

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

2010
112

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



HIDROGÉNALAPÚ
TÖMEGKÖZLEKEDÉS



MAGYAR KÖZÚTI
JÁRMŰPROGRAM



BIOGÁZ,
BIOETANOL



EGYHENGES BELSŐ ÉGÉSŰ
MOTOR MODELLEZÉSE



ELEKTROMOS ÉS HIBRID-
ELEKTROMOS JÁRMŰVEK



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ELEKTRONIKUS JÁRMŰ ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI TUDÁSKÖZPONT



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM JÁRMŰIPARI
REGIONÁLIS EGYETEMI TUDÁSKÖZPONT

AUTÓTECHNIKA AKADÉMIA

Kipufogógáz-szerkezetek

Koromszűrő–EGR–turbó

2010. november 13., Budapest



Jelentkezés:

<http://autotechnika.hu/rendezvenyek.html>

Jelentkezési határidő:

2010. október 15.



Az Autótechnika Akadémia „Kipufogógáz-szerkezetek” képzése ebben nyújt Önnek akár már másnap pénzzé tehető munkainformációkat.

Előadók: dr. Nagyszokolyai Iván, Papp Levente, Horváth Tibor, Haraszthy Etele.

Az Akadémia támogatói: IHR Techmark Kft., a Gustav WAHLER GmbH + Co. KG és a BTS képviselete, az Autó-M3 Kft.

Dr. Stukovszky Zsolt

EJJT igazgató



Köszöntő

Hat évvel ezelőtt írta ki az NKTH az első Regionális Egyetemi Tudásközpont pályázatát, amellyel útjára is indult a Pázmány Péter-program. A BME Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpontja e pályázat négyéves inkubációs támogatását elnyerve 2005. január 1-jén alakult konzorciumi formában. Fontos küldetésünknek tekintettük a járműipari integrátori és közvetítői szerep vállalását az egyetemi és akadémiai, valamint a piaci szféra között, illetve annak a konzorciumi tagjainknál meglévő járműelektronikai és mechatronikai tudásnak és „know-how”-nak az összegyűjtését, rendszerezését, dokumentálását és továbbfejlesztését, amely megalapozza a vállalatok számára az igényeiknek megfelelő, „tervezhető” tudásszolgáltatást.

Küldetésünk teljesítéséhez, céljaink megvalósításához és az állammal kötött szerződésben vállalt 19 szakmai projekt teljesítéséhez szilárd alapot biztosított, hogy tudásközpontunk egyetemi, akadémiai és ipari partnerei a teljes járműipari innovációs láncot lefedték az alap-kutatáson át a termékfejlesztésig.

E bázisra építve reálisnak tartottuk azt a célkitűzésünket, hogy hét-nyolc év inkubációs időszak és két-három év 100%-os piaci viszonyok közötti működés eredményeként Európa egyik meghatározó járműelektronikai és mechatronikai fejlesztő-szolgáltató központjává váljunk.

Az elért látványos eredmények ellenére a négyéves pályázati időszak végére az egyetemen belüli működésünk új dimenzióba került: 2008. december 31-ével megszűnt a tudásközpontok, így az EJJT közösségi finanszírozása és a BME szervezeti struktúrájának, irányítási rendszerének átalakításával az intézmény tudásközpontjainak működési feltételrendszere is gyökeresen átalakult. Hogy mit is jelentett ez konkrétan? Az addig államilag finanszírozott, és a legmagasabb egyetemi gazdálkodási önállóságot biztosító átfogó szervezeti egység státuszából az EJJT költségvetési támogatás nélküli (0,-Ft!), tisztán saját bevételre számítható, gazdálkodási önállóságtól megfosztott, magas rezsiköltségekkel terhelt kari tudásközpont státuszba került.

Az EJJT menedzsmenete proaktívan kezelte a változást. Az volt az alapvetésünk, hogy egy sikeres, életképes organizáció nemcsak reagál a környezet kihívásaira, hanem elemégy azoknak, és már a kialakulás folyamatát próbálja a lehetséges mértékben befolyásolni, illetve a szükséges mértékben alkalmazkodni hozzá.

Első lépésként most már Közlekedésmérnöki Kari tudásközpontként próbáltuk a működési feltételeinket még a változások életbelépése előtt előbb stabilizálni, majd optimalizálni. Ennek keretében elkészítettük és elfogadtattuk az EJJT új SZMSZ-ét, majd átfogó megállapodást kötöttünk a kar dékánjával, amelyben a kölcsönös előnyök reményében többek között átadott dékáni hatáskörben visszakaptuk a sikeres piaci szerepléshez elengedhetetlen gazdasági önállóságot biztosító jogosítványainkat.

Következő lépésként SWOT elemzés keretében megvizsgáltuk magunk és a „konkurencia” erősségeit, gyengeségeit, majd helyzetértékelést és piacanálízist végeztünk. A teljesség igénye nélkül az alábbi fontosabb megállapításokat tettük:

Gazdasági és tudományos tevékenységünk egyértelmű intézményi nyereség (rezsi!) elvárás mellett és a közsféra egyáltalán nem piac-konform feltételrendszerében (pl. kétszintű rezsitérítés, külső és belső hitel felvétel lehetőségének kizárása stb.), költségvetési támogatás nélkül kell végeznünk.

Tudásszolgáltatásunk szilárd alapja és bázisa az a 19 államilag finanszírozott és nagyszámú sikeres vállalkozási projektünkben megszerzett, konszolidált, majd továbbfejlesztett és megítélésünk szerint piacképes tudás, és az az európai színvonalú jármű-mechatronikai és jármű-elektronikai vizsgáló, fejlesztő és minősítő labor kapacitás, amellyel a meghatározó hazai járműgyártók igényei is maradéktalanul kielégíthetők.

Működésünk stabilizálásához, a növekedés beindításához a járműipari pozícióink erősítése mellett erősíteni szükséges a közlekedés minden, de különösen a kötöttpályás közlekedés területén a tudásszolgáltatási tevékenységünket. Új ígéretes piacként definiáltuk a közszolgáltató cégeket és az önkormányzatokat.

Kiemelt kutatási területként határoztuk meg az alternatív elektromos járműhajtások területét, a földgáz (CNG), a biogáz és a bioetanol mint járműhajtóanyag alkalmazási területet és a teljes hajtáslánc integrált irányításának területét.

Minden piaci siker és stratégiai tervünk egyik legfontosabb feltételének tekintjük a tudatos marketing- és kommunikációs tevékenységet. Legfontosabb célcsoportjaink a jelenlegi és jövőbeni lehetséges vevőink, a szűken és tágan értelmezett szakmai közélet, szakmai közösségek és természetesen az egyetemi hallgatók, az oktatók-kutatók. Ezek mindegyikére más-más stratégiát kívánunk felépíteni.

A tudásközpont konzorciális működésének megszűnése és a vállalkozási tevékenység meghatározó jellege új belső szervezeti felépítést, új működési formát kíván, olyat, amely a vevői igények kielégítését, a tudástranszfert, a vállalatokkal való együttműködést, a belső hatékony működést jobban szolgálja. Ehhez elengedhetetlen a saját főállású kutatóbázis kialakítása, a belső folyamataink újragondolása és ISO 9001 minőségirányítási szabvány szerinti tanúsítása.

Az integrátori szerep kibővítése, azaz tudományos szakmai és piaci szereplők közös érdek mentén együttes tevékenységének indukálása, összefogása, az ehhez szükséges szakmai-tudományos háttér biztosítása.

A fentiek alapján újrafogalmaztuk küldetésnyilatkozatunkat és jövőképeinket és a Balanced Scorecard metodika alkalmazásával új ötéves stratégiai tervet készítettünk, amelyet stratégiai területenként éves tervekre bontottunk.

Másfél év új feltételek szerinti működésünk bizonyította alkalmazkodóképességünket, igazolta helyzetelemzésünket és stratégiánkat. Ma az EJJT kiemelkedő kutatási potenciállal rendelkezik. Saját bevétel terhére 25–35 olyan főállású kutatót foglalkoztat, akik piaci bért kapnak. További 15 fő elsősorban egyetemi kolléga és mintegy 20 fő hallgató és doktorandusz vesz részt projektjeinkben különböző jogviszonyban. 2009-ben a tudásközpont biztosította a Közlekedésmérnöki Kar vállalkozási bevételeinek több mint 50%-át. Szakmai és üzleti partnereink között tudhatunk több kk mellett olyan nagyvállalatokat, mint a Magyar Posta, a Rail Cargo, a MÁV Trakció, a Knorr-Bremse, a ThyssenKrupp, a Bosch, a BKV, a MOLTRANS, a Fővárosi Csatornázási Művek, a Fővárosi Gázművek, ATEV stb. Szakértői feladatokat látunk el több minisztériumnak és önkormányzatnak, a Nemzeti Közlekedési Hatóságnak és a rendőrségnek. Az NKH képzési engedélye alapján mi végezzük a gépjárművezető szakoktatók hatósági képzését. Jelenleg két európai uniós, az FP6-os CVIS és az FP7-es HAVE-IT, és három Nemzeti Technológiai Program-os TRUCKDAS, RECYTECH és az INT-DIAG pályázatunkban veszünk részt.

Tartalomjegyzék

3	Köszöntő – dr. Stukovszky Zsolt
5	A biogáz és bioetanol gazdaságos előállításának kérdései és problémái – Szemerey Szabolcs, Pézsa Nikolett
12	A közúti forgalmi változók és a baleseteket jellemző változók közötti összefüggések vizsgálata – Pintér Krisztián, Trencsényi Balázs, Vida Gábor
16	A hazai gépjárműállomány statisztikai vizsgálata különös tekintettel a károsanyag-kibocsátásra – dr. Emőd István, dr. Török Ádám
22	Hidrogénalapú fenntartható tömegközlekedés műszaki és pénzügyi megvalósíthatósága – Kocsis Bence, Trencsényi Balázs, dr. Brummer Krisztián
26	Járművek emissziójának modellezése a forgalmi viszonyok és a környezeti hatások figyelembevételével – Szabó Bálint, Trencsényi Balázs
30	Járművezetői viselkedés modellezésének alapjai – Bári Gergely, Trencsényi Balázs
34	Egyhengeres belső égésű motor modellezése és paramétereinek meghatározása – Szabó Bálint, Trencsényi Balázs, Hargitai Csaba
39	A válság kialakulása és tipikus jelei a járműiparban – „A válság előzményei és természete” – Stukovszky Tamás
42	A magyar közúti járműprogram – sikertörténet mai hatásokkal és tanulságokkal – Kocsis Bence, Pomázi Gyula
44	Többtest-alapú, valós futásidejű járműmodellek készítése Matlab/Simulink környezetben – Hankovszki Zoltán, Kovács Roland, Trencsényi Balázs
52	Elektromos és hibrid-elektromos járművek alkalmazása a postai kézbesítésben – Trencsényi Balázs, Szabó Bálint, dr. Stukovszky Zsolt
57	Aktív kormánybeavatkozással kiegészített haszongépjármű-ESP – Hankovszki Zoltán, Kovács Roland, dr. Palkovics László
64	Elektromechanikus működtetőegység fejlesztése automatizált nehézhaszonjármű-sebességváltóhoz – Bóka Gergely, Trencsényi Balázs, dr. Németh Huba, dr. Palkovics László
70	Korszerű autonóm járműirányítási rendszerek szimulációalapú analízise hibainjektálási módszerrel – Szabó Bálint, Kerekes Tamás, Hankovszki Zoltán, dr. Szalay Zsolt
74	Alternatív tüzelőanyagok és hajtásrendszerek követelményei és értékelése üzleti modell alapján – Trencsényi Balázs, dr. Stukovszky Zsolt
79	A járművezetés biztonsága és eszközeinek fejlődése – Petrók János
86	A dízelrészecske és a részecskeszám meghatározása – Szabados György, Pollák Iván
91	Személygépkocsi generátorának szimulációja – dr. Blága Csaba, dr. Kovács Ernő
95	Személygépkocsi indítómotorjának szimulációja – dr. Blága Csaba, dr. Kovács Ernő

A biogáz és bioetanol gazdaságos előállításának kérdései és problémái

Szemerey Szabolcs
üzgyvezető igazgató,
EHB Kft.

Pézsza Nikolett
PhD hallgató,
BME GJT

Napjaink globális kihívásai, az energiafüggőség, a kimerülő olajkészletek és a növekvő széndioxid-emisszió a közlekedési szektort is érintik. Az alternatív tüzelőanyagok – mint például a bioetanol és a biogáz – alkalmazása a globális kihívások mérséklésének egy lehetőségét jelenti. Az alternatív tüzelőanyagok elterjedése azonban csak akkor várható, ha egyértelmű gazdasági előnyöket képesek fölmutatni a felhasználók számára, vagyis olcsóak. Cikkünkben az előállítási költségre hatást gyakorló tényezőket, valamint a magyarországi potenciált mutatjuk be.

Nowadays we are facing global challenges such as energy dependency, the depletion of oil reserves and increasing carbon dioxide emissions that have an effect on the transport sector as well. The application of alternative fuels –such as bioethanol and biogas- offers one way to tackle these global challenges. The wide spreading of alternative fuels can just be expected if they can show unambiguous economic advantages to the user, which in fact means cheapness. The aim of this paper is to introduce the most cost influencing factors on the production costs and to show the present potential in Hungary.

BEVEZETÉS

Napjainkban a közlekedési szektor felelős a globális – energia-felhasználással összefüggő – CO₂-kibocsátás egynegyedéért, ezen belül a közúti közlekedés a CO₂-emisszió 10 százalékáért. [1] A jelenlegi 900 milliós járműállomány több mint 2 billióra való növekedése várható 2050-re, mellyel párhuzamosan a széndioxid-emisszió elérheti a 2-3 gigatonnát. A legnagyobb igény a fejlődő országokban, úgymint India és Kína várható, ahol főként az egyéni mobilitás növekszik nagy sebességgel. [1] A mobilitás nélkülözhetetlen velejárója a gazdasági és társadalmi fejlődésnek. A gyors népességnövekedés a gazdasági, valamint társadalmi fejlődés meglehetősen nagy mobilitás iránti igényt teremt. Mindazonáltal nincs mobilitás energia nélkül, a mobilitást „tüzelőanyaggal kell ellátni”. A közlekedési szektor számára nagy kihívást jelent, hogy a növekvő mobilitási igényeket a kitermelhető tartalékok biztosítása mellett kell kielégíteni a szektor levegőszennyezésre, klímaváltozásra és társadalomra gyakorolt hatásának figyelembevételével. [1] A globális kihívások hatásának mérséklésére a közlekedési szektorban több lehetőség is kínálkozik (fejlettebb járműtechnológiák, vezetői magatartás, forgalomszabályozó intézkedések), melyek közül cikkünkben az alternatív tüzelőanyagok által rejtett lehetőségeket mutatjuk be, különös tekintettel a bioetanol és a biogáz alkalmazásának gazdasági kérdéseit tárgyaljuk.

JOGI SZABÁLYOZÁS AZ EURÓPAI UNIÓBAN

Az Európai Parlament és Tanács 2003/30/EK irányelve meghatározza a bio üzemanyagok definícióját. E szerint bio üzemanyagok a biomasszából előállított folyékony vagy gáz halmazállapotú, a közlekedésben használt üzemanyagok. A bioetanol a biomasszából és/vagy hulladékok biológiai lebomló részéből előállított, bio üzemanyagként felhasználható etanol; A biogáz gáznemű üzemanyag, melyet biomasszából és/vagy hulladékok biológiai lebomló részéből állítanak elő, amelyből tisztítás útján földgázminőség érhető el, vagy fagázból állítanak elő, és amely bio üzemanyagként felhasználható;

A bizottság „Út az energiaellátás biztonságára irányuló stratégia felé” című Zöld Könyve azt a célt tűzi ki, hogy 2020-ig a közúti szállítási ágazatban a hagyományos üzemanyagok 20%-os kiváltása történjék meg alternatív üzemanyagok által. [2] Az alternatív üzemanyagok csak akkor tudnak betörni a piacra, ha széles körben elérhetők és versenyképesek lesznek. A bioetanol alkalmazásával kapcsolatban gyakran felmerül a kérdés, hogy valóban képes lesz-e árban versenyezni a fosszilis energiahordozókkal. Ugyanis a jelenlegi viszonyokat feltételezve az alternatív tüzelőanyagok elterjedése csak akkor várható, ha egyértelmű gazdasági előnyöket képesek felmutatni. A környezetvédelmi előny a fogyasztóknál egyelőre csak akkor jelent valódi előnyt, ha az költségcsökkenésként fejezhető ki. A tüzelőanyag azon ára, amely a töltőállomáson megjelenik, egy összetett árképzés eredményeképpen alakul ki. Az tüzelőanyagár főbb összetevői a termelői ár, a nagykereskedelmi árrés, a kiskereskedelmi árrés, a jövedéki adó és az áfa. A tüzelőanyagár tehát áll szabályozástól függő és független összetevőkből. A továbbiakban a termelői ár kialakulásának legköltségérzékenyebb pontjait mutatjuk be a bioetanol- és biogáz-előállítás esetén, jelenlegi technológiai színvonalat feltételezve.

A BIOETANOL-ELŐÁLLÍTÁS

A piacon elsőként az ún. elsőgenerációs bioetanol jelent meg. Az elsőgenerációs bioetanolt gabonaterményekből (kukorica, búza) vagy cukornövényekből (cukorrépa, cukornád) állítják elő. Alkalmazásának legnagyobb kerékkötőjeként a felmerülő etikai kérdések bizonyultak, vagyis hogy szabad-e energianövényeket termesztetni élelmisznövények helyett.

A második generációs bioetanol – amelynek nyersanyaga már ún. fenntartható nyersanyag – megjelenésével azonban az előbb említett etikai aggályok eltűntek. A második generációs bioetanolt általában valamilyen lignocellulóz alapú nyersanyagból állítják elő. A felhasználható nyersanyagok széles spektrumot ölelnek fel: lehetnek energianövények, algák, mezőgazdasági maradékok (szalma, kukoricaszár), hulladékok (élelmiszer-ipari, kommunális), illetve erdészeti erőforrások is. [3] A bioetanol előállításának alapja

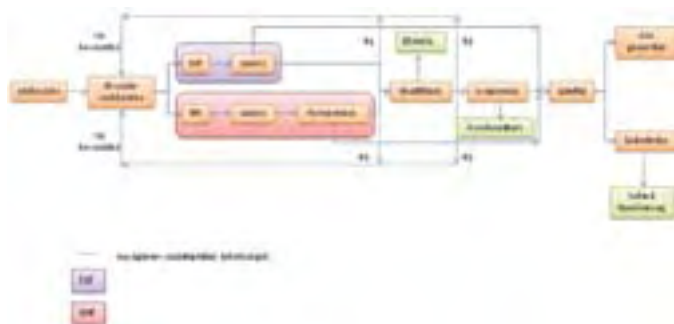
egy már régen ismert folyamat, az élesztővel történő fermentáció. A különböző nyersanyagok egyszerű cukortartalma (monomer) mikroorganizmus segítségével lebontható. A folyamat termékeként jelenik meg az etanol. Amennyiben a cukortartalom polimer formájában van jelen (pl. keményítő), akkor a fermentációt megelőzi egy hidrolízis lépés, amelynek során a polimer cukortartalmát monomerekre bontják le. A másodikgenerációs etanol előállítása komplexebb folyamat, tekintve, hogy a nyersanyagban a cukortartalom gyakran valamilyen nehezen hozzáférhető kötött formában (pl. lignocellulóz) van jelen. A cukortartalomhoz való hozzáférhetőség tehát még bonyolultabb, az előkezelés szerepének jelentősége megnő. Az előkezelésnek különböző típusai ismertek, léteznek fizikai, kémiai, illetve biológiai előkezelési eljárások. [3, 4]

Az előkezelés a hozzáférhető felületet többféle módon növeli. Egyrészt fragmensek formálódásával növeli a felületet, másrészt a hemicellulóz-tartalom hidrolizálásával megszünteti a hemicellulózok által biztosított védő funkciót, harmadrészt a lignintartalom strukturálisan megváltozik és a nyersanyag delignifikálódik, amelynek mértéke az előkezelési technológia típusától függ. A nyersanyag típusa alapvetően meghatározza az alkalmazott előkezelési technológiát. [5]

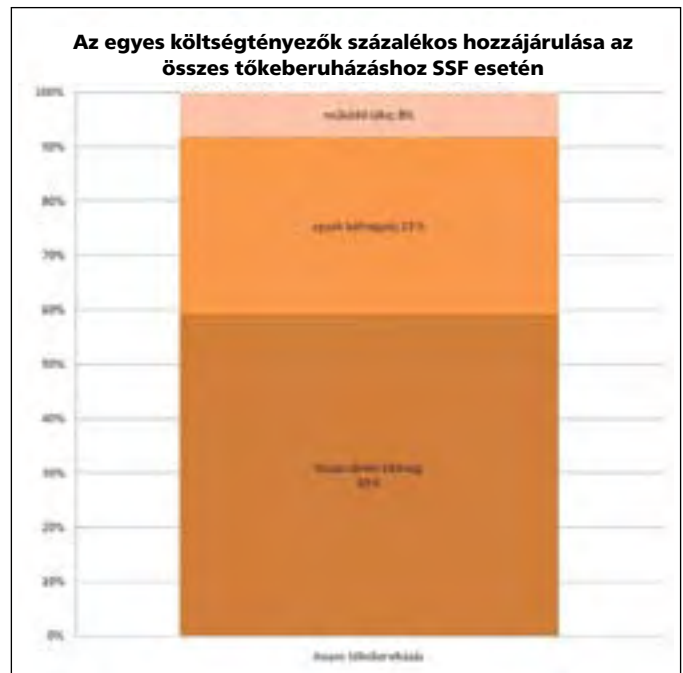
Napjainkban az enzimekkel történő előkezelési módszerek hatékonyságát intenzíven tanulmányozzák. Gyakori valamely kémiai vagy fizikai előkezelés alkalmazása az enzim hidrolízis lépést megelőzően. Az enzim hidrolízissel a már hozzáférhető cukorpolimer bontható monomer egységekre. Mindazonáltal, hogy az enzim előkezelésnek magasabb az etanolhozama, mint más előkezelési módszereknek, nagyfokú bizonytalanság társul ezen előkezelési eljáráshoz. Ezen bizonytalanság egyik mutatója például az enzim ára, mely jelenleg jelentősen hozzájárul az etanol-előállítás költségéhez. Az enzim jelenlegi árának jelentős csökkentése szükséges ahhoz, hogy a folyamat gazdasági szempontból megvalósítható legyen. Hosszú távon az enzimek árának csökkenése várható, mely egyrészt az enzimtermelés hatékonyságának növekedésével, valamint az egyéb enzimfelhasználó iparágak (textilipar, mosószergyártás) által támasztott nagyobb volumenben történő termelés iránti igény kialakulásával magyarázható. [6]

AZ ETANOL-ELŐÁLLÍTÁS ÖSSZKÖLTSÉGÉNEK MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐI

Az enzimek segítségével történő bioetanol-előállítási folyamatok között két technológia – a szimultán szaccharifikáció és fermentáció (SSF) és különválasztott (szeparált) hidrolízis és fermentáció (SHF) – dominál. A szimultán szaccharifikáció és fermentáció során egy reakciótérben játszódik le az enzim hidrolízis és a mikroorganizmussal történő fermentáció, míg a különválasztott hidrolízis és fermentációnál a két folyamat térben elkülönítve



1. ábra az etanol-előállítás folyamatábrája. SSF: szimultán szaccharifikáció és fermentáció, SHF: szeparált hidrolízis és fermentáció, EH: enzimes hidrolízis. Forrás: saját ábra [6] adatai alapján



2. ábra: az egyes költségtényezők százalékos hozzájárulása az összes tőkeberuházáshoz szimultán szaccharifikáció és fermentáció (SSF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával



3. ábra: az egyes költségtényezők százalékos hozzájárulása az összes tőkeberuházáshoz szeparált hidrolízis és fermentáció (SHF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával

zajlik le. Fő opciónak jelenleg az SSF-et tekintik, mert számos szubsztrát és előkezelési módszer esetén magasabb etanolhozamot eredményezett rövidebb idő alatt. Zacchi és társai kutatásuk során összevetették az SSF és az SHF előállítási technológiákat gazdasági és technológiai szempontból. Megvizsgálták, hogy az egyes folyamatparaméterek változása milyen hatással bír az etanol-előállítás költségére, és javaslatokat fogalmaztak meg az előállítási költségek csökkentési lehetőségeire. Két alapesetet vizsgáltak meg, melyeket az 1. ábra szemléltet. [6]

Az egyik esetben az bioetanol az SSF technológiával, a másik esetben a SHF technológiával állítják elő. A nyersanyag lucfenyő, mely 50%-ban vizet tartalmaz, a szárazanyag-tartalom 45%-a glu-

kán, 13%-a mannán és 2%-a galaktán. A pentozántartalom 7, a lignintartalom pedig 28%-ot tesz ki. A fennmaradó tömeghányad hamut tartalmaz. Mindkét technológia esetén a belépő nyersanyagot előkezelésnek vetik alá. Az előkezelés során a faaprítékot kén-dioxiddal impregnálják, és magasnyomású gőzkezelésnek vetik alá. Az előkezelést követően a nyomást két lépcsőben csökkentik le atmoszférikus nyomásra. Az előkezelés hatására a hemicellulóz-tartalom lebomlik monomer cukrokra és melléktermékekre. A pentozánok 15,5 százaléka furfurolá, a hexozánok 1,3%-a pedig 5-hidroxi-2-metil furfurolá alakul át. A mannánok és galaktánok 65%-a, a xilántartalomnak pedig a 70%-a alakul át monomerekké. A cellulóztartalom 14 százaléka bomlik le glükózzá. A lignintartalom 10 százaléka degradálódik vagy feloldódik. [6]

Az előkezelést követően a nem oldható szilárdanyag-tartalom igen nagy koncentrációban van jelen és az SSF, illetve az SHF enzimes hidrolízis lépéséhez való betápláláshoz hígítás szükséges. Mindkét alapesetben 5%-os szilárdanyag-tartalmú bemenő áramokat feltételeztek. [6] SHF esetén az előkezelést egy enzimes hidrolízis (EH) lépés követi. A fermentációs lépést megelőzően az enzimeket el kell távolítani szűrés segítségével a rendszerből. A fermentációt követően az élesztőtartalmat visszanyerik centrifugálás segítségével, a folyamathoz tehát nem szükséges további élesztő adagolása. A nagy mértékben hígított keletkező etanolt ahhoz, hogy tüzelőanyagként felhasználható legyen, töményíteni kell. A desztillációs lépést követően a nem illékony alkotók koncentrációját is meg kell növelni evaporációs eljárással annak érdekében, hogy a gőzkazánban vagy szilárd tüzelőanyagként való eladásra alkalmasak legyenek. Az evaporációs eljárásból származó cukor, és a szűrésből visszamaradó lignin áramokat összekeverik és 11%-os víztartalomig szárítják, majd elégetik. A keletkező gőzt visszatáplálják a rendszerbe. Tekintve, hogy a lignin nem fosszilis tüzelőanyag, ezért az elégetésével létrejövő gőzgenerálás nem növeli az atmoszférába kibocsátott szén-dioxid-mennyiséget. A szilárd anyag azon részéből, melyet nem tüzelnek el, brikett készül, és szilárd tüzelőanyagként eladásra kerül. [6]

Az összes tőkeberuházási költség alakulása

Az SHF folyamat összes tőkeberuházási költsége 23%-kal nagyobb az SSF folyamaténál. Az egyes költségtényezők százalékos hozzájárulását az SSF, illetve SHF esetében az összes tőkeberuházási költséghez a 2. és 3. ábrák szemléltetik. [6]

Az összes direkt költség alakulása

Az összes direkt költség a fő- és segédberendezések, valamint a közvetlenül a folyamathoz szükséges épületek összes költségét jelenti. Az egyes direkt költségek hozzájárulását az összes direkt költséghez a 4. és 5. ábrák szemléltetik.



4. ábra: az egyes részfolyamatok hozzájárulása az összes direkt költséghez szimultán szaccharifikáció és fermentáció (SSF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával



5. ábra: az egyes részfolyamatok hozzájárulása az összes direkt költséghez szeparált hidrolízis és fermentáció (SHF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával

Az SSF folyamat esetén a gőzgenerálás teszi ki az összes direkt költség legnagyobb hányadát (27%), melyet az SSF részfolyamat költsége követ 24%-kal. Az SHF folyamat esetén az enzimes hidrolízis (EH) a legdrágább lépés, az összes direkt költség 30%-át teszi ki. A gőzgenerálás 20%-kal ez esetben a második legköltségesebb lépés. [6]

Az összes költség alakulása

Az etanol-előállítás összes költsége SSF esetén 11%-kal kisebb, mint SHF esetén. Mind az SSF, mind pedig az SHF technológia alkalmazása esetén a tőkeköltség és a nyersanyag ára bírnak a legnagyobb befolyással az etanol-előállítás teljes költségére nézve. Jelentős költségtényezőnek minősül még az enzím ára is. [6] A két alternatív etanol-előállítási mód összes költségének hozzájáruló tényezőit százalékos megoszlásban a 6. és 7. ábrák szemléltetik.



6. ábra: az etanol-előállítás összes költségének hozzájáruló tényezői százalékos megoszlásban szimultán szaccharifikáció és fermentáció (SSF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával

KÖLTSÉGCSÖKKENTÉSI ALTERNATÍVÁK

Enzimár-változás

Az enzím ára és az enzím iránti igény igen bizonytalan tényező. Érzékenységvizsgálatot elvégezve meghatározható, hogy az enzím árában bekövetkező változás hogyan módosítja az etanol-előállítás összes költségét. Ha az enzím ára 50%-kal csökken, akkor SSF esetén 7,3%-kal, SHF esetén pedig 4,5%-kal csökkent-



7. ábra: az etanol-előállítás összes költségének hozzájáruló tényezői százalékos megoszlásban szeparált hidrolízis és fermentáció (SHF) esetén. Forrás: saját ábra [6] adatainak felhasználásával

hető az etanol-előállítás összes költsége. Az SSF folyamat tehát érzékenyebb az enzím árának változására, amely az SSF folyamat nagyobb enzimigényével magyarázható. [6]

Subsztrátkoncentráció növelése

Mind az SSF, mind pedig az SHF esetén a részfolyamatba belépő anyagáramok nagymértékben hígítottak, 5%-os szilárdanyag-tartalmúak. Ez egyben a részfolyamatból kilépő nagyobb anyagáramokat is jelent, amelyek az üzem magasabb tökekköltségét eredményezik, mert nagyobb és ennek következtében drágább berendezések szükségesek. A desztilláció és evaporáció részfolyamat energiafelhasználása pedig szintén függ az anyagáram hígításának mértékétől, hiszen a felesleges folyadéktartalmat ekkor távolítják el a rendszerből. A magasabb koncentrációjú belépő anyagáramok alkalmazása szintén az etanol előállítási költségének egyik csökkentési lehetősége. Stenberg és társai a kiindulási szilárdanyag-tartalmat 2 és 10% között változtatták. 10%-os kiindulási koncentráció esetén etanoltermelést nem tapasztaltak. 7,5%-os kiindulási koncentráció esetében azonban hasonló etanolhozam érhető el, mint 5%-os kiindulási koncentráció esetében. [6] Zacchi és társai az alapesetben alkalmazott 5%-os kiindulási koncentrációt 8%-ra változtatták, és hasonló etanolhozamot feltételeztek, mint az alapesetekben. A kiindulási szubsztrátkoncentráció növelésével az előállítási költségek jelentősen csökkenthetők, SHF esetében az etanol előállítási költsége 21%-kal, SSF esetében pedig 19%-kal csökkent. [6] A legnagyobb költségcsökkentő hatás a megnövekedett szilárd tüzelőanyag mennyiségének köszönhető. A nagyobb szilárdanyag-tartalmú anyagáramok alkalmazása azonban megnehezíti az SSF és az EH részfolyamatokat. Egyrészt nagyobb mennyiségben keletkező inhibitorok, másrészt a nagyobb koncentrációban jelenlévő rostos anyag csökkenti a tömegáram mértékét. Az enzimikus hidrolízis részfolyamatnál további problémát jelenthet a magasabb képződő cukortartalom okozta végtermékgátló hatás a cellulázokra. A tömegáramlás problémája hatásosabb keverők alkalmazásával oldható meg. Egy másik lehetséges alternatíva az SSF és az EH részfolyamatok fed-batch módban történő üzemeltetése. A fed-batch mód előnye a batch móddal szemben, hogy a kiindulási szubsztrátkoncentráció alacsonyabb értéken tartható, melynek pozitív hatása a keverésre nézve. Az inhibitorok koncentrációja is kisebb, mint batch üzemnél, mert számos összetevő – mint például a furfurol vagy a HMF (hidroximetil-furfurol) – az élesztővel történő fermentáció során kevésbé gátló hatású összetevővé alakulnak át. Az EH folyamatban létrejövő végtermékgátlás azonban nem küszöbölhető ki a fed-batch mód alkalmazásával. [6]

Anyagáram-visszavezetés

Mindkét alapesetben friss vízáram adagolását feltételezték. Költségcsökkentési alternatíva lehet azonban az anyagáram visszavezetése is a folyamatba. Zacchi és társai két esetet vizsgáltak meg, az anyagáram visszavezetését a desztilláció előtt (R1) és után (R2) (1. ábra). A desztilláció előtti anyagáram-visszavezetés mind az SSF, mind az SHF esetén az etanol, de ezzel együtt az inhibitorok koncentrációjának a növekedését is eredményezi. A desztilláció után az anyagáram-visszavezetés a nem illékony alkotók koncentrációjának növekedéséhez vezet.

A desztillációs lépést megelőző anyagáram-visszavezetés csökkenti a desztillációba és az evaporációba belépő anyagáramokat, és ezáltal tökekköltség- és energiafelhasználás-csökkentő hatással bír. A desztillációs lépést követő anyagáram-visszavezetés ezzel ellentétben csak az evaporációs részfolyamat tökekköltségét és energiafelhasználását csökkenti.

Az etanol-előállítás költsége 18%-kal csökkenthető az anyagáram 60%-ának desztilláció előtti, és 12%-kal desztilláció utáni visszavezetésével. Az anyagáram 40%-ának desztilláció előtti visszavezetése a vízfelhasználást 43%-kal, míg az anyagáram 60%-ának desztilláció utáni visszavezetése 58%-kal csökkenti. Mindkét visszavezetési módszer esetén a legnagyobb költségcsökkentő hatása az értékesíthető melléktermék növekvő mennyiségének van, amelynek előállítása így kevesebb energiafelhasználással jár. [6] SHF esetén hasonló mértékű költségcsökkenés feltételezhető.

A tartózkodási idő csökkentése

Tekintve, hogy az SSF, illetve az EH részfolyamatok az összes tökekköltséghez jelentős mértékben hozzájárulnak, ezért Zacchi és társai tanulmányozták az ezen folyamatok idejében bekövetkező csökkenés hatását. A tartózkodási idő 50%-os csökkentésével SSF esetén az etanol előállítási költsége 4%-kal csökken, míg SHF esetén 8%-os csökkenés érhető el, ami azt mutatja, hogy a tartózkodási idő költségcsökkentő hatása nagyobb SHF esetén. [6]

Mikroorganizmus

A mikroorganizmussal szemben támasztott általános követelmények

- a nagy etanolkoncentrációnak való ellenállás képessége
- az inhibitorok toleranciája
- a magas hőmérsékleten való működés.

