorok (Mini)
München, Németország	6 hengeres benzines motorok (1-es, 3-as, 5-ös, 6-os és 7-es sorozat, X3, X5, Z4); 6 hengeres nagy teljesítményű benzines motorok (Z4 M roadster, Z4 M coupe); 8 hengeres nagy teljesítményű motor (új M3-as); 8 hengeres benzines motorok (5-ös, 6-os és 7-es sorozat); 10 hengeres nagy teljesítményű benzines motorok (M5, M6); 12 hengeres benzines motorok (7-es sorozat, Rolls-Royce Phantom); 8 hengeres dízelmotorok (7-es sorozat)
Steyr, Ausztria	4 hengeres dízelmotorok (1-es, 3-as, 5-ös sorozat, X3); 6 hengeres dízelmotorok (3-as, 5-ös és 7-es sorozat, X3, X5); 6 hengeres benzines motorok (1-es, 3-as, 5-ös, 6-os és 7-es sorozat, X3, X5, Z4)
Daewoo Románia	
Craiova, Románia	1,5 és 1,6 literes benzines motorok, 5 sebességes manuális váltó (Daewoo Románia, AvtoZAZ)
DaimlerChrysler	
Affalterbach, Németország	8 és 12 hengeres benzines motorok (AMG modellek)
Berlin-Marienfelde, Németország	6 hengeres dízelmotorok (Mercedes S-, E-, C-, CLK-, CLS-, ML-, R- és G-osztály, Viano); 8 hengeres dízelmotorok (Mercedes S-, E-, M- és GL-osztály); 12 hengeres benzines motorok (Mercedes S-, SL- és CL-osztály, Maybach)
Gaggenau, Németország	6 sebességes manuális váltók (Mercedes A- és B-osztály, kishaszonjárművek, Chrysler-modellek)
Untertürkheim, Németország (beleértve a szomszédos Bad Canstattban, Zuffenhausenben, Mettingenben, Hedelfingenben, Simauban és Brühlben folyó gyártást is)	4 hengeres benzines motorok (Mercedes SLK-, E-, C-, CLK-, A- és B-osztály); 6 hengeres benzines motorok (Mercedes S-, SLK-, E-, C-, CLK-, CLS-, ML- és R-osztály); 8 hengeres benzines motorok (Mercedes S-, SL-, E-, C-, CL-, CLK-, CLS-, G-, GL-, M-, ML- és R-osztály); 4 hengeres dízelmotorok (Mercedes A-, B-, C-, CLK-, E-osztály, Viano), 5 és 7 sebességes automata váltók (Mercedes személyautók és kishaszonjárművek); 5 és 6 sebességes manuális váltók (Mercedes személyautók és kishaszonjárművek)
Kölleda, Németország	3 és 4 hengeres benzines motorok (Mitsubishi Colt és Colt CZC); 3 hengeres dízelmotorok (Smart ForTwo, Mitsubishi Colt)

Fiat Powertrain Technologies	
Foggia, Olaszország	4 hengeres, 2,3 és 3 literes turbódízel motorok (Fiat Ducato és Iveco Daily kishaszonjárművek)
Mirafiori, Olaszország	C514 típusú, 5 és 6 sebességű manuális váltók; 5 sebességű félautomata váltó (Fiat, Lancia)
Pratola Serra, Olaszország	4 és 5 hengeres, 1,6, 1,8, 2,0 és 2,4 literes benzines motorok; 1,6 (2008 júniusától), 1,9 és 2,4 literes turbódízel motorok (Alfa Romeo 147, 159, 164, GT, Brera és Spider, Fiat Grande Punto, Bravo, Stilo Multiwagon, Multipla, Croma, Sedici és Doblo, Lancia Musa és Thesis, Suzuki SX4)
Termoli, Olaszország	1,1, 1,2, 1,4 és turbós 1,4 literes FIRE benzines motorok (Fiat Seicento, 500, Panda, Punto, Grande Punto, Idea, Bravo, Stilo Multiwagon és Doblo, Lancia Ypsilon és Musa); C510 jelű, 5 sebességű manuális és félautomata váltók; C546 jelű 6 sebességű és C513 jelű 5 sebességű manuális váltók (Alfa Romeo, Fiat és Lancia)
Verrone, Olaszország	C530 jelű, 5 és 6 sebességű manuális és félautomata váltók (Alfa Romeo, Fiat és Lancia)
Bielsko-Biala, Lengyelország (50%-ban Fiat-, 50%-ban GM-tulajdon)	1,3 literes common-rail turbódízel motorok (Fiat 500, Panda, Punto, Grande Punto, Idea, Linea és Doblo, Lancia Ypsilon és Musa, Opel / Vauxhall Agila, Corsa, Tigra TwinTop és Meriva, Suzuki Swift és Ignis)
Bursa, Törökország	1,6 literes benzines motorok; 5 sebességű manuális váltók (Fiat Albea, Linea és Doblo)

Fiat-csoport	
Maranello, Olaszország	motorok és váltók Ferrarikhoz és Maseratikhoz

Ford Európa / Premier Automotive Group	
Bridgend, Nagy-Britannia	1,25, 1,4 és 1,6 literes, 4 hengeres Zetec benzines motorok (Ford Fiesta, Fusion, Focus és C-Max, Volvo S40 / V50, Mazda 2); 3,5, 4,2 és 4,4 literes V8-as benzines motorok (Jaguar S-Type, XJ és XK, Land Rover Discovery, Range Rover Sport); 3,2 literes, 6 hengeres benzines motorok (Land Rover Freelander, Volvo S80 és XC90)
Dagenham, Nagy-Britannia	1,4, 1,6, 1,8, 2,0, 2,2 és 2,4 literes 4 hengeres dízelmotorok (Ford Fiesta, Fusion, Focus, C-Max, Transit Connect, Fiesta Pickup, S-Max, Galaxy, Mondeo és Transit, Jaguar X-Type, Mazda 2, LDV); 2,7 literes V6-os dízelmotorok (Jaguar S-Type és XJ, Land Rover Discovery, Range Rover Sport, Peugeot 407, Citroën C5 és C6); 3,6 literes V8-as dízelmotorok (Range Rover és Range Rover Sport)
Köln, Németország	4 literes V6-os benzines motorok (Ford Explorer, Ranger és Mustang, Mercury Mountaineer, Land Rover Discovery); 4,3 literes V8-as benzines motorok (Aston Martin); 6 literes V12-es benzines motorok (Aston Martin)
Skovde, Svédország	2 és 2,4 literes, 5 hengeres benzines motorok (Volvo S40, V50, S60, C70, V70, C30, S80 és XC90, Ford Focus és S-Max); 2,4 literes, 5 hengeres dízelmotorok (Volvo S40, V50, S60, V70, S80, XC90); 2 literes, 4 hengeres dízelmotorok (Volvo S40, V50 és C30, Ford Focus, C-Max és Focus CC)
Inonu, Törökország (Ford Otosan, 41%-ban Ford-, 41%-ban Koc Holding-tulajdon)	7,3 literes, 6 hengeres dízelmotor (Ford Cargo); 3,2 literes 5 hengeres motorok; 2,4 literes 4 hengeres dízelmotorok (Ford Transit); manuális váltók (Ford Transit)
Valencia, Spanyolország	1,8 literes, 4 hengeres Duratec HE motor (Ford Focus, C-Max és Mondeo); 2 literes 4 hengeres Duratec HE motor (Ford Mondeo és S-Max)

GAZ	
Nyizsnyij-Novgorod, Oroszország	5 sebességes manuális váltó (GAZ); 2,1 literes turbódízel motorok (GAZ kishaszonjárművek)

GM Powertrain Europe	
Bochum, Németország	5 sebességes manuális és félautomata váltók (Opel / Vauxhall)
Kaiserslautern, Németország	1,9, 2,0 és 2,2 literes benzines motorok (Cadillac, Opel / Vauxhall, Saab, Fiat); 1,9 literes common-rail dízelmotorok (Cadillac, Opel / Vauxhall, Saab)
Rüsselsheim, Németország	6 sebességes manuális váltók (Cadillac, Opel / Vauxhall, Saab, Fiat)
Göteborg, Svédország	5 sebességes manuális váltók (Cadillac, Saab)
Soedertalje, Svédország	2,0 és 2,3 literes, 4 hengeres benzines motorok (Saab)
Bielsko-Biala, Lengyelország (50%-ban GM-, 50%-ban Fiat-tulajdon)	1,3 literes common-rail dízelmotorok (Opel / Vauxhall, Fiat, Lancia, Suzuki)
Tychy, Lengyelország	1,7 literes dízelmotorok (Opel / Vauxhall, Fiat)
Aspern, Ausztria	3 és 4 hengeres, 1,0, 1,2 és 1,4 literes benzines motorok (Opel / Vauxhall, Fiat); 5 és 6 sebességes manuális váltók (Opel / Vauxhall, Fiat)
Strasbourg, Franciaország	6 sebességes automata váltók (BMW, GM), 6 sebességes manuális váltók
Szentgotthárd, Magyarország	1,6 és 1,8 literes, 4 hengeres benzines ECOTEC motorok (Opel / Vauxhall, Fiat); 5 és 6 sebességes automata váltók

Getrag	
Ludwigsburg, Németország	manuális váltók
Neuenstein, Németország	manuális, félautomata és duplakuplungos váltók
Rosenberg, Németország	manuális váltók
Modugno, Olaszország	manuális váltók

Getrag Ford	
Köln, Németország	manuális váltók
Bordeaux, Franciaország	manuális és félautomata váltók
Halewood, Nagy-Britannia	manuális és félautomata váltók
Kechnec, Szlovákia	duplakuplungos váltók

Honda	
Swindon, Nagy-Britannia	1,8 és 2,0 literes benzines motorok (Honda Civic és CR-V); 2,2 literes, 4 hengeres dízelmotorok (Honda Civic és CR-V)

Hyundai	
Nosovice, Csehország	váltók (2008-tól)

Isuzu	
Polska, Lengyelország (60%-ban GM-, 40%-ban Isuzu-tulajdon)	1,7 literes, 4 hengeres közvetlen befecskendezésű dízelmotorok (Opel / Vauxhall Astra, Corsa és Meriva)

Kia	
Zsolna, Szlovákia	1,4 és 1,6 literes benzines motorok; 1,6 és 2 literes dízelmotorok
Lombardini	
Reggio Emilia, Olaszország	1, 2, 3 és 4 hengeres, folyadékhűtéses dízelmotorok; 1 hengeres, levegőhűtéses benzinmotorok, 2 hengeres, folyadékhűtéses benzinmotorok
Nissan	
Barcelona, Spanyolország	2,5 literes turbódízel motorok (Nissan Navara, Pathfinder)
Sunderland, Nagy-Britannia	1,2 literes motor (Nissan Micra); 1,4 literes motor (Nissan Micra, Micra C+C és Note)
Porsche	
Zuffenhausen, Németország	V8-as motorok (Porsche Cayenne); boxermotorok (Porsche Boxster, Cayman és 911)
PSA Peugeot Citroën	
Douvrin, Franciaország (Francaise de Mecanique – 50%-ban PSA-, 50%-ban Renault-tulajdon)	1,1, 1,4 és 1,6 literes, 4 hengeres benzines és CNG-motorok (PSA); 3 literes V6-os benzines motorok (PSA, Renault, Fiat, Lancia); 1,4 és 1,6 literes, 4 hengeres benzines motorok (PSA, BMW); 1,4 literes, 4 hengeres HDI dízelmotorok (PSA, Ford)
Metz, Franciaország	manuális váltók (PSA, Fiat)
Tremery, Franciaország	1,9 literes dízelmotorok (PSA); 1,8 és 2 literes, 4 hengeres benzines motorok (PSA); 1,6, 2,0 és 2,2 literes HDI dízelmotorok (PSA, Ford)
Valenciennes, Franciaország	automata, manuális és félautomata váltók (PSA)
Renault	
Cleon, Franciaország	2 literes, 16 szelepes turbós motorok; 1,9 literes benzines motorok; 2,0, 2,2 és 2,5 literes dCi dízelmotorok; 5 és 6 sebességes manuális és félautomata váltók
Douvrin, Franciaország (Francaise de Mecanique – 50%-ban Renault-, 50%-ban PSA-tulajdon)	1,0 és 1,2 literes turbós benzines motorok (Renault, Nissan, Dacia)
Ruitz, Franciaország (Societe de Transmissions Automatiques – 80%-ban Renault, 20%-ban PSA-tulajdon)	automata váltók
Sevilla, Spanyolország	5 és 6 sebességes manuális váltók
Valladolid, Spanyolország	1,6 literes, 16 szelepes benzines motorok; 1,5 literes, 4 hengeres dízelmotorok
Cacia, Portugália	5 és 6 sebességes manuális váltók (Renault)
Bursa, Törökország	1,4 literes, 8 szelepes benzines motorok (Renault Clio, Kangoo és Mégane); 1,4 literes, 16 szelepes benzines motorok; 1,6 literes, 16 szelepes motorok; 5 sebességes manuális és félautomata váltók
Pitesti, Románia	1,4 és 1,6 literes benzines motorok; 1,5 literes dízelmotorok; 5 sebességes manuális váltók (Dacia)
Volzhskiy Motors	
Uljanovszk, Oroszország	2,4 literes, karburátoros benzines motor (UAZ); 2,9 literes, karburátoros benzines motorok (UAZ kishaszonjárművek); 2,9 literes multipoint befecskendezéses benzines motorok (UAZ kishaszonjárművek és GAZ Gazella)

Toyota	
Jelcz-Laskowice, Lengyelország	2,2 literes dízelmotorok (Toyota Auris, Avensis és Corolla Verso); 2 literes dízelmotorok (Toyota Auris és Avensis)
Walbrzych, Lengyelország	1 literes benzines motorok (Citroën C1, Peugeot 107, Toyota Aygo és Yaris); manuális váltók 1-től 1,8 literes motorokhoz; többfunkciós váltók (Citroën C1, Peugeot 107, Toyota Aygo)
Valenciennes, Franciaország	1,0 és 1,3 literes VVT-i benzines motorok; 1,4 literes D-4D dízelmotorok (Toyota Yaris)
Deeside, Nagy-Britannia	1,4, 1,6 és 1,8 literes VVT-i benzines motorok

VM Motori	
Cento, Olaszország (51%-ban VM Motori / Roger Penske Group, 49%-ban DaimlerChrysler-tulajdon)	2,5 és 2,8 literes, 4 hengeres dízelmotorok (Chrysler Voyager, Jeep Cherokee és Wrangler, Dodge Nitro, Jiangling Landwind, London Taxi LTI TX4, LDVMaxus és BMC kishaszonjárművek)

Volkswagen	
Chemnitz, Németország	1,9 és 2 literes, 4 hengeres dízelmotorok; 1,4 és 1,6 literes, 4 hengeres benzines motorok (VW)
Kassel, Németország	4 sebességes automata váltók; 5 és 6 sebességes manuális váltók; 6 sebességes duplakuplungos és CVT-váltók
Salzgitter, Németország	3, 4, 5 és 10 hengeres dízelmotorok; 4, 6, 12 és 16 hengeres benzines motorok (VW)
Pozsony, Szlovákia	5 és 6 sebességes manuális váltók (Skoda)
Győr, Magyarország	4, 6, 8 és 10 hengeres benzines és dízelmotorok (Audi)
Mlada Boleslav, Csehország	1,2 literes, 3 hengeres benzines motorok; 1,4 literes, 4 hengeres benzines motorok; MQ200 jelű manuális váltók (Skoda)
Polkowice, Lengyelország	1,9 literes, 4 hengeres dízelmotorok (VW)
Prat, Spanyolország	5 és 6 sebességes manuális váltók (Seat)
Sant' Agata Bolognese, Olaszország	10 és 12 hengeres benzines motorok (Lamborghini)
Crewe, Nagy-Britannia	6,8 literes, 8 hengeres benzines motorok; 6 literes, 12 hengeres motorok (Bentley)

Zavolzh Motor Works	
Zavolzh, Oroszország (100%-ban a SeverstalAvto tulajdona)	2,3, 2,4, 2,9, 4,3 és 4,7 literes, karburátoros benzines motorok (GAZ középkategóriás személyautók, kishaszonjárművek, terepjárók, nagyhaszonjárművek, PAZ buszok, UAZ terepjárók); 2,3, 2,5 és 2,7 literes, multipoint befecskendezéses benzines motorok (GAZ kishaszonjárművek, minibuszok, Volga középkategóriás személyautók, UAZ Patriot, Hunter terepjárók); 2,2 literes dízelmotorok (középkategóriás személyautók, kishaszonjárművek, minibuszok és 3,5 tonna össztömeg alatti terepjárók); 2,5 literes turbós benzines motorok (középkategóriás személyautók, terepjárók)

ZF Friedrichshafen	
Brandenburg, Németország	manuális és félautomata váltók (BMW, Land Rover, Porsche, VW)
Saarbrücken, Németország	automata váltók (Alpina, Aston Martin, Audi, Bentley, BMW, Fiat-csoport, Jaguar, Land Rover, Maserati, Porsche, PSA, Rolls-Royce, VW)

Haszongépjármű-dugattyúk nagy mechanikai és hőterhelésre

Enyingi Kálmán
okleveles kohómérnök

Az 1920-ban alapított Mahle Konzern a belső égésű motorok gyártásához több egységet is szállít, dugattyúkat, dugattyúcsapszegeket és -gyűrűket, hengerperselyeket, forgattyúházakat különféle ötvözetekből, a megrendelő által kívánt tulajdonságokkal. A legnagyobb figyelmet azonban a dugattyúgyártás fejlesztésére fordították. Kifejlesztettek a haszongépjárművekhez alumíniumötvözetből új, és azon kívül szerkezet szerint többfajta dugattyút.