Egyre fontosabb követelménynek látszik a többféle szubsztrát lebontásának képessége főként lignocellulóz alapanyagok esetében. A lignocellulózok szerkezetüket és kémiai összetételüket tekintve rendkívül sokfélék lehetnek. Ez a heterogenitás nagymértékben befolyásolja az etanol-előállítás gyakorlatilag minden egyes lépését kezdve a nyersanyag mechanikai kezelésétől, az előkezelési feltételeken át az enzim és az élesztő típusának kiválasztásáig. A fermentációban leggyakrabban alkalmazott mikroorganizmus a *Saccharomyces cerevisiae*, amely csak hexózokat képes átalakítani etanollá. Az etanoltermelés elvben növelhető, ha a nem hexóz cukortartalmat is át lehet alakítani etanollá. Az elmúlt évtizedekben nagy erőfeszítéseket tettek olyan rekombináns mikroorganizmus létrehozására, amely képes xilózt és arabinózt is átalakítani. A rekombináns mikroorganizmusok azonban drágák, és sokkal érzékenyebbek a fermentációs folyamat paramétereire, mint a hagyományos *Saccharomyces cerevisiae*. Ipari alkalmazásukig még fejlesztésekre van szükség. Mindazonáltal a rekombináns mikroorganizmusok alkalmazásával a nyersanyagok szélesebb spektrumának etanollá történő fermentációja válik lehetségessé. Az SSF folyamat egy speciális változata az SSCF (szimultán saccharifikáció és kofermentáció), mely során egy reakcióterben zajlik a szaccharifikáció és a fermentációja többféle típusú szénhidrátok. [5]

Nyersanyag

Zacchi és társai is bemutatták, hogy az etanol-előállítás összes költségét jelentősen befolyásolják a nyersanyagárak. [6] Az olcsó nyersanyagok alkalmazása tehát jelentős költségcsökkentő hatással bír. Kiemelt szerep jut ebből a szempontból az ipari hulladékok felhasználásának. [7]

MAGYARORSZÁGI BIOETANOL-POTENCIÁL

Az 1. táblázat összefoglalja a jelenlegi hazai biomassza-potenciált a bio tüzelőanyagokra vonatkoztatva.

	menyiség t/év	energiatartalom PJ/év
Bioiszteromszék		
kukorica	2000	55,8
burgonya	1800	21,6
rapce	400	7
magartórási	200	3,3

1. táblázat: hazai biomassza-potenciál bioetanol-termelésre. Forrás: [8]

Bioetanol-előállításra jelenleg elsősorban a kukorica és az őszi búza szemtermése szolgálhat nyersanyagként. Kisebb mennyiségben egyéb cukor és keményítőtartalmú növények is számításba vehetők (cukorrépa, burgonya, csicsóka) [8] A lignocellulózokból történő második generációs bioetanol-előállítási technológia szélesebb körű elterjedése 2012–2015 után várható. [9] A korábbiakban említettük a nyersanyag árának meghatározó szerepét. Az olcsó ipari hulladékok tekintetében Magyarországon a bioetanol-előállításra számításba vehető nyersanyag a papíriszap, melyből évente 50 000 t keletkezik. [7]

A BIOGÁZ-ELŐÁLLÍTÁS

A biogázképződés egy olyan anaerob folyamat, amely során a szerves vegyületek lebontásával szén-dioxid (CO_2) és metán (CH_4) keletkezik. Ez a biológiai folyamat két különböző hőmérsékleti tartományban megy végbe. Az első a mezofil hőmérsékleti tartomány, ami körülbelül 37–38 °C, a második pedig a termofil hőmérsékleti tartomány, amely 54–55 °C-on megy végbe. Az egyik legfontosabb különbség a reaktorban töltött tartózkodási idő. Míg a mezofiltartományon végbemenő anaerob fermentáció akár hónapokat is igénybe vehet, addig termofil körülmények között a tartózkodási idő csupán 15 és 25 nap közé tehető. A biogáz-előállítás elvét a 8. ábra, mikrobiológiáját a 9. ábra szemlélteti.



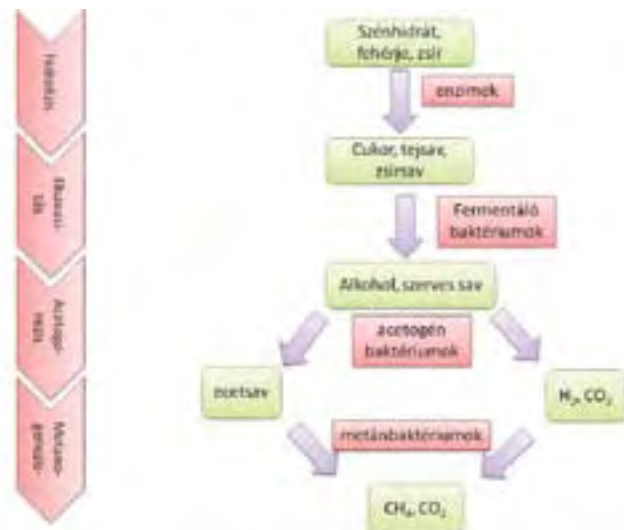
8. ábra: a biogáz-előállítás elve. Forrás: saját ábra [10] adatainak felhasználásával

A BIOGÁZTERMELÉS LEHETSÉGES INPUT ANYAGAI

Szennyvíziszapból előállított biogáz (sewage gas)

A szennyvízfelhasználás lehetséges alternatívája:

- a szennyvizet összegyűjtik, majd fizikai és vegyi úton a szennyezőanyagokat eltávolítják belőle, a folyamat során megmaradt iszapot ülepitik. Az ülepitett szennyvíziszap ártalmatlanítása



9. ábra: a biogázképződés mikrobiológiai háttere. Forrás: saját ábra [10] adatainak felhasználásával

jelentős pénzösszegbe kerül, ami vagy a mezőgazdaságban trágyaként, vagy pl. égetőművekben semmisül meg.

- a szennyvíz másik felhasználási módja, a vegyi és mechanikus kezelés után speciális biogáztornyokban erjesztik, biogázt nyernek ki belőle. A maradék szennyvíziszapot a fentiekben ismertetett módon vagy komposztálással „semmisítik meg”. A folyamat során keletkezett biogázt elégetik egy motorban, melyből termelt villamos energiát a hálózatba táplálják, vagy saját felhasználásra kerül, illetve a biogázmotor mellék hőjét pedig a fermentációs folyamat fűtésére és a szennyvíz-technológia, szennyvíztelep egyéb fűtésére használják.

Szeméttelapi gáz (Landfill gas)

Hazánkban az elmúlt években jelentős beruházásokkal és jogszabályi módosításokkal elérték, hogy létrejöjjenek regionális hulladékdepók, melyek vagy köztulajdonban vagy pedig magántulajdonban vannak. A kommunális hulladéklerakókban képződő biogázmennyiség meghatározása a legproblematisabb. A biogáz ugyanis nem egyenletes ütemben szabadul fel a lerakott szerves anyagokból, hanem hosszú évek, sőt évtizedek alatt a lerakó életciklusának megfelelő intenzitással. Ennek megfelelően komoly szabályozókönyezet kialakítása szükséges, hogy az előírt menetrendtartási kötelezettségnek eleget lehessen tenni.

Állati trágyából előállított biogáz

Az állati trágya a biogáztermelés szempontjából az egyik legkézenfekvőbb és szinte mindenütt elérhető input, mely azon túl, hogy energiatermeléshez használható, más környezetvédelmi szempontok alapján is hasznos lehet / lenne. Magyarország agrárország, ám az elmúlt 20 évben „sikerült” az állatállományt közel a felére csökkenteni. A 2. táblázat szemlélteti a hazai állatállomány alakulását a 2004–2008 időszakban.

Magyarországi	2004	2005	2006	2007	2008
Marhatesttartomány	728 000	708 000	702 000	705 000	701 000
Baromfi	4 029 000	3 851 000	3 967 000	3 871 000	3 381 000
Disznó	1 367 000	1 401 000	1 298 000	1 232 000	1 138 000
Tyúk	11 814 000	11 963 000	10 385 000	10 888 000	11 185 000

2. táblázat: a hazai állatállomány alakulása (db) 2004 és 2008 között. 1990-es években a sertésállomány mérete a 8 millió db körüli volt. Forrás: [11]

Jelenleg a trágyát rövidebb, hosszabb tárolási idő után kijuttatják a szántóföldre, mely kétségtelen, hogy jobb megoldás, mint a műtrágya használata. Azonban a trágya magas nitráttartalma miatt

folyamatosan szennyezzük az ivóvízbázist és a jelentős mennyiségű műtrágyázás révén savasítjuk a talajt. Biogázüzemben történő felhasználás során, főleg ha egy kisebb mennyiségű zöld anyag is kerül a trágya mellé mint „hajtóanyag” a végtermék zagylé nitráttartalma jelentős mértékben csökken (kb. 20–30%), így azt a szántóföldre kijuttatva csökkenthető a környezetterhelés és szennyezés, valamint a talajok pH-értékét a lúgosító hatás miatt a semleges irányba mozdítja. Továbbá a biogázüzem végtermékében levő hatóanyagok oldott állapotban vannak jelen, melyek a növények számára könnyebben felvehető állapotban vannak, mint a műtrágya. Ezáltal lehetőséget biztosít arra, hogy csökkenteni tudjuk a műtrágya-felhasználást is.

Mezőgazdasági üzemből származó fő- és melléktermék termeléséből, felhasználásából származó biogáz

A biogázüzemek egyik legfontosabb input anyagai a mezőgazdaságból származó hajtóanyagok, és azért a legfontosabb, mert minden évben újratermelhetőek ellentétben egy trágyával, mely pl. egy vírusos járvány vagy piaci problémák miatt nem tud újratermelődni.

A biogáz folyamat részére az alábbi növények megfelelőek:

- Kukoricaszilázs vagy CCM (Corn Cob Mix, azaz a cső és a zöld együtt törve és aratva) kukorica
- Cukor-cirok
- Cukorrépa
- Napraforgószilázs
- Repce
- Lucerna
- Burgonya
- Energiafű
- Egyéb zöld növények (fű, kukoricaszár, szilfium stb.)

A közel 4,5 M hektár szántóterületből kb. 2 M hektár elegendő Magyarország élelmiszer- és állatitakarmány-ellátásához. A fennmaradó területen lehet exporttermelést és energiacélú növénytermesztést végezni. A gazdák a növény elvetésének pillanatában ma nem tudják, hova és milyen áron fogják eladni a termelt növényeket, és a vetésterületüket is a megszokások szerint és az éghajlati és klimatikus viszonyok szerint próbálják alakítani. Majd a termény eladásakor, vagy jól spekuláltak és nyereséget termelt az aktuális növény, vagy veszítettek a termelésen, mely veszteséget az európai uniós támogatásokkal próbálnak pótolni. A 3. táblázat szemlélteti a fontosabb növények vetésterületének alakulását a 2004–2008 időszakban.

Megnevezés	2004	2005	2006	2007	2008
Iszta	1.174	1.111	1.075	1.111	1.188
répa	45	43	39	40	44
árpa	331	317	293	321	330
gab	70	62	47	41	30
kukorica	1.190	1.198	1.215	1.079	1.182
cukorrépa	62	62	47	41	30
napraforgó	480	511	544	513	520
repce	505	322	342	225	243
burgonya	155	153	146	134	143
burgonya	31	25	23	25	25

3. táblázat: a legfontosabb növények vetésterületének alakulása ezer hektárban. Forrás:[11]

A fent leírtak figyelembevételével érdemes meggondolni, hogy a jelenlegi termelésorientált mezőgazdasági gazdálkodást egy piacorientált energiacélú növénytermesztés irányában célszerű-e vezérelni, természetesen az egyensúlyok fokozott figyelembevételével.

Ipari termelés melléktermékeiből előállított biogáz

Jelentős biogáztermeléshez szükséges input anyag található azon üzemek végtermékeként, melyeket jelenleg teljesen más hasznosítási céllal termelnek és értékesítenek. Az egyik ilyen input anyag lehet az állati hulladékok kezelése, sterilizálása és a kezelés utáni

biogáz fermentorban történő energiakinyerés. Jelenleg az ATEV Zrt. foglalkozik ezen anyagok előállításával. Másik ilyen input lehet, mind a keményítő-előállítás, mind pedig az etanol-előállítás mellékterméke, a DDGS (szárított gabonatorköly), mely kiváló input anyag a biogáz folyamathoz. A sörgyárakban jelentős mennyiségű sörtörköly és egyéb sörgyártási melléktermék keletkezik, mely szintén kiválóan alkalmas a biogáztermelésre.

A BIOGÁZ FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Gázmotorban történő felhasználás

A biogázt blokkerőmű gázmotorjában elégetve villamos áram termelhető, ahol a motornál és a kipufogórendszerénél mellék hőképződés figyelhető meg. Nyugat-Európában a magas átvételi „zöld áramár” miatt jellemzően a gázmotorban történő támogatott, így ez a megoldás terjedt el. A biogáz általában 52–64% metánt, 43–30% CO₂-t és 5% körüli SO₂-t tartalmaz. A biogáz égetésére alkalmas motorokban elégetik a biogázt, melyből a meghajtott generátoron keresztül villamos áram termelődik. Az égetés során keletkezik hő, melyet ott helyben vagy kis távolságra szállítva (max. 1 km) a hő felhasználható. A keletkezett mellék hő egy részét a biogázfolyamat fűtésére használják (ez kb. a megtermelt hő 30%-a itthon) a többi hőmennyiség hasznosítható harmadik fél részére. A betáplált biogáz energiatartalmat 100 egységnek tekintjük, a villamos hatásfok 39%, míg a hő hatásfoka 43%. A megmaradt 16% veszteség. Itthon jelenleg egy napon belül 3 különböző napszaki árat különböztetünk meg és ezen felül kötelező tartani a menetrendet is. Ennek oka az elektromos rendszer nehéz szabályozhatósága, rugalmatlansága.

Biometán-előállítás

Az elmúlt 2-3 évben jelent meg egy technológia a világban, mely segítségével az előállított biogáz tisztítás, szeparálás és komprimálás után a földgázzal azonos paraméterű biometán állítható elő. Ez a biometán háromféle módon használható fel. Egyrészt betáplálható a meglévő földgázhálózatba, cseppfolyósítható és tárolható, valamint harmadik fajtája, hogy a helyszínen gáztározóban tárolható és például tömegközlekedés részére hasznosítható. A földgázhálózatba történő betáplálás lehetősége Magyarországon is adott, mind műszaki, mind pedig a jogszabályi környezet tekintetében. A metántartalom vesztesége a folyamat során maximum 1%. A folyamat során, ha 100 egység biogázt (54% metántartalom) táplálunk a biometán-előállító egységbe, akkor a tisztítás és komprimálás után kb. 53 egység biometánt (94–96% metán) és kb. 30 egység CO₂-t kapunk. A biometán felhasználását az előzőekben már ismertettük, a CO₂ felhasználható lenne üvegházaknál érésgyorsítás érdekében. A biometán-előállítás során gondoskodni kell a biogáz technológiai hőjének a biztosításáról, mely lehet egy kisebb gázmotor használata, vagy pellet- vagy szalmakazán, vagy egyéb más hőforrás, pl. geotermia. Ami rendkívül fontos, hogy az állandó hőmérsékletet biztosítani kell, mert ha leáll a fermentációs folyamat, akkor akár több hónapos leállással is számolni kell.

Biohidrogén-előállítás

A fermentációs fázisban keletkező gázt két alkotóelemre, hidrogénre és szén-dioxidra bontjuk. Jelenleg ez az eljárás csak laboratóriumi körülmények között működik, egynéhány év múlva lehetőség lesz ipari célú felhasználás bemutatására is.

NEMZETSTRATÉGIAI KÉRDÉSEK

Az előzőekben ismertetett gondolatok a megújuló energiaforrások közül a biogáz hasznosítási lehetőségeiből próbáltak megmutatni néhányat. Azonban hangsúlyozni kell, hogy a biogáztermelés növekedésével egy új ipari szegmens jön majd létre,

melynek fejlődését és kialakulását az aktuális kormányzat által szabott stratégiai célok és alkotott jogszabályi környezet fogja meghatározni. A fejlődés mindenképpen érinteni fogja a mezőgazdaságot, az élelmiszer-feldolgozó ipart, az energiaszektor és a finanszírozást biztosító bankokat is. Továbbá jelentős kutatási területet biztosít a mezőgazdasági kutatóintézetek részére, továbbá az új lehetőségek kutatásának is teret engedhet (pl. biohidrogén-előállítás). Megfontolásra és további kutatásra és vizsgálatokra készíten mindenkit a GMO-s (genetikailag módosított organizmus) növények termesztésének kérdése is. Összegezve: egy új nemzetstratégiai fontosságú új iparág kialakulását követhetjük, formálhatjuk, dolgozhatunk benne és mindenképpen részesei lehetünk az elkövetkező 5–10 évben.

JÁRMŰIPARI ALKALMAZÁS

Mind a bioetanol, mind pedig a biogáz (földgázhálózatba bevezetve) gyakorlatilag közvetlenül alkalmas járművekben történő felhasználásra. A jelenlegi európai uniós szabályozás szerint a 2010. december 31-ig forgalomba hozott benzin és dízel üzemanyagoknak 5,75%-ban kell biokomponenst tartalmazniuk, amely a termelt hazai bioetanolnak gyakorlatilag azonnali felvevő piacot jelenthet. A hazai biogáz földgázüzemű járművekben történő felhasználása pedig a bizottság „Út az energiaellátás biztonságára irányuló stratégia felé” című Zöld Könyve által megfogalmazott azon célkitűzés teljesítésében segíthet, mely szerint a 2020-ig a közúti szállítási ágazatban a hagyományos üzemanyagok 20%-os kiváltásának kell megtörténnie alternatív üzemanyagok által.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kimerülő olajkészletek, az energiafüggőség és a klímaváltozás azonnali megoldások keresését teszi szükségessé minden érintett szektorban, így a közlekedési szektorban is. Az alternatív tüzelőanyagok – és így a bioetanol és a biogáz – alkalmazása globális kihívások mérséklésének egy eszköze a közlekedési szektorban. Elterjedésüket nagymértékben befolyásolja áruk versenyképessége a fosszilis energiahordozókkal (benzin, dízel). A tüzelőanyagok árképzése összetett folyamat eredménye. Cikkünkben a termelői árba való hatásokat ismertettük, valamint összefoglaltuk az alternatív tüzelőanyag egyéb felhasználási lehetőségeit. Kétféle bioetanol-előállítási eljárás (SSF és SHF) esetén mutattuk be a költségek alakulását. Az SHF folyamatot nagyobb tőkeberuházási költség jellemzi. Az összes direkt költség tekintetében az SSF, az EH, illetve a gőzgenerálási részfolyamatok költségei a legjelentősebbek. Az etanol-előállítás összes költsége SSF esetén kisebb. Az enzim árának csökkenése csökkenti az etanol-előállítás költségét. Költségcsökkentő hatással bír, továbbá a szubsztrátkoncentráció növelése, az anyagáram viszszevezetése, valamint a tartózkodási idő csökkentése is. Jelentős költségcsökkentési alternatívát jelent az olcsó ipari hulladékok nyersanyagként történő alkalmazása. A mikroorganizmusokkal

szemben támasztott jövőbeni követelmény a többféle szubsztrát lebontásának képessége.

A biogáz tisztítást, szeparálást és komprimálást követően bevezethető a földgázhálózatba, és ily módon alkalmazható földgázüzemű járművekben. A biogáz-előállítás előnye ezzel egyidejűleg az is, hogy a biogáztermelés és a hozzá kapcsolódó villamosenergia- és hőtermelés egy kiegyensúlyozott és jól szabályozható rendszert biztosít a villamos energia rendszerirányítás részére. A biogáz-előállítás további előnyeként említhető, hogy a biogáz input folyamathoz kapcsolódó mezőgazdasági termelés és állattenyésztés részére egy kitörési és kockázatsökkentési pontot teremt. Mind a bioetanol-előállítás, mind a biogáz-előállítás a vidéki munkahelyek megőrzését és új munkahelyek teremtésének lehetőségét is magában hordozza, amely az alapvetően agráriumorientált országoknál – és így Magyarországon – nagy jelentőséggel bír.

Irodalom

- [1] K. Dörmel, „Future Mobility from a Fuels Perspective”, 29. Internationales Wiener Motoren-symposium 2008, ISBN:978-3-18-363912-0
- [2] Az európai parlament és a tanács 2003/30/EK irányelve a közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előmozdításáról <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0030:EN:NOT> 2010-09-14
- [3] <http://www.biofuelstp.eu/> 2010-09-14
- [4] K. Réczey, E. Varga, T. Juhász „On-line tankönyv 3. rész: Biomassza, lignocellulózok, etanol előállítása” <http://www.nonfood.bme.hu/> 2010-09-14
- [5] K. Olofsson, M. Bertilsson, G. Lidén, „A short review on SSF-an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks” Biotechnology for Biofuels, <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/1/1/7>
- [6] A. Wingren, M. Galbe, G. Zacchi, „Techno-economic evaluation of producing ethanol from softwood: comparison of SSF and SHF and identification of bottlenecks” Biotechnol. Prog., 2003, 19, 1109-1117
- [7] Zs. Kádár, Zs. Szengyel, K. Réczey, „Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of industrial wastes for the production of ethanol”, Industrial Crops and Products 20, 2004, 103-110
- [8] „Magyarország 2020-as megújuló energiahasznosítási kötelezettségvállalásának teljesítési ütemterv javaslata, Műszaki-gazdasági megújuló energiaforrás potenciál vizsgálata a célkitűzés teljesítésére vonatkozó NCST bontása szerinti foratókönyvek”. http://etanol.info.hu/oldal/Szakmai_anyagok, 2010-09-14
- [9] www.agro.basf.hu/hu/news/ShowNews.do?newsId=730338 2010-09-15
- [10] Sz. Szemerey „Biogáz-felhasználási lehetőségek Magyarországon” EHB Kft., 2009. december 15.
- [11] Központi Statisztikai Hivatal

A közúti forgalmi változók és a baleseteket jellemző változók közötti összefüggések vizsgálata

Pintér Krisztián
ügyvivő szakértő,
BME GJT

Trencsényi Balázs
egyetemi tanársegéd,
BME GJT

Vida Gábor
ügyvivő szakértő,
BME GJT

A közlekedéssel kapcsolatos társadalmi költségek jelentős része a közlekedés során bekövetkező balesetekben létrejött személyi sérülésekhez, illetve különféle vagyontárgyakban – járművekben, illetve a környezetükben található infrastruktúra elemeiben – bekövetkezett rongálódásokhoz köthető. Ennek megfelelően a közlekedéssel kapcsolatos költségek, veszteségek csökkentése során kiemelten fontos a bekövetkező balesetek számának, illetve a balesetek súlyosságának csökkentése. Ennek érdekében első lépésben a baleseti statisztikák feldolgozásával feltérképezzük azokat a főbb vezetői jellemzőket, melyek a balesetek kialakulásával összefüggésbe hozhatóak, majd olyan parametrizálható vezetői és járműmodell létrehozása a cél, mely alkalmas a balesetek bekövetkezésének valószínűsége, illetve azok súlyosságának meghatározására különféle forgalmi szituációkban, figyelemmel a közlekedési környezet bizonyos jellemzőire.

The significant part of traffic-related social costs derives from personal injuries and damages of vehicles and the traffic infrastructure - come into existence in an accident. According to this, in the course of the reduction of expenses of traffic accidents, one of the most important task, reducing the number and the seriousness of the traffic accidents. In the interest of these, in the first step we have to process of accident statistics, to determine which parameters of drivers, vehicles and its environmental correlated to the occurring of accidents. Hereafter, we have to develop a driver and a vehicle model with variable parameters, which suitable to determine the possibility and the seriousness of the accident, in various traffic situations, subject to certain characteristics of the traffic environment.

1. BEVEZETÉS

A közúti forgalomirányítás hatékonyságának javítása kapcsán fontos feladat a közlekedési balesetekkel kapcsolatos költségek, veszteségek csökkentése. A balesetek járművek, illetve azok vezetőinek interakciójából kialakuló olyan események, melyben maradó károsodások lépnek fel. A balesetek okait tehát mindig a forgalomban részt vevő járművek műszaki állapotában, a jármű és a környezet kölcsönhatásaiban, valamint a vezetők aktuális képességeiben kell keresni. A vezető és a jármű modell kidolgozása, kialakítása során alapvető feladat azoknak a bemeneti paramétereknek a meghatározása, melyek egy baleset bekövetkezésének valószínűségét, illetve egy bekövetkezett baleset esetén annak súlyosságát – így a bekövetkezett baleset társadalmi és gazdasági költségeit – meghatározzák. A fenti paraméterek körének meghatározása, vizsgálata alapvetően két módon történhet: szimulációval és statisztikai adatok feldolgozásával.

2. A SZIMULÁCIÓS MODELL PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA – JÁRMŰDINAMIKAI SZIMULÁCIÓVAL

Kifejezetten balesetek elemzésére, járműdinamikai szimulációk készítésére alkalmas szimulációs programokkal meghatározhatók azok a környezeti, illetve járműparaméterek, jellemzők, illetve a vezetőmodell egyes jellemzői, melyek egy adott közlekedési szituációban (például két jármű adott tapadási viszonyok mellett adott távolságban halad egymástól) befolyásolják, hogy bekövetkezik-e a járművek ütközése, illetve hogy az ütközés során milyen mértékű sérülések keletkeznek. Ezek a paraméterek az alábbiak lehetnek:

Környezeti paraméterek:

- úttest felületének minősége (elsősorban anyaga, állapota – tapadási tényező);
- időjárás (eső, hó, jég, hőmérséklet – tapadási tényező);

Járműparaméterek:

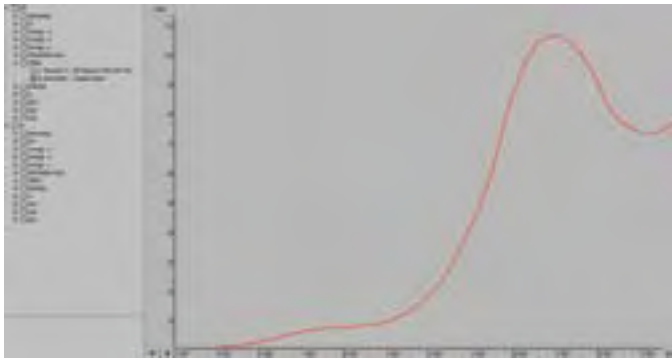
- a gumibroncs anyaga, nyomása (tapadási tényező);
- a fékrendszer kialakítása (eltérő késedelmi idők a fékrendszer kialakítása függvényében (hidraulikus, légfék); blokkolásgátló rendszer;
- súlypont helyzete (elsősorban haszongépjárművek baleseteiben lehet meghatározó – a rakomány súlya, mérete, elhelyezése nagymértékben befolyásolja a teljes szerelvény súlypontmagasságát, s ennek függvényében például a kanyarodási határsebességeket stb.);

Vezetőmodell paraméterei – emberi reakcióidő;



1. ábra: jármű borulékonyosságának vizsgálata járműdinamikai szimulációs programmal

A járműdinamikai szimulációs programok alkalmazásával elvégezhető fenti paraméterek érzékenységvizsgálata, illetve meghatározható, hogy a kialakítandó komplex modellben mely jellemzők figyelembevétele indokolt (1–2. ábra).



2. ábra: dőlési szög változása jármű sodródása, borulása során (szimulációval meghatározott értékek)

A jelenleg elterjedt, elsősorban egyedi járműmozgások, illetve ütközések vizsgálatára kialakított, felkészített szimulációs programok alkalmasak járművek ütközéseinek részletes vizsgálatára is. Ilyen módon alkalmasak a bekövetkezett ütközések főbb paraméterei – elsősorban a járművek ütközési sebességei, illetve az ütköző járművek tömegei – és az ütközés során keletkezett járműsérülések közti összefüggések vizsgálatára. Járművek ütközések során bekövetkező sérülései jellemzésére elterjedten alkalmazzák az úgynevezett EES (Energia Egyenértékű Sebesség) értéket, melyet a legtöbb szimulációs program meghatároz, így a létrehozandó járműmodell egyik kimeneti paramétere lehet a fenti jellemző, melyhez statisztikai adatok feldolgozásával közvetlenül hozzárendelhető akár a balesetben keletkezett sérülés javítási költsége is, ami a kialakítandó végső modell egyik fő kimeneti jellemzőjének (balesetek társadalmi, gazdasági költségei) meghatározó része.

A fenti cél érdekében létrehozandó ütközésmódel, ütközésszimuláció bemenő paraméterei egyrészt a komplex járműdinamikai szimuláció ütközésben részes járművekre vonatkozó jellemzői, illetve kimeneti értékei (járművek tömege, terhelése, merevsége, érintkező felületeik tapadási viszonyai, ütközési sebessége), valamint az útfelület tapadási jellemzői (mint a környezeti modell kimeneti értékei, hiszen adott földrajzi terület tapadási viszonyai az időjárás körülmények függvényében – hőmérséklet, csapadék, illetve részben ezekhez kapcsolódva szennyezettség – folyamatosan változnak). Fentiekén túl bizonyos peremfeltételek mellett a vezetőmodell kimeneti jellemzői is lehetnek az ütközésszimuláció bemeneti paraméterei – a járműmodellen keresztül –, hiszen például bizonyos ütközési sebességek alatt a vezetők esetleg a



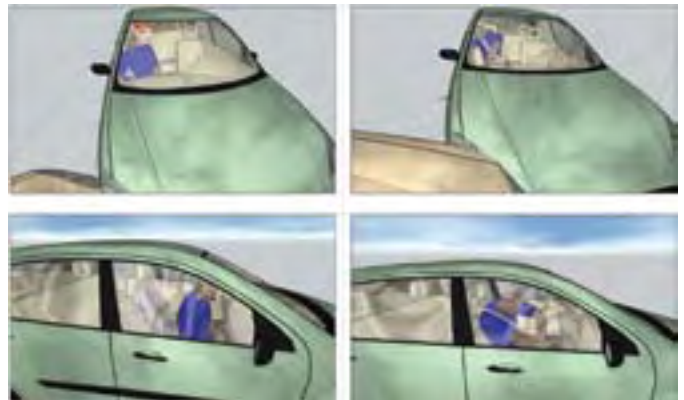
3. ábra: EES-érték – javítási költség vizsgálat statisztikai adatok feldolgozásával

járművek érintkezése közben is próbálhatják különféle vezetői manőverekkel befolyásolni járművük mozgását.

Fenti paraméterek figyelembevételével, megfelelő ütközésmódel (pl. Kudlik-Slibar modell, Mesh-módel) az ütközésben a járművek sérüléseit jól jellemző EES-értékek, illetve deformáció mélységek meghatározhatóak, s nagyszámú konkrét járműsérülés adatainak feldolgozásával (konkrét esetekben a járműsérülései alapján indokolt javítási költségek kalkulációjával) létrehozhatók olyan szabálybázisok, melyek alkalmasak arra, hogy az ütközésmódel kimeneti paraméterei alapján meghatározzuk az adott ütközésben keletkezett járműkárok gazdasági, társadalmi költségeit.

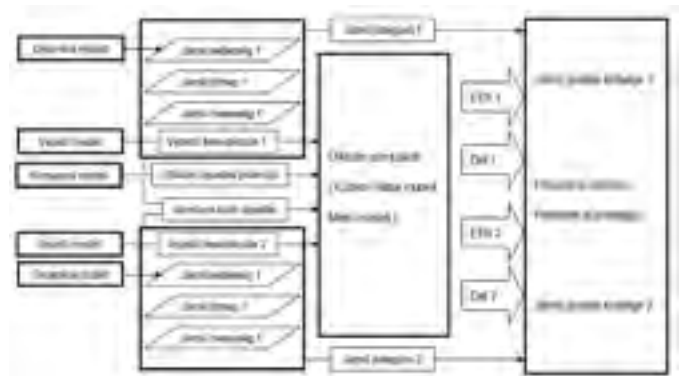
Hasonlóan, az ütközési sebességek, illetve a járművek sérüléseit jellemző EES értékek és deformáció mélységek, valamint az adott jármű méretkategóriája alapján – részben szintén nagyszámú valós eset adatainak feldolgozásával, kiértékelésével becsülhetők az adott jármű utasainak várható sérülései, illetve ezek társadalmi költsége: közvetlenül a kezelések költsége, esetleg a kezelés és gyógyulás időtartama alatt kieső jövedelmek stb.

A balesetben bekövetkező személyi sérülések vizsgálatára szintén lehetőséget nyújtanak egyes járműdinamikai programok, melyek már most alkalmassá tehetők arra, hogy akár a járműben helyet foglaló utasok mint többtömegű rendszerek mozgását szimulálják (4. ábra), s ez alapján meghatározzák az ütközés során egyes testrészekre ható erőket, gyorsulásokat.



4. ábra: a járműben helyet foglaló utasok mozgásának szimulációja ütközés során (biztonsági övel, illetve nélküle)

A fentieknek megfelelő, kiterjesztett ütközésmódel blokkdiagramja az 5. ábrán látható.



5. ábra: kiterjesztett ütközésmódel

A közúti járműforgalom kialakítandó modellje kapcsán létrehozandó kiterjesztett ütközésmódel a jármű dinamikai modelljéből, a vezetőmodellből, illetve a környezeti módelből kap bemenő paramétereket: a járműmodellből elsősorban az aktuális ütköz-

zsekori sebességet, a vezetőmodellől az ütközésfolyamat során esetleg alkalmazott korrekciós manővereket (fékezés, kormányzás), míg a környezeti modellől az aktuális tapadási jellemzőket (a talaj-kerék, illetve a jármű-jármű közti érintkező felületekre vonatkoztatva). Fenti bemenő paraméterekkel a járműdinamikai szimulációs programokban jelenleg alkalmazott ütközésmodellek (Kudlich-Slibar, Mesh-modell) meghatározhatóak az ütközésben részes járművek sérüléseinek mértékére jellemző EES-értékek, illetve deformációmélységek. Valós balesetek járműdinamikai szimulációjával meghatározhatóak a balesetben részes járművek ütközési sebességei, illetve a jármű sérülései alapján megállapítható a sérülésekre jellemző EES-érték és deformációmélység, s meghatározható a balesetben keletkezett sérülések javítási költsége. Nagyszámú esetet feldolgozva összefüggések, szabálybázisok – tulajdonképpen többdimenziós szabályok – hozhatóak létre, melyek bemeneti paraméterei lehetnek az ütközés módja (diszkrét bemeneti paraméter: frontális, oldal, ráfutásos stb. értékekkel), az ütközési sebesség, az EES-értékek, illetve a deformációmélységek mint folyamatos bemeneti értékek, kimenő paraméterei pedig a javítási költség.

Az így létrehozott szabálybázis, megfelelő következtető algoritmusokkal, a hagyományos ütközés szimulációs modellekkel együtt közvetlen kimeneti paraméterként szolgáltathatja az ütközésben keletkezett sérülések javítási költségét.

3. PARAMÉTER-KIVÁLASZTÁS STATISZTIKAI ELEMZÉSSEL

A vezetői, jármű-, illetve környezeti modell kialakítása során a figyelembe veendő paraméterek körének meghatározásakor bekövetkezett balesetek adatainak statisztikai feldolgozása is szükséges. A rendelkezésre álló statisztikai adatok felhasználásával vizsgálhatóak az alábbiak:

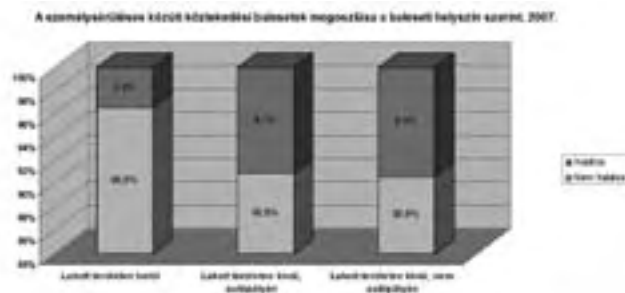
3.1. Balesetek bekövetkezésének valószínűsége az időpont, napszak függvényében

A Központi Statisztikai Hivatal, illetve az ORFK Közlekedésrendészeti Főosztálya által 2002–2008 közt bekövetkezett, személyi sérüléssel járó balesetek kapcsán összeállított adatbázis feldolgozása alapján megállapítható, hogy amennyiben a kialakítandó komplex modell hosszabb időintervallumok leírására is felkészítjük, figyelembe kell venni, hogy – többek között társadalmi okok miatt – az idő függvényében – egyébként teljesen azonos környezeti feltételek mellett is – eltérő valószínűséggel következnek be balesetek. Jellegzetesek ebből a szempontból azok az eredmények, amikor a vizsgált időszakban bekövetkezett balesetek eloszlását az év hónapjai vagy a hét napjai függvényében vizsgáljuk.

3.2 Balesetek bekövetkezésének valószínűsége, súlyossága a helyszín függvényében

Szintén statisztikai adatok feldolgozásával megállapítható, hogy a személyi sérüléssel járó közlekedési balesetek körülbelül 60–70%-a történik lakott területeken belül, 30–40%-a lakott területeken kívül, és csak körülbelül 2–3%-uk autópályákon. Fentiek alapján megállapítható – különösen a realizált szállítási teljesítménnyel összevetve –, hogy az autópályák relatív biztonságosnak tekinthetők. A modell kialakításakor, a várható sérülések súlyosságának meghatározása során érdemes figyelembe venni, hogy a bekövetkezett sérülések súlyossága szintén jellegzetesen függ a baleset helyszínétől: a 6. ábrán személyi sérüléssel járó balesetek kimenetelének megoszlása figyelhető meg, helyszínenként (lakott területen belül, autópályán és lakott területen kívül nem autópályán; a sötét sávok a halálos kimenetelt jelzik).

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy miközben a személysérüléssel járó balesetek körülbelül harmada történik lakott területen kívül, az itt bekövetkező balesetek háromszor nagyobb valószínűséggel halálos kimenetelűek. Fentiek alapján amennyiben a ki-



6. ábra: közúti balesetek kimenetelének megoszlása a helyszín függvényében

dolgozandó modellben a környezeti paraméterek közt megjelenik az útvonal típusa (lakott területen belül – kívül – autópályán), mind a baleset bekövetkezésének valószínűsége, mind súlyossága vonatkozásában szabálybázisok hozhatóak létre.

3.3 Balesetek várható kimenetelének valószínűsége, a részes járművek jellege függvényében

Amennyiben járműkategóriánként megvizsgáljuk a kategória teljes állományára vonatkoztatott személyi sérüléssel járó balesetek számát, megállapítható, hogy sorrendben az autóbuszok, a közúti vontatók és a motorkerékpárok a relatív leggyakoribb okozók – nyilvánvalóan eltérő okokból:

- autóbuszok esetében az egy járműre jutó személyi sérülések magas száma az egy járművön utazó több személy következménye,
- közúti vontatók baleseteiben nagy valószínűséggel nem az ilyen jellegű járművek baleseteinek a személygépkocsikra jellemző átlagát meghaladó gyakorisága, hanem a nagy tömegű szerelvények által egy adott balesetben részt vevő további járművekben – és azok utasaiban – okozott sérülések eredményezik a relatív nagy számú személyi sérülést.
- motorkerékpárok esetében az egy járműre jutó balesetek magas számának okai közt megemlíthető a járművek idényszerű használata (ezzel összefüggésben a vezetők gyakorlottsága, illetve az utakon történő „hirtelen” megjelenésük miatt a közlekedés többi résztvevőjének elnyújtott alkalmazkodása hozzájuk), vezetőik alacsony átlagos életkora, és így kisebb közlekedési tapasztalata, általános magatartása.