Mahle Group, established in 1920, is a supplier of several units for the production of combustion engines, such as pistons, piston pins and rings, cylinder bushings, crankcases – from different alloys, with features requested by the customer. The highest attention was directed however to the development of piston production. New, aluminium alloy pistons were developed for commercial vehicles, beside several other types of different structure.

A nagy terheléstartományhoz kifejlesztett dugattyúk ellenállnak a ma gyakori 200 bar gyújtónyomásos terhelésnek és lehetővé teszik haszongépjárművekben egymillió kilométer feletti futás teljesítményét. A követelmények azonban még tovább növekednek, a cél a teljesítmény növelése és az üzemanyag-fogyasztás és a füstgázkibocsátás jelentős csökkentése. A jövőben még nagyobb, 250 bar lesz a gyújtási nyomás, aminek következtében megnövekszik a dugattyú mechanikai és hőterhelése. A nagyon igénybevett dízelmotorokhoz gyártja a Mahle a Monotherm-dugattyút, amellyel a motorgyártóknak új, biztonságosabb felhasználási lehetőséget biztosított.

A világon a Mahlenak sikerült egyedül, a fejlesztésben vezető vállalként és rendszergazdaként a célokat meghatározni. Európában ma még nagyobb részben alumíniumdugattyúkat használnak, ez a helyzet azonban ennek az évszázadnak a végéig jelentősen megváltozik, az Euro 5-ös füstgázhatárérték kötelező, szigorú betartása ezt megköveteli. Az acéldugattyút



2. ábra: Ferrotherm-dugattyú



1. ábra: alumínium gyűrűtartós dugattyú haszongépjármű dízelmotorokhoz

az erősen terhelt motoroknál felváltja az alumíniumdugattyút. Az acéldugattyút az ötvözet nagyobb rugalmassága jellemzi. A kovácsolt acél esetén nagyobb a technológiai biztonság és az anyag szilárdsága. Az anyagszilárdság biztosítja az egymillió kilométer fölötti futásteljesítményt, ugyanakkor megfelel a 250 bar a gyújtónyomás-terhelésnek.

A Mahle kifejlesztette az erősen terhelt haszongépjárművekhez a gyűrűtartós alumíniumdugattyút, 200 bar-os közepes gyújtásnyomásra. A dugattyút a nagy hőállóságú Mahle 174+ alumíniumötvözetből gyártják, és a gyűrűtartó használatával az élettartamát jelentősen növelik. A haszongépjármű dízel-motorokhoz gyártott, gyűrűtartós alumíniumdugattyút az 1. ábrán mutatjuk be.

A dugattyúk gyártásához felhasznált anyagoknak sokféle követelményt kell teljesíteniük. A változó hőmérsékleten üzemelő dugattyúötvözetnél a nagy szilárdság mellett a kis sűrűség, jó hővezető képesség, kedvező kopási tulajdonságok és hőtágulás játszanak fontos szerepet. Az ide-oda mozgó meghajtáselemek tömegerei jelentős terhelést jelentenek a motoralkatrészekre, a Mahle 174+

jelű ötvözet azonban ezeket a követelményeket teljesíti. Az ötvözet jó hővezető képessége a dugattyú hőmérsékletét kedvezően befolyásolja és az anyag melegsíllárdsága az alakváltozás és a kifáradással szemben megfelelő biztonságot jelent.

A belső égésű motorok dugattyúinak a gyártásához nagyobb részben az alumínium-szilícium ötvözeteket használják fel. Már 1926-ban mint szabványos ötvözetet használták a Mahle 124 jelű, 12% szilíciumtartalmú, eutektikus ötvözetet, és eddig sem találtak jobb szerkezeti anyagot a dugattyúk gyártásához, amely követelményeket jobban kielégítené. Ez egy több alkotós ötvözet, amely a (11–13%) szilíciumon kívül (0,8–1,5%) rezes, nikkelt és magnéziumot tartalmaz. Ez az alumíniumötvözet a leggyakrabban használt szerkezeti anyag, amelyet dugattyúk gyártásához ma felhasználnak és biztosítja a kedvező mechanikai, fizikai és technológiai tulajdonságokat. Különösen a nagy hőmérsékleten üzemelő dugattyúk gyártásához fejlesztették ki a Mahle 174+ ötvözetet, amelynek nagyobb a réz- és a nikkeltartalma, mint a hagyományos Mahle 124 ötvözeté. Jelentősen nagyobb a nagy hőmérsékleten mért melegsíllárdsága.

A belső égésű motor fontos eleme a dugattyúra szerelt gyűrű, amely általában ötvöztelen vagy gyengén ötvözött öntöttvas. Nagyon sok öntőde készít dugattyúgyűrűt is, ezek között a legismertebbek a Goetze AG által gyártott gyűrűk, ezek vegyi összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Minőség/ Összetétel	GOE 12 (STD)	GOE 14 (LP7)	GOE 32 (F14)	GOE 52 (KV1)
C	3,4–3,9	3,0–3,7	2,5–3,3	3,5–4,0
Si	2,2–3,2	1,5–2,3	3,6–4,6	2,4–3,2
Mn	0,5–1,0	0,5–1,0	0,8–1,2	max. 0,5
P	0,3–0,6	max. 0,4	max. 0,35	max. 0,3
S	max. 0,13	max. 0,15	max. 0,15	max. 0,05
Cr	0,1–0,4	0,2–0,7	0,2–0,6	max. 0,2
V			0,3–0,7	
Mo		max. 0,5	0,5–1,0	
Ni			0,5–1,0	
Cu	0,1–0,7	max. 0,5	0,5–1,0	max. 1,0
Mg				max. 0,1
V	max. 0,15			
Ti			max. 0,3	
W			0,8–1,2	
Nb			0,1–0,4	

1. táblázat

A GOE 52 (KV1) ötvöztelen (ebből készítik a Rába-MAN motor gyűrűit), a többi ötvözött dugattyúgyűrű-anyag.

A dugattyúgyűrűk mechanikai tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

Mech. tulajdonságok/minőség	Keménység	Hajlító szilárdság	Rugalmassági együttható
GOE 12 (STD)	94–106 HRB, 200–290 HB	min. 350 MPa	100 000 MPa általános, 85 000–115 000 MPa
GOE 14 (LP7)	200–280 HB	min. 420 MPa	90 000–120 000 MPa
GOE 32 (F14)	109–116 HRB, 35–49 HRC	min. 650 MPa	130 000–160 000 MPa
GOE 52 (KV1)	104–112 HRB, 25–42 HRC	min. 1300 MPa	Min. 150 000 MPa

2. táblázat



3. ábra: Mono-therm-dugattyú

A dugattyúgyűrű futófelületét különféle technológiával kezelik, hogy a kopás- és berágódásállóságát növeljék. Ilyenek a galvan módszerrel felvitt króm, a lángszórással felvitt molibdén-króm-karbid és a plazma eljárással felvitt fém kerámia (alumínium- és titánkarbid) réteg. A felvitt normál réteg vastagsága (0,10–0,30) mm, a vastag réteg vastagsága pedig (0,5–0,8) mm.

A gyűrűtartós gyűrűk gyártásához felhasznált legismertebb anyag a NiResist austenites gömbgrafitos öntöttvas. A minőségtől függően ezeknek az öntöttvasfajtáknak nagy a melegsíllárdsága, reveállósága, különösen nagy a hőtágulási és kedvező a futási tulajdonsága, a szívóssága és a kimaródásállósága.

A haszongépjárművekbe szerelt elemeknél nagyok a követelmények, mert az üzemi körülményektől függően a gyújtási nyomás (180–230) bar között változik. A Mahle által kifejlesztett Mahle 174+ alumíniumötvözetből készítik, a gyűrűtartós dugattyúnál a közepes tartományban a gyújtási nyomás 200 bar.

A hűtött gyűrűtartóval az élettartam jelentősen megnövekszik. Így például az ilyen típusú dugattyúnál a fenék peremén mért hőmérséklet 30 °C-kal kisebb, a gyakorlatban ez a csökkenés az élettartam megduplázását jelenti. A dugattyú tartós futásnál 220 bar fölötti gyújtási nyomást is elérhet. A dugattyúnál az olaj fogyasztása kiváló, az üzem közbeni méretváltozása a gyártási tűréseken belül van.

A Mahle már 1997-ben kifejlesztette a hűtött gyűrűtartóval gyártott alumíniumdugattyút a személygépkocsi dízelmotorokhoz. Széles körű felhasználást ezen a területen a haszongépjárművek dugattyúinak a fejlesztése biztosította.

A dízel-dugattyúknál lényegesen nagyobb a gyújtási nyomás, mint az Otto-motoroknál, a követelményt a súrlódási és a kopási ellenállással szemben az első gyűrűhoronynál a gyűrűtartó beépítésével elégítik ki. A gyűrűtartó gyártásánál előnyt élvez a NiResist, austenites gömbgrafitos öntöttvas, amelynek hőtágulása megegyezik az alumínium hőtágulásával. A gyűrűtartó és a dugattyúanyag között az úgynevezett Alfin eljárással fémes kötést alakítanak ki, amely az alumínium és az öntöttvas között öntés-technikai módon alakul ki, aminek következtében az alumínium-dugattyú és az öntöttvas gyűrű egy egységet alkot. Ez megvédi a gyűrűt a füstgáz kedvezőtlen hatásával és a tömegerejével szemben, valamint jobb hőátadást tesz lehetővé.

A NiResist austenites gömbgrafitos öntöttvasak biztosítják a rendkívüli technológiai és fizikai tulajdonságokat és rendkívüli üzem

körülmények között sokféle felhasználási lehetőségre alkalmasak. Ezek az öntöttvasak mindig biztosítják a nagy melegszállású, reveálóságot, különösen nagy hőtágulási és kedvező futási tulajdonságokat, korrózióállóságot, hidegszívósságot, valamint a berágódásállóságot.

Az austenites gömbgrafitos öntöttvasak vegyi összetételét a DIN 1694 és a DIN EN 13835: 2006. 08. szabványok szerint a 3. táblázat tartalmazza.

Minőség		C max.	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cr
DIN	DIN-EN								
GGG-NiCr 20 2 NiResist D-2	JL-20101	3,0	1,5– 3,0	0,5– 1,5	< 0,08	< 0,01	0,035– 0,045	18,0– 22,0	1,0– 2,5
GGG-NiMn 23 4 NiResist D-2M	JL-20301	2,6	1,5– 2,5	4,0– 4,5	< 0,08	< 0,01	0,035– 0,045	22,0– 24,0	< 0,2
GGG-NiSiCr 30 5 5 NiResist D-4	JL-30301	2,6	4,0– 6,0	0,5– 1,5	< 0,08	< 0,01	0,035– 0,045	28,0– 32,0	4,5– 5,5

3. táblázat

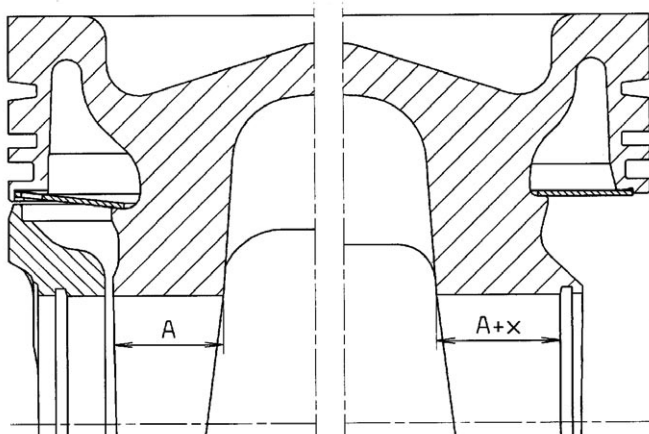
Az öntöttvasba adagolt magnézium biztosítja, hogy a grafit gömb alakú legyen.

Az austenites gömbgrafitos öntöttvasak mechanikai tulajdonságait a 4. táblázat tartalmazza.

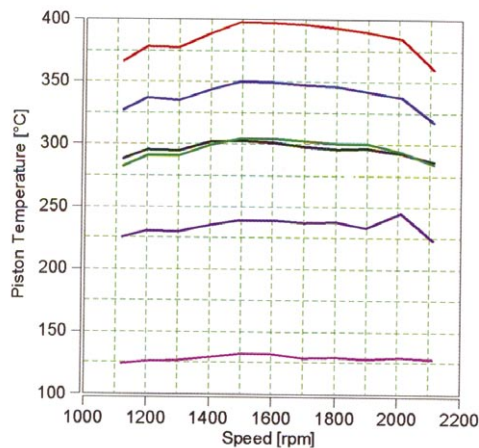
Minőség		Szakító- szilárdság Rm N/mm ²	Folyás- határ Rp 0,2 N/mm ²	Nyúlás A5 %	Rugal- massági együtt- ható E kN/mm ²	Ütőmunka A J	Ke- mény- ség HB
DIN	DIN-EN					DVM	ISO
GGG-NiCr 20 2 NiResist D-2	JL-20101	370– 480	210– 250	7,0– 20,0	112–130	14– 27	13
GGG-NiMn 23 4 NiResist D-2M	JL-20301	440– 480	210– 240	25–45	120–140	24– 34	24
GGG-NiSiCr 30 5 5 NiResist D-4	JL-30301	390– 500	240– 310	1,0–4,0	91		

4. táblázat

Az USA-ban az acéldugattyúk korszaka a haszongépjárműveknél és az építőipari gépeknél már a múlt évszázad 80-as évek közepétől kezdődött. Leginkább az élettartam és a megbízhatóság növelését állították a középpontba. A feladat akkor az úgynevezett Pendelschaftkolben (Mahlénál „Ferrotherm dugattyú”-nak nevezik) gyártása volt. Ezt a dugattyút a 2. ábrán mutatjuk be, amely két részből, egy kovácsolt acél felsőrészből és egy



4. ábra: Ferrotherm- és Monotherm-dugattyú perselyszélessége



5. ábra: dugattyú hőmérséklete a sebesség függvényében

alumíniumból öntött dugattyúpalástból áll. Az acél felsőrész magába foglalja az égésteret, a gyűrűhornyot és a csapperselet. A dugattyúpalást szolgál a dugattyú megvezetésére a hengerben. Mindkét dugattyúrész a Ferrotherm-dugattyúnál a dugattyúcsap fölött lengően kötik össze egymással és a hengercsővel központosítják.

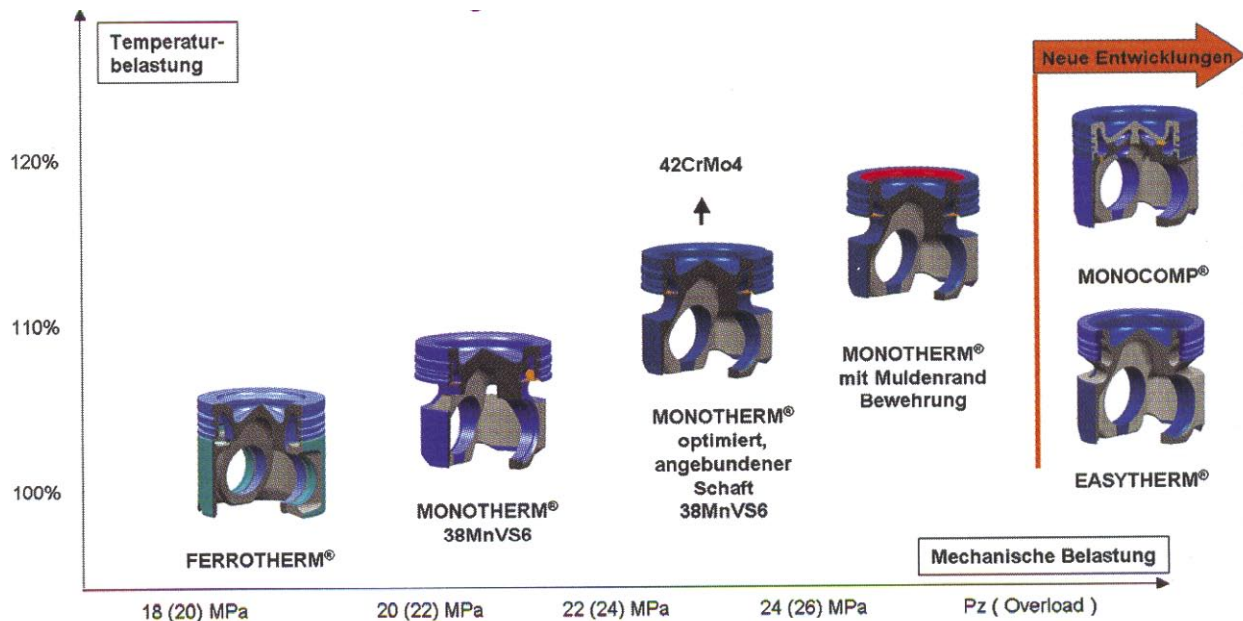
A Monotherm-dugattyút a 3. ábrán mutatjuk be. Ez azzal tűnik ki, hogy a palástot egy elemként alakították ki, és ez magába foglalja a dugattyúcsapperselet. A fejlesztést 1996-ban kezdték el és már két évvel később kialakult az első, biztos vevőkör. A szériagyártás 2000-ben kezdődött el az USA-ban, és az első dugattyúkat az építőipari gépeknél használták fel. Azóta a Mahle Monotherm-dugattyút majdnem minden jelentős európai és amerikai motorgyártó vállalat felhasználja a sorozatgyártásnál, a gyártmány- és gyártástechnológiát közösen fejlesztik tovább. Az Ázsiában üzemelő Mahle-üzemekben is gyártják ezeket a dugattyúkat, és részt vesznek a fejlesztési munkákban. Ezeket használják a közepes teljesítményű tehergépkocsi-motoroknál kb. 6 és 18 literes lökettérfogatig. Az építőipari gépeknél a közepes nagyságú álló motoroknál 60 literes hengertérfogatig az eddig használt Ferrotherm-dugattyúkat a piacról teljesen kiszorították. A motorok hengerátmérője jelenleg 100 és 200 mm között van, és a csúcsnyomás eléri a 250 bart.

A Mahle Monotherm-dugattyút a világ sok országába szállít, és 17 fajta, szériában gyártott motorba építik be, illetve jelenleg 24-féle vizsgálaton vesznek részt. Eddig a Mahlénál már ötmillió Monotherm-dugattyút gyártottak és 2009-től a Mahle üzemeiben évente több mint kétféle ilyen dugattyút gyártanak.

A Monotherm-dugattyú előnyei a Ferrotherm-dugattyúval szemben:

- nagyobb gyújtónyomás-terhelhetőség,
- kisebb felületi roncsolódásra való hajlam,
- csökkentett súrlódási teljesítmény,
- lehetőség a kompressziós nagyság és a motor tömegének a csökkentéséhez,
- kisebb tömeg,
- egyszerűbb megmunkálás.

A nagyobb terhelhetőségből következik elsősorban, hogy a dugattyúcsap perselycsapágy felületét megnövelték. A 4. ábrán a Ferrotherm- és Monotherm-dugattyú perselyszélességét mutatjuk be. A mindkét fajta perselynél, a palástonál bekövetkezik a szerkezet merevsége, aminek eredménye a kisebb alakváltozás és feszültség. Az egyforma hőtágulás vezet a súrlódási teljesítmény javulásához és ezzel az üzemanyagmegtakarításhoz. A Monotherm-dugattyú egyrészes kialakításával lehet a másodlagos mozgást a dugattyúpaláston elkerülni, úgy, hogy a kopás csökkenjen.



6. ábra: dugattyúk hőterhelése a terhelési fokozat szerint

A dugattyúk hőmérsékletét 700 °C hőmérséklet-tartományban, teljes terhelési feltételek között üzemelő motoroknál a Mahle saját módszerével, NiCr-Ni termoelemmel, folyamatos méréssel és az adatokat automatikus adatátvitellel mérték. Az 5. ábrán a különböző sebességnél mért dugattyú-hőmérsékleteket mutatjuk be.

Az acéldugattyúknál adott a terhelhetőség határa. Ez leginkább a nagyobb hőmérsékleteknél fontos, az acél viszonylag kis hőátvitele miatt. Itt az anyagköltségek miatt 500 °C-os tartományban, elsősorban a mikroötvöztött 38MnVS6 acélt használják, amelynél 450 °C hőmérsékletnél megkezdődik a szilárságnövekedést biztosító perlites átalakulás, 500 °C-ig pedig a 41CrMo4 jelű nemeshető acélt ajánlják. A Mahlenak már évtizedes a tapasztalata a haszongépjárművekbe beépített acéldugattyúk gyártásánál. A fejlesztésnél most szóban forgó Euro 5 és US 2010 motorgenerációknál a Mahle a Monotherm-dugattyúkkal teljesíti a megkövetelt feltételeket, és motorgyártóknak a megfelelő megoldásokat ajánlhatja. A 6. ábrán a gyártott, különféle dugattyúk terhelési fokozatait mutatjuk be. Magától értetődően a Mahle a dugattyúgyártás fejlesztését már évekre előre tervezi.

Az úgynevezett Monocomp- és az Easytherm-dugattyúkat (többrészes acéldugattyúk) a nagyobb mechanikai és hőterhelésre fejlesztették ki.

A Mahle Konzern megfelelő hatáskörrel a belsőégésűmotor-, valamint a gépkocsigyártás fejlesztési területén a gyártó vállalatok vezető munkatársa. Sok energiát fordít a dugattyúk gyártmány- és gyártásfejlesztésére is. A vevői köréhez tartozik sok ismert, többféle belső égésű motort gyártó vállalat. Megfelelő anyagminőséggel, szállításpontossággal és rendkívüli innovációs lehetőséggel átlagon felül biztosítja a motor- és gépkocsigyártás fejlesztését. A vállalatnak a világ minden részén van üzeme, és vevőköréhez tartozik sok ismert belső égésű motort gyártó vállalat.

Irodalom

- [1] Aluminiumkolben für hoch belastete NKW-Dieselmotoren, www.jobs.mahle.com
- [2] Mahle entwickelt Aluminiumkolben für NKW-Dieselmotoren, www.all4engineers.com
- [3] Kolben Werkstoffe, www.motorlexikon.de
- [4] Austenitisches Gusseisen, www.konstruktionspraxis.de
- [5] Austenitisches Gusseisen mit Kugelgraphit, DIN 1694, DIN EN 13835: 2006. 08., www.behringer.net
- [6] Goetze Kolbenring Werkstoffe, www.gromex.de
- [7] Michael Ullrich – Rainer Scharp: Nutzfahrzeugkolben für erhöhte mechanische und thermische Belastungen, MTZ 06/2007.

Gépjárművek mérésére szolgáló és gépjárművekbe beépített biztonsági radarok statisztikai elmélete (2. rész)

Dr. habil. Molnárka Győző

egyetemi docens,
a matematikai és fizikai
tudományok kandidátusa,
Széchenyi István Egyetem,
Műszaki Tudományi Kar,
Matematika
és Számítástudományi Tanszék

Dr. Oláh Ferenc

okl. villamosmérnök,
okl. lokátor szakmérnök,
főiskolai docens,
Széchenyi István Egyetem,
Műszaki Tudományi Kar
Közlekedési Tanszék

A radar és a radarral történő mérés a 20. század első felében jelent meg és indult fejlődésnek. A polgári alkalmazások csak a II. világháború után kezdtek elterjedni. Ma már a mindennapi gyakorlat részévé vált. A polgári járművek felderítésére, leszállítására, kikötőbe történő bevezetésére, sebesség, oldalszög, helyszög és távolság, illetve hely meghatározására általánosan használják. Egyre jobban terjed a szárazföldi – közúti – járművekben is, amelynek célja a közlekedés biztonságának növelése. A radarok és lidarok – lézer radarok – egyszerűsített elméletére vonatkozó irodalom viszonylag könnyen hozzáférhető. A korszerű radar működése azonban bonyolult matematikai módszerekkel tárgyalható. A valószínűségelméleten alapuló eszköz bázisra épül. Az elmélet kiterjed minden radartípusra. Ha figyelembe vesszük a természetes és mesterséges zajok által keltett hatást is, számítani kell arra, hogy a hasznos jel a zajban elveszik, mégis fel kell ismerni. Ez tovább nehezíti a feladatot. Ebben a dolgozatban a gyakorlatban előforduló leggyakoribb esetek elméletét kívánjuk ismertetni, amelyből megtudhatjuk, hogyan lehet a zaj által takart hasznos jelet kiszűrni magából a zajból. Ennek megoldása a rádiólokációs elmélet alapvető feladata.

Measuring with radars started in the first half of the 20th century. Civilian applications only get round after the 2nd World War. Nowadays radars are part of our everyday life. They are used to discover and deliver civilian vehicles and to determine speed, distance, rotation and position. It is commonly used in the vehicles in road traffic in order to increase traffic safety. The literature of the simplified theory of radars and lidars (laser radars) is easily accessible. The operation of the modern radars however has to be discussed with complicated mathematical methods. It is based on the instruments of the probability theory. The theory include all of the radar types. If the effects caused by the natural and artificial noises are also considered, you have to expect that the useful sign will be missing in the noise, but you still have to recognize it. This makes the task more difficult. We would like to present the theory of the most frequent cases, and how to filter out the useful sign out of the noise. This is the essential task of the radar theory.

11. A CÉL EFFEKTÍV VISSZAZERŐ FELÜLETE

Effektív visszaverő felületnek nevezzük azt az elektromágneses hullámok terjedési irányára merőlegesen elhelyezett fémlapot, amely izotrop visszaverődést hoz létre. Ez az [1] – ben a következőképpen van megfogalmazva: „Valamely céltárgy hatásos keresztmetszete egyenlő azzal a felülettel, amelyen a felfogott teljesítmény – ha azt vevőantennaként használnánk – a céltárgy helyén izotrop antennán kisugározva a rádiólokátor vevőantennánál ugyanakkora teljesítményt hoz létre, mint amekkorát a cél reflektál”. Ez a megfogalmazás valójában megegyezik az első mondatban leírtakkal. Egyszerű módszerrel bizonyítható, hogy a célok effektív visszaverő felülete:

$$A_e = 4\pi \cdot D_c^2 \frac{\Pi_2}{\Pi_1}, \quad (70)$$

ahol: D_c = adott céltávolság,

Π_1 = a célt megvilágító teljesítménysűrűség,

Π_2 = a cél mint izotropsugárzó által kisugárzott teljesítménysűrűség (Poynting vektor).

Gyakorlatban a Π_1 számítható az elektrodinamika törvényei szerint, míg a Π_2 értékét kísérleti úton határozzák meg. Ekkor már meghatározható az effektív visszaverő felület a vétel helyén.

Egy nem szabályos, tehát valódi cél effektív visszaverő felületét a gyakorlatban nem számítással, hanem empirikus úton határozzák meg. Ezek szerint egy átlagos méretű személygépkocsi 0,05....0,2 m² átlagos méretű tehergépkocsi 0,6....0,7 m² közepes méretű repülőgép 2,1....2,6 m² nagy méretű személyszállító repülőgép

10....15 m² és egy közepes méretű hajó 20....50 m² effektív visszaverő felülettel rendelkezik. Az empirikus úton történő effektív visszaverő felület meghatározása oly módon történik, hogy egy összetett célt vagy modelt ismert távolságra helyeznek, majd forgatják azt és mérik a visszavert jel elektromos erőterét a vételi pontban, ezután meghatározzák a Π_2 értékét. Az eddigi tárgyalások során nem vettük figyelembe a cél véletlen – stochasztikus – jellegét. A továbbiakban tárgyalt kérdések előkészítése miatt azonban ezt nem kerülhetjük el. Az I. rész 13. kifejezése alapján, figyelembe véve az $f(S_p) \cdot dS_p = f(A_e) \cdot dA_e$ egyenlőséget, amely a gyakorlatban teljesül, írható:

$$f(A_e) = f(S_p) \cdot \frac{dS_p}{dA} = \frac{S_p}{\sigma^2 2KS_p} \exp\left(-\frac{S_p^2 + S_f^2}{2\sigma^2}\right) J_0\left(\frac{S_p + S_f}{\sigma^2}\right), \quad (71)$$

mert az $A_e^2 = K \cdot S_p^2$ teljesül az empirikus mérések során.

Átalakítás után a (71) felírható a következő módon:

$$f(A_e) = \frac{1}{A_{ek}} \exp\left(-\frac{A_e + A_{ef}}{A_{ek}}\right) J_0\left(\frac{\sqrt{A_e} \cdot \sqrt{A_{ef}}}{\frac{1}{2} \cdot A_{ek}}\right) \quad (72)$$

Két eset lehetséges:

a) $A_{ef} = 0$, ami a legrosszabb eset, hiszen nincs fényes pont.

Ekkor $J_0(0) = 1$ tehát:

$$f(A_e) = \frac{1}{A_{ek}} \exp\left(-\frac{A_e}{A_{ek}}\right) \quad (73)$$

A 16. ábra mutatja az effektív felületsűrűség függvényét, amely exponenciálisan csökken. Tervezések során a közepes effektív visszaverő felületet vesszük alapul, ezért teljesülnie kell a következő feltételnek:

$$f\left(A_{e1} \leq \overline{A_{ek}}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{A_{ee}}{A_{ek}}\right) = 0,5 \quad (74)$$

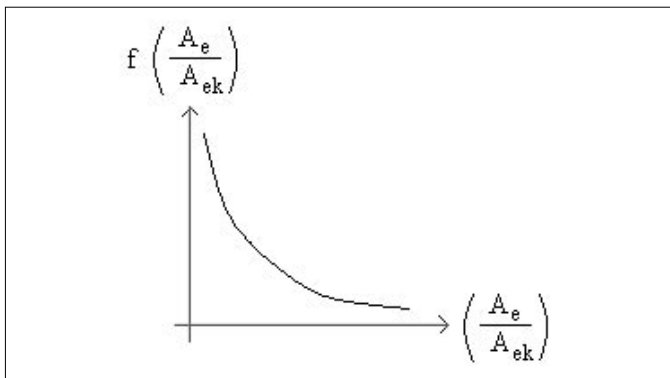
Ez annak valószínűsége, hogy a hibalehetőség 50%-os. Számításokkal kimutatható, hogy ekkor $A_{ee} / A_{ek} = 0,7$

b) $A_{ef} / A_{ek} \gg 1$

Ebben az esetben normális eloszlással írhatjuk le a változások mértékét. Ezt az esetet a 17. ábrán szemléltetjük.

12. A FELDERÍTÉS JELLEMZŐI

A felderítés jellemzői, azok eredményei erősen függenek a kisugárzott jel modulációjától és a választott küszöbszint értékétől. A 9. ábra ismertetében vizsgáljuk meg a 18. ábrát. Ezen jól látható egy valós állapot, amikor a zaj és a hasznos jel összegzett értéke került összehasonlításra a választott küszöbértékkel (16. ábra).



16. ábra: effektív visszaverő felület sűrűségfüggvénye

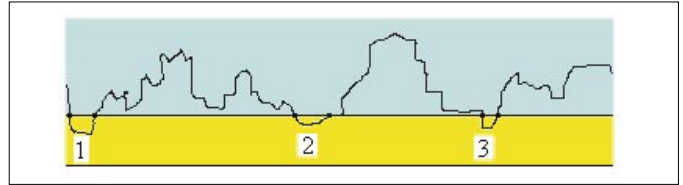
Az alsó (sárga színű) területen az 1 és 2 számú helyeken elveszítjük a célt. Amennyiben növeljük a küszöbszintet, több helyen veszítjük el a célt és ez azt jelenti, hogy minél nagyobb a küszöbszint, annál kevesebb a véletlen kiugrások száma. Ez az oka annak, hogy nagyon fontos a küszöbszint helyes megválasztása. A feladat megoldása érdekében ún. felderítési jellemzőket alkalmaznak. Felderítési jellemzőknek nevezzük azokat a görbéket, amelyek megmutatják a helyes felderítés valószínűségének függését a felderítés együtthatójától (R), adott hamis riadó valószínűsége (F) mellett. A felderítési együttható $R = 2E / N_0$ és a felderítési jellemző függvényét leíró egyenlet:

$$D = f\left(\frac{2E}{N_0}\right)_{F=\text{konst}} \quad (75)$$

ahol E – a jel energiája N – a zaj spektruma.