A bekövetkezett balesetek kimenetelének súlyosságát a jármű kategóriájának függvényében vizsgálva megállapítható, hogy általában a nagy össztömegű járművek baleseteiben legnagyobb a halálos kimenetelű balesetek valószínűsége, míg szignifikánsan a legtöbb súlyos kimenetel motorkerékpár okozó esetében várható.

A személysérüléssel járó balesetek számát a baleset jellege alapján vizsgálva megállapítható, hogy leggyakoribb a keresztező irányú járművek ütközése, így a kialakítandó modellben a követendő út vonalvezetése, jellege – azaz az útszakasz, melyen a jármű a következő másodpercekben haladni fog – olyan bemenő paraméter lehet, melynek függvényében a baleset bekövetkezésének egyéb jellemzők alapján meghatározott valószínűsége korrigálható. Az egyes balesettípusok során bekövetkezett sérülések súlyosságának eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy a legsúlyosabb kimenetel szembehaladó járművek ütközése esetében várható. A modell kialakítása során ennek megfelelően a baleset várható súlyossága meghatározásakor környezeti bemenő paraméterként figyelembe vehető az úttest kialakítása, jellege: az ellentétes irányú sávok elválasztásának módja, a sávok szélessége stb.

A fenti statisztikai adatok feldolgozásával összefüggések, akár fuzzy szabálybázisok hozhatóak létre, melyek input dimenziói lehetnek a vizsgált paraméterek, kimeneti értéke pedig baleset-bekövetkezési valószínűség vagy a baleset súlyosságát jellemző mérőszám.

4. ÖSSZEGZÉS

A közlekedéssel, különösen a közúti közlekedéssel kapcsolatos elvárások napjainkban fokozott kihívások elé állítják a közlekedési, közlekedésirányítási rendszereket, járműgyártókat és fejlesztőket. Az életszínvonal emelkedésével világszerte rohamosan nő azok száma, akik közlekedéssel kapcsolatos igényeiket egyéni közlekedési eszközökkel – gépkocsival, motorkerékpárral – kívánják kielégíteni. Ez a forgalom sűrűségének robbanásszerű növekedésével jár, miközben a legtöbb sűrűn lakott, beépített területen már nincs lehetőség a felszíni közlekedés számára további infrastruktúra kialakítására (utak építésére). A növekvő járműállomány „hagyományos” technológiák, technikák, forgalomszervezési elvek melletti használata, üzemeltetése a korlátozottan rendelkezésre álló helyen, úthálózaton szükségszerűen a balesetek számának növekedéséhez vezet. Ennek megfelelően, amennyiben célunk a közúti járműforgalom átfogó modelljének létrehozása, hogy azt felhasználva a forgalom a társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével irányítható legyen, különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a modell alkalmas legyen a közúti forgalmi változók és a baleseteket jellemző paraméterek összefüggéseinek leírására. Ennek érdekében, a komplex modell vezető-, illetve járműmodelljének kialakítása során alapvetően fontos azon paraméterek meghatározása, melyek egy baleset bekövetkezésének valószínűségét, illetve annak súlyosságát befolyásolják, így annak társadalmi és gazdasági költségeit meghatározzák. A fenti paraméterek körének meghatározása alapvetően két módon, járműdinamikai szimulációval, illetve statisztikai adatok feldolgozásával történhet, a cikkben ismertetetteknek megfelelően.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunkához nyújtott támogatásért köszönetet nyilvánítunk a CNK78168 számú OTKA projektnek.

Irodalom

- [1] A közúti halálos és súlyos balesetek áldozatainak korösszetétele és a közlekedési morál összefüggései; Közlekedéstudományi Intézet Kht. (témafelelős: dr. Pálfalvi József)
- [2] Heikki Summala (1996): Accident risk and driver behaviour
- [3] An investigation of driver attitudes and behaviour in rural and urban areas in Norway; 2009.
- [4] Jerry L. Deffenbacher, David M. Deffenbacher, Rebekah S. Lynch, Tracy L. Richards; (2002): Anger, aggression, and risky behavior: a comparison of high and low anger drivers
- [5] Pablo Lardelli-Claret, md, phd, Juan de Dios Luna-del-Castillo, md, phd, Jose Juan Jimenez-Moleo, md, phd, Trinidad Rueda-domínguez, phd, Miguel Garcia-Martin, md, phd, Pedro Femia-Marzo, md, phd, and Aurora Bueno-Cavanillas, md, phd (1999): Association of Main Driver-dependent Risk Factors with the Risk of Causing a Vehicle Collision in Spain, 1990–1999
- [6] A Központi Statisztikai Hivatal évente kiadott Személy sérüléses közúti közlekedési balesetek statisztikái
- [7] Az ORFK Közlekedésrendészeti Főosztályának a megyei rendőr-főkapitányságok adatai alapján évente összeállított baleseti statisztikái
- [8] Ray Fuller (2004): Towards a general theory of driver behaviour

A hazai gépjárműállomány statisztikai vizsgálata különös tekintettel a károsanyag-kibocsátásra

Dr. Emőd István

egyetemi docens,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki Kar,
Gépjárművek Tanszék

Dr. Török Ádám

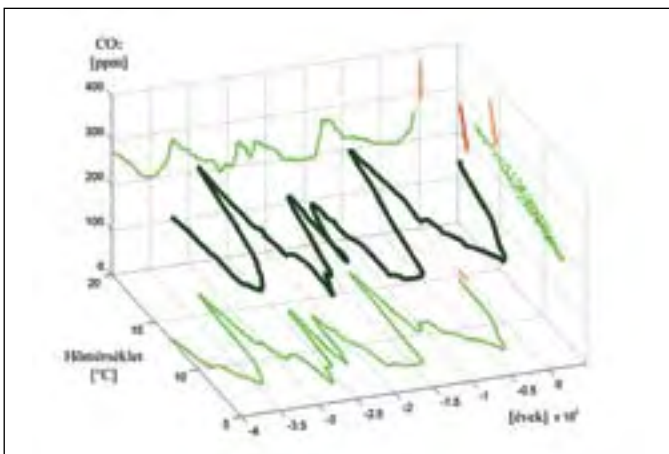
tudományos segédmunkatárs,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki Kar,
Közlekedésgazdasági Tanszék

Cikkünk célja a 2000 és 2008 közötti időszakban a hazai gépjárműállomány statisztikai vizsgálata különös tekintettel a károsanyag-kibocsátásra. 2001-ben a járműállomány jelentős bővülése volt tapasztalható, sajnálatos módon az alacsonyabb árfekvésű, 9–18 év közötti gépjárművek kerültek a forgalomba. 2004-ben az idősebb szikragyújtású motorral ellátott gépjárművek, valamint a fiatalabb kompressziógyújtású motorral ellátott gépjárművek csökkenése tapasztalható. 2005-ben a kompressziógyújtású motorok körében a fiatalodási tendencia jelentősen felerősödik. A 2000–2008. évi országos közúti gépjármű állomány statisztikai adatainak elemzése alapján összefoglalóan megállapítható a hazai közúti gépjárműpark enyhe fiatalodása és a nemzetközi tendenciáknak megfelelően a kompressziógyújtású motorok korszerűsödésének hatására, annak fokozatos térnyerése.

The aim of this paper is to investigate the environmental trends of national vehicles between 2000 and 2008. In 2001 the number of vehicles in Hungary had been increased but sadly the number of cheaper and 9-18 years old cars had been bought. In 2004 the decreasing number of the older vehicles with spark ignition engines and the younger vehicles with compression engines had been noticed. In 2005 the average age of vehicles with compression engines had been significantly decreased. The conclusions of the trends for Hungarian national vehicles between 2000 and 2008 are the decreasing age and the increasing number of vehicles with compression engine.

BEVEZETÉS

A környezet változása – beleértve az éghajlatot is – és az ezeket befolyásoló emberi akciók kapcsolatban állnak a társadalommal, a gazdasággal. A közlekedésnek a természeti, a gazdasági és társadalmi környezet által definiált térben kell megfelelnie, úgy-hogy gazdaságilag hatékonyan, környezetkímélő módon elégítse ki a társadalom mobilitási igényeit (Tánczos 1994). Az elmúlt században lejátszódó robbanásszerű – tudományos és technikai – fejlődés olyan eszközöket és technológiai megoldásokat adott az emberiség kezébe, amelyek hatványozottan növelték meg a környezetbe való beavatkozás hatását. A növekvő fogyasztói igények kielégítése óhatatlanul károsítja a környezetet (1. ábra), ugyanakkor a túlélés elemi feltételei közé tartozik a környezet-szennyezés csökkentése (Török 2008).

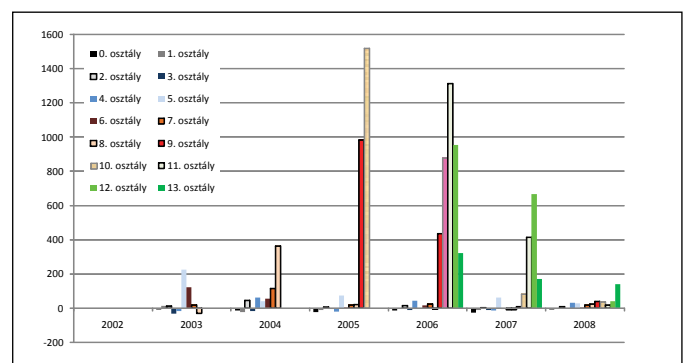


1. ábra: átlagos légköri CO₂-koncentráció és átlagos földi középhőmérséklet komplex idősorai (forrás: Tánczos, Török 2007)

A társadalom jogos igénye a közúti közlekedésből és a közúti közlekedési infrastruktúra fejlesztéséből és fenntartásából származó környezetterhelések, károsanyag-kibocsátások, balesetek minimalizálása. A közlekedési szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb „károkozó”. Jelen cikk célja a hazai közúti közlekedésben részt vevő gépjárműállomány statisztikai elemzése és várható trendjének meghatározása. Cikkünk célja a 2000 és 2008 közötti időszakban a hazai gépjárműállomány statisztikai vizsgálata, különös tekintettel a károsanyag-kibocsátásra, ezért a gépjárművek környezetvédelmi osztályba sorolását, életkorát és a hajtómotor típusát vizsgáltuk meg.

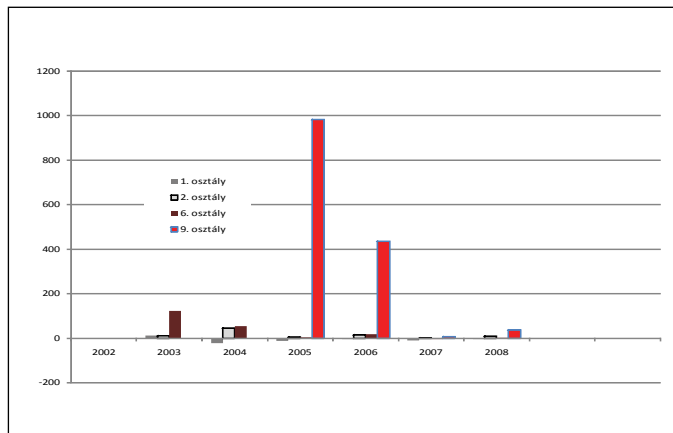
KÖRNYEZETVÉDELMI OSZTÁLYBA SOROLÁS ELEMZÉSE

Az alábbiakban a hazánkban, 2000 és 2008 között, környezetvédelmi felülvizsgálatokon részt vevő gépjárművek számát elemeztük, környezetvédelmi osztályba sorolásuk figyelembevételével.



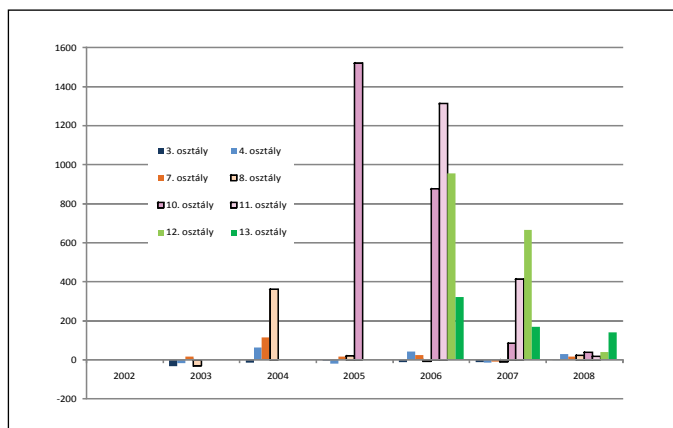
2. ábra: környezetvédelmi vizsgán részt vevő járművek számának változása a környezetvédelmi osztályok szerint, éves bontásban – előző év: 100% (forrás: saját szerkesztés)

A következőkben a rendelkezésre álló statisztikai adatok alapján megvizsgáltuk a járműállomány környezetvédelmi jellemzőinek fejlődését, külön bontva a szikragyújtású, illetve a kompressziógyújtású motorral épített gépjárműveket (3. ábra).

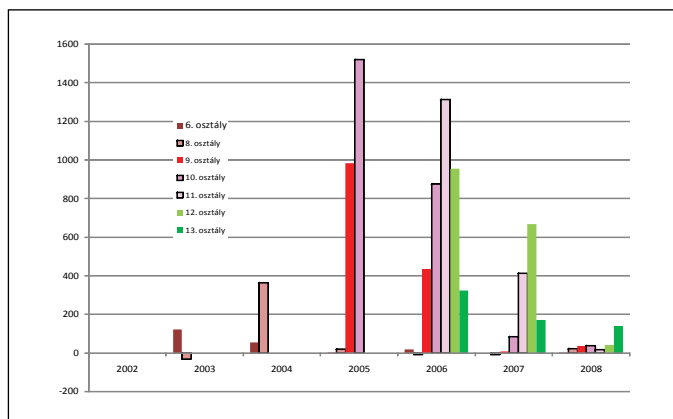


3. ábra: környezetvédelmi vizsgán részt vevő szikragyújtású motorral ellátott járművek darabszámának változása a környezetvédelmi osztályok szerint, éves bontásban – előző év: 100% (forrás: saját szerkesztés)

Az adatok elemzését folytatva megvizsgáltuk a kompressziógyújtású motorral épített gépjárművek környezetvédelmi osztályba sorolásának évenkénti eloszlását (4. ábra).



4. ábra: környezetvédelmi vizsgán részt vevő kompressziógyújtású motorral épített járművek darabszámának változása a környezetvédelmi osztályok szerint, éves bontásban – előző év: 100% (forrás: saját szerkesztés)

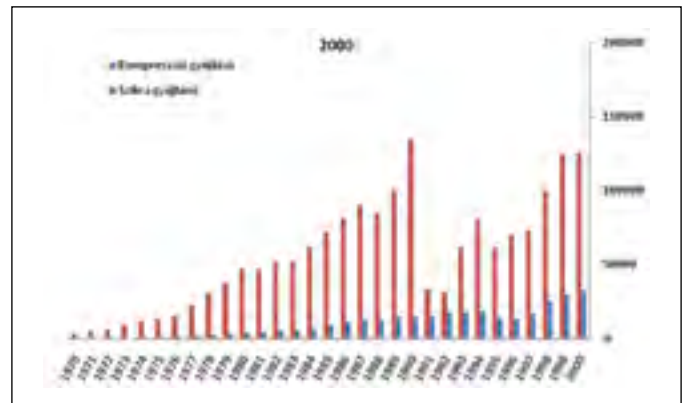


5. ábra: környezetvédelmi vizsgán részt vevő OBD-s járművek darabszámának változása a környezetvédelmi osztályok szerint, éves bontásban – előző év: 100% (forrás: saját szerkesztés)

A korszerű OBD-rendszerrel (OnBord Diagnostic system, vagyis Fedélzeti Diagnosztikai Rendszer, melynek feladata a kipufogógáz releváns komponensek felügyelete) ellátott gépjárművek környezetvédelmi osztályba sorolás alapú évenkénti fejlődés eloszlását az alábbiakban mutatjuk be.

A HAZAI GÉPJÁRMŰÁLLOMÁNY ÖSSZETÉTELÉNEK ELEMZÉSE

A következő fejezetben a hazai gépjárműállomány összetételének gyártási év és hajtómotor alapú elemzését tűztük ki célul a 2000. évi állapotot véve alapul (6. ábra).

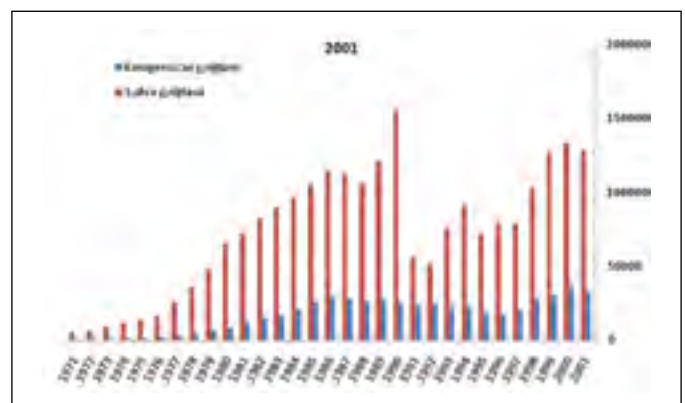


6. ábra: magyarországi járműállomány 2000-es adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

A 2000. évben hazai gépjárműállomány 85%-a szikragyújtású, 15%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott. A kompressziógyújtású járműállomány átlagéletkora 8,03 év, a szikragyújtású állomány átlagéletkora 10,55 év. A kompressziógyújtású járművek több mint fele 7 évnél idősebb, míg a szikragyújtásúak több mint fele 11 évnél idősebb. A kompressziógyújtású gépjárművek idősokelemzése alapján elmondható, hogy 2000-ben az idősor a normális eloszláshoz viszonyítva viszonylag csúcsos, a ferdesége az idősebb átlagéletkor irányába történő aszimmetrikus eloszlást, torzítást jelez. A szikragyújtású gépjárművek idősokelemzése alapján elmondható, hogy 2000-ben az idősor a normális eloszláshoz viszonyítva lapos, a ferdesége az idősebb átlagéletkor irányába történő aszimmetrikus eloszlást, torzítást jelez.

	Összesen	Kompressziógyújtású	Szikragyújtású
2000 [db]	2 174 193	329 252	1 844 941

1. táblázat: hazai járműállomány 2000-ben (forrás: saját szerkesztés)

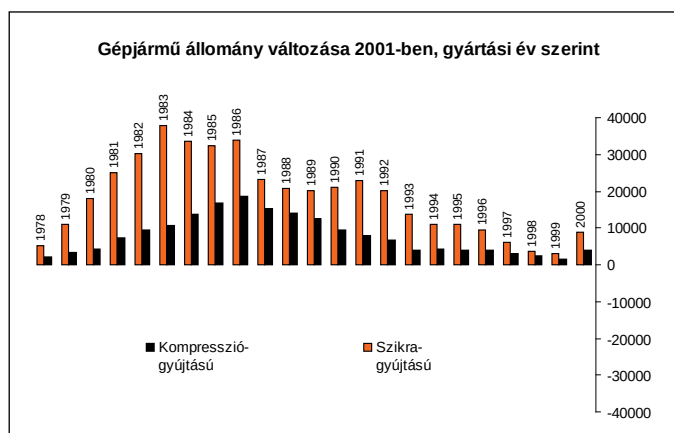


7. ábra: magyarországi járműállomány 2001-es adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

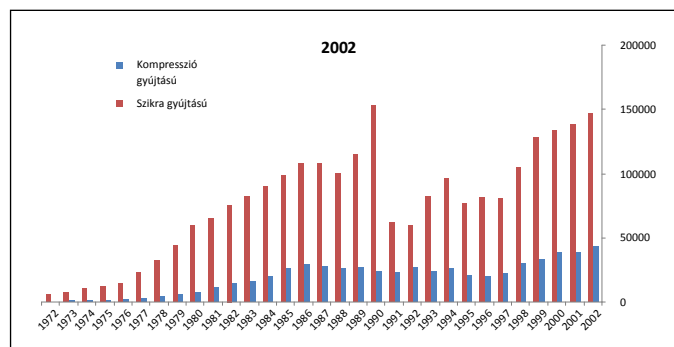
	Összesen	Kompresszió- gyűjtású	Szikra- gyűjtású
2001 [db]	2 948 964	544 657	2 404 307
Növekedés 2000-hez képest [%]	36%	65%	30%

2. táblázat: hazai járműállomány 2001-ben (forrás: saját szerkesztés)

A 2001. évben hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 82%-a szikragyűjtású, 18%-a kompressziógyűjtésű belső égésű motorral hajtott. 2000-hez képest a kompressziógyűjtésük aránya növekedett. A kompressziógyűjtésű járműállomány átlagéletkora 10,03 év. A szikragyűjtésű állomány átlagéletkora 11,37 év, ami szintén öregedést jelent. 2000-hez képest a gépjárműállomány életkora növekedett, amely a lenti ábra szerint a használt gépjárművek behozatalával magyarázható.



8. ábra: gépjárműállomány változása 2001-ben, 2000-hez képest [db] (forrás: saját szerkesztés)



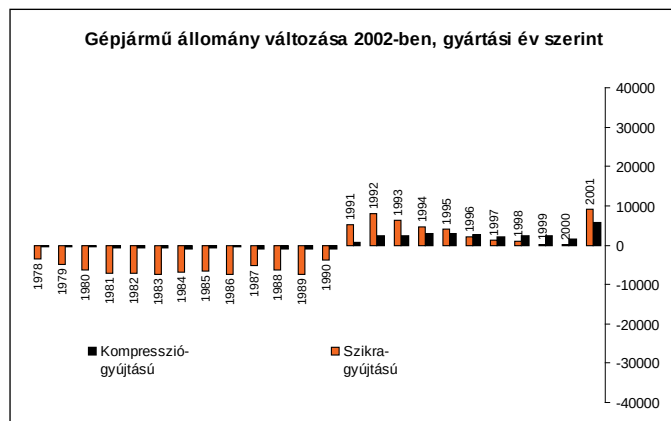
9. ábra: magyarországi járműállomány 2002-es adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

	Összesen	Kompresszió- gyűjtású	Szikra- gyűjtású
2002 [db]	3 114 295	605 177	2 509 118
Növekedés 2001-hez képest [%]	6%	11%	4%

3. táblázat: hazai járműállomány 2002-ben (forrás: saját szerkesztés)

A 2002. évben a hazai gépjárműállományról elmondható, a szikragyűjtésű motorral ellátott gépjárművek aránya tovább csökkent, 20/80%. A kompressziógyűjtésű járműállomány átlagéletkora 9,87 év, a szikragyűjtésű állomány átlagéletkora 11,3 év, az eltérés az előző évhez képest nem szignifikáns. A kompressziógyűjtésű járművek több mint fele 10 évnél idősebb, míg a szikragyűjtésűek több mint fele 12 évnél idősebb. A gépjárművek időselemzése

alapján elmondható, hogy 2002-ben az idősor a normális eloszláshoz viszonyítva lapos, a ferdesége az idősebb átlagéletkor irányába történő aszimmetrikus eloszlást, torzítást jelez.



10. ábra: gépjárműállomány változása 2001-hez képest 2002-ben [db] (forrás: saját szerkesztés)



11. ábra: magyarországi járműállomány 2003-as adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

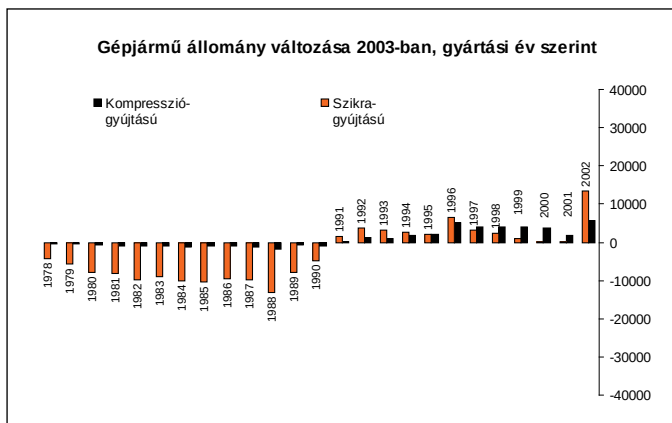
	Összesen	Kompresszió- gyűjtású	Szikra- gyűjtású
2003 [db]	3 275 705	670 775	2 604 930
Növekedés 2002- hez képest [%]	5%	11%	4%

4. táblázat: hazai járműállomány 2003-ban (forrás: saját szerkesztés)

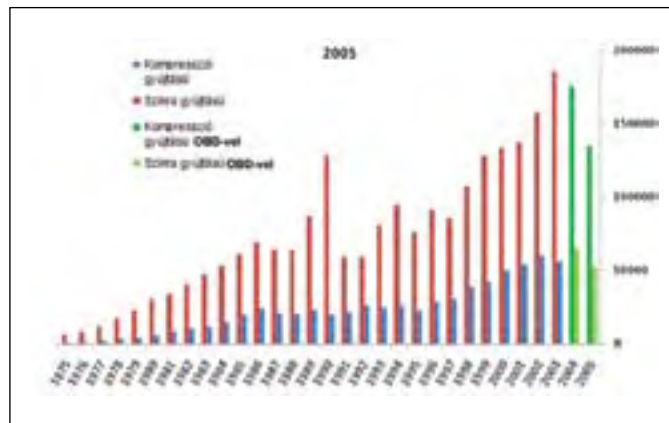
A 2003. évben elmondható, hogy a hazai kompressziógyűjtésű gépjárműállomány tovább növelte részarányát, 21/79%-ra. A kompressziógyűjtésű járműállomány átlagéletkora 9,7 év, a szikragyűjtésű állomány átlagéletkora 11,03, ami lenti ábra szerint is kismértékű fiatalodást jelent. Sajnos az idősorok elemzése alapján továbbra is elmondható, hogy 2003-ban az idősorok a normális eloszláshoz viszonyítva laposak, a ferdeségük az idősebb átlagéletkor irányába történő aszimmetrikus eloszlást, torzítást jelez.

	Összesen	Kompresszió- gyűjtású	Szikra- gyűjtású
EOBD [db]	199 897	33 842	166 055
2004 [db]	2 969 250	434 748	2 534 502
Növekedés 2003- hoz képest [%]	-9%	-35%	-3%

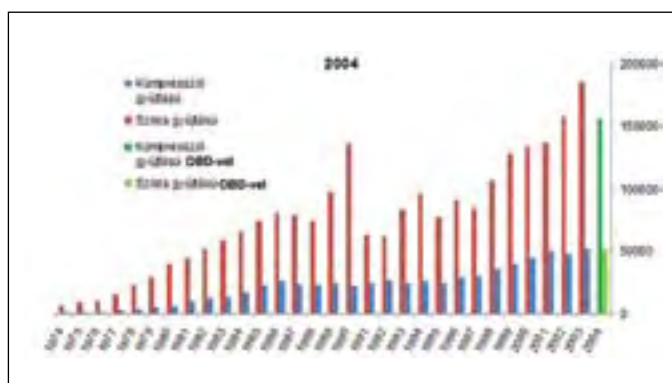
5. táblázat: hazai járműállomány 2004-ben (forrás: saját szerkesztés)



12. ábra: gépjárműállomány változása 2002-höz képest 2003-ban [db] (forrás: saját szerkesztés)

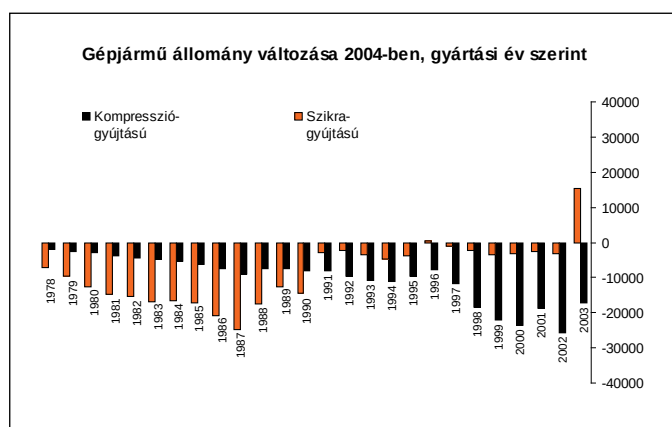


15. ábra: magyarországi járműállomány 2005-ös adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)



13. ábra: magyarországi járműállomány 2004-es adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

A 2004. évben hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 86%-a szikragyújtású, 14%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott, ami a benzinüzemű gépjárművek térnyerésével magyarázható. A kompressziógyújtású járműállomány átlagéletkora 10,6 év, a szikragyújtású állomány átlagéletkora 10,51. A benzinüzemű járműállomány öregedett, míg a kompressziógyújtású motorral épített gépjárművek átlagéletkora kis mértékben csökkent, ami a lenti ábrával teljesen összhangban van.



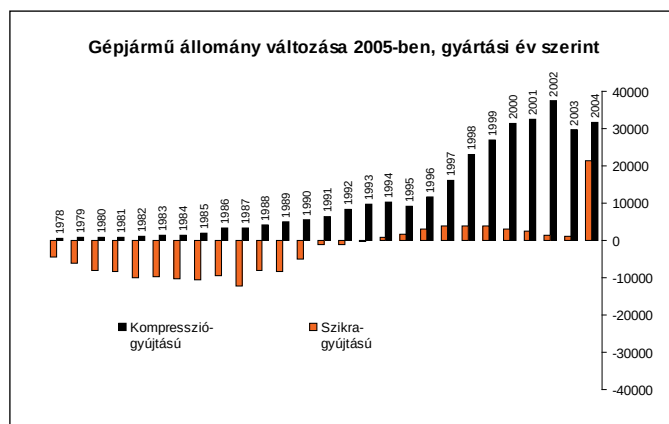
14. ábra: gépjárműállomány változása 2003-hoz képest 2004-ben [db] (forrás: saját szerkesztés)

A 2005. évben a hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 76%-a szikragyújtású, 24%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott, ami a kompressziógyújtású motorok térnyerését jelenti. A kompressziógyújtású járműállomány

	Összesen	Kompresszió-gyújtású	Szikra-gyújtású
EOBD [db]	450 214	118 593	331 621
EOBD-növekedés 2004-höz képest [%]	125%	250%	100%
2005 [db]	3 405 289	804 353	2 600 936
Növekedés 2004-höz képest [%]	15%	85%	3%

6. táblázat: hazai járműállomány 2005-ben (forrás: saját szerkesztés)

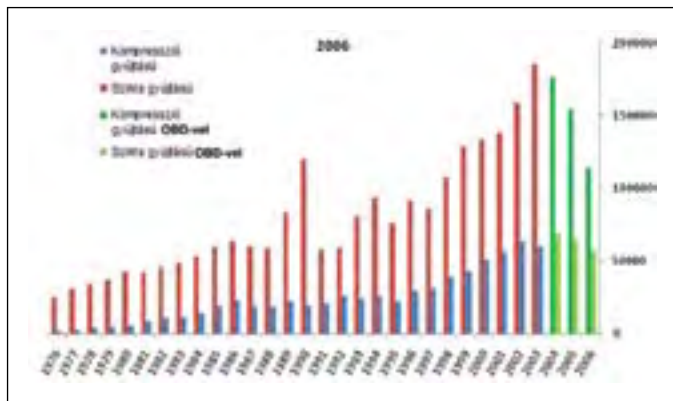
átlagéletkora 8,9 év – jelentős javulás az ábra alapján is – a szikragyújtású állomány átlagéletkora 10,2 év. A kompressziógyújtású járművek több mint fele 7 évnél idősebb, míg a szikragyújtásúak több mint fele 10 évnél idősebb.



16. ábra: gépjárműállomány változása 2004-höz képest 2005-ben [db] (forrás: saját szerkesztés)

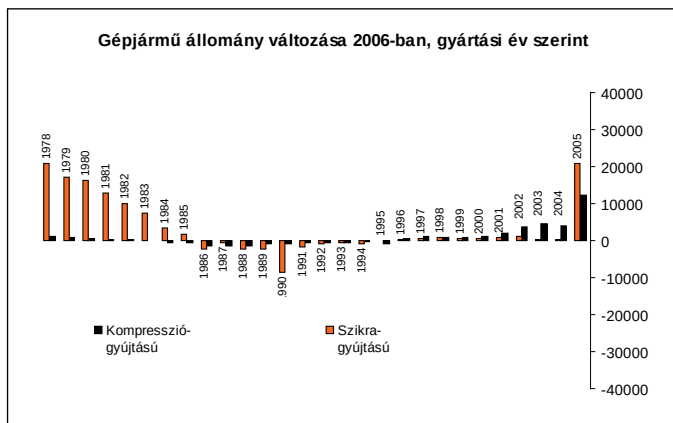
	Összesen	Kompresszió-gyújtású	Szikra-gyújtású
EOBD [db]	666 009	191 889	474 120
EOBD-növekedés 2005-höz képest [%]	48%	62%	43%
2006 [db]	3 874 905	889 718	2 985 187
Növekedés 2005-höz képest [%]	14%	11%	15%

7. táblázat: hazai járműállomány 2006-ban (forrás: saját szerkesztés)

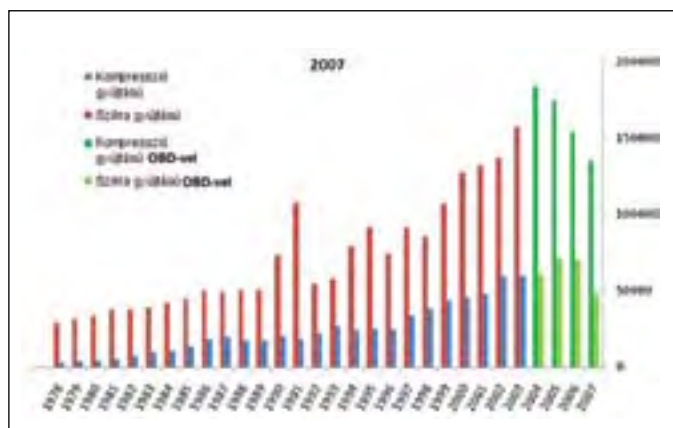


17. ábra: a magyarországi járműállomány 2006-os adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

A 2006. évben hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 78%-a szikragyújtású, 22%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott, a szikra-, illetve kompressziógyújtású motorok részaránya 2005-höz viszonyítva nem szignifikánsan változott. A kompressziógyújtású járműállomány átlagéletkora 9,17 év, a szikragyújtású állomány átlagéletkora 12,19 – jelentős romlás, öregedés, melyet az ábra is alátámaszt. A kompressziógyújtású járművek több mint fele 8 évnél idősebb, míg a szikragyújtásúak több mint fele 11 évnél idősebb. A szikragyújtású gépjárművek idősorelemzése alapján elmondható, hogy 2006-ban az idősor a normális eloszláshoz viszonyítva lapos, a ferdesége az idősebb átlagéletkor irányába történő aszimmetrikus eloszlást, torzítást jelez.



18. ábra: a gépjárműállomány változása 2005-höz képest 2006-ban [db] (forrás: saját szerkesztés)

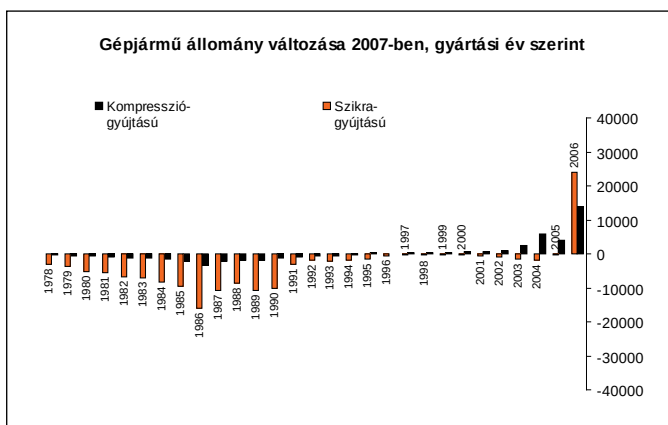


19. ábra: a magyarországi járműállomány 2007-es adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

	Összesen	Kompresszió- gyújtású	Szikra- gyújtású
EOBD [db]	870 668	271 184	599 484
EOBD-növekedés 2006-hoz képest [%]	31%	41%	26%
2007 [db]	3 932 842	952 243	2 980 598
Növekedés 2006-hoz képest [%]	1%	7%	0%

8. táblázat: hazai járműállomány 2007-ben (forrás: saját szerkesztés)

A 2007. évben hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 75%-a szikragyújtású, 25%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott. A kompressziógyújtású járműállomány átlagéletkora 9,08 év, a szikragyújtású állomány átlagéletkora 12,23, ami a 2006. évhez képest nem szignifikáns változás. A kompressziógyújtású járművek több mint fele 7 évnél idősebb, míg a szikragyújtásúak több mint fele 10 évnél idősebb.



20. ábra: a gépjárműállomány változása 2006-hoz képest 2007-ben [db] (forrás: saját szerkesztés)

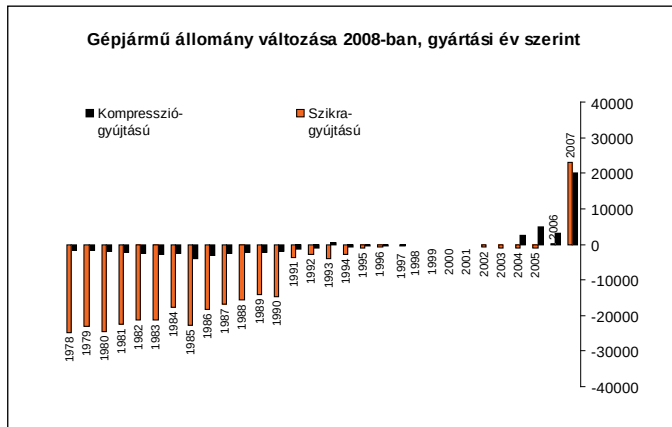


21. ábra: a magyarországi járműállomány 2008-as adatai [db] (forrás: saját szerkesztés)

A 2008. évben hazai gépjárműállományról elmondható, hogy a járműállomány 72%-a szikragyújtású, 28%-a kompressziógyújtású belső égésű motorral hajtott, ami az elmúlt évek tendenciájának megfelelő. A kompressziógyújtású járműállomány átlagéletkora 8,71 év – kis mértékű javulás tapasztalható, a szikragyújtású állomány átlagéletkora 10,35 – ami jelentős javulásként értékelhető, ami vélelmezhetően az Európai Unió tagállamaiból érkező használt autó import életkorának csökkenésével magyarázható.

	Összesen	Kompresszió- gyújtású	Szikra- gyújtású
EOBD [db]	1 061 279	355 357	705 922
EOBD-növekedés 2007-hez képest [%]	22%	31%	18%
2008 [db]	3 634 486	994 746	2 639 740
Növekedés 2007-hez képest [%]	-8%	4%	-11%

9. táblázat: a hazai járműállomány 2008-ban (forrás: saját szerkesztés)



22. ábra: a gépjárműállomány változása 2006-hoz képest 2007-ben [db] (forrás: saját szerkesztés)

ÖSSZEFOGLALÁS

A 2000–2008. évi országos közúti gépjármű-állomány statisztikai adatainak elemzése alapján összefoglalóan megállapítható a hazai közúti gépjárműpark enyhe fiatalodása és a nemzetközi tendenciáknak megfelelően a kompressziógyújtású motorok

korszerűsödésének hatására, annak fokozatos térnyerése. 2001-ben a járműállomány jelentős bővülése tapasztalható, sajnálatos módon az alacsonyabb árfekvésű, 9–18 év közötti gépjárművek kerültek a forgalomba. 2002-ben és 2003-ban az 1990 előtti szikragyújtású motorral ellátott gépjárművek kismértékű csökkenése tapasztalható. 2004-ben az idősebb szikragyújtású motorral ellátott gépjárművek, valamint a fiatalabb kompressziógyújtású motorral ellátott gépjárművek csökkenése tapasztalható. 2005-ben az idősebb szikragyújtással ellátott gépjárművek további csökkenése tapasztalható, míg a fiatal, 4-5 éves kompressziógyújtású gépjárművek forgalomba helyezése miatt, kompressziógyújtású körben a fiatalodási tendencia jelentősen felerősödik. 2006-ban megfigyelhető a szikragyújtású motorral ellátott gépjárműállomány öregedése és a 22–27 éves gépjárművek jelentős darabszám-növekedése tapasztalható. 2007-ben a járműállomány életkorában minimális változás érzékelhető. 2008-ban az 1990 előtt gyártott szikragyújtású motorral épített modellek darabszámának csökkenése miatt fiatalodás figyelhető meg.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az elemzések az Országos Közúti Járműállományban (DELTA Informatikai Zrt.) található nyilvántartási adatok felhasználásával készültek.

A szerzők köszönetet mondanak az Országos Tudományos Kutatási Alapnak az OTKA CNK 78168 kutatás támogatásáért.

Irodalom

- [1] Tánczos Lászlóné: Közlekedés-gazdaságtan egyetemi jegyzet – (BME Közlekedésgazdasági Tanszék, Bp. 1994.)
- [2] Tánczos, Torok: The linkage of climate change and energy consumption of Hungary in the road transportation sector, 2007, Transport, Vol. 22., Number 2, p134–138
- [3] Török Ádám: Közúti közlekedési szektor klimatikus költségei, Közlekedéstudományi Szemle (ISSN: 0023-4362) 2008/4: pp. 28–30. (2008)

Hidrogénalapú fenntartható tömegközlekedés műszaki és pénzügyi megvalósíthatósága

Kocsis Bence
ügyvivő szakértő,
BME EJJT

Trencsényi Balázs
egyetemi tanársegéd,
BME GJT

Dr. Brummer Krisztián
irodavezető,
Sopron Város
Polgármesteri Iroda

Elcsépett tény, hogy előbb, de inkább utóbb végleg kifutunk a kőolajból, ezért mindenki próbálkozik. A tömegközlekedés például a hidrogénnel. Ez nem is baj, mivel a közúti közlekedés dobogós az iparágak közötti szén-dioxid-kibocsátásban, az ágazaton belül pedig szintén kiváló pozícióval bír, hiszen egy városi busz egy átlagember havi üzemanyag-mennyiségét használja fel naponta. A világ 80 százaléka város lakó, a folyamatos urbanizációval pedig egyre többen zsúfolódnak egy korlátozott területre, a tömegközlekedés pedig zsúfolódik velük együtt és egyre kisebb ráfordítással ér el egyre nagyobb externális költségeket.

It's a well known trite fact that sooner or rather later eventually we will run out of crude oil after all, thus everyone is trying. Public transport pulls with hydrogen together. It ain't the back of the wrong horse actually since road traffic is one of the "lead-partners" in CO2 emission, whereas public transport is also represented strong within the branch, consuming your monthly average fuel volume on a daily basis per bus. Considering that eighty percent of the world is citizen and urbanization is going strong more and more people are crammed into a limited space so is public transport giving external cost thrilling time.

CÉLKITŰZÉS

A cél a döntéshozói körök segítségével a politikai megvalósíthatóság elősegítése, hogy műszakilag immár kiforrott tüzelőanyag-cellás hidrogénhajtású buszok pénzügyileg is versenyképes alternatívát jelenthessenek a hagyományos dízel társaikkal szemben.

TÖMEGKÖZLEKEDÉS

A tömegközlekedés tartogat egy-két olyan fundamentális feltételt a repertoárjában, ami lehetővé teszi azt, hogy a tüzelőanyag-cellás hidrogénhajtás legkedveltebb játszótere legyen. Nézzük, mivel szolgál a tömegközlekedés, egy ilyen alternatív hajtáslánc fejlesztésekor:

- alacsony napi futásteljesítménnyel
- kevés számú központosított kiszolgálóhellyel
- technikai és szakmai háttér
- központi finanszírozás
- nagy szabadságot biztosító járművek
- sajátos üzemmenet.



1. ábra: a Budapestet ellátó öt autóbuszgarázs

Átlagosan 227 km-t tesz meg egy busz munkanapokon a fővárosban, ez az alacsony futásteljesítmény tette lehetővé azt már tíz évvel ezelőtt is, hogy egy tüzelőanyag-cellás hidrogénnel üzemelő busz egy rövidebb viszonylaton egy feltöltéssel kihúzzon egy műszakot. Az mégiscsak ésszerűtlen lett volna, hogy félúton mindenkit leszállítanak a már majdnem üres tank miatt, és irány a garázsment. További előnyt jelentenek maguk a buszok, személyautóval ugyancsak problémás lett volna majd két évtized alatt számtalan millió tesztkilométert úgy megtenni, hogy három tonna felszerelés alatt roskadozik a jármű. A buszok érdemi használhatóságát sem a tömeg, sem az elhelyezés, sem a megnövekedett geometria nem befolyásolja. A legfontosabb mégis a központi kiszolgálás, azaz a garázs – több száz busz ellátása történik innen, ami az alternatív hajtás elterjedésének legfőbb korlátjának is tekintett infrastrukturális hiányosságokat egy mozdulattal félresöpri. Elegendő ugyanis egy töltőállomás létesítése ahhoz, hogy egy működő rendszer jöjjön létre, minimális infrastrukturális ráfordítással, hiszen ha egy busz reggel innen indul, este ide is jön vissza és nem fenyegeti az a veszély, hogy nem lesz hol tankolni.

HIDROGÉN

A hidrogénben – első és legfontosabb – nincsen szén, márpedig ha szén nincs, szén-dioxid-kibocsátás sincs. Tökéletes (lenne) a választás tehát, csak hogy H₂-t jobbra földgázból, esetlegesen elektrolízissel állítanak elő. Ha a fenntarthatóság lebeg a szemünk előtt, akkor az utóbbi az egyetlen járható út. Magyarország nem vízerőmű-nagyhatalom, a megújuló energia pedig gyerekcipőben jár, részesedésük a teljes termelésből 5,5 százalék, cserébe jelentős, 37 százalékos termelési részesedéssel rendelkezik a nukleáris energia – noha sokan (köztük az EU) nem tekintik megújuló forrásnak, bár a szén-dioxid-csökkentési lehetősége adott. Ha megfelelő a villamosáram-input, a hidrogén az egyik azon három, a közúti közlekedés számára üzemanyagként számításba vehető energiahordozó közül, ami hosszú távon is képes a fenntarthatóság biztosítására.

A másik kettő a villamos áram és a különböző bio üzemanyagok, probléma mindhárommal van, előbbi problémás tárolni, utóbbival szemben etikai kérdések merülnek fel. Hármójuk közül a hidrogén

és a villamos áram rejti magában a legmagasabb, mintegy 90 százalékos CO₂-kibocsátás-csökkentési lehetőségét.

Hidrogén tüzelőanyagban való használata esetén, tehát nulla lokális emisszió, nagyságrendekkel alacsonyabb zajterhelés, azaz az életkörülmények javulása az, ami egy átlag felhasználó vagy lakos számára a pozitívumot jelentik.

MŰSZAKI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG

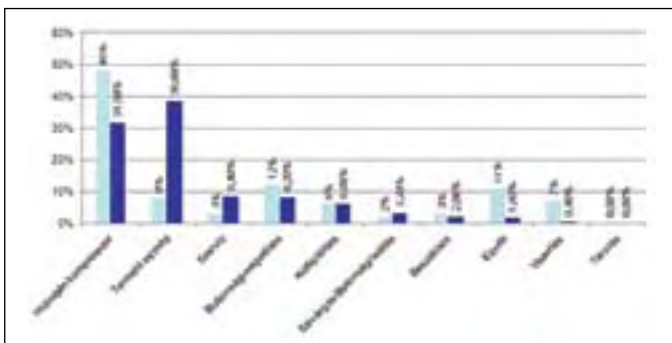
Az, hogy az üzemeltetőnek mások az elsődleges szempontjai a járművel szemben, az nyilvánvaló. Az első kérdés, hogy „mennyibe” kerül, a másik nem ennyire kézenfekvő, hogy hány százalék a rendelkezésre állása. A tüzelőanyag-cellás, hidrogénnel hajtott buszok rendelkezésre állása 94,1[1] százalék, ami már majdnem megegyezik a tömegközlekedési vállalatok számára a buszszállítók által vállalt 96 százalékkal. Az elmúlt két évtizedben több tucat projekt zajlott ilyen buszok főszereplésével, a megtett több millió km alapján az üzemeltetők tapasztalata az, hogy a buszok műszakilag kiforrottak. Nem így a kiszolgáló infrastruktúra. Alternatív hajtású buszok esetén hajlamosak vagyunk a mögöttes műszaki tartalomról megfeledkezni, pedig a hidrogén lokális előállítása jelentős műszaki kapacitást igényel.

Noha van lehetőség hidrogént lokálisan reformálással is előállítani, a korábban tárgyaltaknak megfelelően az elektrolízissel és kapcsolódó műszaki infrastruktúrájával foglalkozom.

A mögöttes műszaki tartalom ebben az esetben azért is érdemel több figyelmet, mivel ez a leggyengébb eleme az egész rendszernek. Ha ezt a benzinkutak gyakorlatilag száz százalékos rendelkezésre állásával vetjük össze, akkor még van hely a fejlődésnek. Egy lokálisan elektrolízissel előállított rendszer elemei:

- elektrolíziscella
- kompresszorállomás
- tárolókapacitás
- vezérlés.

Ezek együttes hatásfoka 89 százalék, és a hidrogénbeszállítók/ellátók szerint sem állt mindig fényes jövő a lokális termelés előtt. Tizenöt éve annyi probléma merült fel, az akkor még prototípusként funkcionáló berendezések kapcsán, hogy ellenjavallt volt az alkalmazásuk. Túl gyakori karbantartás és 24 órás folyamatos megfigyelés és az ebből fakadó kiadások voltak a legfőbb pontok az üzemeltető szerint. A fejlesztéseknek köszönhetően jelenleg távfelügyelettel biztosítható a működés, és ez a vélekedés már nem tartja magát.



2. ábra: meghibásodási formák Cute / HyFleet:Cute[1]

A lokális előállítás egyik eddig nem tárgyalt, de a jövőben óhatatlanul felmerülő hátulütője lesz a mérete. A jelenlegi alkalmazások maximum hat, de inkább csak három busz kiszolgálására alkalmasak, és két 40 lábas szabvány konténerben vannak készre szerelve. Ha a jövőben egész buszgarázsok fognak ilyen módon üzemelni, felmerül a kérdés, hogy van-e értelme a lokális előállításnak, ami (300 buszt feltételezve) egyrészt már ipari kapacitások határait feszegeti, másrészt konténerlerakatot varázsol a telephelyből és

a végére csak a buszoknak nem lesz helye. Arról nem is beszélve, hogy a környező lakosság hogy fogadná egy „gyár” létrejöttét szívesen a tözsomszedságukban. Ahol nem áll rendelkezésre a közelben termelői kapacitás, ott óhatatlanul ez marad az egyetlen alternatíva, olyan városokban, mellyel hidrogénvezeték-rendszer mentén vagy előállító-üzem mellett fekszenek a csővezetékes szállítás jelentheti a leginkább tökéletesség-kímélő és gazdaságos megoldást.



3. ábra: elektrolízisberendezés lokális termeléshez

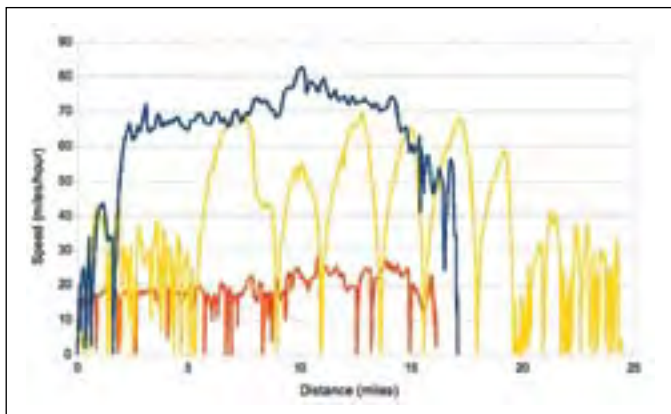
PÉNZÜGYI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG

Ahhoz, hogy pénzügyileg jobban megérje ilyen buszt üzemeltetni, azonos futásteljesítményt feltételezve a következő feltételek valamelyikére lenne szükségünk (nagy vonalakban):

- a) kevesebb bekerülés
- b) alacsonyabb fenntartási költségek
- c) kisebb üzemanyagár és/vagy alacsonyabb fogyasztás
- d) kisebb amortizáció.

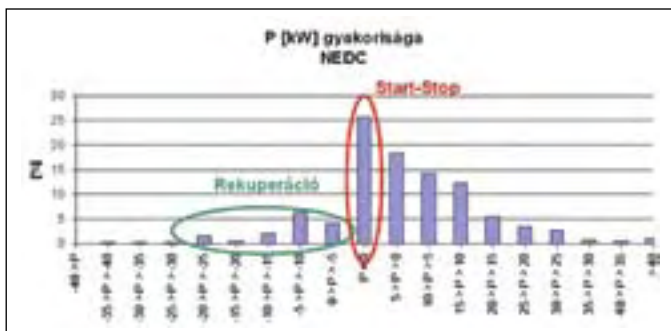
Vessük össze tehát a mindenki által jól ismert Volvo 7700A típusal a Mercedes legfrissebb projektekben szereplő Citaro hibrid tüzelőanyag-cellás buszát. Az összehasonlítás kicsit csúszka, mivel nem mindenhol áll rendelkezésre pontos adat, vagy ha van, az sem vethető össze a hazai eredményekkel, nem egyenlő továbbá a buszok mérete sem (csuklós és szóló), minek következtében a fogyasztás, s így a pénzügyi megvalósíthatóság sem tehető patikamérlegre, de az eltérés mértéke nem olyan nagyságrendű, ami érdemben befolyásolná az eredményt.

- a) Tüzelőanyag-cellás szóló busz nagyjából egymillió euróért kapható, ami a forint-euró ingadozásától függetlenül épp a négyszerese egy hagyományos dízel csuklós busznak. További probléma még, hogy ugyan a garancia ugyanúgy két évig élt mindkét jármű esetén, de a tüzelőanyag-cellás busz celláinak élettartama 7 év vagy 12 ezer munkaóra. Ez annak tükrében elgondolkodtató, hogy a ma Magyarországon tömegközlekedésben üzemeltetett közel 7500 busz döntő többsége tizen- és huszoneves Ikarusz.
- b) A legfrissebb amerikai projekt tanulsága szerint a tüzelőanyag-cellás busz fenntartási költsége 11 százalékkal magasabb. Ez a szám úgy válik igazán érdekessé, ha tudjuk, hogy 47%-kal kevesebb alkatrészt kell cserélni rajta, viszont majdnem két és félszer annyi munkaórát töltenek el vele a szerelők. Mivel a magyar szerelői bér valószínűleg nem 50 \$/óra, ezért az is elképzelhető, hogy más bérkörülmények között alacsonyabb fenntartási költség adódik, mint hagyományos dízel busz esetén.
- c) A fogyasztás kapcsán szeretnék visszakanyarodni a tömegközlekedés által biztosított kedvező működési feltételekhez. A fogyasztást és ezáltal a pénzügyi megvalósíthatóságot, megtérülést nagyban befolyásoló ebből a szempontból legfontosabb feltétel a sajátságos üzemmenet. Hiszen mit is csinál egy buszvezető egész nap: fékez és gázt ad.



4. ábra: sebesség-távolság diagram – a sárga a busz

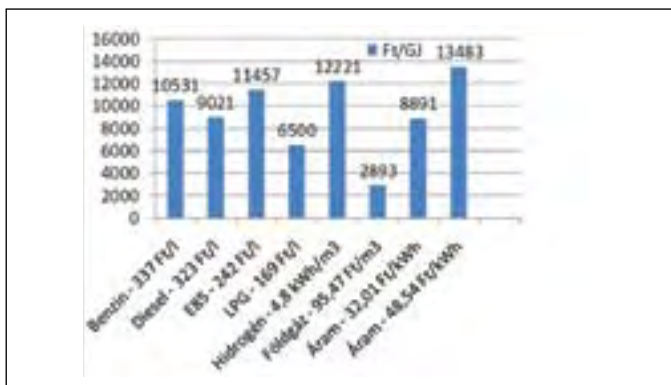
Egy busznál kicsit kevesebb, mint 600 tervezett és 50 százalékos valószínűség mellett valamivel több, mint 300 nem tervezett fékezési igénybevétel jelentkezik naponta. Ha ezt a futásteljesítménnyel összevetjük (227 km), akkor arra jutunk, hogy egy hozzávetőlegesen Budapest–Bécs távolságot 300 méterenként megállva teszünk meg. Ez a tördelt, állandóan fékezést igénylő lassú átlagsebességű üzemmenet az, amelyben az olyan alternatív műszaki megoldások, mint a lendkerék, a hibrid hajtáslánc vagy PBS nagyságrendekkel magasabb megtakarítást tudnak elérni, mint egy munkába járó úrvezető vezetési stílusából.



5. ábra: hibrid hajtás legkedvezőbb működési tartománya[2]

A hibrid személyautók által elért megtakarítást nem lebecsülendő muszáj megjegyezni, hogy nem mindegy, hogy a 8 literes fogyasztást faragjuk le 5 literre vagy a buszok, vagy kukásautók fogyasztását 56, ill. 150 literről a felére.

A felére ugyanis az új projektekben a legújabb buszokkal szemben támasztott követelmény a korábbi fogyasztás (22–24–26 kg/100 km) megfelelése volt. Ugyan ez nem kizárólag a hibrid hajtásnak az üzemmenet totális kihasználásából adódó



6. ábra: energiahordozó-árak

eredmény. Optimalizálásra kerül az üzemanyag-ellátás, míg korábban a rendelkezésre állás volt a kulcs paraméter, addig jelen esetben az üzemanyag-felhasználás lett. Nem elhanyagolható szempont, hogy a hibrid elemek megjelenésének ellenére is végeredményben egy tonnával kevesebb felszerelést cipel magával a busz. Feleannyi palack, kettő helyett egy tüzelőanyag-cella, a fűtés nem primer energiaráfordítással történik, hanem a tüzelőanyag-cella hőcserélőjén keresztül. Ezek mind-mind hozzájárultak ahhoz, hogy 10,08–10,8–12 kg/100 km fogyasztás jellemzi ezeket a buszokat napjainkban.

Az elektrolízis energiaszükséglete minden perifériájával együtt 5,1 kWh/Nm³ hidrogéngáz, ami még csak 89,8 gramm. Forint/km egyenértékben kifejezve a busz pusztán fogyasztásalapú költsége 209,02 Ft/km. Itt kell említést tenni arról a kivételes helyzetről, ami csak nálunk fordul elő, nevezetesen mihelyst járműhajtásra használdik fel a hidrogén, 24,5 Ft/Nm³ jövedéki adó terheli. E nélkül 181,56 Ft/km lenne az üzemanyagköltség.

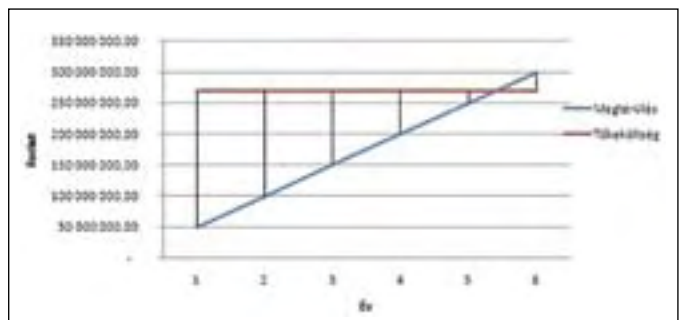
d) Az amortizáció volt az a paraméter, amire nem állt rendelkezésre adat, azért a Volvo adataival megegyező érték 57,77 Ft/km volt a számítások alapja.

Hagyományos dízel busznál 29,5%-kal kerül többre tüzelőanyag-cel-
lást üzemeltetni – első pillantásra. Akad viszont néhány lehetőség, ami nem a kiadás, hanem a bevételi oldalt növeli. Mivel ahogy szó volt róla, a hidrogén nem tartalmaz szenet, és a villamos áram inputot is ideálisnak feltételezzük, így rengeteg CO₂ nem kerül kibocsátásra. A meg nem termelt szén-dioxidot pedig a klímátözsdén lehet értékesíteni. További lehetőség, amivel az elmúlt két évtized projektjei kapcsán még nem foglalkoztak, az a hidrogén mellett létrejövő hétszer annyi oxigén. Az oxigén keresett gáz, mind egészségügyi, ipari számos egyéb területen alkalmazzák, a raktározási – és tőke – igény minimálisra csökkentése érdekében lenne érdemes a csővezetékes ellátás kiépítése a felhasználóig – ésszerű távolságokon belül.

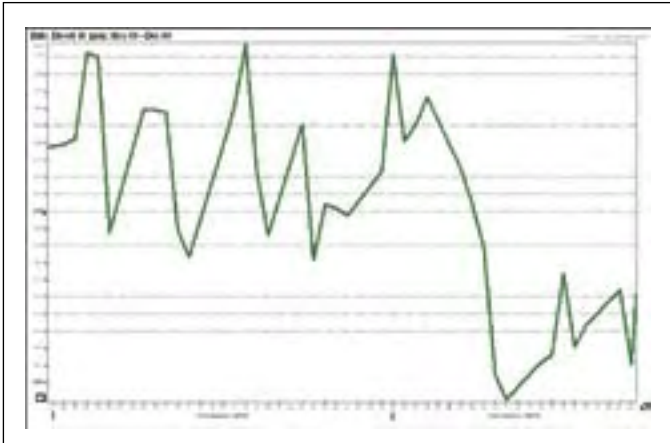
Az alkalmazott technológia egyik hátránya, hogy nem vagy csak igen lassan lehet lekapcsolni, esetleg nem is éri meg a leállítást. Ennek következtében, ha a tárolókapacitás tele van, a termelés folytatódik és a termelt gázt (megfelelően visszahűtve) kiengedik a szabadba. Ez a mennyiség éves szinten a tapasztalatok szerint a megtermelt mennyiség 10%-a, ez a gázmennyiség egy stacioner tüzelőanyag-cellával árammá alakítható.

- a) CER kvóta: 8 421 167 Ft.
- b) O₂ gáz: 46 084 034 Ft.
- c) H₂ áram: 582 209 Ft.
- d) (Externális költségek)
- e) (Tüzelőanyagcella-hőcserélő)
- f) (Deutérium)
- g) (Feláras hirdetés)

A fenti bevételi lehetőségekkel számolva már jobban megéri tüzelőanyag-cellás buszt üzemeltetni, (ha adotttnak feltételezzük a háttér infrastruktúrát!) a zárójeles tételekkel most nem foglalkozom, de kiemelném közülük az externáliát. Ha ugyanis nagyságrendekkel csökken a károsanyag-kibocsátás, akkor a



7. ábra: megtérülési idő



8. ábra: gázolaj áringadozása

levegőminőség javul. Tehát a légúti panaszokkal élők kevesebbet kell hogy gyógyszerre költsenek és itt már nem millió forintokról van szó, evvel szerettem volna szemléltetni a benne rejlő potenciált.

A megtérülést a fent említett változók tovább gyorsíthatják – lassíthatják annak megfelelően, hogy a legjelentősebb költség tényezők, azaz az energiahordozók ára, hogyan viszonyul egymáshoz. A villamos áram ára nem vagy alig ingadozik egy éven belül, az ingadozás is áremelésben merül ki, azaz kijelenthetjük, hogy gyakorlatilag időszakosan konstans. Evvel szemben a gázolaj ára szorosan követi a kőolaj világpiaci kereskedési árát és azonnal nő, ha az alapanyag drágul, míg a csökkenésre adott válasza kevésbé gyors. Azaz adott esetben a bázisárhoz viszonyított drágulás esetén – és ez a gyakoribb – lerövidül a tüzelőanyag-cellás busz megtérülési ideje, sőt ha beleszámoljuk azt is, hogy a gázolaj egy-egy időintervallum alatt jobban drágul, mint a villamos áram, akkor hosszú távon ismét csak az alternatív busz a kedvezőbb választás.

Az egyetlen hátrulatója a rendszernek ugye a feltételezett meglévő infrastruktúra, ami nincs. Ekkor vesszük számításba, hogy központi finanszírozás alá esik a tömegközlekedés. Állami segítségnyújtás nélkül ugyanis nem lenne lehetséges egy olyan léptékű beruházás megvalósítása, amihez ekkora kezdő tőkére van szükség. Egy 3–6 busz ellátásához elegendő infrastruktúra költségei a következők:

1.	elektrolízisberendezés	600 000 USD
2.	tárolás	19 500 USD
3.	töltőállomás	480 000 USD
4.	tüzelőanyag-cella (500\$/kW)	15 000 USD

Egy ilyen termelői kapacitás megléte azt jelenti, hogy a kiszolgáló személyzetet be kell taníttatni, a berendezéseket karban kell tartani. A betanulási költségére ugyan nem állnak rendelkezésre adatok, de a karbantartási költség 6–8 \$/kg (Európában 4,98 €/kg), ami több mint a tízszerese a nagyiparinak. A infrastruktúra tőkeköltségét is figyelembe kell hogy vegyük, az pedig több mint egymillió dollár. Ha a megtérülést a fenti három tétellel kibővítjük, akkor nincs szükség diagramra, mivel az egyenesek valahol a végtelenben találkoznak.

Ahhoz, hogy alternatív hajtású buszok elterjedhessenek, politikai megvalósíthatóságra van szükség. Ez az európai és országos szintű döntéshozói körök elkötelezettségét jelenti, hogy csak néhányat említek, hosszú távú kiszámítható működési peremfeltételek – hidrogén jövedéki adójának eltörlése, kedvezményes villamosenergia-ár, a zöld technológiák által teremtett forrásoknak a zöld iparba való visszaforgatása –, infrastruktúrába való beruházás. Egy ilyen szintű elköteleződés ugrásszerűen meggyorsítaná ezen buszok elterjedését, hiszen jelenleg drágán és alacsony számban készülnek az alternatív buszok és infrastruktúráik komponensei – tüzelőanyag-cella, hibrid hajtáslánc, elektrolíziscellák – amiknél a tömegtermelés derékba tudná törni az árakat.

Végezetül essék szó a nemrég indult, ide szorosan kapcsolódó Green Urban Transport Systems projektről, aminek kapcsán a Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont lesz Sopron városának mint projektvezetőnek a külső szakértője. Ebben a projektben – hét ország részvételével – különböző alternatív hajtásrendszerek kerülnek összehasonlításra, hogy kiderüljön, melyik jelenti a leginkább fenntartható megoldást a városi tömegközlekedés számára. A szakértői munka alkalmával a hidrogénhajtású buszok alkalmazhatósága lesz a vizsgálandó feladat – Sopron városával együttműködésben. A fenti koncepcióhoz képest annyi változás már biztos lesz, hogy Sopron városa – a kedvező elhelyezkedésének köszönhetően – szélkerekek alkalmazásával szándékozik a hidrogén bontásához is használt energiát előállítani.

Irodalom

- [1] CUTE Summary, HyFLEET:CUET Summary
- [2] Kutatási jelentés MP 20090331

Járművek emissziójának modellezése a forgalmi viszonyok és a környezeti hatások figyelembevételével

Szabó Bálint
tanársegéd, BME GJT

Trencsényi Balázs
tanársegéd, BME GJT

A közlekedés okozta légszennyezés mérséklését nemcsak a járművek emissziójának redukálásával, de a forgalomirányítás emisszióalapú szabályozásával is elérhetjük. A közlekedési hálózatok környezetbarát tervezéséhez nagy segítséget nyújtanak a különböző szimulációs modellek, amelyekkel nagyvárosok közlekedési hálózatai, és azt használó járművek modellezhetők azok emissziójával együtt. A különböző járműtípusok emissziójának modellezése kétféle módon történhet. Az egyik módszer a járművek szimulációs emisszió modelljének felépítése, a másik pedig mérési adatok alapján elkészíteni egy emissziós adatbázist. A cikk a különböző emissziós modellek felépítéséről nyújt egy áttekintést.

To reduce the air pollution caused by vehicles two possible actions exist: reduce the emission of the individual vehicles and develop emission based traffic control system. Developing such traffic control systems should be supported by simulation models which use the road network of big cities, and model the vehicles moving on these roads, and their emission as well. As a tool of emission modeling we can use detailed models for simulate the vehicle's emission, or we can apply measurement based databases too. This paper gives an overview about the different emission modeling techniques.

BEVEZETÉS

A környezettudatos járműfejlesztés során a gyártók igyekeznek a járművek emisszióját minél jobban csökkenteni. Ma már nemcsak a káros anyagok kibocsátásának redukálása a cél, amelyek közvetlenül károsítják az élővilágot, hanem a klímaváltozást okozó üvegházgáz, azaz a CO₂ csökkentése is alapvető fontosságú. Ezen mikroszkopikus emissziócsökkentési stratégiák mellett egyre fontosabb napjainkban a makroszkopikus emisszió redukálása is. Ilyen például a közlekedési hálózatok emisszióalapú optimalizálása. Hiába csökkentik a gyártók az egyes járművek károsanyag- vagy CO₂-kibocsátását, ha egy közlekedési csomópontban annyira feltorlódnak a járművek, hogy azok kumulált emissziója jelentős légszennyezést eredményez az adott csomópont környezetében. A legegyszerűbb megoldás a forgalom

korlátozása, amelyet számos nagyvárosban alkalmaznak már (Los Angeles, London), azaz a város központi részeibe csak díj fizetése ellenében lehet behajtani, vagy csak alacsony károsanyag-kibocsátású járművel lehet egyes városrészeket megközelíteni.

Ennél jóval hatékonyabb, de ugyanakkor jóval komplexebb megoldás a forgalom emisszióalapú irányítása. Ez azt jelenti, hogy a városok forgalomirányítása korábban többnyire nyílt láncú szabályozás volt, azaz a forgalmi jelzőlámpák működése egy előre beállított algoritmus szerint működik. Ma már egyre több helyen alkalmaznak zárt láncú forgalomszabályozást, amikor a különböző csomópontokban elhelyezett detektorok információit feldolgozva úgy szabályozzák a jelzőlámpák működését, hogy a lehető legoptimálisabban szabályozzák a járműfolyamot. Videoalapú rendszer használata esetén, ha az elhaladó járművek kategóriáit is azonosítani lehet, akkor a szabályozást a forgalom emissziója alapján is el lehet végezni.

Az ilyen jellegű szabályozási rendszerek tervezéséhez szükség van forgalmi szimulációs modellre. A modellnek tartalmaznia kell a közlekedési úthálózatot, a jelzőlámpás kereszteződéseket, a járművek mozgásfüggvényeit, a járművezetők modelljeit, illetve a járművek emissziós modelljeit (1. ábra).

A JÁRMŰEMISSION-MODELLEZÉS MEGKÖZELÍTÉSEI

Alapvetően két fő megközelítési módszer létezik a forgalom emissziójának becslésére. Az egyik a mikroszkopikus, amikor a közlekedő járművek egyedi sebességprofilja áll rendelkezésre, a másik pedig a makroszkopikus, amikor csak a forgalom nagysága, illetve átlagsebessége ismert, ezekből az adatokból kell becslést adni a kibocsátott káros anyagokra. A gond csak az, hogy a forgalmi szabályozórendszerek csak makroszkopikus módszerrel képesek működni, ezzel szemben a mikroszkopikus forgalmi modellre jóval pontosabban lehet a károsanyag-kibocsátást számítani. A kétféle megközelítés kombinációjából következik az úgynevezett mezoszkopikus modell, amely a két módszer előnyeit egyesíti. Ebben az esetben a forgalmi modell a makroszkopikus változókat állítja elő, amelyből meg lehet határozni mikroszkopikus változókat, azaz



1. ábra: forgalomirányítási modell szimulációs vizsgálata [1]

az egyedi járműbességeket és gyorsulásokat. Természetesen a mikroszkopikus rendszer korlátaival visszahat a makrorendszerre is (pl.: a limitált gyorsítási képességek miatt a járművek közötti követési távolság változhat).

A közlekedési hálózat modellezésének a legnagyobb nehézsége a járműtípusok sokfélesége. A járművek emisszióforrása a belső égésű motor, amelynek számos olyan paramétere van, amely befolyásolja a jármű károsanyag-kibocsátását. A legalapvetőbb paramétereken, mint a működési égésfolyamat módja (szikragyújtás vagy kompressziógyújtás), illetve az alkalmazott tüzelőanyag, a hengerűrtartalom, a keverékképzés módja stb., felül számos olyan szempont is befolyásolja a motor kipufogógázának összetételét, amelyet a járműtípus ismerete esetén sem lehet pontosan megadni. Ilyen lehet például az égéstér geometriai alakja, vagy a motorvezérlő algoritmus működési paraméterei, illetve ezek futásteljesítményből adódó változásai. Ezek még ráadásul csak a motoroldali változók voltak, ezt még tovább bonyolítja a járműtípusok, hajtásláncok és felépítmények és terhelések variációi. Hiszen két teljesen azonos belső égésű motort két különböző járműbe építve sem lesz azonos a jármű emissziója, azonos munkaciklus és környezeti feltételek mellett sem. Ez gyakorlatilag lehetetlen feladat, hogy olyan emissziómodellt készítsünk, amely a létező összes motor- és járművariációt lefed.

A modellépítés első lépése a modellosztályok képzése. Meg kell határozni, hogy a fent említett paraméterek alapján milyen szempontok szerint érdemes osztályokat képezni. Mivel nem lehet az összes szempontot figyelembe venni, ezért átfogóbb, általánosabb kategóriákat kell képezni. Igaz ugyan, hogy ezzel veszítünk a modell pontosságából, de figyelembe véve, hogy nem járművenkénti károsanyag-kibocsátást, hanem a közlekedési hálózat emisszióját szeretnénk számítani, ezért az összesített emisszióban ekkora pontatlanság elfogadható. Az első csoportosítási szempont a járműkategória. Itt a hatósági előírásokat lehet követni, azaz mind a személyszállító (M1, M2 és M3), mind az áruszállító (N1, N2 és N3) járműveket három-három kategóriába sorolják. Külön kategóriába sorolhatóak a motorkerékpárok, amennyiben ezeket is figyelembe veszik a modellezés során. A másodlagos szempont a jármű erőforrásának típusa. Egyrészt a hajtó tüzelőanyag típusa szerint kell csoportosítást végezni, aztán a hengerűrtartalom alapján kell csoportokat létrehozni, illetve a károsanyag-kibocsátási norma szerint kell kategorizálni azokat. Például egy osztályba tarthatnak az M1 kategóriájú 1500 és 2000 cm³ hengerűrtartalom közötti benzinmotorral ellátott Euro 2 normájú járművek. Ennél részletesebb osztályozás nem szükséges a közlekedési hálózati emissziós modell megalkotásához.