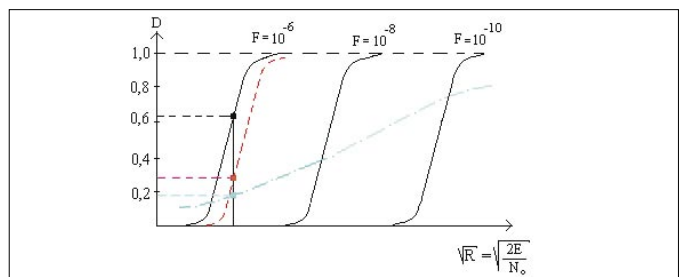


17. ábra: effektív visszaverő felület sűrűségfüggvénye $A_{ef} / A_{ek} \gg 1$ esetén



18. ábra: összegzett jel és a küszöbérték viszonya

Feladat tehát a D (helyes felderítés) által meghatározott függvény felrajzolása. A jel energiájára írhatjuk, hogy $E = P_v \cdot \tau_v$, ahol P_v a vevő bemenetén mérhető teljesítmény és τ_v a megfigyelési idő. Az N_0 mindig mérhető és τ_v is ismert. Az F a hamis riasztás valószínűsége, amelyre önkényesen adunk értéket. Első közelítésben ez legyen 10^{-6} , majd ezt változtassuk 10^{-8} -ra és így tovább, miközben ezeket az értékeket állandónak tekintjük ($F = \text{konst}$). A függvény ábrája a 19. ábrán látható. A folytonos vonal normál viszonyokat mutat. Vizsgáljuk meg az ismert



19. ábra: felderítés jellemzőinek görbéi

fázisú és véletlen amplitúdójú jelek felderítési jellemzőjét. Ekkor látható, hogy a szaggatott görbe érvényes $F = 10^{-6}$ állandó érték esetén. A különbség a két görbe között nagy, de ez tovább nő a véletlen kezdőfázisú és fluktuáló amplitúdójú jelek esetén (pont – vonal).

13. BEVEZETÉS AZ ILLESZTETT SZŰRŐK ELMÉLETÉBE

Az I. részben megállapítottuk, ha a $Z(\tau)$ -t realizáljuk, akkor az optimális vevőt valósítjuk meg. Az világossá vált, hogy többnyire többcsatornás vevőket kellene felépíteni. Vannak azonban olyan lehetőségek, amelyek egyetlen csatornával ugyanazt az eredményt adják. A korábbi megoldásoknál az idő sajátosságait használtuk fel. Illesztett szűrők esetében a jelfrekvenciával kapcsolatos tulajdonságot alkalmazzuk. Az I. részből már ismert jelet felírhatjuk következő módon is:

$$s(t) = S(t)(1 + m \cdot \cos \Omega \cdot t) \cos \omega_0 t \quad (76)$$

A hírközlélmélet tanítása alapján az AM – DSB – két oldalsávú amplitúdó moduláció – jelek felírhatók az alábbiak szerint:

$$s(t) = S(t) \cos \omega_0 t + m S(t) \cos \omega_0 t \cdot \cos \Omega t = \quad (77)$$

$$= S(t) \cos \omega_0 t + \frac{m \cdot S(t)}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{m \cdot S(t)}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t = f(\omega)$$

Az illesztett szűrők elméletét felhasználva ekkor is meg kell határozni a $Z(\tau)$ korreláció integrált, amelynek feltétele a következő egyenlet kielégítése:

$$s(t)_{ki} = c \cdot Z(\tau) \quad (78)$$

A 78. kifejezi azt is, hogy az illesztett (optimális) szűrők tulajdonságai egybeesnek a jel tulajdonságaival.

Bármely szűrőnek két jellemzője van:

- impulzuskarakterisztika
- frekvenciakarakterisztika.

13.1. Illesztett szűrők impulzuskarakterisztikája

Adjunk egy szűrő bemenetére Dirac δ impulzust és vizsgáljuk a szűrő választát $[h(t)]$.

Az elméleti villamosságstanból ismert Dhuamel-tételt alkalmazva írható:

$$s_{ki}(t_1) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t_1 - t) x(t) dt = c \cdot Z(\tau) \quad (79)$$

A 75. kifejezésben (I. rész) $s(t-t_0)$ szerepel, a 79-ben pedig $h(t_1-t)$, ezzel:

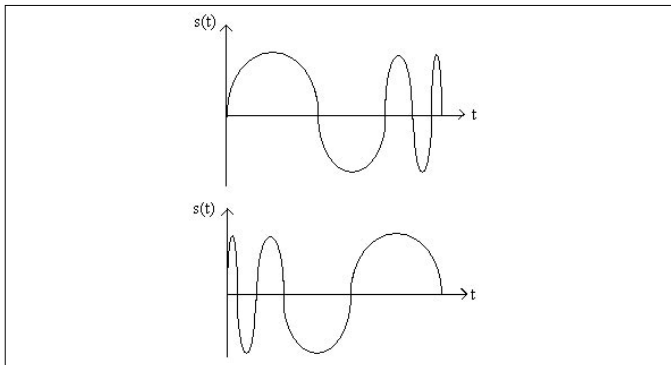
$$h(t_1-t) = c \cdot s(t-t_0) \quad (80)$$

A kifejezést többszörösen átalakítva kapjuk, hogy:

$$h(t) = c \cdot s(t_0 - t), \quad (81)$$

ahol $t_0 \rightarrow$ gyűjtési – megfigyelési – idő.

Ezzel megkaptuk az illesztett szűrő impulzus karakterisztikáját. A kifejezésből következik, hogy az illesztett szűrő impulzus karakterisztikája a hasznos jel tükörképét adja (20. ábra).



20. ábra: illesztett szűrő jelátalakítási tulajdonsága

13.2. Illesztett szűrők frekvenciakarakterisztikája

Az impulzuskarakterisztika alkalmazása nehézkes, ezért a frekvencia karakterisztika vizsgálata, célszerűbb. Amennyiben az illesztett szűrők fázisa $[\varphi(\omega)]$ és amplitúdó $[A(\omega)]$ menete ismert, akkor a szűrő szintézise végrehajtható.

A szűrők elméletéből ismert, hogy:

$$K(j\omega) = \frac{S_{ki}(j\omega)}{S_{be}(j\omega)} \quad \text{és} \quad K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (82)$$

Többszöri átalakítással felírható a szűrő frekvenciakarakterisztikája:

$$K(j\omega) = c \cdot S^*(j\omega) \cdot \exp(-j\omega t_0), \quad (83)$$

ahol $S^*(j\omega)$ konjugált komplex mennyiség.

Ismert, hogy bármely frekvenciakarakterisztika:

$$K(j\omega) = |K(j\omega)| \exp[j \arctg K(j\omega)] \quad (84)$$

Ebből levezethető az alábbi kifejezés:

$$K(\omega) = c \cdot S(\omega) \quad (85)$$

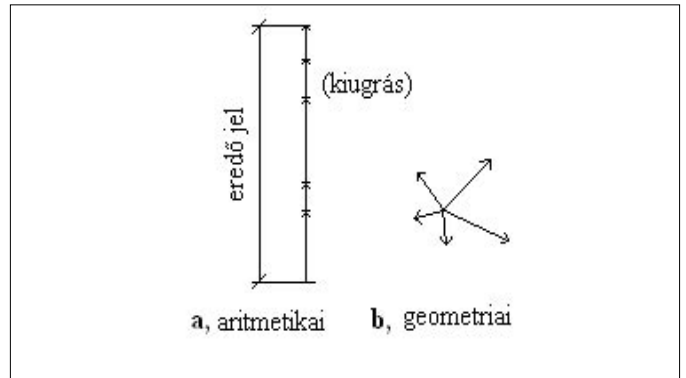
Ez azt jelenti, hogy a frekvenciakarakterisztika arányos a jel spektrumsűrűségével. A 85. feltételt kielégítő szűrőt illesztett szűrőnek nevezzük. Ahhoz, hogy a szűrő illesztett legyen, az szükséges, hogy $A(\omega)$ egybe essen a jelamplitúdó spektrumával.

A fáziskarakterisztikára írható:

$$\arg K(j\omega) = -\arg S(j\omega) - \omega t_0 \quad (86)$$

Ebből látható, hogy a $\varphi(\omega)$ egy meghatározott késleltetéspontossáig egybe kell essen a jel fázisspektrumával, hogy a szűrő illesztett legyen. Érvényes a következő is:

$$\varphi_{ki} = \omega(t - t_0) \quad (87)$$



21. ábra: aritmetikai és geometriai összegzés

Ha $t-t_0=0$, vagyis $t=t_0$, akkor az összes spektrumösszetevő egy időben jelenik meg a kimeneten, ezért egy jelkiugrás jön létre, mert a fázisösszetevők (frekvencia-összetevők) aritmetikailag összegződnek és nem geometriailag (21. ábra).

Az ábrából látható, hogy minél nagyobb a jel spektruma, annál nagyobb a nyereség, ezért lehetőleg széles sávú jeleket alkalmaznak.

13.3. A jel – zaj viszony az illesztett szűrők kimenetén

Szűrő kimenetén a jel Fourier transzformáltja:

$$s_{ki}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{ki}(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (88)$$

$$S_{ki}(j\omega) = c \cdot S^*(j\omega) \exp(-j\omega t_0) S(j\omega) = c \cdot |S(j\omega)|^2 \exp(-j\omega t_0) \quad (89)$$

Maximális kiugrás $t=t_0$ feltétel esetén következik be.

Jel a szűrő kimenetén:

$$s_{ki}(t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} c |S(j\omega)|^2 \exp(-j\omega t_0) \exp(j\omega t_0) d\omega = c \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega \quad (90)$$

Parseval tétele szerint:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega = \int_0^T s^2(t) dt = E \quad (91)$$

Ennek következménye:

$$S_{ki}(t_0) = c \cdot E \quad \text{illetve} \quad P_{ki} = c^2 \cdot E^2$$

Korábbi ismert az $\overline{n^2} = \sigma^2 = R(0)$ összefüggés.

Figyelembe véve a 88. kifejezést, írható:

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T N_{ki}(j\omega) \exp(j\omega \tau) d\omega \quad (92)$$

$$N_{ki}(j\omega) = |K(j\omega)|^2 N_0 = c^2 |S(j\omega)|^2 N_0$$

továbbá:

$$\overline{n^2} = R(0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T c^2 |S(j\omega)|^2 N_0 = \frac{c^2 \cdot N_0}{2} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega \quad (93)$$

Figyelembe véve Parseval tételét:

$$P_z = \overline{n^2} = \frac{c^2 \cdot N_0 \cdot E}{2} \quad \text{és } P_j = c \cdot E^2.$$

Így a keresett jel – zaj viszony:

$$\frac{P_j}{P_z} = \frac{2E}{N_0} = R, \quad (94)$$

ami megegyezik a felderítési együtthatóval.

A 87. kifejezésből látható, hogy szűrős vevő esetében is valójában a korreláció integrál realizálása történik.

14. ILLESZTETT (OPTIMÁLIS) SZÜRŐVEL FELÉPÍTETT VEVŐ

14.1. Az illesztett szűrő néhány tulajdonsága

a) Az illesztett szűrő invariánsa a véletlen kezdőfázishoz viszonyítva

Korábban ismert az alábbi kifejezés:

$$s_{ki}(t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(j\omega) \cdot S_{be}(j\omega) \exp(j\omega t_0) d\omega = \\ = \exp(j\phi_0) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(j\omega) \cdot S(j\omega) \exp(j\omega t_0) d\omega = c \cdot E \cdot \exp(j\phi_0), \quad (95)$$

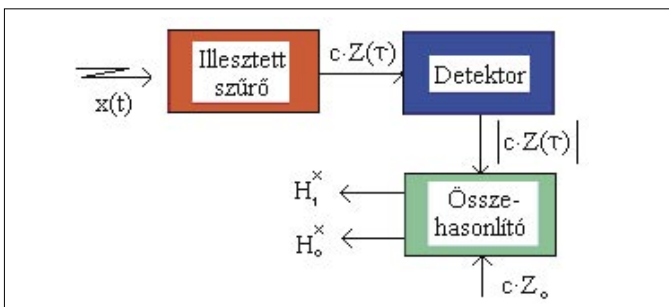
ahol ϕ_0 a véletlen kezdőfázis.

Amennyiben ϕ_0 -tól függetlenül akarjuk vizsgálni a vevő felépítését, akkor csak egy detektor alkalmazására van szükség, ugyanakkor a vevő egycsatornássá válik.

b) Illesztett szűrő invariánsa a visszavert jel késleltetéséhez képest. A visszavert jel késleltetése nem hat az amplitúdóra, de jelentkezik a jel fázisában $[s(t-t_c)]$.

Így $\cos \omega t - \omega t_k + \phi_s(t - t_c)$, amiből az $\omega t_k = \phi_1$ -ként fogható föl, vagyis véletlen fázisként. Ez az eset az előző pontban leírtakra vezethető vissza, vagyis ekkor is csak egy detektorra van szükség.

c) Illesztett szűrő invariánsa a visszavert jel véletlen amplitúdójához viszonyítva



22. ábra: illesztett szűrővel felépített vevő

A szűrő lineáris rendszer, így a bemeneti feszültségváltozás a kiemeneten is megjelenik. A leírtak alapján az optimális szűrős vevő már egyszerűen realizálható (22. ábra).

Az ilyen típusú vevő előnye a korrelációs vevővel szemben, hogy egyetlen csatornával is megfigyelhető a teljes légtér. Ezt a megoldást – de nem csak ezt – gyakran alkalmazzák a gépjárművek biztonságát fokozó radarok esetében.

15. RADARJELEK MÉRÉSI EREDMÉNYEI STATISZTIKAI FELDOLGOZÁSÁNAK ELMÉLETE

A radartechnikai méréseknél a cél mozgásparamétereiről és mozgásparamétereiről kell adatokat gyűjteni. Ehhez végre kell hajtani a visszavert jelek paramétereinek méréseit.

Korábban ismert:

$s(t; \alpha_1; \alpha_2; \dots; \alpha_n; \beta_1; \beta_2; \dots; \beta_m)$ függvény

Továbbiakban tegyük fel, hogy a jel csak egyetlen mérendő paramétert tartalmaz.

Továbbá teljesüljenek az alábbi feltételek:

a) Az α mérendő paraméter értéke a megfigyelési időben legyen állandó.

b) $2E / N_0 = R \gg 1$

c) A visszavert jel legyen zajjal terhelt:

$$x(t) = s(t; \alpha) + n(t) \quad (96)$$

A vevő bemenetén figyelembe kell venni a jelek statisztikai jellegét, ezért pontos értéket nem kaphatunk. Ily módon csak egy α^* értéket vehetünk figyelembe, ugyanakkor definiálhatunk egy rendszerpontosságot is. Tételezzük fel, hogy a jel feldolgozása optimális, akkor a jel értékelése is optimális. Ebben az esetben az α^* -ot optimálisnak nevezzük és jelöljük α_{opt}^* -val.

A mérések során többféle hiba jelentkezik, amelyek egy része kompenzálható, de a véletlen hibák semmiképpen sem, ezért csak ezzel foglalkozunk. A hiba $\varepsilon = \alpha - \alpha^*$. Értékelés során a hiba várható értékét kell vizsgálni. Ahhoz, hogy a mérés pontosságát mennyiségileg értékelni tudjuk, két kritériumot kell kielégíteni:

$$1) \sigma^2 = \int_{\alpha} (\alpha - \alpha_{opt}^*)^2 f_x(\alpha) d\alpha = \min \quad (97)$$

2) Az előző figyelembevételével a likelihood-függvény maximuma:

$$\frac{d}{d\alpha} \ln L(\alpha) = 0$$

A lokációs mérések esetén szintézisnél a 2. kritériumot használjuk fel leggyakrabban. Ha az optimális értékelés nagyságát akarjuk meghatározni, akkor az alábbi feltételnek kell teljesülni:

$$\alpha_{opt}^* = M\{\alpha\} \quad (98)$$

Az elvégzett kísérlet alapján kapott sűrűségfüggvény:

$$f(x, \alpha) = f(x) \cdot f_x(\alpha) \\ f_x(\alpha) = f(\alpha) \cdot f_\alpha(x) \quad (99)$$

Az $f(x)$ nem függ α -tól, ezért $\int f_x(\alpha) d\alpha = 1$.
Legyen:

$$f(x) = \int_{\alpha} f(\alpha) \cdot f_\alpha(x) d\alpha = \frac{1}{K_1},$$

így:

$$f_x(\alpha) = K_1 \cdot f(\alpha) \cdot f_\alpha(x) = K_1 \cdot f(\alpha) \cdot L(\alpha) \quad (100)$$

A K_1 -et ismertnek tételezzük fel (mérhető), az $f(\alpha)$ kísérlet előtti sűrűségfüggvény szintén ismert (pl. ismert sebesség, távolság stb.).

A legrosszabb eset (nincs fényes pont) vizsgálatakor a következő feltételt tesszük: $f(\alpha) = \text{kons}$

A legáltalánosabb likelihood-függvény felírható a $2E / N_0 = R \gg 1$ feltétel mellett:

$$L(\alpha) = g \cdot \exp Z(\alpha) \quad (101)$$

A likelihood-függvény maximuma mindig megegyezik a korreláció integrál maximumával.