Ezt követően minden egyes osztályhoz elkészül egy emissziós modell. Ennek a modellnek a bemenete a jármű sebessége az idő függvényében, a jármű gázpedálállása, menetellenállás (például emelkedési szög), illetve a környezeti paraméterek, mint légköri nyomás, hőmérséklet és páratartalom. Ezekből a bemeneti adatokból számol a modell károsanyag-kibocsátást.

A forgalmi modellek a járművek sűrűsége, a közlekedési jelzőlámpák működése és a megengedett maximális sebességek alapján minden egyes járműhöz generál egy sebességprofilot. Ezt a sebességprofilot kell a járművezető modellnek az adott járműmodell segítségével lekövetnie, vagyis ebből egy motorfordulatszám- és terhelésprofilot kapunk a szimuláció kimeneteként.

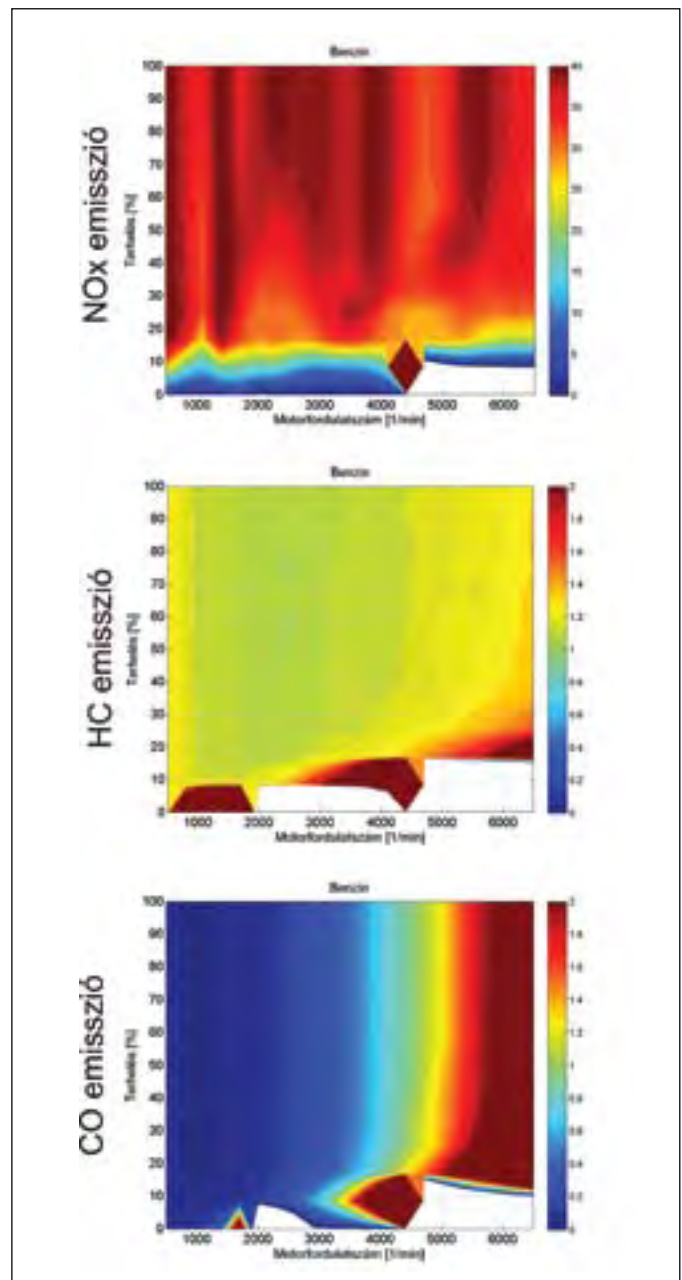
Szükség van tehát egy vezetőmodellre és egy járműmodellre is az emisszió meghatározásához, ugyanis a motor üzemiállapotától erősen függ a kibocsátott káros anyag mennyisége, a sebességprofil alapján történő emisszióbecslés pontatlanabb eredményt ad. Járműmodellre azért van szükség, hogy a jármű dinamikáját figyelembe tudjuk venni a forgalmi helyzetek változása során. Emisszió modellezése szempontjából elegendő lenne a jármű hosszirányú dinamikáját modellezni, de mivel a közlekedési hálózati modell alkalmas arra is, hogy az esetleges balesetek bekövetkezésének

valószínűségét is szimulálja, emiatt a kereszti irányú dinamikával is számol. Nemcsak a kocsi test mozgása lényeges, hanem az azt mozgásba hozó rendszerek modellezésére is szükség van, mint például a futómű és gumibroncsok, a hajtáslánc, a fékrendszer és a kormánymű modelljét is fel kell építeni. Ezen kívül szükség van járművezető modellre is, amely végigvezeti a járművet a forgalmi modell által megadott trajektórián, az adott sebességprofittal.

A motorfordulatszám és gázpedálállás jelei alapján pedig már a motor emissziói meghatározhatóak a megfelelő osztályban alkalmazott motormodellből előállított jellegmezővel. A hálózati modell segítségével a járművenkénti emissziók összegezhethetők, és a közlekedési hálózatba illesztve felrajzolhatóak az emisszióterképek is.

EMISSZIÓMODELLEK FELÉPÍTÉSE

Az emisszió számításához a motorikus folyamatok modellezésére van szükség. A leggyorsabb szimulációs motormodellek a statikus motormodellek, amelyek nem a motor működési folyamatait modellezik, csupán úgynevezett karakterisztikákat használnak fel a motor



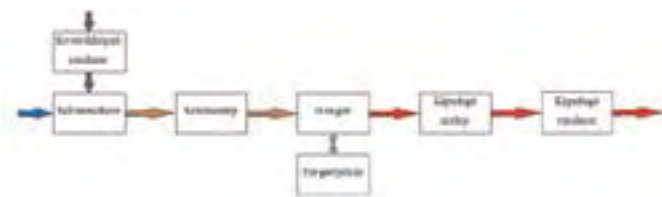
2. ábra: emisszióterképek benzinmotor esetére

üzemállapotának, és ez alapján az emisszió meghatározásához. A szimuláció alapja a nyomatéki karakterisztika, amely a terhelés és a motorfordulatszám alapján motornyomatékot ad. A motor fordulatszámát zárt hajtáslánc esetén a járműsebességből, a hajtáslánc kinematikája alapján számíthatjuk, míg a terhelést a vezetőmodell adja. A motor nyomatéka a hajtáslánc bemenetére hat, amely gyorsítja a járművet. A modell működéséhez a nyomatéki karakterisztika elegendő, a többi térkép már csak járulékos információt ad a motor működéséről. Ilyen térkép készíthető a kipufogógáz minden összetevőjére, aminek a segítségével már a motor által kibocsátott káros anyagokat is számíthatjuk (2. ábra).

A modellépítés legnagyobb részét a karakterisztikák létrehozása jelenti. Ugyanis minden egyes modellosztályhoz külön-külön létre kell hozni a nyomatéki és az emissziótérképeket az adott kibocsátási kategóriának megfelelő technikai színvonalú keverékképző-, égés- és utókezelő rendszer modellezésével, ráadásul a megfelelő pontossághoz nem elegendő négy-öt munkapontot felvenni, hanem akár több száz pontot is fel kell venni egy-egy járműosztály esetében. Ha az összes járműkategóriát figyelembe vesszük, ez óriási mennyiségű adatot jelent, amelyet létre kell hozni ahhoz, hogy a statikus motormodellt alkalmazni tudjuk. A környezeti változók hatását is figyelembe kell venni, hiszen ezek is befolyásolják a jármű károsanyag-kibocsátását. Ezek az állapotváltozók a levegő hőmérséklete, nyomása és páratartalma, de az állapotváltozókon felül még a levegő összetétele is befolyásolja a motor működését. Lehetőség van különböző összefüggések megadására, amely a különböző környezeti állapotok figyelembevételével módosítják a karakterisztikákat, de lehetőség van különböző környezeti állapotokhoz, ugyanarra a járműosztályra külön-külön nyomatéki és emissziótérképek felvételére is. Ezeknek a térképeknek a létrehozását kétféleképpen tudjuk elvégezni. Az egyik a szimulációs módszer, a másik a mérésalapú karakterisztikafelvétel.

SZIMULÁCIÓALAPÚ EMISSZIÓTÉRKÉPEK

Lehet olyan motormodellt felépíteni, amely részletesen tartalmazza a belső égésű motor minden rendszerét, és minden folyamatot megfelelő termodinamikai, áramlástani vagy mechanikai egyenlettel épít fel. Erre azért van szükség, mert a motor egy komplex rendszer, és az alrendszerek összessége együttesen határozza meg a motor állapotát. A belső égésű motor modelljének blokkvázlatát a 3. ábra mutatja.



3. ábra: külső keverékképzésű motor modelljének blokkvázlata

A motorikus folyamatok modellezésénél fel kell építeni a töltetcsere-rendszert, a keverékképző rendszert, a hengerben lezajló égésfolyamatokat, illetve a forgattyús mechanizmust. A töltetcsere modellezéséhez szükség van a szívó- és a kipufogórendszer csőhálózatának felépítésére, illetve a szelepezérlés modellezésére. Előbbiek esetében a csőrendszerben áramló levegő, tüzelőanyag-levegő keverék vagy kipufogógáz állapotát és tömegáramát kell a hely és az idő függvényében meghatározni, amihez a tömeg-, energia- és impulzusmegmaradási egyenletek alapján történik. A szelepezérlést ebben az esetben elegendő kinematikailag vizsgálni, vagyis a szelepemelési görbék alapján a szabad áramlási keresztmetszetet határozhatjuk meg, és azt a szívó-, illetve kipufogórendszer egyenleteibe illesztve tudjuk a teljes töltetcsere-folyamatot modellezni.

Keverékképzési modelleknél megkülönböztetjük a külső (szívórendszerben történő) és belső (hengerben történő) keverékképzési módszereket. Az első eset az egyszerűbb, itt ugyanis homogén a keverék. A szívórendszer modelljénél a befecskendezés helyén kerül bevezetésre a tüzelőanyag előre definiált tömegárammal. A közvetlen befecskendezésű motor esetében már a befecskendező-rendszert is modellezni kell, meg kell adni a tüzelőanyag nyomását és a porlasztó geometriáját.

A modellezés legnehezebb része a hengerben lezajló folyamatok leírása. Itt egyrészt modellezni kell a hengeren belül végbemenő áramlásokat, illetve a teljes égési folyamatot. Ahhoz, hogy az égési folyamat során keletkező káros anyagokat is modellezni tudjunk, turbulens égési modellt kell alkalmazni. Ezt lehet kiegészíteni különböző emisszió modellekkel, amelyek az égés során keletkező káros anyagok mennyiségét, koncentrációját számítják. A nitrogén-oxidok jelentős része a magas hőmérséklet hatására keletkezik, vagyis modellezés során az égéstérben uralkodó hőmérséklet-eloszlás alapján lehet a kibocsátott NO_x mennyiségét meghatározni. A szén-monoxid-képződés az oxigénhiányos égés eredménye. Ennek a modellezése a hengerben mérhető oxigénkoncentráció és jelenlévő tüzelőanyag mennyiségének aránya alapján számítható. A kipufogógázban található szénhidrogén az el nem égett tüzelőanyag következménye. A lángkialvás a legfőbb oka a nagy szénhidrogén-tartalomnak. Ehhez az égéstér geometriai alakja is kell, mert a különböző hézagok térfogata is jelentősen befolyásolja a keletkező szénhidrogén-mennyiséget. A kipufogógáz szén-dioxid-tartalma a tökéletes égés eredménye, ezért ehhez nem kell külön modellt alkalmazni, maga a turbulens égésmodell számítja a keletkező szén-dioxid mennyiségét.

A forgattyús mechanizmus modellezésénél a rendszer dinamikai egyenleteit kell felírni. A modell bemenetei a rendszerre ható erőrendszerek eredői: a gázerők, tömegeerők, súrlódási erők és a külső terhelőerő. Ezek alapján meghatározható a forgattyús mechanizmus mozgásállapota.

Minden egyes modellosztályhoz fel kell építeni egy motormodellt, és teljes jellegmezős szimulációkat kell végrehajtani, azaz a teljes fordulatszám- és terheléstartományban kell megfelelő számú munkapontot definiálni, és azokban statikus munkaponti szimulációkat elvégezni. A modellosztályok definícióját a motorok gyújtási módját, tüzelőanyagát, hengerűrtartalmát és környezetvédelmi normáját. A hengerűrtartalom szerinti besorolás nem egy pontos értéket, hanem egy tartományt ad meg, amely intervallum belsejében kell lennie a modell motor lökettérfogatának, célszerűen az intervallum közepére érdemes a motort elhelyezni. A legnehezebb szempont a környezetvédelmi norma figyelembevétele a motormodell készítésénél. A norma mögött nincsenek egzakt motoralkotó elemek vagy modellparaméterek, egyszerűen a motor károsanyag-kibocsátásának felső korlátját definiálják. Például egy Euro 2 besorolású motormodellt úgy kell elkészíteni, hogy az teljesítse az Euro 2 előírásokat, de ne teljesítse a szigorúbb Euro 3 normát. Ehhez segítséget nyújtanak a valós járműmotorok vizsgálata, hiszen az egyre szigorúbb normákat sokszor különböző alrendszerekkel, illetve a keverékképzés javításával érik el. Ezek az alrendszerek, mint például a kipufogógáz-visszavezetés vagy a különböző kipufogógáz-utánkezelő rendszerek szintén modellezhetők.

A különböző osztályokban felépített motormodellekkel elvégzett szimulációk eredményeit adatbázisba rendezve, a nyomatéki karakterisztika és az emissziótérképek használhatóak a járműmodellben. A környezeti változók hatását a szimulációban egyszerűen meg tudjuk vizsgálni, hiszen a környezeti állapotváltozókat is meg kell adni a szimulációk lefuttatásához.

MÉRÉSALAPÚ EMISSZIÓTÉRKÉPEK

Ezeket az emissziótérképeket és nyomatéki karakterisztikákat nemcsak szimulációval, hanem mérésrel is meg lehet határozni.

Ehhez görgős teljesítménymérő fékpadra és kipufogógáz-elemző műszerre van szükség. A járművel a fékpadon különböző motorfordulatszámra és terhelésre megfelelő üzemiállapotokat kell beállítani, amelyek ugyancsak statikus munkapontok. A statikus munkapontok beállításához a fékpadot kell úgy terhelni, hogy a motor fordulatszáma megfelelő legyen. A nehézséget a terhelés pontos beállítása jelenti. Ehhez mindenképpen kell egy pedálút jeladó, amely visszacsatolást ad a jármű vezetőjének az aktuális pedálállásról. Ennél pontosabb mérést tudunk végezni, ha a gázpedált rögzíteni tudjuk a különböző pozíciókban.

Minden egyes modellosztályhoz egy-egy járművet kell választani, és a kiválasztott járművel kell a mérést elvégezni. Az alacsonyabb környezetvédelmi normákba tartozó járművek elég idős (például az Euro 0-s járművek 1992 előtti), ezért nehéz jó állapotú járművet szerezni a méréshez. Ugyanis a kiválasztott járműnek bejáratottnak (legalább 8–10 ezer km-t futott) kell lennie, de a motornak és a hajtásláncnak jó állapotúnak kell lennie. A másik problémát az N3-as kategóriába tartozó nehéz haszongépjárművek jelentik, ugyanis ennél a kategóriánál nem lehet görgős fékpadi méréseket végezni, motorfékpadi tesztekre van szükség.

A környezeti változók hatásának vizsgálata nem egyszerű feladat, hiszen a fékterem levegőjének állapotát kell megfelelően kondicionálni, ehhez pedig olyan fékteremre van szükség, amely megfelelően szigetelt és a levegő hőmérsékletét, vagy akár a nyomását és páratartalmát is szabályozni lehet.

SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZETEK

A rendelkezésre álló forgalmi emissziós szimulációs programok többsége mikroszkopikus és mezoszkopikus modellekkel dolgozik. A COPERT [2], VISSIM és CMEM [3] illetve a VERSIT+ [4] programok mind egy előre elkészített mérési adatokból összeállított adatbázis alapján határozza meg a forgalomban részt vevő járművek károsanyag-kibocsátását. A járművek osztályozását a korábban leírt módszerhez hasonlóan végzi el, amelyeknek alapját a jármű kategóriája, hengerűrtartalma és emissziós normája adja. De természetesen az egyes osztályok határait más-más módon határozzák meg. A lényeges különbség a fent leírt módszerrel szemben, az a járművek emissziós adatbázisának felépítése. Itt ugyanis nem statikus munkapontok alapján építenek fel emissziótérképeket, hanem a városi forgalom tanulmányozása során szerzett tapasztalatok alapján különböző rövid sebességprofilokat definiálnak. Ezek a sebességprofilok lehetnek akár egyszerű gyorsítások, lassítások vagy állandó sebességű szakaszok is. Ezen profilok alapján gör-

gős fékpadi méréseket végeznek el, és mérik közben a járművek károsanyag-kibocsátását. Minden program más sebességprofilot definiál, azonban ez is nagyon sok mérést jelent: átlagosan 100–150 sebességprofilot állítanak elő, és mérik meg.

A forgalmi szimulációk során nem alkalmaznak különösebben összetett járműmodellt. A jármű sebességfüggvényét a forgalmi viszonyok, a járművezető fiziológiai paraméterei, illetve néhány járműdinamikai adat (maximális gyorsulás, lassulás stb.) alapján határozzák meg.

Ha megvan egy adott járműtípusnak a sebességfüggvénye, akkor a mérési adatbázis alapján nyert sebességprofilokat különböző regressziós technikákkal illesztik a szimulációból nyert sebességprofilra. A regressziós paraméterek, súlyfüggvények segítségével összegzik az emissziós értékeket is, így adódik ki az adott járműre és az adott sebességfüggvényre vonatkozó emisszió. Ezt a többi, az adott forgalmi szituációban részt vevő járművel is elvégzik, majd ezeket összegezzük nyerjük a közlekedési hálózatra jellemző imisszió értékét.

ÖSSZEGZÉS

A városok környezetszennyezésének csökkentése érdekében kerülnek kifejlesztésre olyan forgalomszimulációs modellek, amelyek nagy segítséget nyújtanak a városi forgalom emisszióalapú irányításában.

A cikkben ismertetett módszerek, modellek segítségével a járművek emissziója meghatározható különböző forgalmi szituációkban, különböző környezeti állapotok mellett.

A kutatómunkához nyújtott támogatásért köszönetet nyilvánítnak a CNK78168 számú OTKA projektnek.

Irodalom

- [1] Juhász János (2003): Térinformatika alkalmazása a hazai közlekedési információs és irányító rendszerekben. XIII. Országos Térinformatikai Konferencia
- [2] M. Ekström, A. Sjödin, K. Andreasson (2004): Evaluation of the COPERT III emission model with on-road optical remote sensing measurements. Atmospheric Environment.
- [3] Fotis G. Stathopoulos; Robert B. Noland (2003): Induces travel and emissions from traffic flow improvement projects. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1842 / 2003
- [4] Robin Smit; Richard Smokers; Elke Rabé (2007): 1.1.1 A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+. Transportation Research Part, 414-422

Járművezetői viselkedés modellezésének alapjai

Bári Gergely
doktorandusz hallgató,
BME GJT

Trencsényi Balázs
egyetemi tanársegéd,
BME GJT

A járművezetői viselkedés modellezése széles körben kutatott téma. E cikk keretében célunk egy olyan vezetőmodell megalkotása, melynek segítségével az OTKA CNK78168 projekthez szükséges szimulációk hatékonyan elvégezhetőek. Első lépésben a követelmények meghatározásáról és elemzéséről esik pár szó, majd azonosítjuk azokat a vezetői tulajdonságokat és jellemzőket, amelyeket a modellben kezelni kívánunk. Ezután a követelményeknek leginkább megfelelő modellstruktúra bemutatásával folytatjuk, amit a MATLAB/Simulink környezetben elkészített modell részletesebb bemutatása követ. Az elvégzett szimulációk eredményeinek ismertetése után, a cikk az eredmények összefoglalásával és a jövőbeli fejlesztési irányok ismertetésével zárul.

Vehicle driver modeling is a widely researched topic. In this paper our aim is to create a drive model, which is suitable for simulations in the OTKA CNK78168 project. At first, the requirements are defined and analyzed. After that, the most important driver properties are identified, that are critical to be handled in the model. Then, based on the previous analysis, we choose the most adequate model structure, and present the model created in MATLAB / Simulink environment. After presenting the simulation results, the paper is finished with the summary of the results, and the presentation of the future developments.

BEVEZETÉS

A közúti hálózat befogadóképességének növekedése jelentősen alulmarad a közlekedésben részt vevő járművek számának növekedésétől. Ez a tény szükségessé teszi egy az egész szektort átfogó felügyeleti és irányító rendszer kidolgozását, mellyel a közlekedési folyamatok követhetővé válnak. E feladatnak részeként jelentkezik az igény egy olyan vezetőmodell elkészítésére, melynek segítségével a közlekedésben részt vevő járművek egymáshoz viszonyított mozgása és a járműfolyam fontosabb jellemzői (átbocsátott járműmennyiség, károsanyag-kibocsátás, bekövetkező balesetek száma stb.) a vezető állapotától és tulajdonságaitól függően hatékonyan vizsgálhatók.

Általánosságban vezetőmodelleket alapvetően két célból használnak, járműdinamikai szimulációkhoz és forgalmi szimulációkhoz.

Az első esetben, járműdinamikai szimulációk futtatásakor a cél, hogy ne csak nyílt hurkú szimulációkat lehessen megvalósítani, azaz a jármű bemeneteit (kormányzóg és pedálállások) kötött időfüggvényként lehessen megadni, hanem kívánatos, hogy úgy is lehessen tesztek definiálni, hogy egy adott trajektóriát és kívánt hosszirányú sebességet adunk meg, és a jármű ezt próbálja követni.

A második esetben a vezetőmodell alapfeladata a járműfolyamban haladó járművek közötti távolság „beállítása”, így lehetővé téve a több járműből álló forgalmi szimulációkat.

VEZETŐMODELL

A legtöbb járműdinamikai szoftver tartalmaz vezetőmodellt. A IPG cég CarMaker nevű szoftverében ezen programok közül az egyik legösszetettebb modell található meg. A vezetőmodell egy identifikációs tesztvezetés után „megtanulja” a járművet, kiismeri annak határait, így versenyzőket közelítő stílusban képes egy járművet egy kívánt pályán végigvezetni. A modellben több paraméter között, a vezető agresszivitását is be lehet állítani.

Changék (Chang, 2006) egy igen egyszerű járművezető-modellt alkalmaztak. A modell egy PD szabályzón alapult, melyet egyszerű

próbálgatás módszerével hangoltak. A különösen egyszerű módszerrel kapott vezetőmodell az egyszerűségének ellenére sikeresen vezetett egy összetett, többtest-dinamikai szoftverrel készített járműmodellt egy kettős sávváltástereszt során.

Forgalmi szimulációkhoz alkalmas vezetőmodellre találhatunk például a Wikipedián (Wikipedia) Egy α jármű esetén x_α -val jelölve a t időpontbeli pozíciót, v_α -val a jármű sebességét, és l_α -val a jármű hosszát, a tiszta követési távolságot az alábbi módon írhatjuk fel.

$$s_\alpha = x_{\alpha-1} - x_\alpha - l_{\alpha-1} \quad (1)$$

Ezzel a jelöléssel, egy járműfolyam hosszdinamikájának leírására használt modellt az alábbi egyenletekkel adhatunk meg.

$$\begin{aligned} \dot{x}_\alpha &= \frac{dx_\alpha}{dt} = v_\alpha \\ \dot{v}_\alpha &= \frac{dv_\alpha}{dt} = a \left(1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{s}{s_0} \left(\frac{v_{a1} \Delta v_\alpha}{s_a} \right)^2 \right) \right) \\ \text{with } s(v_{a1}, \Delta v_\alpha) &= s_0 + v_\alpha T + \frac{v_{a1} \Delta v_\alpha}{2\sqrt{ab}} \end{aligned} \quad (2)$$

Itt v_0 a kívánt sebesség, s_0 a minimális követési távolság, amit a vezető akkor is betart, ha állnak a járművek, T a kívánt követési idő, a a gyorsulás és b a komfortos fékezési lassulás.

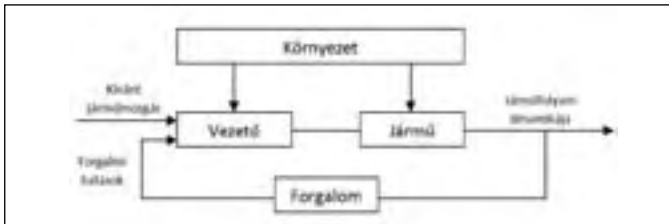
E fenti modell szabad úton a kívánt sebesség elérésére törekszik, míg ha egy követendő járműhöz közelít, a kívánt követési távot állítja be.

A VEZETŐMODELL FELÉPÍTÉSE

Vezetőmodell-alapkonceptió

Az előző fejezetben láthattuk, hogy a feladattól függően többféle vezetőmodell-alapkonceptió választható. Ezen projekt keretében esetünk többé-kevésbé speciális. Alapvetően forgalmi szimulációhoz szeretnénk vezetőmodellt alkotni, azonban az ilyenkor megszokot-

tól eltérően nemcsak a hosszirányú, hanem a keresztirányú dinamikát is szeretnék kezelni, azaz kanyarban haladó járműfolyamot is szeretnének szimulálni. Ez a járműdinamikai szimulációkhoz használt modellek felé irányít minket, azonban szem előtt kell tartani, hogy munkánknak nem célja egy olyan vezetőmodell megalkotása, amely a csúszáshatár közelében, illetve azt átlépve az esetleg instabillá váló túlkormányzott járművet is képes vezetni. Számunkra sokkal fontosabb annak korrekt modellezése, hogy a járművezető a fizikai és szellemi tulajdonságaitól és a környezeti hatásoktól függően más-ként vezet egy adott járművet. Az 1. ábrán a projekt által kitűzött cél eléréséhez szükséges modell fő elemeit láthatjuk.



1. ábra: a teljes modell főbb elemei

Jól látható, hogy a vezetőmodell egy igen fontos része a teljes modellnek, hiszen rajta keresztül csatolódnak vissza a forgalmi jellemzők, így határozva meg a jármű dinamikáját. A járműdinamika pedig természetesen a forgalmat határozza meg, így zárva be a kört. A modell felépítése előtt, a projekt követelményrendszerének áttanulmányozásával, illetve más projekttagokkal való egyeztetéssel, és igényeik feldolgozásával, első lépésként azon vezetői tulajdonságok kerültek kiválasztásra, amelyeket a modellben kezelni kívánunk. Ezen tulajdonságokat és környezeti hatásokat az alábbiakban tudjuk táblázatos formában összefoglalni (1. és 2. táblázat).

Paraméter	Érték
Véralkoholszint, egyéb befolyásoltság	kába → éber
Mentális állapot	friss → fáradt
Habitus	agresszív → nyugodt
Fizikum	gyenge → erős
Látás	jó → rossz
Kor	15 → 90 év

1. táblázat: vezetőtulajdonságok

Paraméter	Érték
Útfelület vezető által érzékelt tapadása	[száraz, kicsit nedves, nagyon nedves, havas]
Útfelület vezető által érzékelt minősége	[sima, rázós, földút]
Napszak, fényviszonyok	világos → sötét
Időjárás	tiszta → viharos
Vezető által érzett hőmérséklet	hideg → meleg
Vezető által érzékelt járműméret	kicsi → nagy
Kívánt trajektória	vonat, ami mentén végig kell mennie
Kívánt sebességlefutás	az a $v(t)$, vagy $v(s)$ függvény ami a traj. mentén kell

2. táblázat: környezeti paraméterek

A fenti paramétereket a következőkben összefoglalva ún. külső paramétereknek nevezzük majd. Ennek az elnevezésnek azért van jelentősége, mert a vezetőmodellt megvalósító algoritmusnak, a matematikai modellnek más paraméterei lesznek, melyeket ún. belső paramétereknek nevezünk. A vezető állapotának beállításakor a külső paramétereket változtatjuk, és az egyes külső paraméterek több belső paramétert módosítanak majd. A belső paramétereknek a következőket választottuk:

- holtidő
- ax vs. ay diagram
- maximális pedálállás és kormánysszög
- maximális pedál- és kormánysebesség
- zaj az egyes jeleken.

Az említett két paramétersereg között definiálva van egy leképezés, ami a külső paraméterekhez belső paramétereket rendel. Ezen lépés célja, hogy a szóban megfogalmazott paraméterek és a tényleges szabályzó paraméterek között kapcsolatot teremtsen.

Például az, hogy a vezető mennyire fáradt és milyen idős, egy-egy külső paraméter, míg a vezetőmodellt leíró algoritmus (szabályzó) holtideje egy belső paraméter. Nyilván a kor és a fáradtság növekedésével a holtidő növekszik, míg csökkentésükkel csökken, így lehet, hogy egy fiatal fáradt vezető holtideje azonos egy idősebb, de friss vezetőével.

Mint azt korábban említettük, a vezetőn keresztül csatolódnak vissza a jármű mozgásállapota, így természetesen a vezető mintegy szabályzó szerepet tölt be az út-jármű-vezető rendszerben. Az összegyűjtött követelmények alapján első lépésként a legegyszerűbb, PI szabályzókból építettük fel az algoritmust.

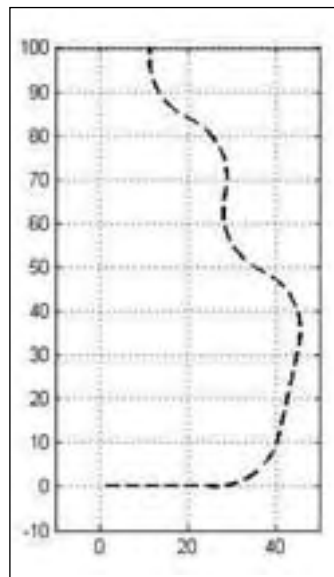
A vezetőmodell alapvetően, minden pillanatban egy ívhossz paraméterrel adott trajektóriát kíván lekövetni, adott pálya menti sebességgel. A vezetőmodell tehát bemenetként 2 vektort vár, melyek a kívánt x és y pozíciókat tartalmaznak a megtett út függvényében. Annak érdekében, hogy ezen vektorokat könnyedén előállíthassuk, készült egy algoritmus, melynek segítségével egyszerűen lehet adott egyenesekből és ívekből álló pályát a megadott igényeknek megfelelően generálni.

A hosszirányú dinamika szabályzása

A hosszirányú dinamika szabályzásakor több egymást követő PI szabályzó működik, annak érdekében, hogy a korábban említett kívánt vezetői tulajdonságoknak megfelelő paraméterek könnyen elérhetőek legyenek.

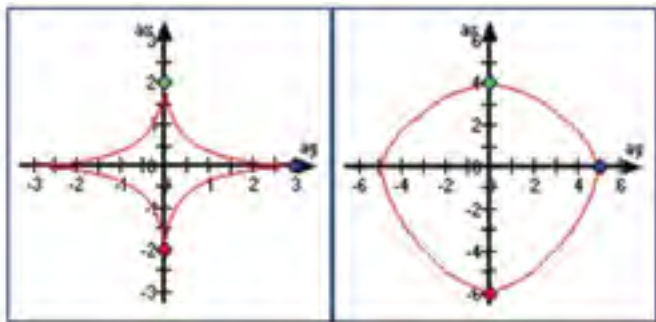
A vezetőmodellnek két referenciabemenete van. Egyrészt a kívánt sebesség, másrészt a kívánt követési távolság az elől haladó járműhöz képest, és ezeken túl természetesen a vezető tudja a saját

jármű pillanatnyi sebességét is, azaz a modell számára ez is rendelkezésre áll. Ezen jelek természetesen az algoritmusban beállítható módon zajjal, hibával terheltek, így szimulálva a vezető bizonyos képességeit, és állapotát. A fentiek alapján a vezető meghatározza a saját járművének egy épp aktuális referenciasebességet, oly módon, hogy amennyiben nincs követendő jármű, ez a referenciasebesség nyilván éppen a kívánt sebesség lesz, míg egy lassabb követendő jármű esetén ez a sebesség éppen a követendő jármű sebessége lesz. Ezen szabályzási hurok kimenete tehát egy kívánt pillanatnyi jármű-sebesség lesz.



2. ábra: egy generált pályaszakasz

A következő szinten a referenciasebesség elérése a cél, melyhez a vezetőmodell a hajtott kerekek kívánt hosszirányú slipjét határozza meg. E szinten nyílik lehetőség a hossz- és keresztirányú dinamika összekapcsolására, és egy újabb vezetői viselkedést leíró paraméter, az agresszivitás figyelembevételére. A hossz- és keresztirányú dinamika, illetve az agresszivitás, hossz- és keresztgyorsulásokon keresztül van figyelembe véve. A szabályzó ugyanis az igényelt hossz- és keresztgyorsulást az alábbi ábrának megfelelően limitálja.

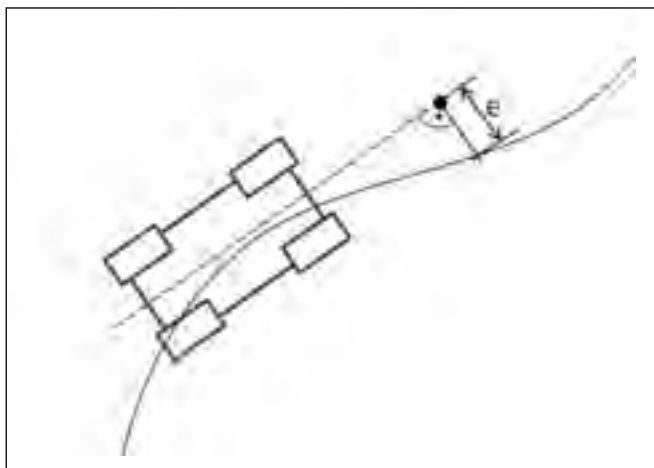


3. ábra: a vezetői viselkedést leíró gyorsulási diagramok

Egy agresszív vezető nagy gyorsulásokat ér el, azaz a fenti diagram x-y tengelyen vett értékei nagyok, és az ő stílusát jellemző diagram „kövérebb” is, hiszen az ilyen sofőr előszeretettel üzemeli járművét nagy hossz- és keresztirányú gyorsulásokkal egyszerre, míg a nyugodtabb sofőr először lefékezi járművét a kanyarodáshoz szükséges sebességre, és csak aztán kanyarodik, így együttes hossz- és keresztgyorsulásokon kevésbé üzemelteti járművét. A 3. ábra bal oldalán egy nyugodt, míg a jobb oldalon egy agresszív vezetőt jellemző diagram látható.

A kívánt slip meghatározása az így kapott hosszirányú gyorsulás alapján egy egyszerű függvénykapcsolattal történik.

Az ezt követő szinten az előbb kapott kívánt referenciaslip megvalósítása a cél. Ehhez nyilvánvalóan szükség van az épp aktuális slip ismeretére, amit azonban normális esetben a vezető nem ismer, a túlságosan kipörgő kerekekre leginkább a jármű gyorsulásából és a felpörgő motor zajából következtet. A motorfordulatszám és a pillanatnyi hosszirányú gyorsulás figyelembevételével történik a vezetőmodellben is az aktuális slip becslése. Így lehetőség nyílik például a külső zaj zavarásának figyelembevételére, hiszen ilyenkor a vezető kevésbé hallja a kipörgő kerekek miatt felpörgő motor zaját, vagy a fékezőkor blokkoló kerekek csikorgását, így rosszabbul becsüli a slipet, ami persze az egész mozgást befolyásolja. E szint kimenetele természetesen a fék és gázpedál állása.



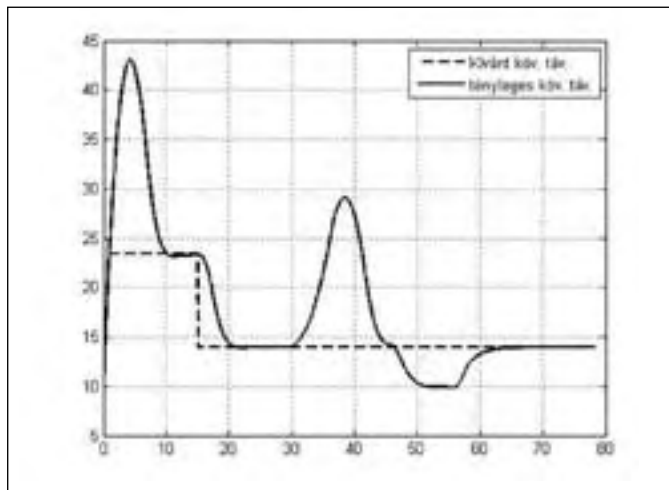
4. ábra: a kívánt pályától való eltérés

A keresztirányú dinamika szabályzása

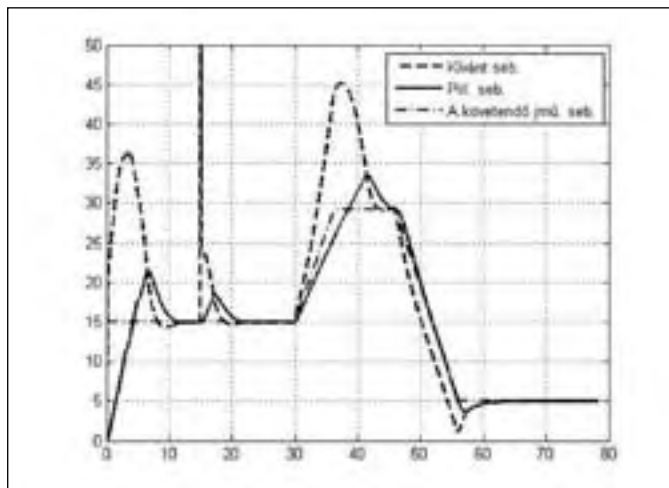
A keresztirányú dinamika szabályzásakor a kívánt trajektóriából indulunk ki. A vezetőmodell minden pillanatban arra törekszik, hogy a pályától való eltérést minimalizálja, amihez első lépésként ezt ki kell számítani. A pályától való eltérést a pálya adott pillanatban vett referenciapontja, és egy, a jármű koordináta-rendszerében rögzített pont között húzott szakasz hosszaként definiáljuk. A pályán adott referenciapontot a jármű által megtett út alapján határozzuk meg, míg a jármű egy referenciapontja, a hossz tengely egy adott előretekintési távolsággal való meghosszabbításaként adódik. Az ily módon kapott hiba alapján a keresztirányú szabályzó a kívánt kormánysszöveget határozza meg egy újabb PI szabályzási kör keretében.

EREDMÉNYEK

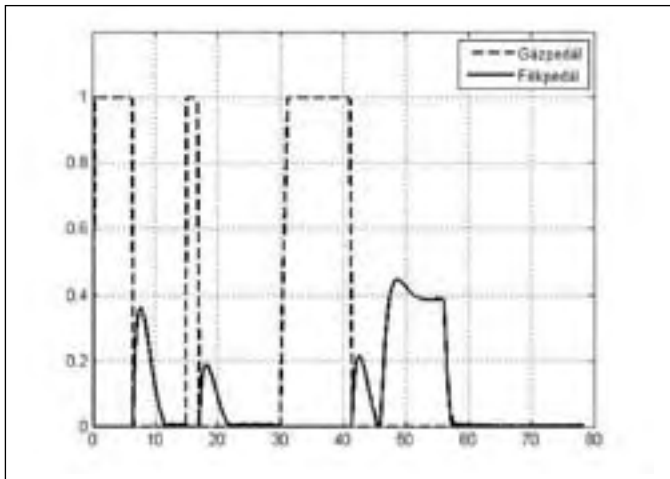
A készült vezetőmodellel több tesztet is elvégeztünk. A következőkben egy olyan esetet mutatunk be, amely mind a követési távolság, mind a követendő jármű sebességének változását bemutatja, egy viszonylag agresszív viselkedésűnek paraméterezett vezető esetén. A manőver során egy egyenesen mozgó járműpárt vizsgálunk. A követendő jármű állandó 10 m/s sebességgel indul, majd a 30. másodpercben gyorsítani kezd. Elérve a 28 m/s sebességet, a 46. másodperctől tartja azt, amikor is lassítani kezd, egészen 5 m/s sebességre. A jármű sebessége a 6. ábrán, pontvonallal jelölten látható. A követési távolság kívánt értéke a szimuláció kezdetekor 24 m, ami a 16. másodpercben 14 m-re csökken. Ez a 5. ábrán, szaggatott vonallal jelölve látható.



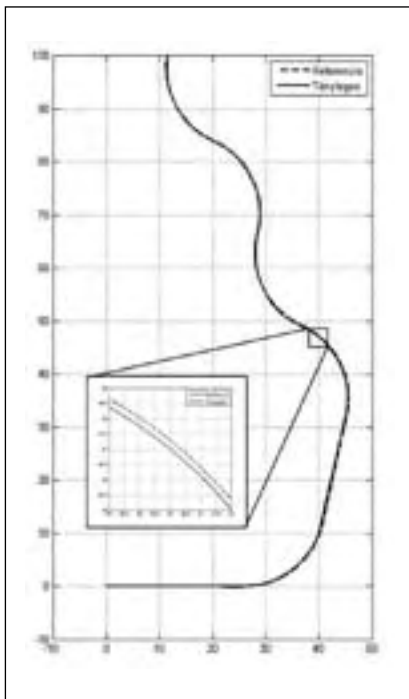
5. ábra: követési távolságok



6. ábra: sebességek



7. ábra: pedálállások



8. ábra: a pályakövetés

ximális gázpedálállás mellett gyorsít. Természetesen amint a gyorsítási szakasz befejeződik, a követési távolság beáll.

A szimuláció kezdetén a két jármű 10 m-es kezdeti követési távolságról indul, és a követendő jármű 10 m/s sebességről, míg a követő jármű álló helyzetből. A 7. ábrán jól megfigyelhető, hogy a vezető teljes gázzal igyekszik gyorsítani, majd fékezéssel közelíti meg a megfelelő követési távolságot.

A 30. másodperc környékén a követendő jármű erőteljes gyorsításba kezd, olyan gyorsulással, amely meghaladja a követő gépkocsi gyorsulási képességeit. Az 5. ábrán jól látható, ahogy a követési távolság megnő annak ellenére, hogy a jármű ma-

A kívánt követési távolság megváltozásakor a vezető elég agresszívan, maximálisan gyorsítja, majd erősen fékezve közelíti a kívánt távolságra.

A keresztirányú viselkedés tesztelésére a 8. ábrán látható trajektóriát használtuk. A teszt során a jármű állandó 10 m/s-os sebességgel haladt.

Az ábrán szaggatott vonallal jelöltük a referenciatrajektóriát, míg folytonos vonal mutatja a ténylegesen megvalósulót. Az eltérés maximális értéke a manőver során 0,2 m alatt marad.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott vezetőmodell képes egy adott trajektória mentén végigvezetni a járművet, úgy hogy közben megadott távolságra követ egy öt megelőzőt.

Fontos eredmény, hogy a kritériumoknak megfelelően, a modellel lehetőség van a bizonyos vezetői tulajdonságok figyelembevételére, mint például a fáradtság, a kor, vagy éppen a vezetői képesség. Az elvégzett tesztek azt mutatják, hogy a modell egy jó kiindulási alap a további fejlesztéshez, a vezetői tulajdonságok járműmozgásra, forgalomra gyakorolt hatásának vizsgálatához. A jövőbeli kutatások során célunk további teszteken keresztül vizsgálni a vezető-paraméterek hatását, és a modellt valóságközelibbé tenni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk az Országos Tudományos és Kutatási Alap, OTKA CNK78168 projektjének támogatásával készült. A szerzők ezúton szeretnék köszönetet nyilvánítani a támogatásért.

Irodalom

- [1] Chang, R. L., Bong, C., (2) Lane Change Simulation, with Vehicle Drive Model using ADAMS, Report, Engineering Center SsangYong Company
- [2] Chen, X. and Li, R. and Xie, W. and Shi, Q, Stabilization of traffic flow based on multi-anticipative intelligent driver model, (2009) Intelligent Transportation Systems, 2009., ITSC'09. 12th International IEEE Conference, p.1-6, IEEE
- [3] Salvucci, D.D., (2006), Modeling driver behavior in a cognitive architecture, Human Factors, Vol.: 48, Nr.: 2, p.: 362
- [4] Salvucci, D.D. and Mandalia, H.M. and Kuge, N. and Yamamura, T., (2007), Lane-change detection using a computational driver model, Human factors, Vol.: 49, Nr.: 3, p.: 532
- [5] Treiber, M. and Kesting, A. and Helbing, D., Delays, (2006) inaccuracies and anticipation in microscopic traffic models, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol.:360, Nr.: 1, p.: 71–88,
- [6] Wikipedia szócikk, online, link: http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_Driver_Mode

Egyhengeres belső égésű motor modellezése és paramétereinek meghatározása

Szabó Bálint
egyetemi tanársegéd,
BME GJT

Trencsényi Balázs
egyetemi tanársegéd,
BME GJT

Hargitai Csaba
egyetemi tanársegéd,
BME RHT

Belső égésű motorok szimulációs eljárásai hatékonyan alkalmazhatóak az optimalizálási feladatok elvégzésekor, melyre szükség lehet konstrukciós változtatások, az üzemeltetési igények és viszonyok változása esetén, például, ha az adott motort különböző tüzelőanyagokkal (is) üzemeltetni kívánjuk. Ennek elengedhetetlen feltétele a megfelelő komplexitású modell felépítése. Jelen cikkben egy egyhengeres szikragyújtású motor modelljének felépítését, a modellparaméterek meghatározásának módját, valamint a modell részbeli validációját mutatjuk be, elsősorban a szívórendszerre fókuszálva. A későbbiekben a motor hidrogénüzemre történő átalakítása során a modellt optimalizációra kívánjuk felhasználni.

Simulation models of internal combustion engines (ICE) can be effectively used in optimization processes. Optimization is needed by varying of design, operation demands and conditions. One example is if a given engine wants to be operated with different type of fuels. The optimization process requires always a model with suitable complexity. In this paper the architecture, parameterization and part-validation of the model of a single cylinder spark-ignited ICE will be introduced focusing on the intake system. First, the model is built on the gasoline engine, and then in the following papers the model will be applied in the optimization process to fit the ICE to hydrogen fuel.

CÉLKITŰZÉS

Célunk a motor modellezése, paramétereinek meghatározása. A modell felépítésének első lépéseként el kell dönteni, milyen egyszerűsítéseket végzünk. Egy belső égésű motor működése összetett, multifizikai folyamat. Áramlástani, termodinamikai és mechanikai összefüggések írják le a teljes folyamatot.

A kiválasztott egyhengeres motor eredetileg benzinnel üzemel. Távoli célunk a motor változtatható paramétereinek módosítása úgy, hogy lehető legoptimálisabban működjön a motor hidrogénnel. A motor modelljét azonban ehhez kiindulásképp a benzinüzemhez igazítjuk. Rövid távú célunk tehát, hogy megfelelő paraméterezéssel minél jobban megközelítsük a valós motor üzemi jellemzőit.

ALAPMOTOR

A kiválasztott motor egy egyhengeres szikragyújtású karburátoros benzínmotor. A motor egy áramfejlesztő részeként egy háromfázisú szinkrongenerátort hajt. A szinkrongenerátor miatt a motor stabil motorként működve 3000 fordulatot tesz meg percenként.

Egy motor modellezése során a következő főbb elemeket kell vizsgálni:

- Szívó- és kipufogórendszer
- Keverékképző rendszer
- Szelepvezérlés
- Égéstér-geometria
- Forgattyús hajtómű.

A motor szívórendszere egy szűrőházból, rövid szívócsőből, egy karburátorból és egy rövid közdarabokból áll. A szűrőházba négy furaton keresztül áramlik a levegő, majd a szűrőn áthaladva a szívócsőbe kerül. Ezt követően kerül a levegő a karburátorba. Az úszóház a karburátor alsó részén található, innen nyúlik be a főfúvóka a legszűkebb keresztmetszetet képező torokba. Itt történik a keverékképzés. A karburátor kilépő keresztmetszeténél

van elhelyezve a fojtószelep, amely a motor terhelését változtatja, szabályozva a motorba beszívott benzin-levegő keverék mennyiségét. A karburátor és a hengerfej között még egy rövid közdarabot helyeztek el, ezt követően kerül a keverék a szívócsatornába, majd a szívószelepen keresztül a hengerbe.

A kipufogórendszer még egyszerűbb felépítésű, egy hajlított csőből és egy hangtompító kipufogódobból áll.

A motor alulvezérelt, felül szelepel, egy szívó- és egy kipufogószelep gondoskodik a töltetcsereiről. A motor főtengelye fogaskerék-hajtással forgatja a vezérműtengelyt, amely síktalpú emelőn, rudazaton és himbán keresztül működteti a szelepeket.

A motornak ék alakú égéstere van. A gyertyát egy állandó mágneses gyújtórendszer működteti.

Mivel a motor a szinkron generátor miatt 3000 1/min fordulatszámmal üzemel, ezért a motor paramétereit gyárilag erre a fordulatszámra optimalizálták. Ebből következően a gyújtás mindig egy adott időpillanatban: a felső holtpont előtt 25 főtengelyfokkal történik. A motor fordulatszámát szabályozni kell, ezt egy röpszerűs reglátor végzi. A szabályozó karjához rudazaton keresztül a fojtószelep tengelyét kötötték be, és a terhelést a reglátor úgy változtatja, hogy a motor a külső terhelés változása esetén is tartsa a beállított fordulatszámot.

A motor főbb paramétereinek a következők:

Paraméter	Érték
Furat	88 mm
Löket	64 mm
Lökettérfogat	389 cm ³
Kompresszióviszony	8:1
Max. teljesítmény	8,2 kW (3600 1/min)
Max. nyomaték	25,1 Nm (2500 1/min)

A motor üzemének vizsgálata során a motor működése a lényeges, így a motornak a matematikai modelljét kell elkészíteni, vagyis a motorban lezajló mechanikai, termodinamikai áramlástechnikai törvények alkalmazásával felírhatók azok a matematikai összefüggések, amelyek a motor működését leírják. Az összefüggések felírását követően a modellt a valós rendszernek megfelelően parametrizálni kell, vagyis az egyenletekben szereplő állandóknak, melyek a vizsgálat során nem változnak, értéket kell adni. Ha jó a modell, akkor a modell szimulációja során egyező eredményeket kell kapnunk a mérések során mért értékekkel. Persze nem pontosan ugyanazt, hiszen a szimuláció az egyszerűsítések miatt sosem fedtökéletesen a valóságot, a mérések viszont mérési hibával terheltek.

A szűkebb értelemben vett belső égésű motoron legalább háromféle alrendszert kell figyelembe venni a szimulációs modell építése során:

- Töltéscsere-rendszer (szívó-kipufogó)
- Égéstér
- Forgattyús mechanizmus.

Ezen kívül persze a keverékképző rendszert is minden esetben modellezni kell, amelyet nagyban meghatároz a tüzelőanyag halmazállapota. Folyadék tüzelőanyag esetén az elpárolgott hányad becslése szükséges, míg gáz halmazállapotú tüzelőanyag esetén a keveredés gyakorlatilag a gázdinamikai viszonyok alapján modellezhető. A hűtő- és kenőrendszer modellezése esetünkben elhanyagolható, illetve hatásukat csak az egyes matematikai egyenletekben érdemes figyelembe venni.

A motormodellezésre háromféle módszer alkalmazható:

- Középtérké- vagy kvázistacioner modell
- Töltés-leürítés típusú modell
- Hullámjelenség alapú modellek.

A modell komplexitása és pontossága fenti sorrendben növekszik. A megfelelő modell kiválasztása azon múlik, milyen pontossággal szeretnénk a motort modellezni. A pontossággal arányosan növekszik a modell komplexitása is, és ezzel együtt a számítási igény. A hullámjelenség alapú belső égésű motormodellek alkotják a legrészletesebb motormodellek családját. Ezek a motor szívó- és kipufogócsatornáiban létrejövő akusztikai jelenségeinek leírására is alkalmasak, amely a motor üzemi jellemzőit és dinamikáját is nagymértékben befolyásolják.

A motormodell készítésekor célszerű az egyes alrendszereket különböző építőelemekből felépíteni, majd azokat összekapcsolva egy teljes motort megalkotni. A szívó- és a kipufogórendszer csőelemekből áll, a motorblokk és hengerfej egység pedig tartalmazza a hengert az égéstérrel, a forgattyúházat a forgattyús mechanizmussal, valamint a szelepeket.

Az alkotóelemeket fel kell paraméterezni: e paraméterek az alkatrészek geometriai, termodinamikai, mechanikai tulajdonságait írják le. Ezek egy része ismert, de a többit identifikálni kell. A modell tartalmaz olyan objektumokat is, amelyek nem valamelyik alkatrész működését modellezik, hanem valamely motorikus folyamatot szimulálnak. Ilyenek a fent említett különböző égésmodellek, a hőátadási modellek, a sűrűlódási modellek stb. A külső keverékképzésű motormodell blokkdiagramját szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra: külső keverékképzésű motormodell blokkdiagramja

A szívórendszer egyenes és hajlított csőszakaszokból és fojtásokból áll. A legelső elem a szűrőház, benne a szűrővel. A szűrőházba négy csőelemen keresztül áramlik a levegő, majd a szűrőn keresztüljutva halad a szívócsőbe. A karburátorban található a fojtószelep, amely 65°-os szög tartományban forogva szabályozza a benzin-levegő keverék tömegáramát. A szimulációk során a szívórendszer esetében a tömeg-, impulzus- és energiamegmaradási egyenletek kerülnek megoldásra. Ezekhez szükség van a csőrendszer geometriai adataira (átmérők, hosszak). Az impulzusmegmaradás egyenleteiben még szerepel a csőszűrlődési és csővesztési tényező. Előbbi a felületi érdesség alapján, utóbbit pedig a cső geometriája alapján határozhatjuk meg. A csővek pontos felületi érdessége nem ismert, de az anyagok ismerete alapján elegendően pontos közelítő értéket tudunk adni a modellben. Két olyan elem van a szívórendszerben, amelyek paramétereit mérésrel tudjuk csak pontosan meghatározni: a levegőszűrő, és a fojtószelep. Előbbi elem adott levegő-tömegáram mellett konstans nyomásesést okoz, a fojtószelep viszont funkciójából adódóan forgatása során állandó tömegáram esetén is változtatja a nyomásesést. A modellezés során a szelepen vagy a légszűrőn átáramló levegő tömegáramát a levegő állapotjellemzői, a szabad áramlási keresztmetszet és a kontrakciós tényező határozzák meg.

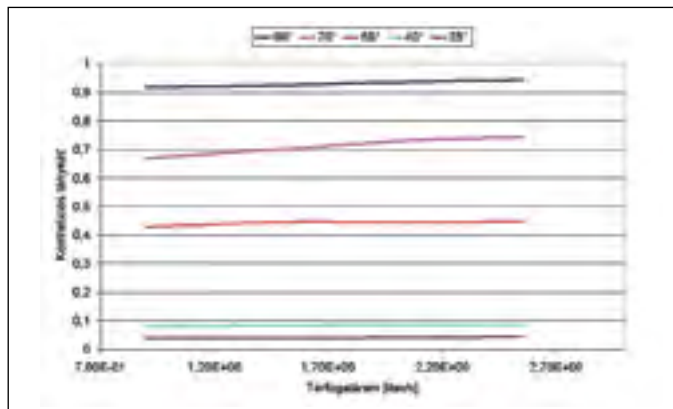
$$\dot{m} = \alpha A p_1 \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \frac{1}{R T_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad (1)$$

Ahol α a kontrakciós tényező, A az áramlási keresztmetszet, p_1 és p_2 a nyomásértékek a fojtás két oldalán, κ az adiabatikus kitevő, T_1 a hőmérséklet és R a gázállandó.

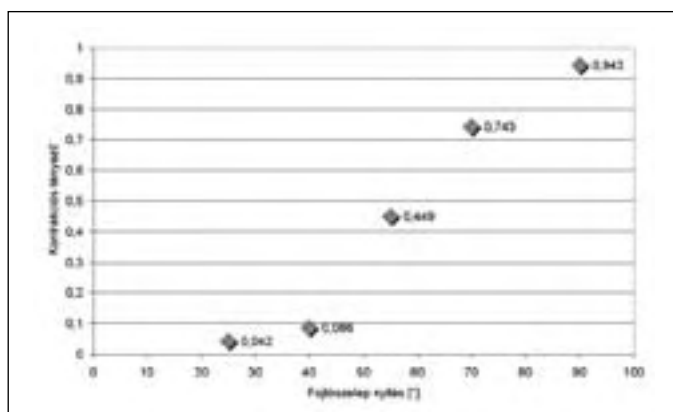
A kontrakciós tényező meghatározására kétféle megoldás van: numerikus áramlástan szimulációkkal és mérésekkel. Mi méréseket végeztünk a szívórendszer nyomásesésének vizsgálatára. Az (1) összefüggésből lehet mérésrel meghatározni a kontrakciós tényezőt úgy, hogy mérjük a tömegáramot és a nyomásesést a fojtáson, és ismerjük az áramlási keresztmetszetet. A mérés során a motor szívórendszerét egy próbapadba építettük. A próbapad feladata, hogy „működtesse” a szívórendszert, vagyis egy előre definiált tömegáramot biztosítson. Ezt egy dugattyús kompresszor segítségével tudjuk megvalósítani, aminek fordulatszámát változtatva lehetett különböző tömegáramokat beállítani. Az így beállított tömegáram kisebb, mint amekkora tömegáram a működő motorn kialakulna, de különböző tömegáramok melletti mérés elvégzésével extrapolációval meghatározhatóak a kontrakciós tényező értékei nagyobb áramlásokra is (bár modellezés során használt kontrakciós tényező nem változik a tömegáram függvényében). Az áramló közeg tömegáramának meghatározása mérőperem használatával történik. A fojtószelep szögét manuálisan lehet állítani. Ezen kívül több ponton is kell nyomásesést mérni. Ehhez ± 1 bar nyomástartományban, 0,1 Pa pontosságú, differenciálynomás-mérő szenzorra van szükség. Nyomást a fojtószelep előtt, után és a környezetében kell mérni. A fojtószelep karakterisztikájának felvételéhez a fojtószelep előtti és utáni statikus nyomások különbségét kell mérni. A fojtószelep a karburátor házába van építve a keverőtörök után. Nyomásmérésre alkalmas hely fojtószelep előtt a tüzelőanyag-fúvóka számára kialakított furat, a fojtószelep utáni nyomásmérésre pedig a karburátort követő közdarab palástján elhelyezett furatban van lehetőség. Azt nem szabad elfelejteni, hogy a fojtószelep előtti és utáni nyomáskülönbség nemcsak a fojtásból származik, hanem a csőszűrlődés és a keresztmetszet-változás nyomásvesztése is hozzáadódik. Ezért elsőként a fojtószelep kiserelésével mértük a csőszakasz nyomásváltozását. Ezt követően mértük a fojtószeleppel történő nyomásesést, és a kétféle

mérésből meg lehet határozni a keresztmetszet szűkítéséből adódó nyomásvesztés. Ugyanígy kell eljárni a légszűrő mérése esetében is. Elsőként a szívórendszer nyomásesését kell mérni a levegőszűrő nélkül, majd a nyomásesést a szűrővel együtt, hogy csak a légszűrő ellenállását számolni lehessen.

A 2. ábrán a fojtószelep-nyomásesésből számított kontrakciós tényezője látható a térfogatáram függvényében, különböző szöghelyzetekben. Látható, hogy a kontrakciós tényező nagyobb fojtószelepszögeknel (nyitott állás) csekély mértékben változik, kis szögeknel (zárt állás) pedig csaknem állandó. A szimuláció során a kontrakciós tényező nem változik, ezért egy átlagértékkel közelítjük értékét. A 3. ábra az átlagos kontrakciós tényező értékét mutatja a fojtószelep nyitási szögének függvényében.



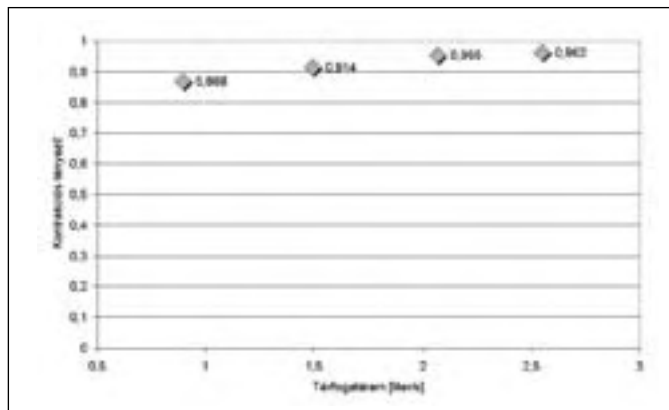
2. ábra: fojtószelep kontrakciós tényezőjének változása a térfogatáram függvényében, különböző fojtószelepállások mellett



3. ábra: a fojtószelep kontrakciós tényezője a nyitási függvényében

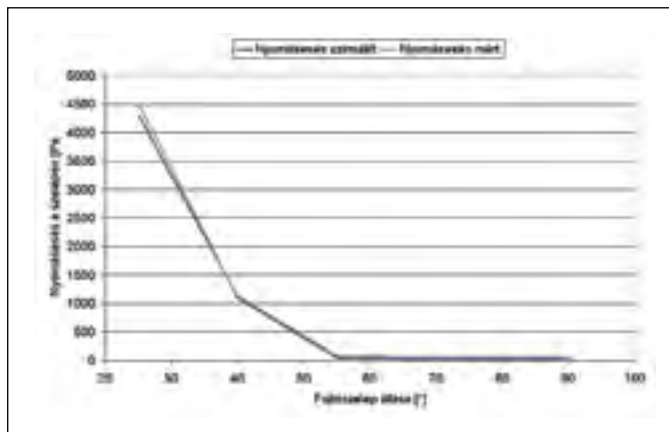
A fojtószelep nyitási tartománya 25 és 90 fok között változik, nem záródik be teljesen, legalább résnyire mindig nyitva marad. A karakterisztikán látható, hogy ha a szelepet 90°-ról indítva folyamatosan zárjuk, akkor először csak kis mértékben csökken a kontrakció, majd a közepes szögtartományban meredeken csökken, végül a zárási helyzet közelében újra ellaposodik a görbe. Ez azzal magyarázható, hogy a szögelfordulás és a keresztmetszet-változás között koszinuszos összefüggés van.

A levegőszűrő esetében is felrajzolható a kontrakciós tényező a térfogatáram függvényében (4. ábra). Levegőszűrő esetében nagyobb mértékben változik ez az érték. A kompresszor megvalósítható térfogatárama kevesebb mint 3 liter/s volt, a motornak viszont maximálisan körülbelül 10 liter/s térfogatárama lehet 3000 1/min fordulatszámon. A levegőszűrő ellenállásának meghatározásához extrapolálni kellene a karakterisztikát a 10 liter/s értékig. Összesen négy munkapontban végeztünk mérést. Mivel a mérési eredmények a tényező értékének degresszív változását mutatják, és az értékek változása csekélynek mondható, a szimuláció során itt is egy átlagos kontrakciós tényezővel dolgozunk.



4. ábra: a levegőszűrő kontrakciós tényezője a térfogatáram függvényében

A szívórendszer modellezésének végső lépése a validálás. Ehhez a szimulációs környezetben felépített szívórendszerre a mért térfogatáramot adjuk meg kényszerként, és megvizsgáljuk például a fojtószelepen a nyomásesést. Mivel a mérés és a szimulációs számítás egyaránt annál pontatlanabb, minél kisebb értékeket mérünk, ezért validálásra célszerűbb a legnagyobb mért térfogatáramot (2,55 liter/s értéket) vizsgálni. Ezen a térfogatáramon hasonlítjuk össze a szimulációs eredményeket a mért értékekkel különböző fojtószelephelyzetek mellett (5. ábra).



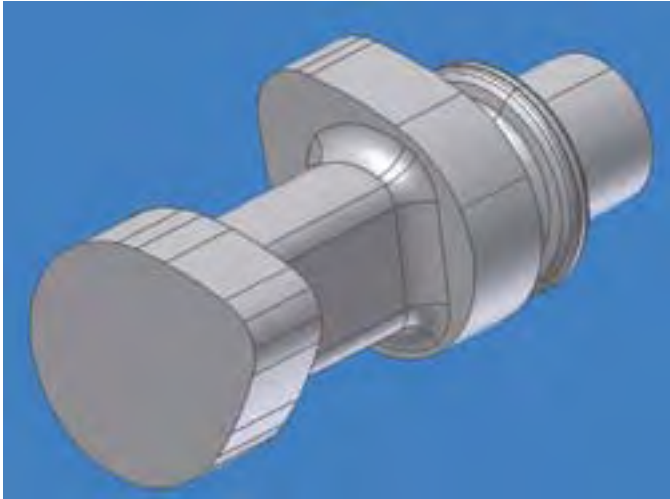
5. ábra: a mért és a szimulált nyomásesés a fojtószelepen, a nyitási függvényében

SZELEPVEZÉRLÉS

A motor szívó- és kipufogószelepeinek feladata a töltetcsere biztosítása. Egyszerűbb esetben a szelepeket a fojtószelephez hasonlóan egy változtatható fojtásként is modellezhetjük. A fojtás keresztmetszetének pillanatnyi értékét a szelepemelési görbe alapján lehet meghatározni úgy, hogy minden szelephelyzethez egy kontrakciós tényezőt rendelünk. Természetesen zárt szelep esetében ennek értéke zérus.

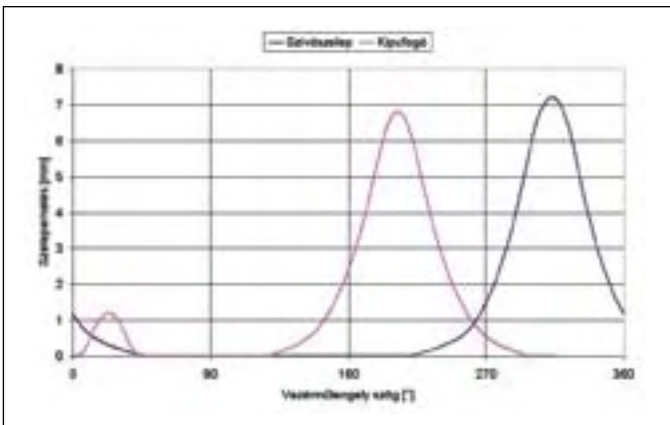
Elsőként tehát meg kell határozni a szelepvezérlési diagramokat, amelyek a főtengely helyzetéhez viszonyítva adják meg a szelepemelési görbéket. Ennek megoldására elsőként elkészítettük a vezérműtengely térbeli modelljét egy 3D szkennelési eljárással (6. ábra). A térbeli modellből már lehet metszetet készíteni és a bütökpofilt tetszőleges beosztással fel lehet venni. Illetve nemcsak a szívó és kipufogó bütökpofil szerkeszthető meg külön-külön, hanem azok egymáshoz viszonyított helyzete is megadható.

A szelepemelési görbéket a közbenső elemek (emelőrud, himba) még módosítják a bütökpofilhoz képest, de azokat nem tudtuk közvetlenül megvizsgálni. Ezért a szelepfedél levételével megmértük a maximális szelepemelés értékét, valamint a nyitási és zárási



6. ábra: a vezérműtengely térbeli szkennelt képe

időpontokat endoszkóp segítségével. Ezekből az értékekből meg tudjuk határozni, hogy a bütyökgéometriát hogyan módosítja a szelepemelő mechanizmus, és azt is, hogy a főtengely adott pozícióhoz képest mikor nyitnak és zárnak a szelepek (7. ábra).



7. ábra: szelepemelési diagram

A szelepvezérlés mérése során a következő jelenséget figyeltük meg: a szívószelep zárása előtt a kipufogószelep újra nyitott kismértékben. A kompresszióütemben kismértékben újra nyitó kipufogószelep kézi behúzással indítható motoroknál gyakran használatos, hogy a kompressziómunka csökkentésével könnyítsék az indítást. A kis fordulatszámon aktív dekompresszor bütyök hatását figyelembe kell vennünk, amikor égésfolyamat nélkül indikált nyomással kívánjuk modellünk helyességét ellenőrizni.

HENGER, ÉGÉSFOLYAMAT

A henger modellezése során két feladatot kell megoldani: az égéster geometriájának megadása, és a hengerben lezajló termodinamikai, áramlási folyamatok modellezése. A geometriai adatokat mérésel meg tudjuk adni, de az égésfolyamat definiálása már komplexebb feladat. A legegyszerűbb esetben az úgynevezett Wiebe-féle égésmodellt használjuk. Ez egy kétfázisú égésmodell, az egyik zónában a még el nem égett keverék, a másikban a már elégett égéstermék van. Az égésfüggvényt ebben az esetben egy közelítő függvénnyel adják meg (2).

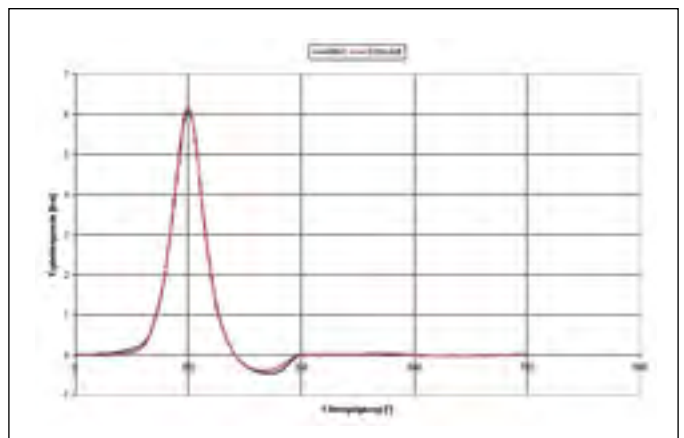
$$x = \frac{\pi}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - t_{\text{ign}}}{t_{\text{burn}} - t_{\text{ign}}} \right)^2 \right) \right) \quad (2)$$

Ahol a sebességszámítógép, m a formaszámítógép, y a relatív égéstartam, x pedig a kumulatív égési sebesség.

Ezen kívül még modellezni kell a falvesztéseket is, vagyis a hengerfalnak, dugattyútetőnek és hengerfejnek átadott és az általuk elvezetett hőt is. Erre az úgynevezett Woschni-féle falvesztési függvényt alkalmazzuk.

A motor modellezéséhez még a forgattyús mechanizmust kell beépíteni a szimulációs környezetbe. Egy mechanikai modellt fogunk készíteni, amelyenél a geometriai adatokon kívül meg kell adni a sűrítési függvényt is. A szimulációk során kétféle üzemmódot választhatunk. Vagy konstans fordulatszámot végezzük el a számításokat, ez esetben a forgattyús hajtóműnek csak kinematikáját vesszük figyelembe, egy fix fordulatszámkényszerrel adunk meg. Modellezhetjük dinamikusan is a forgattyús mechanizmust, de ebben az esetben meg kell adni a főtengely inerciáját, és nyomtérhelést kell ráadni, a fordulatszámot pedig a számítás eredményeként kapjuk.

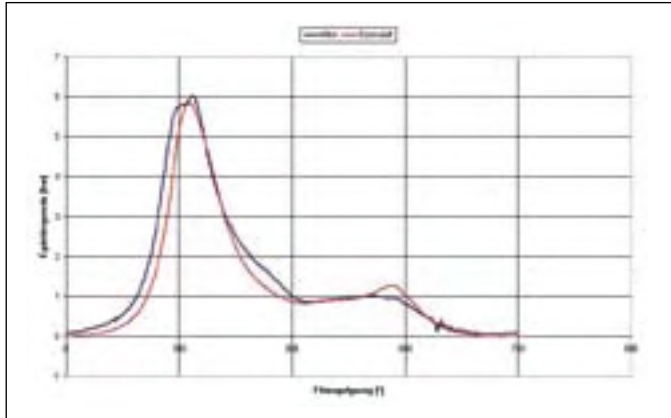
A motor hengerében lezajló folyamatok jól jellemezhetők az égéstérnyomás ábrázolásával a főtengelyszög függvényében ($p - \varphi$), illetve a nyomást a pillanatnyi hengertérfogat függvényében felvéve kapjuk az indikátordiagramot ($p-V$). A szimulációból egyszerűen kinyerhető ez a diagram, mérésel már annyiban nehézkes a megvalósítás, hogy speciális mérőeszközökre: mérőgyertyára és főtengelyre szerelt szögjeladóra van szükség. Elsőként kompressziót mértünk a motornak, vagyis lehúzott gyertyapipa és elzárt benzincsap mellett indítómotor segítségével forgattuk a motort, és mértük a hengernyomást a szögelfordulás függvényében. Ugyanezt a diagramot a szimulációból is megkapjuk, ahol a befecskendezett benzin mennyiségét nullára állítjuk (8. ábra).



8. ábra: égés nélküli indikátordiagram

A két görbe szinte teljesen fedi egymást, vagyis a motor szívó- és kipufogórendszerét, a szelepvezérlést, illetve a hengergeometriát is pontosan sikerült modellezni. Egy 8-as kompresszióviszonnyal rendelkező motornak a sűrítési végnyomása 12-13 bar körül van. Az ok, amiért a vizsgált motor végnyomása csak 6 bar az, hogy a dekompresszor funkció a kompresszió kezdetén kiengedi a levegőt a hengerből, ezáltal kisebb lesz a kompresszió-végnyomás, és ezáltal a kompressziós munka. Végezetül még egy mérést végeztünk, de ezúttal égésfolyamattal. Az indikátordiagramokat a mérési és szimulációs adatok alapján a 9. ábra mutatja.

Az égési csúcshőmérséklet nem sokkal magasabb, mint a kompresszió-végnyomás értéke. Ez azért van, mert a mérést üresjáratban végeztük el, azaz a fojtószelep közel zárt helyzetben van, a motor effektív teljesítménye közel zérus. Ugyanezekkel a beállításokkal a szimulációból is hasonló értékeket kaptunk. A nyomásdiagramban jól látható, hogy az égésfolyamat elhúzódik (a nyomáscsökkenés meredeksége kisebb a nyomásnövekedés meredekségénél), vala-



9. ábra: indikátordiagramok

mint a kipufogó ütemben a felső holtpont felé tartó dugattyú az égéstérben lévő gázokat kitolja (kis mértékű nyomásnövekedés kipufogás közben). Az égés folyamán a nyomásváltozás némileg eltér a mérési adatoktól, ami főként az égésfolyamat modellezésének tudható be, bár a lassabb égést a Wiebe paraméterek változtatásával igyekeztünk figyelembe venni. A későbbiekben terhelt motor indikátordiagramját is mérni fogjuk, így könnyebb az égésfolyamatok modelljének hangolása.