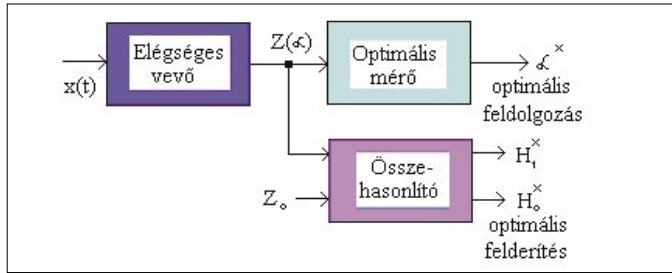
Logaritmizálás után: $\ln[\exp Z(\alpha)] = Z(\alpha)$, így:

$$\frac{\partial Z(\alpha)}{\partial \alpha} = 0.$$

E pontban említett két módszer ugyanazt a sémát és pontosságot adja, ezért:

$$\frac{\partial Z(\alpha)}{\partial \alpha^*} = 0$$

A 100-ban szereplő likelihood-függvényt megkapjuk, ha meghatározzuk a korrelációintegrált, mert a kettő analógiát mutat (lásd 1. részt).



23. ábra: optimális vevő felépítése

Ezek ismeretében felépíthető vevő a 23. ábrán látható.

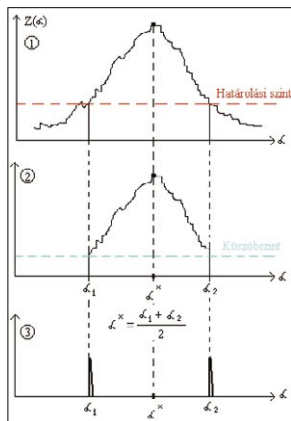
Az optimális mérőknek két típusa van:

a) Rögzített mérők

Ennél a típusnál a korrelációintegrál maximumát kell meghatározni. Az ilyen vevő felépítését a 24. ábra mutatja.



24. ábra: rögzített mérő egyszerűsített változata



25. ábra: egyszerű rögzített mérő ábrái

Az ① helyen a korreláció integrál eredménye látható a zajokkal együtt, a ② helyen az előbbi jel látható, de a határolási szint feletti része, míg a ③ helyen a jel differenciált része (25. ábra).

Látható, hogy az α^* értékelési eredmény egybeesik a korrelációintegrál maximumával, így az értékelés optimális. A rögzített mérő részletes felépítését a 26. ábra mutatja. Hátrány, hogy nem elég pontos, bonyolult, de távolabbi célok esetében mégis ezt alkalmazzák.

b) Diszkriminátoros vevő elmélete

Ez a módszer az előbbinél megbízhatóbb és nagyobb pontosságot

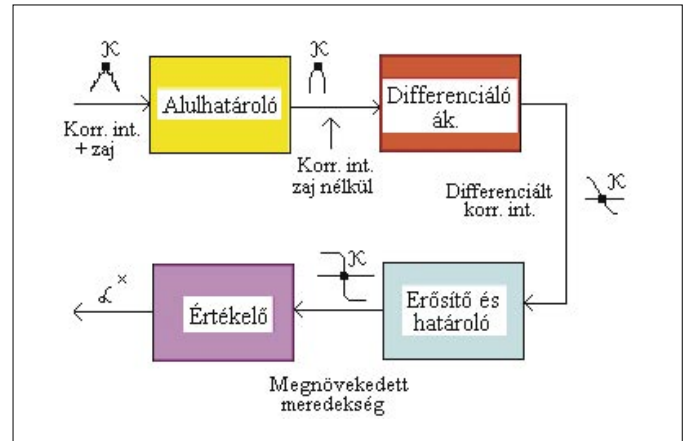
ad, sőt igen előnyös tulajdonsága, hogy a mérendő paramétert (jelen esetben a cél távolságát) automatikusan képes követni.

Ekkor:

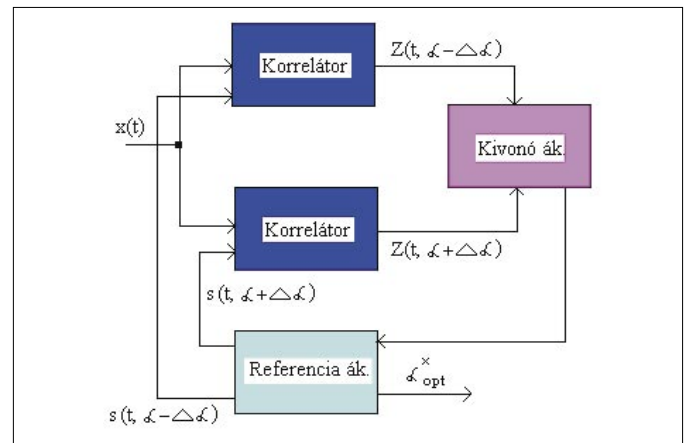
$$\frac{\partial Z(\alpha)}{\partial \alpha^*} = \frac{\partial \left[\int x(t) \cdot s(t, \alpha^*) \right]}{\partial \alpha^*} = \int x(t) \cdot \frac{\partial s(t, \alpha)}{\partial \alpha} dt = 0$$

A folyamatosan változó paraméterű célok (mozgó járművek) differenciált értékelését nagyon nehéz elvégezni, ezért a következő módon kell eljárni. Ismert, hogy:

$$\frac{\partial Z(\alpha)}{\partial \alpha^*} = \lim_{\Delta \alpha \rightarrow 0} \frac{Z(\alpha + \Delta \alpha) - Z(\alpha - \Delta \alpha)}{2\Delta \alpha} = 0,$$



26. ábra: rögzített mérő részletes felépítése



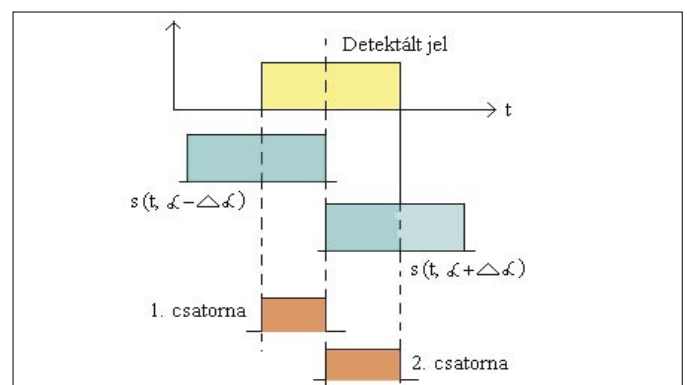
27. ábra: kvázioptimális vevő felépítése

továbbá:

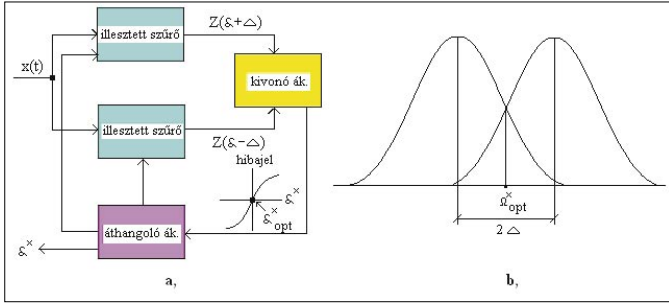
$$\int_0^T x(t) \cdot s(t, \alpha + \Delta \alpha) dt - \int_0^T x(t) \cdot s(t, \alpha - \Delta \alpha) dt = 0 \quad (102)$$

Ezen a módon realizált vevőt kvázioptimálisnak nevezzük (27. ábra). A célkövetés megvalósításához szükséges elv a következő ábrán látható (28. ábra).

Ez a feladat széthangolt rezgőkörökkel is megoldható. Amennyiben ezt a módszert választjuk, akkor a korreláció integrál alakja $Z(\alpha \pm \Delta)$. Az elhangolással dolgozó vevő ábráját a 29. ábra mutatja.



28. ábra: kvázioptimális vevő követőrendszere



29. ábra: széthangolt szűrő kvázioptimális vevő

Az ábrán látható, hogy az $x(t)$ állandó amplitúdójú, de változó frekvenciájú. Itt jelentkezik a Doppler-eltolódás, tehát $\alpha = \Omega$. A 29. ábrán két elhangolt rezgőkör van, amelyekre felírható:

$$Z(\Omega + \Delta) - Z(\Omega - \Delta) = 0$$

Ez a kvázioptimális feldolgozás feltétele.

Amennyiben pl. $Z(\Omega - \Delta) > Z(\Omega + \Delta)$, akkor hibajel keletkezik, amely úgy szabályozza az áthangoló fokozatot, hogy ismét az Ω^* értéket kapjuk. Ezt a módszert a hangolás nehézsége miatt ritkán alkalmazzák.

16. HATÁROZATLANSÁG ELVE A RADARTECHNIKÁBAN

A korábbiakban egyetlen paramétert mértünk, a távolságot, azonban a valóságban több paraméter mérése válik szükségessé, ami többnyire a távolság és sebesség értékeit jelenti. A távolság időmérésre, a sebesség Doppler-frekvenciamérésre van visszavezetve. Tetszőleges visszavert jeleket vagy időfüggvénnyel:

$$s(t - t_c) = \mathcal{S}(t - t_c) \exp(\varphi_0 - \omega_0 t_c) \exp(j\omega_0 t), \quad (103)$$

vagy komplex felírásmóddal tárgyalhatjuk:

$$s(t - t_c) = S(t - t_c) \cos[\omega_0(t - t_c) + \varphi_s(t - t_c) + \varphi_0], \quad (104)$$

ahol: $\mathcal{S}(t - t_c)$ a komplex amplitúdó, amelynek segítségével a korrelációintegrál:

$$Z(\tau) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t - \tau) dt \quad (105)$$

ahol ponttal jelölt mennyiségek konjugált komplex felírást jelentenek. Amennyiben a cél mozog, akkor függőség lép fel a korrelációintegrál és a Doppler-frekvencia között $[Z(\tau, \Omega)]$. Tudjuk, hogy

$$\mathcal{S}(t - t_c) = S(t - t_c) \exp[j\varphi_s(t - t_c)].$$

Mozgó cél esetén a távolság is folyamatosan változik, ezért:

$$t_{c(t)} = \frac{2D(t)}{c}.$$

Így a jel matematikai alakja mozgó cél esetén:

$$s(t - t_{c(t)}) = S(t - t_{c(t)}) \cos[\omega_0(t - t_{c(t)}) + \varphi_s(t - t_{c(t)}) + \varphi_0].$$

Ebben a kifejezésben csak a $t_{c(t)}$ változik jelentősen a megvilágítási idő alatt, a többi gyakorlatilag állandónak fogható föl.

$$A D(t) = D(t_c + t) \text{ és } t_{c(t)} = \frac{2D(t_c + t)}{c}.$$

Fejtsük Taylor-sorba a kifejezést:

$$t_{c(t)} = \frac{2D(t_c)}{c} + \frac{2D'(t_c)}{c \cdot 1!} t + \frac{2D''(t_c)}{c \cdot 2!} t^2 + \dots$$

$$A \text{ Doppler-frekvencia } \Omega_D = \omega_0 \frac{2V_r}{c},$$

ahol V_r a cél radiális mozgási sebessége.

Így írható:

$$s(t - t_{c(t)}) = S(t - t_{c(t)}) \cos[\omega_0 \cdot t - \Omega_D \cdot t + \varphi_s(t - t_c) + \varphi_0 - \omega_0 \cdot t_c]$$

A komplex amplitúdó Ω_D jelenlétekor:

$$\mathcal{S}_D(t - t_c) = S(t - t_c) \exp[j\varphi_s(t - t_c) \exp(-j\Omega_D \cdot t)] = \mathcal{S}(t - t_c) \exp(-j\Omega_D \cdot t)$$

Mivel $t_c - t_k = \tau < \tau_0$, ezért a késleltetési időt változtatni kell, így mindaz ami a $t_{c(t)}$ -re igaz, ugyanúgy igaz a $t_{k(t)}$ -re is.

Ezeket a feltételeket és a zajt figyelembe véve írható:

$$Z(\tau, \Omega) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t - \tau) \exp(j\Omega \cdot t) dt + \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{N}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t - t_k) \exp(j\Omega \cdot t) dt \right| \quad (106)$$

Az első tag a korrelációintegrál jelrész $[Z_c(\tau, \Omega)]$.

Ebből:

$$\Psi(\tau, \Omega) = \frac{1}{2} |Z_c(\tau, \Omega)| = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t - \tau) \exp(j\Omega \cdot t) dt \right| \quad (107)$$

Ezt a kifejezést nevezzük határozatlansági függvénynek, amely valójában két változó korreláció függvénye, ahol τ a széthangolási idő és Ω a széthangolási frekvencia. A Ψ kétváltozós függvény, így egy felületet kapunk, amelyet határozatlansági testnek (felületnek) nevezünk. Minden típusú jel (modulációs módok és burkoló formái) saját határozatlansági függvénnyel rendelkezik. Határozatlansági függvény segítségével meghatározható a cél távolság és sebesség szerinti felbontó képessége. Mivel a határozatlansági függvény maximuma széles határok között változik, ezért gyakran alkalmazzák a normalizált határozatlansági függvényt.

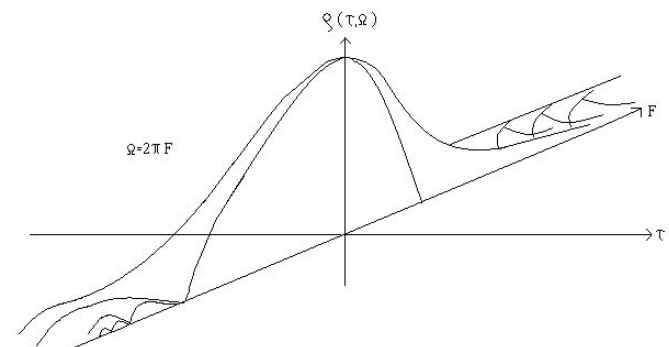
A függvény maximuma akkor van, ha az argumentuma egyenlő nullával.

$$\psi(0, 0) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t) dt \right| = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{S}(t)|^2 dt \quad (108)$$

A normalizált határozatlansági függvény pedig:

$$\rho(\tau, \Omega) = \frac{\Psi(\tau, \Omega)}{\Psi(0, 0)} = \frac{\frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}(t) \cdot \mathcal{S}^*(t - \tau) \exp(j\Omega \cdot t) dt \right|}{\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{S}(t)|^2 dt} \quad (109)$$

Nevező a jel maximális energiája, a számláló pedig szintén energia, de egy adott széthangoltság mellett. A tér azon térfogata, amely a normalizált határozatlansági felülettel van körülveve, határozatlansági testnek nevezzük (30. ábra).



30. ábra: határozatlansági test

A határozatlansági testet frekvenciaspektrum segítségével is felírhatjuk, felhasználva a Fourier-integrált:

$$\rho(\tau, \Omega) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) \cdot S[j(\omega - \Omega)] \exp(j\omega \cdot \tau) d\omega \right|}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega} \quad (110)$$

A határozatlansági test – amennyiben számítható – térfogata függetlenül a jel alakjától mindig egyenlő 1-gyel.

$$V_{\rho^2(\tau, \Omega)} = 1 \quad (111)$$

A moduláció módjának változtatásával a határozatlansági testet csak deformálni lehet, de térfogatát megváltoztatni nem. Ez azt jelenti, ha növeljük a távolság szerinti felbontó képességet, akkor csökken a sebesség szerinti felbontó képesség és fordítva. Általában azonban nem a határozatlansági testet, hanem annak metszetét használjuk, mert átláthatóbb és kényelmesebb a kezelése.

Két metszési mód van:

1) Függőleges síkú metszés

a) $\tau \neq 0$ és $\Omega = 0$. Ekkor:

$$\rho(\tau, 0) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot S^*(t - \tau) dt \right|}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt} \quad (112)$$

A korrelációs idő fordítva arányos a jelspektrum szélességével. Minél szélesebb Δf , annál kisebb a τ korrelációs idő, így annál nagyobb a felbontó képesség távolság szerint.

b) $\tau = 0$ és $\Omega \neq 0$. Ekkor:

$$\rho(0, \Omega) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) \cdot S^*[j(\omega - \Omega)] d\omega \right|}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega} \quad (113)$$

Számláló a frekvencia szerint felírt autokorreláció-függvény, ami a rádiótechnikában a moduláló jel energiaspektrumát jelenti.

2) Vízszintes síkú metszés ($\rho(0,0) \equiv 1$ minden esetben)

a) $0,5 \cdot \rho(0,0)$

Ha ezen belülre esik két cél, akkor nem tudjuk azokat megkülönböztetni. Ez a terület az erősen korrelált tartomány.

b) $0,1 \cdot \rho(0,0)$

Ez az alacsonyan korrelált tartomány. Ekkor két célt meg tudunk különböztetni egymástól. Ha $\rho < 0,1$, akkor jelek nem korreláltak.

A felbontó képességet a magasan korrelált tartomány határozza meg. Széles sávú és nagy időtartamú jeleket kell alkalmazni, ha a távolsági felbontást növelni akarjuk, vagyis ekkor fennáll az alábbi feltétel:

$$\Delta f \cdot T_c \gg 1 \quad (114)$$

A további részleteket egy későbbi cikkben ismertetjük.