ÖSSZEFOGLALÁS

Eddig a szívórendszer, a vezérmű, valamint az égéstér-geometria paramétereinek meghatározását és modellezését végeztük el. A következőkben további méréseket kívánunk végezni annak érdekében, hogy a modellt validáljuk a motor több üzemállapotában is. Ehhez szükség van még a keverékképzés, valamint a motor fordulatszám-szabályozó paramétereinek további identifikálására, illetve hangolására. Amennyiben sikerül a motor paramétereit a teljes működési tartományban megfelelően beállítani, vagyis úgy, hogy a modell eredménykarakterisztikái a valós motoréval megegyezzenek, akkor a szimulációs modell a motor hidrogénüzemre történő átállítása során az optimalizálási folyamatban alkalmazható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka az NKTH támogatásával az OM-00168/2007 számú projektben valósult meg.

Irodalom

- [1]Dezsényi, Emőd, Finichiu,: Belső égésű motorok tervezése és vizsgálata, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1989
- [2]Stukovszky, Kalmár: Belső égésű motorok folyamatai, Műegyetemi Kiadó, 1998
- [3]Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetemi Kiadó, 2000

A válság kialakulása és tipikus jelei a járműiparban – „A válság előzményei és természete”

Stukovszky Tamás

Budapesti Corvinus Egyetem

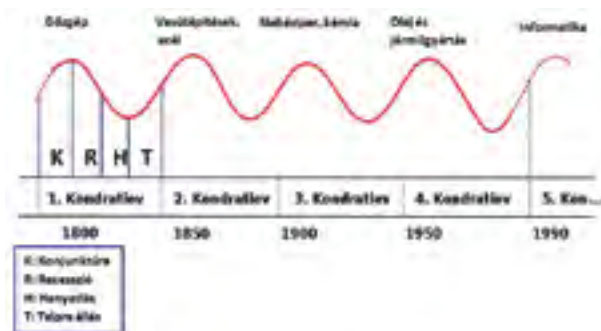
Ma már történelmi tény, hogy mind a világgazdaságban, mind annak egy igen fontos és meghatározó húzóágazatában, a járműiparban is 2008-tól gazdasági világválság zajlik. E gazdasági világválság járműipari hatásait tárgyaló cikkünkben dr. Palkovics László professzorral megvizsgáltuk a világválság hatásait a magyar járműiparra. Részletesen foglalkoztunk a felmerülő problémákkal (a kereslet drasztikus visszaesése, pénzügyi megszorítások, elbocsátások, vevői igények megváltozása) és azok lehetséges, illetve megvalósult kezelési módjaival (direkt munkaerő optimalizálása, tehetségek megőrzése a K+F területén). Jelen cikk bemutatja az aktuális gazdasági világválság általános kialakulásának néhány jellemzőjét, rávilágítunk a válságok természetére és általános ciklikusságára és feltárul a válság a haszonjárműiparban történő megjelenésének folyamata.

The financial crisis from 2007 to the present is considered as the worst financial crisis since the Great Economic Depression (1929-1933). The immediate cause or trigger of the crisis was the bursting of the United States housing bubble. Already-rising default rates on subprime and adjustable rate mortgages began to increase quickly thereafter. Low interest rates and large inflows of foreign funds created easy credit conditions for a number of years prior to the crisis, fueling a housing construction boom and encouraging debt-financed consumption. The crisis rapidly developed and spread into a global economic shock, resulting in a number of European and North American bank failures, declines in various stock indexes, and large reductions in the market value of equities and commodities. As of the beginning of 2009, nearly all of the vehicle companies of the world in the automotive industry were hit hard by the economic slowdown across the national boundaries. Thousands of employers lost their jobs and needed governmental help, as well as the sectors who suffered the most of the financial crisis: the banking sector and the automotive industry. This paper gives a short inside into the Hungarian situation through the example of some companies.

A VÁLSÁG TERMÉSZETE ÉS CIKLIKUSSÁGA

Az ember élete egyesek szerint megfeleltethető egy hatalmas hullámvasútnak, amiben a felfelé és lefelé haladó szakaszok váltogatják egymást kiszámíthatatlan módon, más-más meredekséggel. Ugyanez elmondható a gazdasági és pénzügyi életről is, a konjunktúrák és recessziók különböző ütemben, de folyamatosan váltották egymást. A huszadik század gazdasági gondolkodói felismerték ezeket a hullámokat, és megfigyeléseik alapján megpróbálták leírni őket. Nyikolaj Kondratyev az 1920-as években körülbelül ötven-hetven év hosszú ciklusokat írt le. Szerinte ezen ciklusok leszálló ágát, a korszakalkotó technológiai és műszaki felfedezések jellemzik, míg a ciklus felszálló ága éppen ezeknek a felfedezéseknek a gyakorlati felhasználásának köszönhető. Tehát az új találmányok és felfedezések felhasználása gazdasági növekedést eredményezhet, ami többek között a hatékonyság és a termelékenység növekedésében, a piacok és szereplőinek bővülésében, valamint új áruk és szolgáltatások megjelenésében manifesztálódhat. Természetesen az is könnyen észrevehető, hogy a leszálló ágakban a fenti pozitív események hiánya vagy nem elégséges mértéke szab gátat a növekedésnek. A történelem során eddig mindössze öt-hat Kondratyev-ciklusról beszélhetünk érdemben, ezek a következők voltak.

- 1770-es évektől az 1830-as évekig: A gőzgép
- 1830-as évektől az 1870-es évekig: A vasútépítések kora
- 1870-es évektől az 1900-as évekig: A nehézipar kora
- 1900-as évektől az 1970-es évekig: Az olaj és a járműgyártás kora
- 1970-es évektől napjainkig: Az informatika kora
- Napjainktól, ki tudja meddig: A nanotechnológia kora

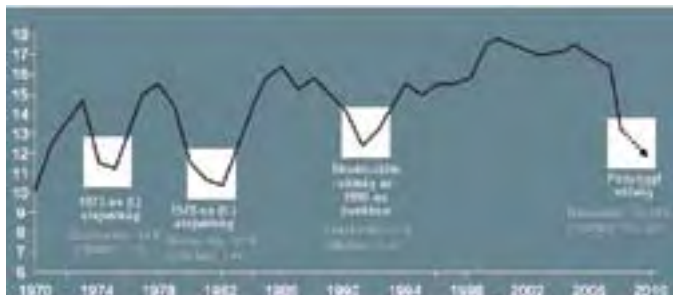


1. ábra: a Kondratyev-hullámok szerkezete

A történelem egyik legdinamikusabb fejlődési periódusa volt a második világháborút követő 1973-ig tartó időszak, hiszen 1950-től 1973-ig Nyugat-Európában a GDP éves átlagos növekedése valamivel több mint 4%-os, ugyanezen időszakban Japánban a GDP éves növekedése 9% körüli volt. A gazdaság ilyen jellegű bővülése a világháború utáni természetes konszolidáción kívül érdemben a háború előtti Kondratyev-hullám recessziós időszakának innovációin, találmányain alapulnak.

Az Egyesült Államok győztes nagyhatalomként, érintetlen háttországgá vált a teljes műszaki és technológiai fejlődés motorjává, és vitathatatlanul az egész világ leggazdagabb országává. Érdekes megfigyelni, hogy az USA kihasználva a fejlesztéseinek és találmányainak köszönhető gazdasági növekedést, megelőzte a többi országot, és korábban lépett be a következő Kondratyev-ciklusba! Bár a legtöbb szektorban valóban korábban érte el a következő Kondratyev-ciklust, mégis az

Egyesült Államok személyautó-gyártása rendre lemarad az európai és főleg a japán riválisokkal szemben, minőségi és árproblémái, illetve ciklikus visszaesései miatt, hiába a korábbi előnyök gazdasági téren. Ezekben a szakaszokban az értékesítés átlagosan a négyötödére esett vissza, és 2 évre volt szükség a kilábaláshoz a visszaesésből. Mégis, az alábbi ábra válságai inkább úgynevezett soft-landing válságok voltak, ami azt jelenti, hogy az ország gazdasága relatíve jobban vészelte át a recessziót és sokkal korábban talpra tudott állni (pl. dot.com lufi). Ezzel szemben az 1929–'33-as és a 2008-as gazdasági világválság inkább a mélyebb recessziót és sokkal lassabb konszolidációt eredményező hard-landing válság típusba sorolható.

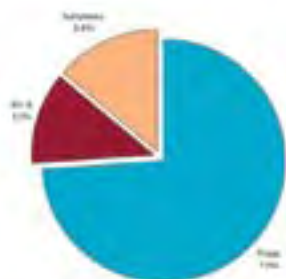


2. ábra: az értékesítés alakulása az Egyesült Államok gépjárműpiacán

A 2008-AS VÁLSÁG KIALAKULÁSA

Az 1990-es évek közepétől indult a másodrendű jelzálog-hitelezés gyors növekedésnek az USA-ban. Ezek a subprime jelzáloghitelek a nagyobb kockázatot jelentő adósoknak nyújtott hiteleknek tekintik, amelyek az elsőrendű (prime) hitelekhez 200–300 bázisponttal magasabb kamatozásúak. A subprime adósok kategóriájába tartozó ügyfeleknek vagy voltak már a múltban törlesztési problémáik, vagy nem rendelkeztek megfelelő hiteltörténettel. A két típuson kívül az úgynevezett Alt-A kategóriát különböztetik meg, ebbe azok az amúgy jó adósok tartoznak, akiknek nincs megfelelő jövedelemigazolásuk vagy kifejezetten magas az adósságuk jövedelemhez viszonyított aránya.

Az IMF becslése szerint 2006 végén az USA teljes jelzáloghitel-állományának 12%-a tartozott a subprime, további 7%-a pedig az Alt-A kategóriába, míg 2007 januárjában ez az adat már 14%-nyi subprime és 12%-nyi Alt-A kategóriájú hitel volt.



3. ábra: az Egyesült Államok teljes jelzáloghitel-állományának megoszlása az adósok besorolása szerint 2007 januárjában. Forrás: IMF

A subprime és az Alt-A hitelek gyors expanziója a 2004–2007 közötti időszakra koncentrált. Ezt bizonyítja, hogy a subprime és az Alt-A hitelek együttes részesedése az új hitelnyújtásból a 2004. évi 10%-ról 2005-ben 13%-ra, 2006-ban 19%-ra, 2007 januárjában 26%-ra, míg 2007 év végére már 40%-ra emelkedett. Ez volt az az időszak, amikor az amerikai ingatlanárak folyamatos emelkedése lehetővé tette a labilis anyagi helyzetű adósok számára a hitelfelvételt.

Az Egyesült Államokban 2002-ben az ingatlanvásárlás mint befektetési forma egyre inkább elterjedt, hiszen körülbelül évi 10–15%-os értéknövekedéssel lehetett akkoriban kalkulálni. Ezt jelentősen elő-

síthette a likviditási bőség az USA-ban – többek között az igencsak alacsony kamatszint miatt – aminek következtében egy komoly hitelezési boom-ot figyelhattunk meg 2002 és 2008 között.

Az amerikai hitelpiac fenti folyamatait követve a pénzintézetek Európában és Magyarországon is olyan ügyfelek felé nyitottak, akiknek a korábbi hitelezési rendszerben nem adtak volna hitelt. Ezt itt is egy olyan hitelezési verseny generálta, amelyben a cél az előző évi növekedés és a konkurencia növekedésének felülmúlása volt, így a bankok egyre kevésbé „megbízható” ügyfeleknek folyósítottak hitelt, ami olcsó volt. Sokan költenek hitelek terhére, aminek fedezetül lakóingatlanuk, járműveik szolgálnak.

Többen nem jól becsülték fel hiteltörlesztő képességeiket és az első komolyabb pénzügyi megingásra, ami a törlesztőrészek megugrásával járt, nem tudták fizetni a részleteket, ez magával rántotta az ingatlanpiacot, és így összességében még több hitel dőlt be. Így a befektetési morál és a tartós cikkek vásárlása még szignifikánsabban csökkent. Hatalmas mértékben nőtt a non-performing (nem teljesítő) hitelek részaránya (legmagasabb értéke pl. az USA-ban államoként átlagosan 34,2% volt), ez a mortgage-értékpapírok (jelzáloghitellel fedezett értékpapírok) likviditásának elértéktelenedését is magával vonta, és óriási veszteségeket generált a pénzügyi szektorban. A hitelezéseket azonnal visszafogták, ami az eddigi hitelközpontú fogyasztás jelentős csökkenésével járt, ez pedig egyre mélyítette a recessziót. A válság más ágazatok felé is megkezdte kiterjedését (például a jármű- és a gépipar felé).



4. ábra

Utólag visszatekintve szinte félelmetes a vállalatok és a pénzintézetek felelőtlensége, az hogy milyen könnyelműen (akár 0% önerővel, és az igénylő alaposabb vizsgálata nélkül) adtak hitelt a hitelezési kockázatok figyelmen kívül hagyásával. A másik kulcsproblémát az jelentette, hogy a hitel fedezetül maga az ingatlan jövőbeli értéke szolgált, a pénzintézetek mintha nem vették volna figyelembe, hogy ez az ütemű növekedés nem tartható a végtelenségig. Ez visszavezethető egyfajta túlzott nyereségvágyra, ami közvetve az evolúciós fejlődés-váagnak is megfeleltethető. Ez a fejlődés-vágy napjainkban talán a tudósokban, a sportolókban és az üzletemberekben a legerősebb, hiszen minden nap arra törekednek, hogy a korábbi adatoknál jobb, magasabb, fejlettebb, nyereségesebb stb. eredményeket érjenek el. A túlzott sikerorientáltság miatt még egy szinten tartó eredményt is csak kudarcként élik meg, és egymással is folyamatosan konkurrálnak. Így fordulhatott elő, hogy a bankok szinte nem is törődtek vele, hogy kinek adnak hitelt, csak arra koncentráltak, hogy minél több ügyfelet magukhoz csalogassanak.

AZOK, AKIK NAGYOT BUKTAK

Neves ingatlanirodák mentek csődbe, és rántották magukkal a mélybe a számukra hitelt nyújtó pénzintézeteket. Az első nagy áldozat a 2007 utolsó 3 hónapjában több mint 770 millió \$-os veszteséget elkönyvelő KB Home Ingatlanfejlesztő cég volt, akit olyan neves cégek követtek a

teljesség igénye nélkül, mint a Royal Bank of Scotland, Morgan Stanley, Credit Suisse, JP Morgan Chase vagy a Bank of America. A válság jelei egyre inkább megmutatkoztak Európában is. 2007 augusztusában a BNP Paribas több alapját is felszámolni kényszerült, a Deutsche Bank is milliárdos veszteséggel kalkulált. Hiába próbált az Európai Központi Bank, a Fed és a Japán Jegybank minél több pénzt injektálni a pénzpiacba, egy hónapra rá már a civil lakosság körében is érezhető a pánik. Például Nagy-Britanniában egyetlen nap alatt több mint 1,5 milliárd fontot vettek ki az emberek a számláikról, ezzel komoly likviditási problémát okozva a bankoknak. Mialatt mindenki a történetekre keresi a magyarázatokat, és igyekszik befektetéseit, vállalkozásait menteni, a világ jegybankjai – élen a Feddel – próbálják megmenteni a bajba jutott bankokat, több száz milliárd dollárt pumpálva beléjük, vagy részvényeik jelentősebb részét felvásárolva (Pl.: AIG – a részvények 79,99%-a került a Fed kezébe). 2008. októberben világméretű összehangolt kamatsökkentést hajtottak végre a világon, ami rövid ideig javított a piaci viszonyokon, de hamarosan a tőzsdék ismét lejtmenetbe váltottak. Ugyanebben a hónapban Izland, Magyarország és Ukrajna az IMF-től kapott hitellel tudta stabilizálni gazdaságát.

Az IMF által nyújtott mentőcsomagok felvetik a „too big to fail” (túl nagy ahhoz, hogy elbukjon) és a vele logikailag párhuzamos „moral hazard” (erkölcsi kockázat) kérdését is. Fennállt annak a veszélye, hogy egyes feltörekvő országok az eddigi nyújtott IMF-csomagokat látva felbátorodnak, és ennek szellemében túlzott kockázatot vállalnak, és pont akkor fogják finanszírozási pozíciójukat túlfeszíteni (az állami kiadások növelésének nyomását szinte kivétel nélkül minden kormány érzi, ez a GDP 10%-át is kiteheti), amikor az őket körülvevő világ átalakul és a lehetséges megmentők alól is elfogyhat a talaj.

A VÁLSÁG KIALAKULÁSA A JÁRMŰIPARBAN

A pénzpiacokon kívül a legnagyobb mértékben talán a járműipart érintette a válság. A haszonjárműiparban megfigyelhető volt egy tendencia, ami szerint, ha a pótkocsik rendelésének száma csökken, akkor a piac egészére várható volt egyfajta visszaesés. 2008 közepén a rendelésállomány erősen visszaesett az iparági statisztikák alapján, a pótkocsipiacon. Mégis maga a válság néhány nap alatt realizálódott, pont akkor, amikor a szokásos évi hannoveri autóipari vásár volt. Ezen az eseményen gyakorlatilag részt vett minden fontosabb piaci szereplő, és míg az első két napon minden a normális kerékvágásban folyt, addig a vásár végén már egymást kezdezték a résztvevők, hogy miként zuhanhatott össze ilyen tempóval az orosz piac, és mi lesz így az európai piac sorsa. Már a vásáron érezhetően csökkent a megrendelések száma.

Figyelemre méltó, hogy a válság előtt nagymértékben felfutott a megrendelések száma és az egész iparágban egyfajta felfokozott kapacitásigény lépett fel. A megrendelések nagyobb száma miatt minden gyár, előállító üzem próbálta növelni gyártókapacitását, és dörzsölte tenyerét a reményeik szerint véget nem érő megrendelészuhatag miatt. Gyakori eset volt a szokásos napi két műszakos munkarend helyett a 3-4 műszak, néha akár még hétvégi munkavégzéssel kiegészítve, hogy ki tudja elégiteni a beérkező megrendeléseket. A gyártósorok maximális „fordulatszám” dolgoztak, de így is maradtak még kielégítetlen vevői rendelések. Senki sem számított rá, hogy szinte hetek alatt vesz a piac másik irányt, és sorra mondják vissza a már akár hónapokkal korábban beérkezett megrendeléseket.

A 2008-as válságban érintett hazai és külföldi cégeknek egyaránt több olyan problémával kellett szembenézniük, ami a vállalatok hosszú távú egzisztenciája mellett a mindennapos működés és munkavégzés feltételeit veszélyezteti. Több cégnél tömeges elbocsátásokra került sor, és további leépítésekre lehetett számítani, amennyiben a piaci szereplők nem teszik meg a válság konszolidálásához szükséges lépéseket. A nagyvállalatok bevétele csökkent, a megrendelések számának drasztikus visszaesése miatt, ráadásul a recessziót közvetlenül megelőző hónapokban ezek a korábbi megrendelések folyamatosan emelkedtek, ami a gyártókat egyre növekvő kibocsátásra ösztönözte,

ami végül is eladhatatlan készletekben jelent meg. A reménybeli nagyszámú eladás miatt ezek a vállalatok a raktárkészleteiket is teljesen feltöltötték, így amint a válság végigsöpört a világon, a gyárak ott maradtak visszamondott megrendelésekkel, tele készáru-raktárakkal, amire még erősen nyomott áron sem volt kereslet. A kulcskérdés az volt, illetve a mai napig az, hogyan stabilizálják a járműipar vállalatai magukat pénzügyileg. Az első kiesett megrendelések lassan továbbgyűrűztek, és az egészen kicsi beszállítóktól kezdve a csúcsvállalatokig mindenkit elért a válság. Európában kezdtek bedőlni a beszállítók és a kisebb gyárak.

Sajnos a kis cégek, beszállítók nagyobb veszélynek vannak kitéve egy gazdasági visszaesés során, ugyanis méretükből adódóan sebezhetőbbek. Általában gazdálkodásukban fontos szerepet kap a felvett kölcsön, viszont a válság következtében a fizetésekkel csúsztak az ügyfelek, és ez gyakran vezetett az elmúlt időszakban felszámoláshoz, mivel nem tudták fizetni a törlesztőrészeket. Ezek a vállalatok szintén méretükből fakadóan nem tudnak olyan széles termékkeresletet kielégíteni, hogy abból egy termékcsoporthoz valamilyen okból történő kiesése esetén likviditási problémák nélkül lehessen finanszírozni tovább a céget.

ÖSSZEFOGLALÁS

A gazdasági világválság kialakulásának éveiben a következő szakaszok állapíthatók meg:

- 2007. augusztusa: Jelzáloghitel-válság
- 2008. 1. negyedév: Amerikai pénzpiaci buborék kidurranása
- 2008. szeptembere: Bizalmi válság => Lehman Brothers
- 2008. 4. negyedév: Általános recesszió, ami multiplikálódott Kelet-Közép-Európában.

Észrevehető, hogy a válság bekövetkeztéhez a hosszú ideig alacsony globális kamatkörnyezet, és a globalizáció eredményeképpen kialakuló egész világra kiterjedő pénzügyi és finansziális egyensúlytalanságok vezettek. A válság komoly méretében a gyors lakásár-infláció és a pénzügyi eszközök szisztematikus drágulásának, és a jelzáloghitelek értékpapírosítása miatti összekapcsolódása, valamint a piaci „lufik” kipukkanása játszott szerepet. Érdekes megfigyelni, hogy a válság drasztikus elterjedésében milyen fontos szerepe volt a világ gazdasági és pénzügyi integrációjának, sokkal gyorsabban söpört végig a földtekén, mint bármelyik korábbi válság. A válság a járműiparban is rendkívül gyorsan, gyakorlatilag néhány nap alatt alakult ki. Senki sem számított rá, hogy szinte hetek alatt vesz a piac másik irányt, és sorra mondják vissza a már hónapokkal korábban beérkezett megrendeléseket. A nagyvállalatok megrendelése drasztikusan csökkent, ami a beszállítóinál gyorsan végiggyűrűzött, Európában kezdtek bedőlni a beszállítók és a kisebb gyárak. A világ sok országában a kormányoknak kellett mentőövet dobniuk a bankjaiknak, biztosítóinak és például a nemzeti autóiparnak. Volt, ahol ez sem volt elég, csak nemzetközi összefogással lehetett enyhíteni a károkon. Munkahelyek ezrei szűntek meg, és gyárak álltak le a termeléssel, hiszen a megrendelésállomány megcsappant, nem volt mit előállítani.

Irodalom

- [1] Nagy M., Szabó E. V.: „Az amerikai másodrendű jelzáloghitel-piaci válság és hatásai a magyar bankrendszerre” MNB Szemle (2008/04.)
- [2] Tímár L.: „Öt kérdés és három állítás” VOSZ archívum (2009.03.26.)
- [3] Dr. Nagy S. Gy., Dr. Palánkai T.: „A jelenlegi világgazdasági válság és kísérletek a kezelésére.” (2009) In: Magas István (szerk): Világgazdasági válság 2008–2009. Aula Kiadó, Budapest. 223–247. o.
- [4] IMF, „Global Financial Stability Report” (Washington), (2008 October)
- [5] Collins Ch., „The crisis through the lence of history” Finance and Developement (2008/12.)

A magyar közúti járműprogram – sikertörténet mai hatásokkal és tanulságokkal

Kocsis Bence

BME, Elektronikus Jármű és
Járműirányítási Tudásközpont

Pomázi Gyula

Provice Kft.

A magyar nagyipari járműgyártást az 1968-ban indított közúti járműprogram alapozta meg, a '90-es évek elején elkezdődött járműipari struktúraváltás erre az alapra épült. A program eredményeképp létrejöttek a járműipar és kapcsolódó ágazatok nagyvállalatai, a velük együttműködő beszállítói hálózatok, kialakult a szükséges képzési háttér, valamint létrejöttek a K+F+I-hoz kapcsolódó különböző intézmények. Jelen cikk egy kutatási projekt első fázisaként ennek a programnak az eredményeit foglalja össze – mai szemmel. A kutatási projekt célja, hogy analógiát építve az akkori és a mai helyzet között olyan következtetéseket vonjon le, amelyek hasznosíthatók a hasonló méretű ipartelepítési projektek kapcsán.

The large scale industrial vehicle production of Hungary was established with the vehicular vehicle program in 1968 which substantiated the change in the structure of the automotive industry in the 90tees. As a result of this program, large companies of the automotive industry and its related sectors came into existence, along with their respective supplier chains, the required educational institutes and the research and development background. This article as a first part of a research project tries to summarize the results of this program – from present point of view. The research aims to draw a parallel between then and now and make conclusions which can be utilized in similar large-scale industrial investments.

A PROGRAM ELŐZMÉNYEI ÉS GAZDASÁGI KÖRNYEZETE

Az 1968-as közlekedéspolitikai koncepció egyik oldalról a keskeny nyomtávú vasút végét, míg másik oldalról a magyar járműgyártás első lépéseit jelentette. Negyven éve távlati fejlesztésnek nevezték, ma a stratégia illene rá a legjobban. 1960-ban a vasúthálózat 9300 km hosszú volt, aminek húsz százaléka teljesen veszteségesen üzemelt. A veszteséges vonalak a teljes forgalomból a személyszállításban 1,2 százalékot, míg a teherszállításból három százalékot tettek ki. Ebből adódóan a fejlesztési forrásokból sem jut ezekre a pályaszakaszokra. Egyéb szállítási formák még csak ekkortájt vannak kialakulóban. 1963-ban kezd a szállítási válság eluralkodni az országon, ez az elégtelen közúti, vízi, légi és csővezetékes szállítás kiépítése, illetve a szállítás és a termelés teljes összehangolatlansága miatt következett be. Ennek eredményeképpen a szállítási kapacitások alig tudták kielégíteni a termelést, és 1965-re teljes fejetlenség lett úrrá az országon. Először 1963-ban merült fel miniszteri szinten a jármű- és traktorfejlesztés koordinált elindítása. A döntés viszont csak később, 1964. december 28-án született meg, ekkor azonban már javában tartott a válság. Ennek ellenére a járműipar kiemelt fejlesztésű gépipari ágazat maradt.

Korábban kiemelt ágazati státusza hiányában, a költségvetésnek csak töredéknyi részét kapta meg támogatásként, amit 1959-től a Műszaki Fejlesztési Alap forrásaival egészítettek ki. 1960-ban a költségvetésből való részesedés 20,4 millió forint volt, míg a MÚFA-ban 80 000 forint állt rendelkezésre. A korlátozott források következtében csak alacsonyszámú fejlesztést lehetett előirányozni, és tovább rontotta a képet, hogy a gyártás- és gyártmányfejlesztés között egyenlőtlenül 80% – 20% arányban oszlott meg a költségvetési támogatás. Ebből adódóan a gyártmányfejlesztés folyamatosan lemaradt a gyártásfejlesztéshez képest. Az 1959–60 évre előirányzott ágazati szintű fejlesztések:

- Célgépek beszerzése
- Összeszerelési technológiák (a gyárak profiljának megfelelően)
- Új öntészeti eljárások
- Jobb minőségű alapanyagok.

A valóságban ezen programoknak csak egy része valósult meg, de amelyek megvalósultak, azok nagyban hozzájárultak a termelékenység növekedéséhez, így pl. a precíziós és kokillaöntészet bevezetése az öntvények minőségének ugrásszerű javulását tette lehetővé, a célgépbeszerzés jelentős hatással volt a termelési folyamatok hatékonyságára. A nagy termelékenységgű hosszú sorozatokat gyártó célgépek hiánya azonban még mindig problémákat okozott, és ezáltal a gépipari gyártók termelési profilja változatlan maradt – alacsony gépesítettség mellett sok manuális megmunkálás jellemezte a kialakult termelési rendszereket (jó példa erre, hogy az Ikarusban még mindig kézzel alakították a karosszériaelemeket).

A DÖNTÉS MEGSZÜLETÉSE ÉS A PROGRAM ELINDÍTÁSA

1965-ben két lehetőség mutatkozott az ágazat irányítói előtt az autóipar fellendítésére. Az első egy olyan átfogó nagy összegű állami támogatás mentén megvalósuló termelési tényezők fejlesztésére vonatkozó program lett volna, ami az autóipart generálisan, egészében próbálta volna meg felzárkóztatni. Ehhez azonban nem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű forrás, és kapcsolódó iparpolitikai akarat. Így maradt az időközben a KGST által a tagországok részére megfogalmazott specializáció, ami Magyarország esetében a nagy kategóriájú buszok (távolsági, vonal-, turistabusz) gyártását jelentette, és az egyedüli profilgazdává tette a keleti blokkban hazánkat.

Ennek megfelelően születhetett meg a döntés, hogy a harmadik ötéves terv (1965) keretein belül 1970-re két és félszeres termelési kapacitás-bővítést irányoztak elő. Sajnálatos módon, a korábbi évek forrás- és fejlesztésszegény környezete most bosszulta meg magát, a gyárak mind profiljukban, mind eszközeikben, berendezéseikben, mind termelési rendszereik kialakításában alkalmatlannak voltak ilyen szintű és mértékű tömegtermelésre.

A miniszteri döntéssel felemelt járműipari fejlesztés legfőbb letéteményesei az Autó és Traktoripari Tröszt három nagyvállalata, a Csepel Autógyár, a Vörös Csillag Traktorgyár és az Ikarus voltak. Az ötéves terv idejére 1,775 milliárd forint fejlesztési forrás áll ren-

delkezése (összehasonlításképpen 1960, 20,4 millió forint), míg a MÜFA 1965-ös költségvetése 129 700 forintra duzzadt.

A meghatározó változást az említett gyárak életében a valódi profil-tisztítás és a szerkezeti átalakítás jelentette. A gyárak profiljukat tekintve teljesen vegyes képet mutattak, ami a fejlesztési erőforrások megosztásához és szétforgácsolásához vezetett. A gyártási profilok elhatárolása, a termékpaletta elkülönítése és előírt specializációja, illetve a felesleges termelési profilok elhagyása új irányt jelentett a szervezetek életében. Ezzel párhuzamosan folyt a logisztikát, a termelést és a gyártás egyéb új aspektusait is szem előtt tartó gyárátalakítási program, gyárbontásokkal, átépítésekkel (a Csepel Autógyárban 50 különböző raktárból történő termelés kiszorgatását ekkor kezdték jelentős mértékben racionalizálni).

Minden gyárban bevezetésre kerültek az gép- és jármű-összeszerelő sorok – 1968-as befejezési határidőkkel –, így nem csak a jármű-összeszerelő gyárakban, hanem a főegységeket és részegységeket gyártó üzemekben ugyanúgy, mint a festő-fényező üzemekben. Kísérletet tettek a – mai szóval élve – gépjármű-platformosításra, azaz egységes vázszerkezetek kialakítására és csereszabatos alkatrészek kifejlesztésére. A '60-as években a kohászat területén elért fejlesztések következtében az öntvények termékfejlesztése lépést tartott a gyártásfejlesztéssel. Olyan új megoldások születtek, mint pl. a kevesebb utómegmunkálás érdekében megvalósuló új öntvénykialakítás, vagy a csökkentett öntési ráhagyásokat és kisebb falvastagságokat lehetővé tevő eljárások stb.

Gazdaságossági szempontból a gyártás bizonyos formáit újragondolták, és a költséghatékonyabb – esetenként teljesen új – gyártási technológiák, megoldások alkalmazása került előtérbe nem egyszerűen jelentős ráfordítási idő és erőforrás-megtakarítást eredményezve (hegesztés, lemezalakítási technológiák, hengerelt alanyagok stb.). A termelés ilyen mértékű gépesítéséhez az ATT 323 új gép beszerzését látta szükségesnek, amiből 99 nyugati konstrukció volt. Erre azért is szükség volt, mert Magyarország a nyugati és egyéb országok (Afrika, arab országok) felé is nyitni kívánt a KGST országain felül.

A PROGRAM KÖVETKEZMÉNYEI ÉS EREDMÉNYESSÉGE

A magyar járműipar a távlati terv és a fejlesztést megcélzó ötéves terv előtt is jócskán exportra termelt, a buszok 90%-a, a teherautók 70%-a, a billenőplatós teherautók 80%-a, míg a traktorok esetén a 30 százalék talált gazdára a KGST országaiban, ami a teljes magyar export 45 százalékát jelentette. A járműipar fellendülésének gátló tényezője – a gyárkapacitások hiányosságain és elavult felszereltségén túl – egy olyan vezértermék hiánya, mint pl. megfelelő paraméterű kiforrott konstrukciójú motor, amely több évtizedre előre megoldotta volna az ország gépjárműmotor-igényeit, és az ebből adódó problémákat. Ennek kiküszöbölése érdekében 1967-ben, 3 év késéssel sikerül, a szakma képviselőinek és irányítóinak teljes egyetértésében megvásárolni a MAN D2146 MH1 motor licencet – amivel a magyar autóbuszgyártás egy világviszonylatban is sikeres korszaka kezdődik el.

1968-ban az ágazat vezetése a hosszú távú stratégiai tervek megvalósítása érdekében egy központi kutató-fejlesztő intézet létrehozását tűzi ki célul. Ekkor jön létre a JÁFI, azaz a Járműfejlesztési Intézet, amely biztosítja az ipar és a nagyvállalati igények érdekében megvalósuló kutatás-fejlesztési eredményeket, megoldásokat. A központi tervlembontásos tervezés megszűnésével a középtávú stratégiai tervezés felértékelődésével a vállalatok egyre nagyobb önállóságra tesznek szert. Az ágazat közös összefogása érdekében elkészül. A sokak számára azóta már rossz emlékkévé vált közlekedéspolitikai koncepció is, melynek céljai az alábbiak voltak:

- Személy- és áruszállítás gazdaságos kielégítése, minőségük javításával (az ehhez kapcsolódó ipar párhuzamos fejlesztésével)
- Közlekedés gazdaságosságának növelése, fajlagos erőforrás-ráfordítás csökkentése (veszteséges részegységek felszámolása, kapacitáskihasználás növelése, erősebb kereskedelmi szemlélet, nemzetközi piac jobb kihasználása)

- Ésszerű és megfelelő munkamegosztás a szállítmányozás területén (vasúti forgalmak közútra terelése, hajózás és csővezetékes szállítás fejlesztése)
- A közlekedés munkaerő-gazdálkodás problémáinak megoldása (csak a szükséges létszám biztosítása, ágazatok közötti munkaerő-mozgás segítése).

A fejlesztések koordinálása érdekében a fejlesztési feladatokat szétválasztják, a JÁFI felel egyedül a jövőben a stratégiai termék- és fődarab-fejlesztésért, mialatt a vállalatok az általuk gyártott termékek követő termékfejlesztését végzik.

A felülről vezérelt fejlesztési koncepciónak már rövid távon is megmutatkoztak hatásai. Az Ikarus buszait két nemzetközi versenyen is kitüntették, 1969-ben Nizzában és 1970-ben Monacóban. A nyugati piacon való megjelenés érdekében a Német VöV (Közlekedési Vállalatok Szövetsége) normáinak megfelelő autóbusz (Ikarus 190) fejlesztésébe kezd, aminek eredményeképpen 1977-ig 154 ilyen buszt szállít a Hamburg-Holstein-i közlekedési vállalatnak.

A program további eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

- A szállítmányozás teljesítménye jelentősen nőtt – a közutak, a menetrend szerinti járatok száma, a teherautó-flotta korszerűsödött, a személyautók megsokszorozódtak
- A mozdonyokat korszerűsítették, a vonalakat villamosították
- A folyami és tengeri flotta bővült
- Olaj- és földgázhálózat kiépült.

Csak ez alatt az ötéves intervallum alatt a személyszállítás forgalma megháromszorozódott (Magyarország 1420 lakos/ 1 busz, 12. hely; Svájc 1350 lakos/ 1 busz 11. hely; Norvégia 545 lakos/1 busz 1. hely). A teherszállítás forgalma 75 százalékkal nőtt, ebből a közúti szállítmányozás forgalmának megkétszereződésével vette ki a részét. Ez a fejlődés részben a „legkisebb szükséges ráfordítás elvnek” is volt köszönhető.

Visszatérő probléma maradt azonban a megfelelő számosságú és képzettségű munkaerő biztosítása. A harmadik ötéves terv idejére 50 százalékos munkaerő-többlet-igénnyel számoltak, de ezt a Csepel Autógyáron kívül sehol sem sikerült kielégíteni. Ezt is csak más, alacsony kihasználtságú gyárak humán erőforrásainak átirányításával sikerül orvosolni. Az akkori szakvélemények szerint „a szükséges számú szakmunkás és mérnök-technikus biztosítása hagyományos módszerekkel rövid távon megoldhatatlan problémát jelent még a beiskolázás drasztikus emelése mellett is”.

Noha a tömegtermelés sikeresen megvalósult, a termékminőség nem tudott ezzel lépést tartani. Ez részben a gyártmányfejlesztésre jutó fejlesztési források elégtelen hányadának (20%) volt köszönhető. Másrészt a végtermék minőségét nagyban befolyásoló alkatrészminőség jelentette a legnagyobb problémát. Az alkatrészgyártók számára a fejlesztés sokszor ismeretlen fogalom volt (műszergyártás), vagy egész egyszerűen nem voltak olyan színvonalon, hogy minőségben és mennyiségben is meg tudjanak felelni a beszállítói rendszerek elvárásainak (teljes gumiipar).