Irodalom

- [1] Dr. Tamási Ferenc: Rádiolokátor-technika. Zrínyi Katonai Kiadó – Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1986.
- [2] Arató Mátyás–Knuth Előd: Sztochasztikus folyamatok elemei, BME. Tankönyvkiadó. Budapest, 1970.
- [3] M. Ezekiel–K. A. Fax: Korreláció és regresszió analízis. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. Budapest, 1970.
- [4] Prékopa András: Valószínűségelmélet. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1962.
- [5] Reimann József–Tóth Julianna: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika. Tankönyvkiadó. Budapest, 1985.
- [6] Dr. Oláh Ferenc. Válogatott fejezetek a navigációs berendezésekhez. Tankönyvkiadó. Budapest, 1992.
- [7] Ugróczki László–Dr. Oláh Ferenc: Radarberendezések. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest, 1993.
- [8] Vincze István: Matematikai statisztika. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1968.
- [9] Rényi Alfréd: Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó. 1966.
- [10] Samuel Karlin–Howard M. Taylor: Stochasztikus folyamatok. Gondolat. Budapest. 1985.
- [11] Fazlollah M. Reza: Bevezetés az információelméletbe. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.
- [12] W. Wehrmann: Korrelációs technika. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1983.
- [13] М. И. Финкельштейн: ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИИ. Москва. Советское Радио. 1973.
- [14] И. А. ЛИПКИН: Основы статической радиотехники, теории информации и кодирования. Москва. Советское Радио. 1978.
- [15] Werner Wiesbeck: Radar System Engineering. www.lhe.uni-karlsruhe.de 2005.
- [16] Multifunctional Automotive Radar Network (RadarNet) Deliverable D40. Final Report. 2004.
- [17] Minszki Légyvédelmi Rakéta és Rádiótechnikai Egyetem előadásának anyaga Lokátorelmélet c. tantárgyból.

Szeretnék/nem szeretnék ingyenes példányt kapni „A jövő járműve – Járműipari innováció” folyóiratból.

.....
Dátum

.....
Aláírás

1. VÁLLALATI ADATOK

A cég neve

Címe

Telefon

Fax

E-mail

Weboldal

2. SZEMÉLYES ADATOK

Név

Foglalkozás

Telefon

Fax

E-mail

Milyen szakterületen dolgozik?

Termékfejlesztés ☐

Kutatás és fejlesztés ☐

Műszaki tudományok, engineering ☐

Gyártástervezés ☐

Szerszám- és eszközfejlesztés ☐

Beszerzés ☐

Egyéb (nevezze meg)

3. A VÁLLALAT PROFILJA

Mi a vállalat fő terméke vagy szolgáltatása?

.....

Mely tevékenység tartozik a vállalat profiljába?

Gyártás ☐

Kutatás-fejlesztés ☐

Értékesítés ☐

Lerakat / forgalmazó ☐

Műszaki mérnökség, tervezés ☐

Kiadványszerkesztés ☐

Más (nevezze meg)

A vállalat alkalmazottainak száma

Vannak még kollégái ezen a címen, akik szeretnének ingyen példányt kapni a folyóiratból?

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

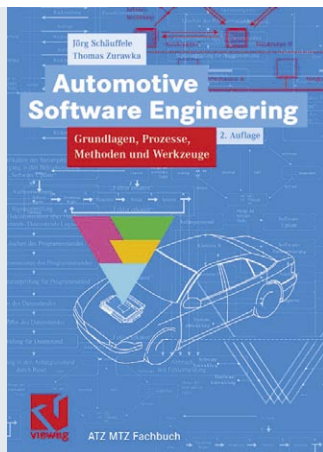


Robert Bosch GmbH
Autoelektrik / Autoelektronik
Autóelektromosság / Autóelektronika
5., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2007, 530 oldal, német nyelven.

Ára: 44,90 EUR

Az autóelektromosság / autóelektronika viharos fejlődése nagymértékben befolyásolta az Otto-motorok és az egész autó felszerelését. Ezért szükség lett az eddig bevált gyakorlati alapelvek újrafeldolgozására. Modern fényszóró-berendezések, lopásgátló rendszerek, információs, navigációs és parkolórendszerek kerültek ebbe a kiadásba.

Jörg Schäuffele, Thomas Zurawka



Automotive-Software-Engineering
Autóipari szoftvertechnika – Alapelvek, folyamatok, módszerek és eszközök
3., átdolgozott és javított kiadás, 344 oldal, 277 ábra, német nyelven.

Ára: 41,90 EUR

Napjainkban a gépjárművek szinte minden funkcióját elektronikusan irányítják, szabályozzák vagy felügyelik. Ez a könyv azon folyamatok, módszerek és eszközök alapelveit tartalmazza gyakorlati példákon keresztül, melyek hozzájárulnak egy jármű elektronikus rendszereinek és szoftverjeinek kezeléséhez. Az előtérben a hajtómű, a futómű és a karosszéria elektronikus rendszerei állnak.



Robert Bosch GmbH
Kraftfahrtechnisches Taschenbuch
Gépjármű-technikai zsebkönyv
26., aktualizált és kibővített kiadás, 2007, 1192 oldal, német nyelven.

Ára: 39,90 EUR

A gépjármű-technikai zsebkönyvnek már 7 évtizede biztos helye van az autószerelő műhelyekben és az íróasztalokban. Könnyen kezelhető zsebkönyvként, kompakt adalékokkal megbízható betekintést nyújt a gépjárműtechnika aktuális állásába, központi helyen a személy- és teherautó-technikába.



Bert Breuer, Karlheinz H. Bill
Bremsenhandbuch
Fékkézikönyv – Alapelvek, komponensek, rendszerek, menetdinamika
3., javított és kibővített kiadás, 2006, 509 oldal, 605 ábra, német nyelven.

Ára: 49,90 EUR

Az autóipari mérnököknek és technikusoknak elengedhetetlenül fontos a modern gépjármű-fékszerkezetek részletes ismerete. A fékkézikönyv átfogóan tartalmazza az alapelveket, követelményeket, értelmezéseket, szerkezeti felépítéseket, konstrukciókat, komponenseket és a modern gépjárművek részrendszer-funkcióit.



Richard van Basshuysen, Fred Schäfer
Lexikon Motorentechnik
A robbanómotor A-tól Z-ig – Motorteknikai lexikon
2., javított és kibővített kiadás, 2006, 1096 oldal, 1764 ábra, német nyelven

Ára: 99 EUR

A lexikon részletesen bemutatja az aktuális motorteknikát, és kitekint a jövőbe is. A könyv kereszthivatkozásokból álló rendszere minden alfogalmat a fő fogalmakhoz rendel. Így a címszavak nem különállóak, hanem egymással összefüggő tartalmat alkotnak. A 4500 fogalom a motorteknika teljes területét felöleli.



Robert Bosch GmbH
Dieselmotor-Management
Dízelmotor-menedzsment – Rendszerek és részegységek
4., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2004, 501 oldal.

Ára: 44,90 EUR

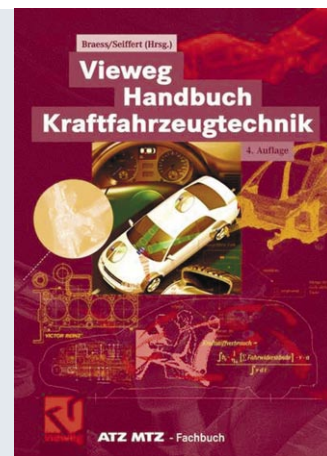
A dízelmotor és a befecskendezőberendezés elválaszthatatlan egységet alkotnak. Az elektronikának egyre nagyobb szerepe van abban, hogy az autó teljesíteni tudja az egyre alacsonyabb károsanyag-kibocsátási és üzemanyag-fogyasztási követelményeket. Ez a szakkönyv kompetens és széles körű információkat nyújt a témáról.



Robert Bosch GmbH
Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik
Gépjármű-technikai szakszótár
3., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2005, 779 oldal, német, angol, francia és spanyol nyelven.

Ára: 49,90 EUR

Kb. 7600 gépjármű-technikai szakszó. Forrásnyelv alapján rendezhető, míg a másik három nyelv lesz a célnyelv. Mindenki számára fontos lehet, akik a nemzetközi üzleti életben beszédkepesek akarnak maradni. A 3. kiadásban a tudásterületet kibővítették, és hozzáigazították a Gépjármű-technikai zsebkönyv terjedelméhez.



Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert
Handbuch Kraftfahrzeugtechnik
Gépjármű-technikai kézikönyv
4., teljesen újrarendelődolgozott és kibővített kiadás, 2005, 847 oldal, 1026 ábra, német nyelven.

Ára: 89 EUR

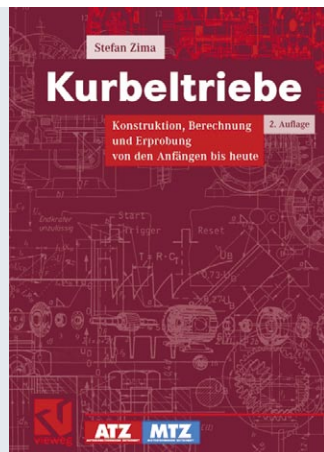
A gyakorlati és elméleti gépjárműmérnököknek szükségük van a járműtechnika alapelveihez és részleteihez, valamint a lényeges kapcsolódó ipari folyamatokhoz való gyors és biztos hozzáféréshez. A kézikönyv célja olyan információk szisztematikus összefűzése, melyek egymástól teljesen eltérő forrásokból származnak.



Richard van Basshuysen, Fred Schäfer
Handbuch Verbrennungsmotor
 Robbanómotor kézikönyv – Alapelvek, komponensek, rendszerek, perspektívák 4., átdolgozott és kibővített kiadás, 2007, 1032 oldal, 1556 ábra, német nyelven.

Ára: 99 EUR

A Robbanómotor kézikönyv átfogó ismereteket nyújt az Otto- és dízelmotorokról. Tudományosan szemléletes módon és ezzel egyidejűleg gyakorlatorientáltan mutatja be a szakterület alapelveit, komponenseit, rendszereit és perspektíváit. Az elméleti és gyakorlati tudásanyag mintegy 120 szerzőtől származik.

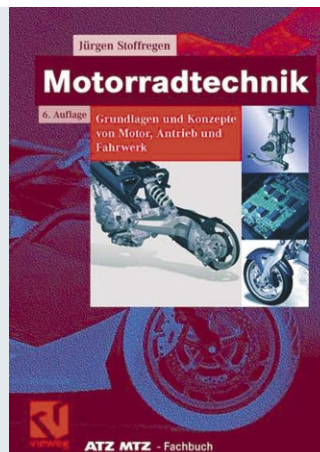


Stefan Zima
Kurbeltriebe

Forgattyús hajtások – Konstrúció, számítások és próbák a kezdetektől napjainkig 2., újrafeldolgozott kiadás, 1999, 540 oldal, német nyelven.

Ára: 86,90 EUR

Ez a forgattyús hajtásokról szóló könyv elsősorban a motorteknikával foglalkozó mérnököknek és tanulóknak szól, de azoknak is, akik a dugattyús motorok és azok fejlesztése iránt érdeklődnek. A könyv átfogó bepillantást nyújt a hajtóműfejlesztésbe a kezdetektől napjainkig.



Jürgen Stoffregen
Motorradtechnik

Motorkerékpár-technika – A motor, a hajtás és a futómű alapelvei és koncepciói 6., átdolgozott és kibővített kiadás, 2006, 437 oldal, 357 ábra, német nyelven.

Ára: 28,90 EUR

A szerző könnyen érthetően és gazdag képanyaggal szólítja meg a műszaki dolgok iránt is érdeklődő motorosokat. A nehéz matematikai levezetések elhagyásával és a szemléltető összefüggések bemutatásával a könyv egy kincsesháza azoknak, akik többet szeretnének tudni, mint amennyi a használati utasításban áll.



Erich Hoepke
Nutzfahrzeugtechnik

Haszonjármű-technika – Alapelvek, rendszerek, komponensek 4., átdolgozott és bővített kiadás, 2006, 514 oldal, 565 ábra, német nyelven.

Ára: 44,90 EUR

Ez a kiadvány egy alapvető szakkönyv stílusában bemutatja az összes jelentős építési módot, formát és komponenseket. A klasszikus konstrukciós tanítások, az öröklényű menetmechanika és termodinamika mellett a könyv bemutatja a legújabb fejlesztéseket, figyelembe véve az elektronikus rendszereknek a hajtásra és a fékezésre gyakorolt befolyását.

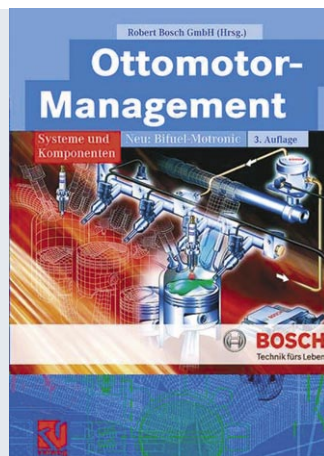


Otto-Peter A. Bühler
Omnibustechnik

Autóbusz-technika – Történelmi járművek és az aktuális technika. 342 oldal, 2000, német nyelven.

Ára: 36,90 EUR

Az autóbuszok már kezdetől fogva robusztus, megbízható és kényelmes személyszállító járműveknek számítottak, eltérő számú ülőhellyel. A múlt autóbuszait az 1. részben mutatjuk be, minden olyan leírásukkal együtt, melyből a specializálódásukra fény derül. A könyv második részében az autóbuszok műszaki fejlesztésének magas színvonalát mutatjuk be konkrét, aktuális példákon keresztül.



Robert Bosch GmbH
Ottomotor-Management

Otto-motor menedzsment 3., átdolgozott kiadás, 2005, 358 oldal, német nyelven.

Ára: 44,90 EUR

A szakkönyv először rövid visszatekintést ad az autógyártás történelmi kezdeteire, majd a munkamódszerek alapelveit, valamint az Otto-motor vezérlését fejtegeti. A töltésvezérlés, a befecskendezés (szívócső- és benzin-direktbefecskendezés) és a gyújtás rendszereinek leírása átfogó képet nyújt azokról a vezérlési mechanizmusokról, melyek egy modern Otto-motor működéséhez feltétlenül szükségesek.



Eduard Köhler
Verbrennungsmotoren

Robbanómotorok – Motormechanika, a dugattyús motorokra vonatkozó számítások, értelmezések 4., javított és kibővített kiadás, 2006, 481 oldal, 280 ábra, német nyelven.

Ára: 64,90 EUR

A dugattyús motorok mozgó és mozdulatlan alkatrészei statikus és dinamikus igénybevételnek vannak kitéve, melyek a mechanika törvényeit követik. Ez a könyv az egyes motorkomponenseket a hozzá tartozó számításokkal együtt mutatja be. Számos praktikus magyarázat mellett a könyv az anyag- és gyártási eljárás fejtegeti, valamint bemutatja hatásukat a konstruktív kialakításra.

További információk a könyvekről és a megrendelés módjáról:

X-Meditor Kft.
Autóinformatikai üzletág

9002 Győr, Pf. 156
 Tel.: 96/618-083.
 Fax: 96/618-063.
 E-mail: at@xmeditor.hu

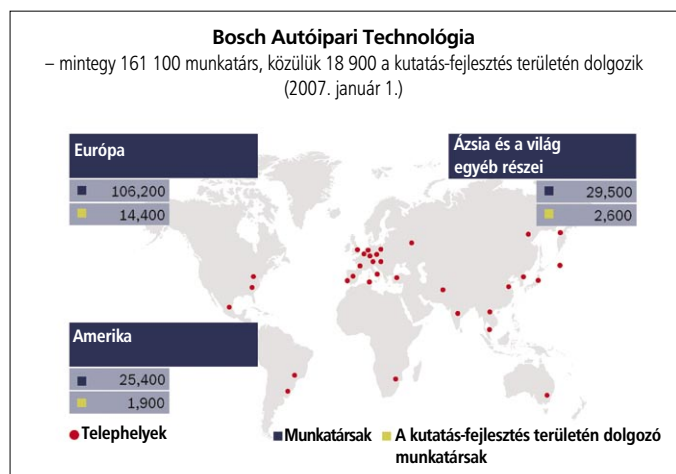
Úton a baleset- és kipufogógáz-mentes közúti közlekedés felé: a Bosch megoldásai a világszerte növekvő igényekre

Dr. Bernd Bohr
a Bosch-csoport
gépjárműtechnika üzletágának
vezetője

Mindössze két szó, mégis találóan jellemzi teljes innovációs programunkat: Életre tervezve. Ennek az igénynek számos területen megfelelünk. Rendszereink némelyike a kényelem területén nyújtott plusz előnyök révén teszi egyszerűbbé az autósok életét. Sok rendszerünk azonban közvetlenül az életet védi, oly módon, hogy segít elkerülni a baleseteket. Az „Életre tervezve” emellett a környezet és az erőforrások védelmét is magában foglalja, és jelenleg éppen ez áll világszerte a figyelem középpontjában. A baleset- és kipufogógáz-mentes közlekedés ma ugyan még csak látomás, de már jó úton járunk a megvalósítása felé.

Our slogan „Invented for life” may only be three words long, but it sums up our innovation program succinctly. What’s more, we live up to this claim in a whole range of ways. First, the extra comfort incorporated in many of our systems makes life easier for car drivers. Second, many of our systems also help save lives directly by preventing accidents. And last, but by no means least, „Invented for life” is also about protecting the environment and saving resources. It is this third point that is currently the focus of debate the world over. Accident- and emission-free road traffic may still be a vision, but we are working toward it.

A Bosch sokféleképpen hozzájárul ehhez kutatási és fejlesztési tevékenysége keretében: a rövid távú kihívásokon túlmutató megoldásaival, széles körű hozzáértésével és nem utolsósorban globális jelenlétével. Ez az autós újságíró kollokvium, amelyen én is szeretném szívből üdvözölni önöket, jól példázza a gépjármű-ágazat nemzetközivé válásának gyorsulását: háromnapos rendezvényünkön most először vesznek részt több mint 30 országból érkezett vendégek.



1. ábra: a kutatás-fejlesztés, a gyártás és az értékesítés területén a Bosch közel áll ügyfeleihez az egész világon

HÁLÓZATUNK: VILÁGSZERTE AZ ÜGYFELEK KÖZELÉBEN

Azt a tényt, hogy tevékenységünk globálisabb, mint valaha, számos tény és adat támasztja alá:

– Gépjárműtechnika üzletágunk 2006 végén több mint 160 000 munkatársat foglalkoztatott. Ebből mintegy százezen – csaknem kétszer annyian, mint tíz évvel ezelőtt – Németországon kívül dolgoztak.

– 25 országban működő 120 telephelyünkön gyártunk gépjármű-technikai rendszereket. Világszerte közel 19 000 mérnök dolgozik közel 50 fejlesztőközpontunkban. A világ bármely részén legyenek

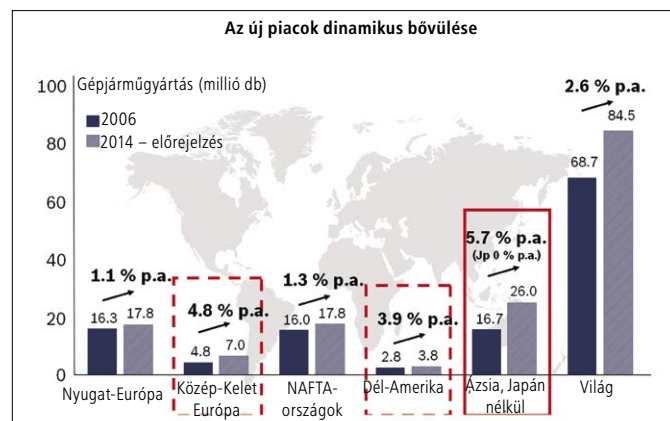
is ügyfeleink, mi mindig ott vagyunk a közelükben. Globális tevékenységünk egyre lendületesebbé válik, mivel helyi viszonylatban is ütközések vagyunk.

– Különösen a dinamikusan fejlődő küszöbországokban sikerült jelentősen megerősítenünk pozíciónkat. Indiában és Kínában például megkezdjük nagynyomású dízelbefecskendező rendszerünk, a Common-Rail-System, Brazíliában pedig ABS blokkolásgátló rendszerünk gyártását.

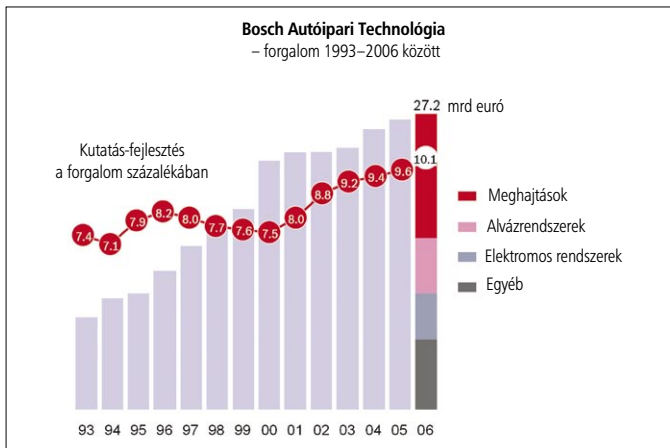
– Összességében elmondható, hogy gépjármű-üzletágunkban a súlypontok eltolódására került sor. Tíz évvel ezelőtt gépjárműtechnika üzletágunk forgalmának mintegy 66 százaléka származott Németországon kívülről, ma közel 74 százaléka. Ennek Európán kívüli részaránya jó 30 százalékról szűk 40 százalékra nőtt.

NÖVEKEDÉS ÁZSIÁBAN: MEGOLDÁSOK ALACSONY ÁRKATEGÓRIÁJÚ GÉPJÁRMŰVEKHEZ

Az ázsiai/csendes-óceáni térségben gépjárműtechnikával elért forgalmunk tízéves viszonylatban megötszöröződött. Az olyan országokban, mint India és Kína, egyedül 2006-ban mintegy 30 százalékkal nőtt gépjármű-üzletágunk forgalma, és ez a dinamikus fejlődés folytatódni fog. Az ágazati súlypontok ugyanis egyre inkább Ázsia felé tolódnak. Az ottani küszöbországokban előreláthatóan mintegy 6 százalékkal nő majd a gépjárműgyártás



2. ábra: az autógyártás erős növekedése az új piacokon – Ázsia előtérbe kerül



3. ábra: a Bosch Autóipari Technológia a jövőbeli növekedést az innovációra való fókuszálással biztosítja

volumene a következő nyolc év átlagában. Összehasonlításképpen: az olyan elismert gyártási régiókban, mint amilyen Észak-Amerika és Nyugat-Európa, ez a növekedés csupán egy százalékra tehető. A világ gépjárműiparában végbemenő ezen struktúraváltásra jobban felkészülünk, mint valaha: innovációink révén továbbra is kihasználunk minden növekedési lehetőséget a hagyományos ipari országokban, ezzel egyidejűleg azonban még jobban megvetjük lábunkat az új, fejlődő piacokon – még erőteljesebb gyártás és fejlesztés révén.

Erre már csak azért is szükség van, mert az Európából származó műszaki megoldások nem ültethetők át egy az egyben a világ más régióiba. Ezt mindenekelőtt a 7000 eurónál alacsonyabb nettó áron eladott alacsony árkategóriájú járművek példája támasztja alá. Ezek forgalma a következő nyolc év során előreláthatóan 5 százalékkal nő majd világszerte, tehát kétszer olyan gyors ütemben, mint a többi járműé. Indiában pedig átlagon felül teljesítenek majd a „Low-Price” járművek: 2014-ig éves átlagban csaknem 14 százalékkal nő majd a forgalmuk. Az általunk kínált megoldások ezekben a járművekben is megtalálhatók lesznek. Ez pedig csakis a helyben történő fejlesztés révén sikerülhet, amely egyrészt maga mögött tudhatja nemzetközi hálózatunkat, másrésztől pontosan ismeri az adott országban élő ügyfelek szükségleteit. Piaci sikereink igazolják, hogy a Bosch-nál remekül beváltak ez a módszer. Arra számítunk, hogy 2010-ben egymilliárd eurós forgalmat bonyolítunk majd az alacsony árkategóriájú járművek felszerelésével.

A KÖLTSÉGCSÖKKENTÉSI NYOMÁS ELLENÉRE KÍTARTUNK AZ INNOVÁCIÓ MELLETT

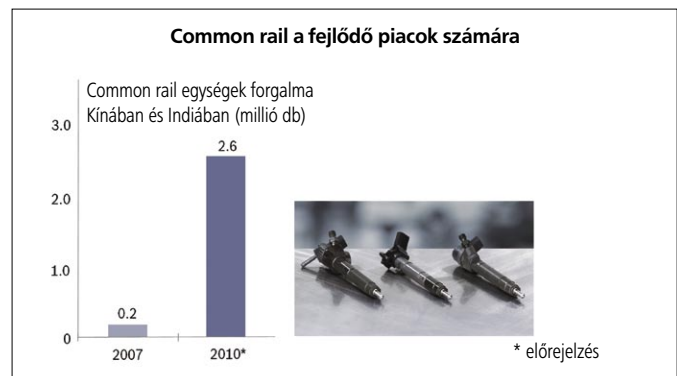
A költségkímélő megoldások igénye nem csupán ebben a piaci szegmensben figyelhető meg. Az élesedő verseny mellett mindegyre nagyobb az árcsökkentésre irányuló nyomás is, amely szintén a gépjárműiparban végbemenő struktúraváltás része. 2006-ban minden eddigit meghaladó, több mint három százalékos árcsökkenést kellett emiatt elkönyvelnünk. Hatékonyabb eljárásaink és növekvő termelékenységünk révén folyamatosan javítjuk költségpozícióinkat, és változatlan eltérő költséggel kítartunk az innováció mellett. 2006-ban 27,2 milliárd eurós forgalmunknak mintegy tíz százalékát fordítottuk kutatásra és fejlesztésre, ami messze meghaladja az ágazati átlagot. Az ilyen kiadásaink csaknem fele olyan rendszerek fejlesztését szolgálja, amelyek hozzájárulnak a környezet és az erőforrások védelméhez. Ez pedig, mint azt legutóbb a CO₂-vita is megmutatta, alapvető fontossággal bír az egész ágazatban. „Éltre tervezve” jelmondatunk magában foglalja azt is, hogy a járművek rendszereink segítségével megfelelőhessenek a jövő kihívásainak.

Kutatási és fejlesztési ráfordításaink 2007-ben sem maradnak el az előző évi magas szinttől, a jelenlegi kedvezőtlen – és az erős euró által tovább rontott – keretfeltételek ellenére sem. Az idei évben előreláthatólag négy, a valuta-keresztárfolyamok hatását figyelmen kívül hagyva pedig mintegy háromszázalékos növekedést érünk el a gépjárműtechnika területén. A következő évekre azt várjuk, hogy fellendülésre kerül sor üzletágunkban – akár azért, mert kedvezőek a pozícióink a fejlődő piacokon, akár azért, mert a jövő közötti közlekedésének megoldásait már kifejlesztettük, vagy még ki fogjuk fejleszteni.

KÉT FONTOS ELVÁRÁS: KEVESEBB BALESET, ALACSONYABB KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS

Melyek a jövő gépjárművével szemben támasztott fontosabb követelmények? Kevesebb baleset, alacsonyabb károsanyag-kibocsátás – mindenekelőtt ezeknek az igényeknek kell megfelelnünk a megfelelő műszaki megoldások segítségével. Szeretném röviden felvázolni, mekkora jelentőségre tesznek szert ezek az elvárások világszerte:

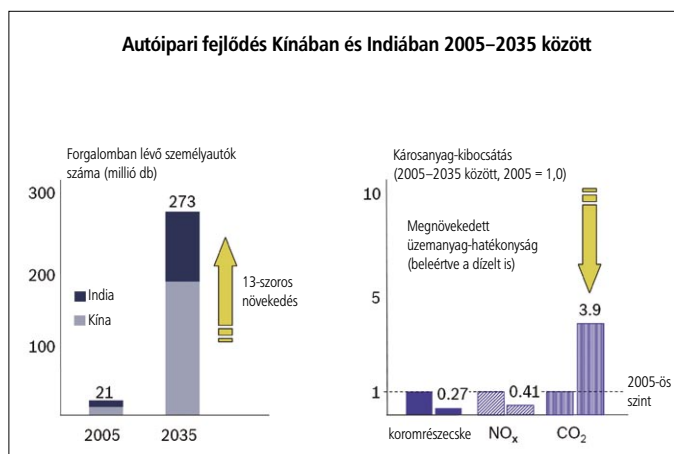
– Az autózés – amennyire csak lehet – legyen balesetmentes, mégpedig egyre növekvő forgalom mellett. Az Európai Unió azt tűzte ki célul, hogy 2010-ig a felére kell csökkenteni a közlekedési balesetben elhunytak számát. Japán és az Egyesült Államok is hasonló célokat tűztek ki a következő évekre: a balesetben elhunytak számának évi ötszázalékos csökkentését.



4. ábra: a common rail technológia előretörése Kínában és Indiában

Korszerű biztonsági berendezéseink nagymértékben hozzájárulnak e célok eléréséhez. Az amerikai közlekedésbiztonsági hatóság például 2011-től az összes új jármű esetében előírja az Elektronikus Stabilitási Program beépítését. Ezáltal USA-beli ESP-forgalmunk közel hárommillió rendszerre, azaz a háromszorosára növekszik majd. De mi a megfelelő megoldás egy olyan országban, mint India, ahol jelenleg kétszer olyan magas a közlekedési balesetben elhunytak száma, mint Európában, és 200 millió helyett csak 8 millió gépjármű közlekedik az utakon? Ott inkább arra kell törekedni, hogy a biztonsági berendezések az alacsony árú gépjárművek esetében is megfizethetővé váljanak.

– A másik elvárás, hogy az autózás a lehető legalacsonyabb károsanyag-kibocsátással járjon. Ezt támasztják alá a világszerte egyre szigorúbbá váló kibocsátási határértékek, és nem csupán Európában és az USA-ban, hanem az ázsiai külsőországokban is. Ott olyan kibocsátási határértékek kerülnek bevezetésre, amelyek a dízel esetében például elektronikus vezérelt befecskendezést tesznek szükségessé. Ennek köszönhetően egyértelműen növekedni fog common rail forgalmunk Indiában és Kínában: 2010-re mindkét országban 1,3 millióra emelkedik majd a 2007-ben e két országban értékesített, országonként 100 000-es darabszám. Az ilyen korszerű technológiák segítségével



5. ábra: modern technológia növekvő mobilitás mellett – a CO₂-kibocsátás átlag alatti mértékben nő

a következő harminc év során több mint tízszeresére duzzadt személygépjármű-állomány mellett is a felére tudjuk csökkenteni a részecske- és a nitrogénoxid-kibocsátást. Az egyre hatékonyabbá váló üzemanyag-fogyasztásnak köszönhetően pedig a feltörekvő országokban is a gépjárművek számának növekedésénél alacsonyabb arányban nő majd a szén-dioxid-kibocsátás. A klímavédelemért azonban még így is van mit tennünk, főként Európán kívül. Jelenleg ökológiai szempontból is globalizáció megy végbe.

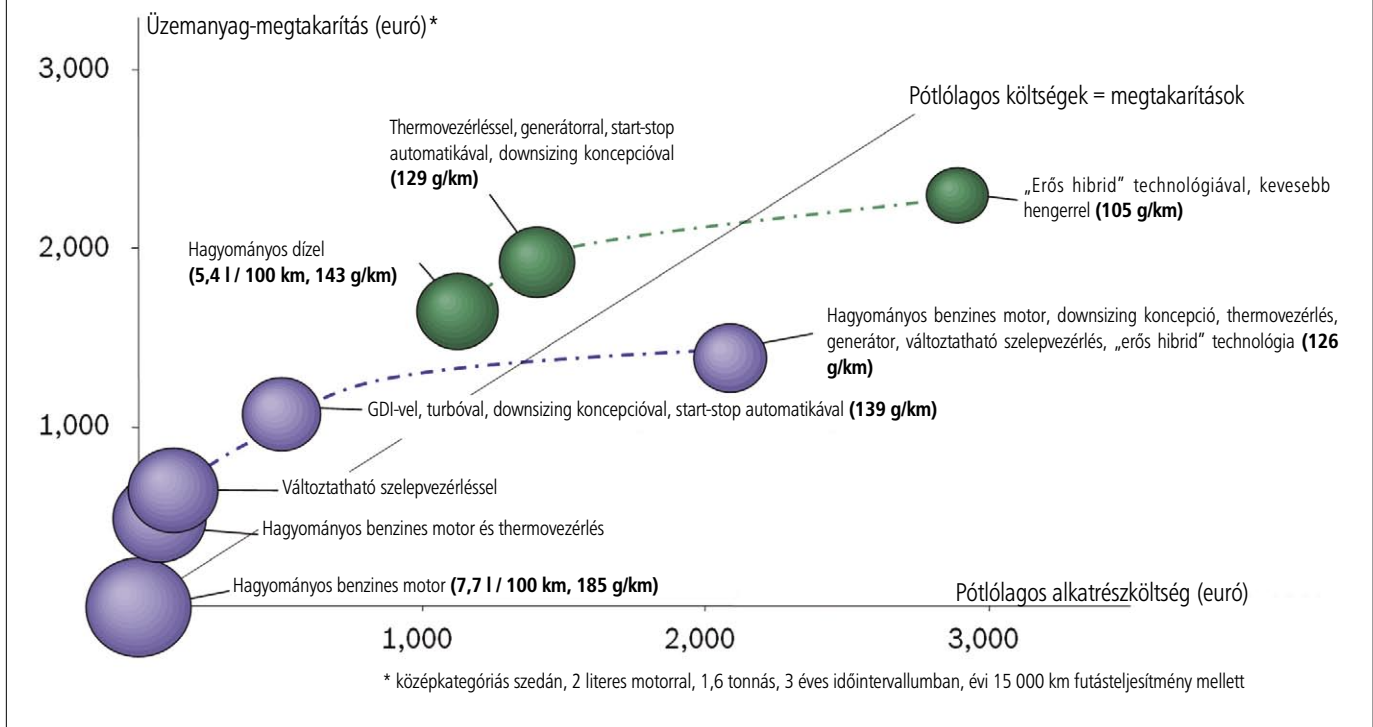
EURÓPA HATÁRAIN KÍVÜL: AZ INNOVÁCIÓK GLOBALIZÁCIÓJA

Hogyan felelhetünk meg az egész világon a közúti közlekedéssel szemben támasztott ezen követelményeknek? Szeretnék ezzel kapcsolatosan néhány alapvető lefektetni. Először is Európában már széles körben elterjedt újításainkat vezetjük be a világ más tájain. Ennek során nem számíthatunk arra, hogy a szóban for-

gó régióban számunkra kedvező módon változnak meg a piaci feltételek, hanem aktív marketingtevékenységet folytatunk. Jó példa erre ESPerience-programunk, amelynek révén világszerte már mintegy 80 000 gépjármű-kereskedő szerzett tudomást ESP-rendszerünkről. Emellett „Dízel Napok”-at szervezünk Amerikában és Ázsiában, amelyek nem csupán autóipari ügyfeleinket, hanem a média és a politika képviselőit is megszólítják. A dízel-motoroknak már csak rendkívüli takarékoságuk miatt is minden esélyük megvan arra, hogy olyan országokban is érvényesülni tudjanak, ahol korábban kevésbé számítottak népszerűnek. Elterjedésük ugyanis segít abban, hogy csökkenjen az érintett ország olajimporttól való függősége. Az Egyesült Államokban megteremtjük ennek műszaki előfeltételeit is: Denoxtronic karbamid-adagoló rendszerünk segítségével a dízel már a jövő évben eleget tud majd tenni a szigorú US07 BIN5 kipufogógáz-kibocsátási szabványnak. Ennek érdekében nem csupán európai, hanem amerikai és ázsiai ügyfelekkel is együttműködünk fejlesztési projektek keretében. Arra számítunk, hogy az USA-ban 2015-re a jelenlegi 6 százalékról 15 százalékra emelkedik majd a dízel részaránya a „könnyű súlyúak” körében, világszerte pedig 23-ról 28 százalékra, ugyanennyi idő alatt. Ebből a fejlődésből mi is ki akarjuk venni a részünket. Már ebben az évben is jó 10 millió nagynyomású dízelbefecskendező rendszert gyártunk majd. Ázsiában és Amerikában értékesítjük e mennyiség jó egyötöd részét, 2015-ben pedig már akár a felét is. Emellett arra számítunk, hogy a szigorodó szén-dioxid-határértékek miatt Európában is nő majd a dízelmotorok részaránya. Mindemellett a CO₂-kibocsátás csökkentésének szükségessége miatt egyre elterjedtebbé válik majd az Otto-motor takarékosabb változata, a közvetlen benzinbefecskendezés. Időközben már e rendszerek második generációján dolgozunk, amely további lehetőségeket teremt a fogyasztáscsökkentésre, például a sugárvezérelt égési folyamat, a be- és kiömlő nyílások vezérlése és mindenekelőtt a turbófeltöltés révén, amely kisebb fődarábak alkalmazását teszi lehetővé. Ezt a méretcsökkentést már négy motor sorozatgyártásánál is bevezettük, és hamarosan további



6. ábra: Bosch CAPS-rendszer – a meglévő aktív és passzív biztonsági rendszerek kombinációja

A CO₂-kibocsátás csökkentése

7. ábra: a környezetbarát technológia pluszköltségét kompenzálja a kisebb üzemanyag-fogyasztás

projektek indulnak majd. A Bosch ebben az évben összesen 900 000 közvetlen benzinbefecskendező rendszert szállít le, és 2010-re ez a szám több mint 2,2 millióra növekszik majd. Emellett a rendszer második generációja jelenleg csupán forgalmunk felét teszi ki, míg három év múlva már csaknem száz százalékát adja majd.

EGY MEG EGY AZ HÁROM: AZ ÚJÍTÁSOK ÖSSZEKAPCSOLÁSA

És hogy ezen túlmenően mit teszünk a közúti közlekedés tisztaságáért és biztonságáért? Összekötjük egymással újításainkat, ezáltal újabb értéket hozva létre. Sokat tehetünk például a baleset-megelőzésért oly módon, hogy az aktív és a passzív biztonsági rendszereket kibővítjük a vezetőasszisztens-rendszerek érzékelői révén. Ennek eredményeképpen előrelátó biztonsági rendszerek jönnek létre, amelyek a kutatók becslése szerint mintegy 35 százalékkal csökkenthetik a közlekedési balesetben elhunytak számát. Időközben megkaptuk első megbízásunkat PEB fékezőrendszerünk egy felső kategóriás járműben való, sorozatgyártásban történő, 2009-es bevezetésére. Ezzel egy olyan rendszert vezetünk be, amely sokfunkciós video- és radar-érzékelői segítségével nem csupán automatikus vészfékezést, hanem sávfelismerést és fényszóró-távvezérlést is lehetővé tesz. Ehhez az egész rendszerre kiterjedő hálózatba kapcsolásra van szükség, ami a kulcsfontosságú alkotóelemek, mindenekelőtt az elektronika és a szoftverek minőségén és szabványosítottágán áll vagy bukik – olyan ágazati feladat ez, amelynek megvalósításában irányadóan közreműködünk az „Autosar” projekt keretein belül.

Hálózatba kapcsolt technológiákat alkalmazunk a környezet és az erőforrások kímélése érdekében is. Jó példa erre start-stop rendszerünk, amely a BMW-nél kerül alkalmazásra sorozatgyártásban, és amely 8 százalékos üzemanyag-megtakarítást

tesz lehetővé a városi közlekedésben. Előfeltétele a motor-, fék- és akkumulátorszabályozás intelligens kombinációja. Ez azonban csupán egy lépés afelé, hogy a fogyasztás mellett a szén-dioxid-kibocsátást is csökkentjük. A gépjárműgyártókkal való együttműködésben olyan technológiai csomagokat állítunk össze, amelyeket az adott járműtípusnak megfelelően fejlesztünk ki.

KLÍMAVÉDELEM: PÉLDÁK A TECHNOLÓGIAI CSOMAGOKRA

Hogy mit is szeretnénk elérni, azt egy 1600 kilogramm tömegű, kétliteres motorral felszerelt, standard, benzinüzemű jármű példáján szemléltetném. Minden egyes intézkedés esetében figyelembe vesszük a járulékos költségeket, valamint a kisebb fogyasztás révén elért költségmegtakarítást, három évre összesítve. Így pontosan azt kapjuk, amit egy jármű első vásárlója a pénztárcáján érez. És ha a haszon magasabb, mint a költség, akkor a szóban forgó technológia az autó vezetője szemszögéből nézve gyakorlatilag finanszírozza önmagát. Először maradjunk az Otto-motornál: a CO₂-kibocsátást a kilométerenkénti 185 grammról 139 grammra csökkenthetjük a közvetlen benzinbefecskendezés, a turbófeltöltés, a méretcsökkentés, a nagy hatékonyságú generátor és a start-stop rendszer kombinációja révén. A dízelüzemű gépjárművek esetében is jelentős javulás érhető el elfogadható költségek mellett, alacsonyabb széndioxid-kibocsátási szintet, a kilométerenkénti 143 gramm helyett mindössze 129 grammot eredményezve. Ehhez termosabályozásból, nagy hatékonyságú generátorból és start-stop rendszerből álló összeállításra van szükségünk. Legyen szó akár dízelüzemű, akár Otto-motorról, a hibridhajtás további CO₂-csökkenést eredményez, bár jelentős többletköltség mellett. A gépjárművezető szempontjából – a fentiekben felvázolt technológiai

összeállításokkal ellentétben – jelenleg még nem fizetődik ki az alacsonyabb üzemanyag-fogyasztás révén. De már ezen is dolgozunk. Így például megbízásokat kaptunk nem csupán benzines, hanem dízelhibridek sorozatgyártására is. Hogy milyen sokoldalúak is vagyunk menet közben, azt megmutatják földgázhajtáshoz gyártott alkatrészeink, valamint a Flexfuel-motorvezérlés, amely az Amerikában oly fontos etanolhajtást teszi lehetővé. Ennek során is érvényre jut az az alapelvünk, amelynek értelmében mérnökeink helyben fejlesztik ki az összes megfelelő megoldást.

Európában gazdaságos technológiai csomagjaink ellenére is nagy kihívást jelent, hogy 2012-ig kilométerenként 130 grammos értékre csökkentsük az új gépjárművek szén-dioxid-kibocsátását. Ez a határérték csak abban az esetben érhető el, ha a nagyobb volumenű modellek is kiveszik a részüket a fejlődésből. Még ha 20 százalékkal javítanánk is az 50 legnagyobb CO₂-kibocsátású gépjárműtípus hatékonyságát, az európai gépjárműflotta átlagában ez is csak 0,4 százalékos üzemanyag-megtakarítást jelentene. Ha azonban az 50 legnagyobb forgalmú autótípusnál avatkoznánk be, az a flotta összességére nézve 14 százalékos csökkenést eredményezne. A szigorúbb határérték tehát csak akkor tartható be, ha a fejlődésből az összes gépjárműosztály kiveszi a részét. Szó sem lehet tehát a fejlesztési intézkedések prémium kategóriás járművekre való korlátozásáról! Európa mellett pedig nem szabad megelégednünk az erőteljesen növekvő ázsiai gépjárműpark szén-dioxid-kibocsátásáról sem. Azon a területen bizonyára némi enyhülést hoz majd a dízelüzemű járművek növekvő részaránya. Egy egyszerű képlettel élve: több dízel egyenlő kevesebb CO₂.

A JÖVŐ: HOSSZÚ ÚT A HIDROGÉNMEGAHJTÁSÚ ÉS AZ ELEKTROMOS JÁRMŰVEKIG

Hosszú távon az kell legyen a célunk, hogy az autózás ne csupán alacsonyabb szén-dioxid-kibocsátással járjon, hanem teljesen szén-dioxid-mentessé is váljon. Ez csak az új fűtőanyagcellás technológiával érhető el, amely regeneratív módon előállított hidrogénnel üzemel. Ehhez azonban még jelentős nehézségeket kell leküzdenünk: ilyenek például a fűtőanyagcellák élettartama, a hidrogén tárolása az üzemanyagtartályban, valamint a megfelelő infrastruktúra. Alternatív megoldást jelenthetnének az akkumulátorhajtású járművek, amennyiben sikerülne regeneratív forrásból biztosítani az áramellátást. Azonban még maga az elektromos hajtás is jelentős fejlesztéseket igényel. Az akkumulátorok teljesítményét például legalább a háromszorosára kell növelni. Ezen az úton áthidaló megoldást jelenthet a hibridhajtás. Ugyan csak annyira lehet jó, amennyire sikerül optimalizálnunk a belső égésű motor működését, azonban a hajtás hibriddé tétele során jelentős know-how-t szerezhetünk a jövő elektromos járműveit illetően. Nem csupán saját kutatási és fejlesztési tevékenységünk keretében dolgozunk intenzíven e kérdések megoldásán, hanem az ügyfeleinkkel folytatott párbeszéd keretében is. És bármely területen lássunk is esélyt a technológiai továbblépésre, mindent meg fogunk tenni a cél elérése érdekében.

Az is lehetséges azonban, hogy a belső égésű motornak is van alternatív jövője. Az ásványolaj-tartalékok ugyan végesek, mégis lehet kiút: a Sunfuel, a növényi alapú szintetikus üzemanyag. Erre fogjuk beállítani befecskendezőrendszeinket. Olyan gépjármű-meghajtás fejlesztendő így ki, amely regeneratív energiával működik, és ugyanakkor a már rendelkezésre álló infrastruktúrát és technológiát használja. Nem egy érv volna e megoldás mellett.

IMPRESSZUM

A jövő járműve • Járműipari innováció

II. évfolyam, 2007/1–2. szám • Alapítva: 2006 • Megjelenés: negyedévente • HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK:



ELEKTRONIKUS JÁRMŰ
ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI
TUDÁSKÖZPONT



JÁRMŰIPARI
REGIONÁLIS EGYETEMI
TUDÁSKÖZPONT
GYŐR



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJTT)
1111 Budapest, Stoczek utca 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.: 96/613-678 • 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: nszi@xmeditor.hu

KIADÓ:

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

SZERKESZTŐSÉG:

X-Meditor Kft. Autóinformatika üzletág
Felelős szerkesztő: Dr. Nagyszokolyai Iván • Tel.: 96/618-062 • E-mail: nszi@xmeditor.hu
Szerkesztő: Onódi Gábor • Tel.: 96/618-083 • E-mail: at@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

Dr. Bercsey Tibor • Dr. Bokor József • Dr. Czígány Tibor • Dr. Czinege Imre • Dr. Kardos Károly • Dr. Keviczky László •
Lepsényi István • Dr. Michelberger Pál • Dr. Náday László • Dr. Palkovics László • Dr. Réti Tamás •
Dr. Stukovszky Zsolt • Szilasi Péter Tamás • Dr. Tisza Miklós

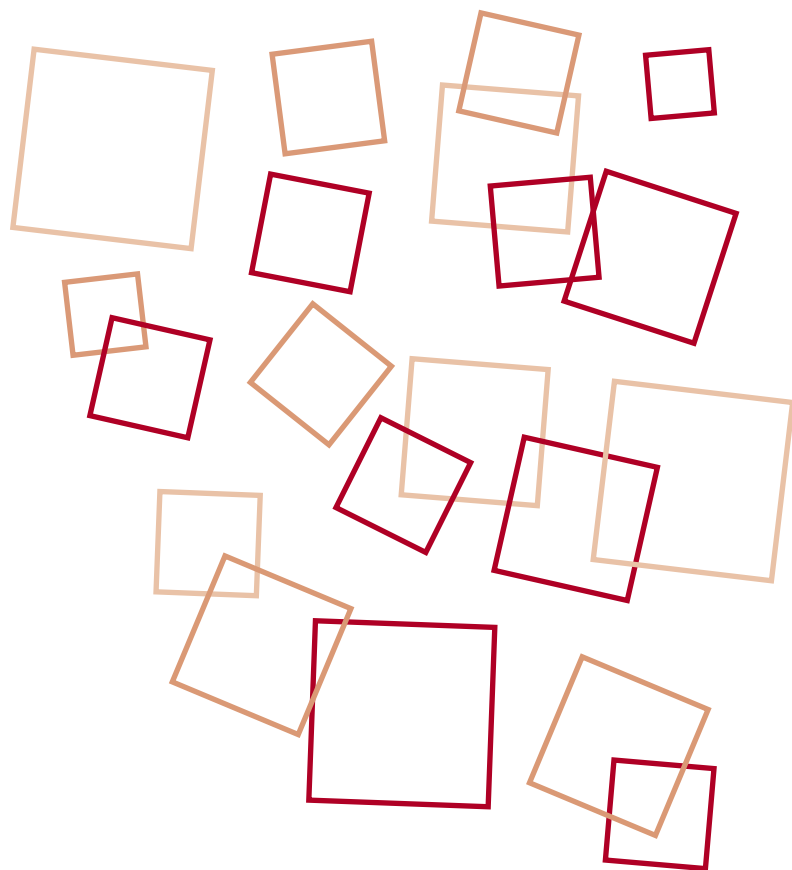
NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:

Direct Média Kft. • 9023 Győr, Buda u. 19.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.



2007. október 11–13.

I Hungexpo Budapesti Vásárcsözpont

www.autodiga.hu



16. Autófenntartó Ipari Szakkiállítás

autodiga



Tech4Auto 2007

Regionális K+F Konferencia és Járműgyártás-technológiai Szakkiállítás

2007. szeptember 20–21.

Széchenyi István Egyetem, Győr

Főbb események

Regionális Kutatás–Fejlesztési Konferencia

- „AUTOPOLIS: Gazdaság – Kooperáció – Fejlődés” Regionális Gazdaságfejlesztési Konferencia
- A Széchenyi István Egyetem műszaki kutatóközpontjainak vállalatokkal közös kutatási eredményeinek bemutatása

Nyitott laborbemutatók

Részvételi feltételek

A látogatóknak a rendezvény programjain való részvétel díjmentes, azonban előzetes vagy helyszíni regisztrációhoz kötött.

A kiállítói megjelenés költségei és feltételei, laborbemutatón történő részvétellel kapcsolatos további információ és tájékoztatás: 96/613-680, www.tech4auto.eu, jret@sze.hu.

Kiállítói jelentkezési határidő: 2007. augusztus 15.

Várjuk további kiállítók jelentkezését!

www.tech4auto.eu