KONKLÚZIÓ

A történelem ismétli önmagát, ebből adódóan ez a fejlesztési terv egy kiváló eszköz a folyamatok megfigyelésére, azaz, hogy azelőtt vonhassunk le következtetéseket, mielőtt bármit is lépnénk. A fejlesztés általános menetéből, a folyamatok sorrendiségéből és az elkövetett hibákból, hiányosságokból fel lehet úgy készülni, hogy egy jövőbeni komplex fejlesztés esetén ezek ne forduljanak elő. Egyértelműen látszik, hogy az egyes részek összehangolása nélkül egy jó szándékú törekvés is könnyen kisiklik – ne is legyen kétségünk a komplexitás miéértje felől. Az egyik kulcsfontosságú paramétere a beruházásnak a kutatás-fejlesztés volt, mindegy, hogy evidensnek tűnő szervezetfejlesztésről van szó (pl. 50 különböző raktár központosítása) vagy hosszú távra szóló motorfejlesztésről, egyik sem elhanyagolható.

Töbptest-alapú, valós futásidejű járműmodellek készítése Matlab/Simulink környezetben

Hankovszki Zoltán

PhD hallgató,
BME GJT

Kovács Roland

projektmenedzser,
BME EJJT

Trencsényi Balázs

tanársegéd,
BME GJT

Közúti forgalom szimulálásához (és még sok más problémához) elengedhetetlen egy gyorsan futó, egyszerű, mégis megfelelően összetett és pontos alapmodell kidolgozása, mellyel lehetőség szerint egyszerű paraméterezéssel lefedhető az összes járműkategória. Célunk egy ilyen modell megalkotása volt: a töbptest-alapú rendszerek felépítése szolgáltatta a mintát.

For road traffic simulations (and of course for a lot of other problems) it is essential to create fast running, simple, but enough complex and accurate vehicle models, which could be simulate with simple parameter tuning all of the necessary vehicle sections. Our aim was to develop a model like this, and the structure of the multi-body-systems was the ideal for us.

1. MOTIVÁCIÓ

Célunk volt a városi forgalom szimulációs vizsgálatok egyik alapkövének lefektetése. Ez a nagymértékben rugalmas járműmodell. Feladatai közt szerepel például az egyes járműkategóriák lefedése: a motorkerékpártól a pótkocsi haszonjárműig sokféle jármű előfordul a közlekedésben. Ezek egyetlen modellel való lefedése rendkívül praktikus, ugyanakkor kihívás is. A járművek nyomtávjuk és tengelyek számában is különböznek. Hasonlóan, az egyes motorok és hajtásláncok is különböznek ezekben a különféle modellekben. Továbbá a járművek működtetése felé, szintén felmerül a variálhatóság igénye. Járműszintű szimulációk futtatása esetén a hajtáslánc is fontos szerepet kap például. Így az egyes váltások lezajlása, a motor kihasználása vagy a tüzelőanyag-fogyasztás és utaskényelmi jellemzők vizsgálata minél realisabb hajtásláncot igényel. Egy forgalmas kereszteződés áteresztőképességének vizsgálatakor azonban elhanyagolható például a sebességváltó logika – a lényeg a járművek kis sebességű gyorsulási képessége, ez pedig lineárisan modellezhető.

Végezetül pedig az egyik legfontosabb szempont a modell futásidejének rövidege, determinisztikussága, és az igényekkel együtt történő változása. Ez minél egyszerűbb differenciálegyenlet megoldó használatát vetíti előre, mely lehetőleg fix lépésközzel működik. Azonban így numerikus problémák sora merül fel, melyet most már a modell oldaláról kell orvosolni.

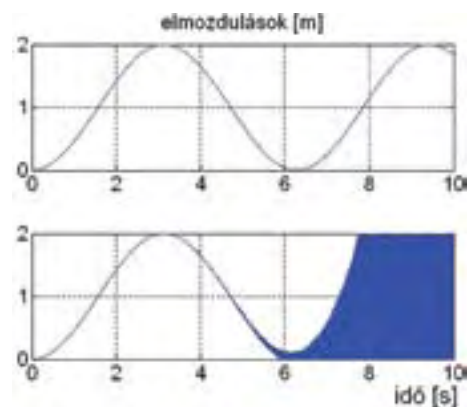
2. MATEMATIKAI HÁTTÉR

A különböző matematikai szoftverek sokfajta szolვეrrel (megoldóval) rendelkeznek a differenciálegyenletek széles skálájának lefedésére [1]. Esetünkben azonban igyekeztünk lineáris, inhomogén egyenletek alkalmazására szorítkozni, ahol csak lehet – mint például (1).

$$F = m \cdot \ddot{x} + d \cdot \dot{x} + s \cdot x \quad (1)$$

Emellé pedig Euler szolvert választottunk [2] mint elérhető egyik leggyorsabb megoldót. Az Euler szolver előre meghatározott lépésközzel dolgozik, melynek előnye a számítható számítási idő – sok szolver változó lépésközt alkalmaz. Ekkor a megoldó figyeli az aktuális lépésben a rendszer dinamikáját, és amennyiben az túl nagy, az aktuális lépésköz csökkentésre kerül, és a lépést újra-számolja a szolver. Ez mindaddig folyik, amíg a lépésköz olyan mértékűre nem csökken, hogy azon belül a rendszer dinamikája már elfogadható mértékű. Így a megoldás pontos, de előre nem

meghatározható ideig történik a számítása. A fix lépésköz ezzel szemben számítható számítási idejű, viszont a stabilitásról a felhasználónak kell gondoskodnia.



1. ábra: stabil és nem stabil megoldó alkalmazása

$$x_{i+1} = x_i + \Delta t \cdot \dot{x}_i \quad (2)$$

A (2) egyenlet mutatja az Euler szolver működését: a következő lépésben a jel értéke az előző lépés értékének és deriváltjának a lépésköz értékével való szorzatának összegével elegendő. A stabilitás itt a derivált és a Δt értékén múlik: minél nagyobb a derivált, annál kisebb kell hogy legyen az időlépés. A derivált értéke függ többek közt a rendszer paramétereitől is. Az (1) egyenlethez hasonló lengőrendszer esetét mutatja az 1. ábra és az 1. táblázat. Egy szinuszos gerjesztő mozgással rugócsillapítás kapcsolatban álló tömeg elmozdulását számítja a szoftver.

Érték	Első eset	Második eset
Tömeg [kg]	10	10
Csillapítás [Ns/m]	1000	1000
Merevség [N/m]	1 000 000	1 030 000
Gerjesztés [m/s]	sin(t)	sin(t)
Lépésköz [s]	0,001	0,001
Szolver típusa	Euler szolver	Euler szolver

1. táblázat: rendszerparaméterek

Az első esetben a kapott válaszfüggvény még éppen megfelelő pontossággal leírható a választott lépésközzel. A második esetben viszont a növelt merevség miatt nagyobb lett a válaszfüggvény frekvenciája [3], ha csak kis mértékben is. Ez a növekedés elegendő volt ahhoz, hogy egyre bizonytalanabban kezdje el a szoftver a válaszfüggvényt számítani.

Szemléletesen: egyszerűen válasszuk ki a válaszfüggvény egy pontját, és húzzunk belőle egy egyenest a függvény deriváltjának megegyező irányultsággal – minél hosszabb az egyenes, annál távolabb kerülünk az eredeti függvénytől. A cél tehát olyan rövid egyeneseket húzni, hogy a végpontban minél közelebb legyünk az eredeti válaszfüggvényhez – lehetőleg egy előre meghatározott eltérés alatt.

A fentieknek megfelelően tehát, célunk egy olyan járműmodell megépítése volt:

1. mely 1 ms lépésközü Euler szolverrel fut,
2. könnyedén paraméterezhető, és megfelelően robusztus ahhoz, hogy reális paraméterekkel stabilan működjön,
3. a paraméterezhetőség terjedjen ki tengelyszámra is,
4. képes legyen a modell járműkapcsolatok (vontatás) leírására is,
5. és rendelkezzen hajtáslánccal.

Mindezek alapján a kapott modellek:

- csak pedál- és kormánybemeneteket igényelnek,
- képesek kanyarodni, sodródni,
- kipörgő kerekekkel elindulni vagy blokkoló kerekekkel megállni,
- vontatni, dombon vagy lejtőn haladni,
- és mindezeket reális módon végrehajtani.

3. A MODELL FELÉPÍTÉSE

Többtest rendszerről lévén szó, az egyes testek egymáshoz képesti elmozdulásai következőképpen festenek [4]:

1. Talaj-járműváz kapcsolat: a járműváz gyakorlatilag hat szabadságfokkal rendelkezik. Képes horizontálisan bármilyen pozíciót felvenni, valamint vertikálisan is el tud mozdulni. Ezzel összhangban képes a három tengely körül is elfordulni: bólintás, oldaldőlés és legyezés (hétköznapi nevén elfordulás).
2. Járműváz–felfüggesztés kapcsolat: a felfüggesztések a járműváz függőleges elmozdulási képessége, valamint dőlési képességei miatt el tudnak mozdulni a vázhoz képest. Az aktuális felszínen haladva az a feltételezés, hogy a kerekek a szimuláció során a felszínt érintik. Amennyiben ez megszűnne, a kerekeket leszorító erő is megszűnne, és ilyenkor a szimuláció megszakad – ez szándékos döntés eredménye, nem célunk a határhelyzetek utáni nem lineáris folyamatok leírása. A felfüggesztések kerekenként értelmezendők, tehát teljesen független felfüggesztési rendszerről beszélhetünk. Az egyes kerekek a vázhoz képest képesek ki- és berugózás irányú elmozdulásra.
3. Felfüggesztés–kerekek kapcsolat: a kerekek a felfüggesztésekkel együtt mozognak a globális koordináta-rendszerben, ugyanakkor képesek ehhez az állapothoz képest elmozdulni. Az egyik ilyen szabadságfokuk természetesen a forgástengelyük körüli elforgás. Szabadságfokuk továbbá az elfordulást is lehetővé teszi, vagyis az elkormányzást. Utóbbi szabadságfokuk egy bejövő szögjel alapján történik, ennek meghatározására külső modult alkalmazunk (lásd később). Amennyiben a szögjel nincs használatban, a kerék nem kormányzottként viselkedik.
4. Kormánymű–kerekek kapcsolat: az elkormányzáshoz szükséges szögértéket egy külön blokk szolgáltatja. Ez tartalmaz egy kormánykereket és egy szervomotort, valamint a kormánymű mechanikáját. A kormányzott kerekek állása a kormánymű állásából a mechanikai áttételek figyelembevételével közvetlenül adódik.
5. Differenciálmű–kerekek kapcsolat: a differenciálmű kettéosztja a hajtáslánc kardántengelyének nyomatékát. A differenciálműbe behajtó kardántengely fordulatszámát a két hajtott

kerék fordulatszámának átlaga adja egy mechanikai áttételén keresztül. A be- és kihajtótengelyek csak a forgástengelyük körüli elfordulásra képesek (illetve kimondatlanul, de követik a hajtott kerekek rugózásait).

6. Differenciálmű–váltó–kuplung kapcsolat: e hármas utolsó tagja jelenti a hajtáslánc kerekek felől érkező kinematikájának végét. A differenciálművön keresztül érvényesül a hajtott kerekek mozgásállapota a kardántengelyre. A váltó kinematikailag csak nyomaték és fordulatszám áttételi konstansként jelent – mely konstans kezelése összhangban áll a kuplung vezérlésével. A kuplungtárcsa e hajtás felőli oldala kinematikailag nem kapcsolódik a másik oldalhoz – köztük csak erőkapcsolat lép fel. Tehát oldott kuplung esetén a jármű képes gurulni önmagában, a motorhoz kötött kinematikai kapcsolat nélkül.
7. Kuplung–motor kapcsolat: az előzőeknek megfelelően a kuplung ezen oldali tárcsája mereven kapcsolódik a motor főtengelyéhez, mindkét elem csak a forgástengelye körüli elfordulásra képes, fordulatszámuk megegyezik, szögeltérés köztük nem lehetséges.

Az előbbiekhöz hasonlóan, a testek egymás közt fellépő erőkapcsolatai:

1. Talaj–járműváz kapcsolat: közvetlen erőkapcsolat a két elem közt nincs. Ugyanakkor itt kerül megemlítésre a légellenállás – mely minden esetben a jármű haladási irányával ellentétesen mutat (kivéve oldalszél definiálásakor) –, és a gravitációs tér is. Utóbbi esetén a jármű nem sík felszínen való haladási képessége miatt, bár globálisan mindig ugyanúgy hat, a járműrendszerben értelmezett komponensei változhatnak. Itt említendő még a vonóerő is, a szimulációs modellek felépítésében ez egy definiált járműpontra ható globális erő.
2. Járműváz–felfüggesztés kapcsolat: e bemutatott szabadságfok esetén csak ki- és berugózási elmozdulás lehetséges. Ennek megfelelően a fellépő erőhatások is ebben az irányban hatnak. Egy párhuzamos rugó-csillapító kapcsolat került definiálásra. Ezek paraméterei szabadon (akár karakterisztika definiálásával is) megválaszthatóak.
3. Felfüggesztés–kerekek kapcsolat: valójában külön szegmensben kellene megemlíteni a kerekek – talaj kapcsolatról, de ragaszkodva az előző felsorolás struktúrájához, ez itt kerül tárgyalásra. A kerekek a felfüggesztésekkel együtt működve öröklik azok mozgásállapotát. Ez a globális koordináta-rendszerbe helyezve, figyelembe véve a kerekek lokális koordináta-rendszerének állapotát, definiálható a kerekek hossz- és keresztirányú szlip értéke. Ezek alapján és a felfüggesztés járműváz felőli normál erőinek alapján előállításra kerülnek a kerékerők. Ezek a felfüggesztésen keresztül visszahatnak a járművázra (gyorsítják, lassítják, fordítják azt), és önmaguk mozgásállapotára. További fellépő erőhatásként említendő a fékrendszer. Ennek mozgása a felfüggesztésekhez mereven kötött, így nem képes a kerekekkel fordulni. Viszont képes azokra súrlódó erőt kifejteni egy effektív sugáron, ilyen módon fékezőnyomatékot előállítva.
4. Kormánymű–kerekek kapcsolat: a kerekek a szlip értékek, és a terhelő erők alapján visszatérítő nyomatékot generálnak, mely a kormányrendszerre hat. A vezető és a szervó a rendszer „másik végén” ez ellen hatnak, és a menetdinamikából adódó visszatérítő nyomatékkal ellensúlyozzák ezt az abroncsok.
5. Differenciálmű–kerekek kapcsolat: a differenciálmű kihajtótengelyein fellépő nyomatékok merev kapcsolatnak megfelelően változtatások nélkül továbbítódnak a kerekekre.
6. Differenciálmű–váltó–kuplung kapcsolat: a váltó erőkapcsolati szempontból is csak egy áttétel, mely a kinematikai áttétellel összhangban változik. A differenciálműtől a kuplungtárcsa hajtáslánc felőli oldaláig terjedő szakasz is merev testként értelmezhető. A hajtáslánc ezen oldali szemlélete a következő: a

kuplungtárcsán keresztül érkező hajtónyomaték eljut a hajtott kerekhez a megfelelő áttételekkel. A kerek erre reagálnak valamilyen fordulatszám kialakulásával. Ez a fordulatszám a megfelelő áttételek figyelembevételével visszacsatolódik a kuplung hajtáslánc felőli oldalára. És ez a fordulatszám határozza meg erről az oldalról a tárcsán létrejövő hajtónyomatékot (vagy fékezőnyomatékot) – a nyomatékdefiníáláshoz kell még a másik tárcsa fordulatszáma és a kapcsolóerő.

7. Kuplung–motor kapcsolat: az előzőekhez hasonló szemlélettel a motormodell az aktuális fordulatszám és a gázpedál állása alapján létrehoz egy hajtónyomatékot. Ugyancsak az aktuális fordulatszám (és a többi említett, nem ettől a részrendszerrel függő jel) alapján, a kuplungtárcsán létrejön egy terhelőnyomaték. Ennek és a motor hajtónyomatékának összegzésével megszületik egy gyorsító/lassító nyomaték, mely befolyásolja a körfolyamatot indító fordulatszámot. Tehát erőkapcsolati szempontból egy merev testre hat a motor hajtónyomatéka, és a kuplungtárcsa terhelőnyomatéka.

A modell így a következő főbb szimulációs blokkokból áll:

1. Járműmodell (váz és kerek)
2. Kormánymű
3. Fékrendszer
4. Hajtáslánc
5. Megjelenítés
6. Feltételek

Utóbbi blokkra azért van szükség, mert a modell linearizált egyenletekre épült – (3) és (4) egyenletek, az α rad-ban értendő –, melyek megkívánják, hogy a kerek egyenkénti oldalkúszási értékei egy előre beállított érték alatt maradjanak a pontosság miatt (például 0,45 rad). További kitétel a modellek működése során, hogy a kerek nem hagyhatja el a talajt sem, tehát mindig kell hogy legyen leszorító erő.

$$\sin \alpha \approx \alpha \quad (3)$$

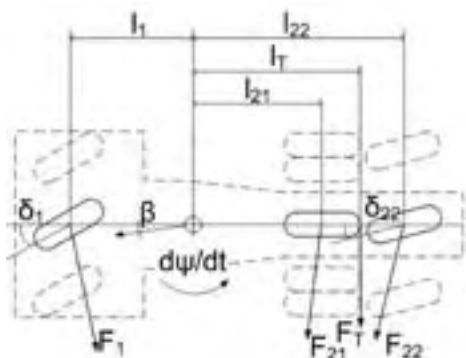
$$\cos \alpha \approx \alpha \quad (4)$$

Az alábbiakban e blokkok részletezése található.

4. AZ EGYES BLOKKOK

4.1. Járműváz és kerek

Ebben a blokkban kellett megoldani azt a kritériumot, hogy könnyedén lehessen a járművek tengelyszámát változtatni, illetve azt is, hogy egy vagy két nyomvonalas járműről van szó (motorkerékpár vagy személygépjármű például). A keresztsíri irányú dinamika alapját az előzőekben említett módon linearizált egyenletek adják egy biciklimodell alapján [5], mindehhez a 2. ábra pedig az elvi háttérét mutatja az (5), (6), (7) és (8) egyenleteknek (2. táblázat pedig jelmagyarázatként szolgál).



2. ábra: biciklimodell

$$m \cdot a_y = F_1 + F_{21} + F_{22} + F_T \quad (5)$$

$$a_y = \left(\frac{d\beta}{dt} + \frac{d\psi}{dt} \right) \cdot v_x \quad (6)$$

$$\beta = \frac{v_y}{v_x} \quad (7)$$

$$J \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} = F_1 \cdot l_1 - F_{21} \cdot l_{21} - F_{22} \cdot l_{22} - F_T \cdot l_T \quad (8)$$

Tehát az oldalerőkből adódik az oldalgyorsulás és a legyezési szögsebesség. Ennek jelentősége abban jelentkezik, hogy ezekből a mennyiségekből előállítható a kerek oldalkúszási szöge, mely szükséges az oldalerők számításához [6]– (9), (10).

$$F_i = c_i \cdot \alpha_i \quad (9)$$

$$\alpha_i = -\beta + \delta_i + (-1)^i \cdot \frac{l_{ij}}{v_x} \cdot \dot{\psi} \quad (10)$$

Ahol $i=1$ elöl, és $i=2$ hátul.

A (10) egyenletet jó közelítéssel érvényessé lehet tenni nem csak biciklimodellre, hanem kétnyomú modellre is. Ilyen módon a tengelyek számának definiálásával, valamint l_{ij} paraméterek megadásával a tengelyszám és elhelyezés az oldalerők szempontjából szabadon megválasztható. Fontos, hogy az abroncsok c_i oldalkúszási együtthatói függenek a rájuk helyezkedő normál erőktől is, így ezeknek a számítása is megtörténik a hosszirányú dinamika figyelembevételével.

A hosszirányú dinamikához szükséges minden kerekhez a járműváz aktuális pontjában értelmezett sebessége. Ez a jármű hosszirányú sebességéből, legyezési szögsebességéből és oldalkúszásából adódik – (11), (12) és (13) egyenletek bal és jobb oldalra (k a bal és jobb oldal indexe).

$$v_{xijk} = v_x \pm \dot{\psi} \cdot \frac{b_{ij}}{2} \quad (11)$$

$$v_{yijk} = \beta \cdot v_x + (-1)^{i+1} \cdot l_{ij} \cdot \dot{\psi} \quad (12)$$

$$v_{ijk} = \sqrt{v_{xijk}^2 + v_{yijk}^2} \quad (13)$$

Ezekből a kerékszögsebességek és sugarak ismeretében meghatározhatóak a kerek hosszirányú szlipértékei könnyedén (14), amikből tapasztalati karakterisztikák hozzárendelésével adódik a normál erőfüggő hajtó- vagy fékezőerő.

$$\sigma_x = \begin{cases} \frac{v_{ij} - R \cdot \omega}{v_{ij}} & \text{ha } v_{ij} \geq R \cdot \omega \\ \frac{R \cdot \omega - v_{ij}}{R \cdot \omega} & \text{ha } v_{ij} < R \cdot \omega \end{cases} \quad (14)$$

Jelölés	Jelentés	Mérték
m	tömeg	kg
a_y	oldalgyorsulás	m/s^2
F_{ij}	tengelyenkénti oldalerők	N
F_T	vontatmány oldalereje	N
β	oldalkúszási szög	rad
ψ	legyezési szög	rad
t	idő	s
v_x	jármű hosszirányú sebesség	m/s
J	függőleges tömegkp-i inercia	$kg \cdot m^2$
l_{ij}	tengelyek – tömegkp. táv	m
l_t	vonószem – tömegkp. táv	m
c_i	oldalkúszási együttható	N/rad
α	oldalkúszási szög	rad
δ_{ij}	közepes kormánysszög	rad
b_{ij}	nyomtáv	m
R	keréksugár	m
ω	kerékszögsebesség	rad/s
$J_{kerék}$	kerék forgásirányú inerciája	kgm^2
$M_{hajtó}$	kerék hajtó nyomaték	Nm
$M_{fékező}$	kerékfékező nyomaték	Nm
$M_{ell.}$	kerék-ellenállási nyomaték	Nm
F_{xij}	kerék hosszirányú erő	N
F_{cw}	légellenállás	N
F_{xT}	vontatmány hosszereje	N
a_z	tömegkp. függőleges gyors.	m/s^2
F_{zijk}	kerék normális erő	N
G	gravitációs gyorsulás	m/s^2
γ_{xy}	hossz/keresztir. útdőlés	rad
ε_{xy}	hossz/keresztir. vázdőlés	rad
J_{xy}	hossz/keresztir. váz inercia	$kg \cdot m^2$
h	súlypontmagasság	m
h_{ijk}	kerékponti vázmagasság	m
s_{ij}	futómű-rugómerevség	N/m
d_{ij}	futómű-csillapítás	Ns/m
v_{zijk}	függ. kerékponti vázsebesség	m/s

2. táblázat: járműmodell jelölései

A kerekek szögsebességei a rájuk ható nyomatékokból adódnak – (15). Az ellenállás-nyomaték magában foglalja a gördülési és csapágyellenállásokat is, tapasztalati alapú képletekkel. A hajtó-nyomaték a hajtáslánc felől érkezik, a fékezőnyomaték pedig a fékrendszer felől érkezik, és tartalmaz egy speciális numerikus modult is. Ennek lényege, hogy az Euler szolver miatt a kerekek numerikus megállása nehézségekbe ütközik: a kifejtett fékező nyomaték a súrlódásból eredeztethető, az pedig előjelfüggő [7]. Ez olyan módon nyilvánul meg, hogy amikor a kerék sebessége előjelet vált, akkor a féknyomatéké is. A fix lépésköz miatt viszont a megállás előtti lépésközben még adott irányú a kerék sebessége, és hat rá a vele ellentétes fékező nyomaték, de a következő lépésközben már túllendült a kerék jó eséllyel a nulla sebességponton, és a fékezőnyomaték a két lépés közt nem váltott előjelet, vagyis gyorsító nyomatékként hatott. Ez heves oszcillációhoz vezet. A

kifejlesztett numerikus modul ellenőrzi folyamatosan minden kerék lefékezetttségét, és a megállás előtti utolsó lépésben úgy módosítja a féknyomaték nagyságát, hogy az a következő lépésre pont zérus sebességet eredményezzen. Ily módon a kerekek numerikus stabilitása biztosított a megállás során.

$$\frac{d\omega}{dt} \cdot J_{kerék} = M_{hajtó} + M_{fékező} - M_{ellenállás} \quad (15)$$

A járművet globálisan tekintve is fennáll a megállási probléma. Miután a kerekek egyesével elérik a zéró szögsebességet – vagyis blokkolnak –, a járműváz még nem feltétlen állt meg. Ilyenkor is hat rá azonban a csúszó kerekekből származó erő. A jármű egészét tekintve definiálva lett egy legalsó sebességhatár, ami alatt a jármű sebességének mozgása megáll (16).

$$m \cdot \frac{dv_x}{dt} = \sum_{ij} F_{xij} - F_{cw} - F_{xT} \quad (16)$$

Ilyenkor a gyorsulásból sebességet előállító integrátor kiindulási zéró kiemenetre helyeződik, és a bemenete le lesz tiltva. Ez a tiltás fennáll mindaddig, amíg az előre definiált feltételek egyike meg nem szűnik:

- minden keréksebesség kisebb, mint egy határérték,
- a jármű sebessége kisebb, mint egy határérték,
- (és a vontatási erő kisebb, mint egy határérték).

Utóbbi pont feltételelensége miatt van zárójelben. Járműszerelvények esetén az egyik tag „megfogásával” rögzíthető a másik tag is megfelelő gyorsasággal.

Több járműmodell egymáshoz csatolásakor mindegyik a fentebb bemutatott módon egy vontatóerő-bemenettel rendelkezik csak. A kapcsolatot köztük egy külső elem biztosítja. Ez az elem a kapcsolópontok globális koordináta-rendszerbeli ismeretében kiszámolja a köztük lévő távolság és sebesség irányát és nagyságát. Ezután egy nagymerevségű párhuzamos rugó-csillapító együttesel egy vonóerőt számol, melyet ellentétes előjellel visszaközzvetít a két jármű felé. Minden járműmodell rendelkezik alapesetben az említett erőbemenettel, ám a külső modul nélkül zérus bemenetet fogadva semmilyen befolyásoló hatás nem érvényesül.

A kerekek terhelőerőinek számításához szükséges még a járműváz bőlíntásának, oldaldőlésének és függőleges pozíciójának számítása is (17)–(23). Itt az oldal- és hosszirányú gyorsulások, valamint a gravitációs gyorsulás kap szerepet (utóbbin keresztül valósul meg a nem csak sík felületen haladás képessége). Az oldal- és hosszgyorsulások számításánál a megfelelő irányú erők összegzésre kerülnek (beleértve a gravitációs teret is). A kerekek egyes elmozdulásaiból síkgeometriai egyenletekkel könnyedén adódik a tömegközéppont magassága is (23).

$$a_z = \frac{\sum_{ijk} F_{zijk}}{m} - G \cdot \cos \gamma_x \cdot \cos \gamma_y \quad (17)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sum_{ijk} (\pm F_{zijk} \cdot b_{ij}) + m \cdot a_y \cdot h}{J_x} \quad (18)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sum_{ijk} (\pm F_{zijk} \cdot l_{ij}) + m \cdot a_x \cdot h}{J_y} \quad (19)$$

$$F_{zijk} = \Delta h_{ijk} \cdot s_{ij} + v_{zijk} \cdot d_{ij} \quad (20)$$

$$\frac{dv_{zijk}}{dt} = a_z \pm \varepsilon_x \cdot b_{ij} \pm \varepsilon_y \cdot l_{ij} \quad (21)$$

$$\int v_{zijk} dt = h_{ijk} \quad (22)$$

$$h = h(\sum h_{ijk}) \quad (23)$$

4.2. Kormánymű

A járműmodell vázát adó előző pontban bemutatott elemek alapján a váz közepes kerékszöget vár, mint bemenet. A szimulációk során ezt meg is lehet hagyni akár teljes egészében, és ily módon a különféle manőverek végrehajtása pontosabb lehet, de nem feltétlen élethű. Például nagy sebesség melletti hirtelen elkormányzás esetén a kormányzáshoz szükséges nyomaték mellőzése már jelentős mértékben módosíthatja a kormányparancs lefutásának idejét. Továbbá figyelembe véve azt a tényezőt is, hogy a sofőr (modell) másképp reagálhat megnövekedett ellenállás észlelésére, szintén a nem megfelelően reális modellezés tényét erősíti.

A kormányműmodell megvalósítását tekintve így egy külön egységként kapott helyet a blokkok között. Igény esetén ráköthető a járműváz modelljére, és az a kormányműtől kapja a továbbiakban a szögalapú bemenetet. Mindezt a blokk a járműváz kimenő kerékerőire alapozza. Ugyanakkor a kívánt szög közvetlenül a járműváznak is megadható, ahogy említettük.

A kormánymű alapját a kerekek (15) mozgásegyenletéhez hasonló egyenlet adja, csak itt mások a nyomatéktagok: a járművázba bemenő közepes kerékszögre válaszul az visszatérítő nyomatékokat ad, melyek mechanikus áttételeken keresztül hatnak a kormánykerékre – (24) és 3. táblázat.

$$i \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \cdot J_{korm} = M_{vezető} + M_{szervo} - M_{vissza} - M_{ütköző} \quad (24)$$

Jelölés	Jelentés	Mérték
i	kormányzási áttétel	-
J_{korm}	kormány összevont inercia	kgm ²
$M_{vezető}$	vezető kormánynyomatéka	Nm
M_{szervo}	szervonyomaték	Nm
M_{vissza}	kerék-visszatérítő nyomaték	Nm
$M_{ütköző}$	ütközőbak-nyomaték	Nm

3. táblázat: kormánymű jelölései

Ezen túl, a kormányzott kerekek felütköztetéséről egy feltételes erőkapcsolat gondoskodik, mely a szélső pozíció elérésekor megakadályozza a további elforgatást megfelelő mértékű ellennyomaték kifejtésével. A vezető által kifejtett nyomatékokat ebben az esetben egy egyszerű arányos szabályozó modellezi.

A szervó mechanikus elven működik: a vezető által tekert kormánykerék körül a kerekek felől érkező mechanizmusnak van egy előre megszabott holtjátéka. Ez a holtjátékbeli pozíció egyenesen arányos a kifejtett szervonyomatékkal. Ilyen módon a vezető képes felütköztetni hirtelen elkormányzáskor a szervót – és így közvetlenebb visszajelzést kaphat a jármű állapotáról. Ugyanakkor kisebb út felől érkező zavarok kiszűrésekor a szervó képes lehet holtjátékon belül maradni, ezáltal nagymértékben csillapítva a kormánykeréken észlelhető zavarokat.

4.3. Fékrendszer

Fékrendszer esetében egyszerű elektronikus fékerőelosztó funkció került megvalósításra: minden tengely a terhelésének megfelelő arányban [8] részesül a fékezőerőből – (25) és 4. táblázat.

$$T_{fék_ij} = m \cdot G \cdot p_{fék} \cdot R \cdot \frac{\sum_k F_{zijk} \Big|_{ij=áll}}{\sum_{ijk} F_{zijk}} \quad (25)$$

Jelölés	Jelentés	Mérték
$T_{fék_ij}$	aktuális tengely féknyomaték	Nm
$p_{fék}$	fékpedál állása	-

4. táblázat: fékrendszer jelölései

Az említett numerikus megállítáért felelős modul a járműváz-modellben kapott helyet, így ha a fékrendszerben módosítás is történik, az ezzel modellezett fizikai jelenség megvalósítása nem változik.

4.4. Hajtáslánc

A hajtáslánc felépítésekor alapvető elv volt az eddigiekhez hasonló moduláris felépítés megtartása. Ilyen módon külön blokkokban található:

1. Differenciálmű
2. Váltómű és vezérlése
3. Tengelykapcsoló
4. Motor

A differenciálműbe beérkező hajtónyomatékokat az kettéosztja, valamint opcionális zárás is végezhető a két kihajtótengely között (26)–(28).

$$M_{hajtó} = M_{kardán} \cdot k_{diff} \cdot \frac{1}{2} \pm M_{zár} \quad (26)$$

$$\omega_{átl} = \frac{\omega_{bal} + \omega_{jobb}}{2} \quad (27)$$

$$M_{zár} = (\omega_{bal} - \omega_{átl}) \cdot d_{zár} \quad (28)$$

A kardántengelyre a kihajtótengelyek átlagos fordulatszáma kerül átadásra (29).

$$\omega_{kardán} = \omega_{átl} \cdot k_{diff} \quad (29)$$

A hajtáslánc bemutatásánál alkalmazott új jelöléseket az 5. táblázat tartalmazza.

Mindez a váltó felé továbbhaladva egyszerű nyomaték- (30) és fordulatszám- (31) módosításon esik keresztül.

$$M_{kardán} = M_{kupl} \cdot k_{váltó} \quad (30)$$

$$\omega_{kupl} = \omega_{kardán} \cdot k_{váltó} \quad (31)$$

Jelölés	Jelentés	Mérték
$M_{kardán}$	kardánteng. hajtónyomatéka	Nm
k_{diff}	diff.mű nyomatékmódosítása	Nm
$M_{zár}$	diff.mű zárási nyomaték	Nm
$\omega_{átl}$	átlagos kerékfordulatszám	rad/s
$\omega_{bal/jobb}$	bal/jobbs kerékfordulatszám	rad/s
$\omega_{kardán}$	kardántengely-fordulatszám	rad/s
M_{kupl}	kuplungzáró nyomaték	Nm
$k_{váltó}$	aktuális váltó nyomatékmód.	-
ω_{kupl}	kerékoldali kuplung ford.	rad/s
$M_{kupl}^{\wedge}$	akt. max. kupl.záró nyom.	Nm
p_{kupl}	kuplungpedál állása	-
M_{k_max}	max. kuplungzáró nyomaték	Nm
M'_{kupl}	számított kupl.záró. nyom.	Nm
$\Delta\omega$	kuplungtárcsa sebességkül.	rad/s
ω_{motor}	motoroldali kuplung ford.	rad/s
J_{motor}	motor forgásirányú inercia	kgm ²
M_{kupl}°	elvi kuplungzáró nyomaték	Nm
M''_{kupl}	részszám. kupl.záró nyom.	Nm
ω_{kapcs}	kapcsolóponti fordulatszám	rad/s
M_{motor}	effektív motornyomaték	Nm
$p_{gáz}$	gázpedálállás	-

5. táblázat: hajtáslánc jelölései

A kuplung leírása közelítő módon és gyakorlati megfontolások alapján készült. Célja nem a minél tökéletesebb termodinamikai és mikrojelenségek leírása, hanem a numerikus stabilitás. Példaként említhető a szignum függvények alkalmazása. Ez a kerekek megállításánál hasonlatos problémát eredményez, csak itt a tengelykapcsoló két oldalának egymáshoz viszonyított sebessége az, ami folytonosan előjelet váltana 0 közeli állapotban. Ennek eredményeképp a tengelykapcsoló maximális zárási nyomatéka lépésközönként (esetünkben 1 ms) ellentétes előjellel lépne fel. A legfontosabb először leszögezni a kuplung által létrehozott nyomaték maximálását (32) (33).

$$\hat{M}_{kupl} = p_{kupl} \cdot M_{k_max} \quad (32)$$

$$M_{kupl} = \max\{\hat{M}_{kupl}; M'_{kupl}\} \quad (33)$$

Erre azért van szükség, mert a tengelykapcsoló tárcsák egymáshoz viszonyított fordulatszámának függvényében létrehozott nyomatékok (35), módosított formában állítjuk elő (37). A (37) egyenlet tartalmaz egy integrálót is. Erről két dolgot kell tudni: az integrálás ± 1 szélsőértékeknél megszakad, egyenlő nagyobb abszolút értékű jel nem lehetséges. Fontos, hogy nem az integrálás végeredménye van maximálva – és bár a kimenet ilyenkor csak egy, az integrátor belső állapota nem egy –, hanem maga az integrálás szakad meg a szélső értéke elérésekor – és az integrátor belső állapota nem nő tovább. A másik tudnivaló, hogy az integrálási folyamat csak akkor történik, ha (34) a fordulatszám-különbség nagysága a (36) egyenletben definiált ω_{kapcs} kapcsolási fordulatszám alá esik. Amint ebből a tartományból kilép a fordulatszámok különbsége, az integrátor visszaáll kiinduló zéró állapotába.

$$\Delta\omega = \omega_{motor} - \omega_{kupl} \quad (34)$$

$$M_{kupl}^{\circ} = \text{sign}(\Delta\omega) \cdot \hat{M}_{kupl} \quad (35)$$

$$M_{kupl}'' = \text{sign}(\Delta\omega) \cdot \hat{M}_{kupl} \cdot \frac{\max\{|\Delta\omega|; \omega_{kapcs}\}}{\omega_{kapcs}} \quad (36)$$

$$M_{kupl}' = M_{kupl}'' + \int M_{kupl}'' dt \quad (37)$$

A tengelykapcsolónál végeszakad a hajtáslánc kerekek felőli oldalának kinematikailag. Hasonlóképp a motoroldali rész is eddig tart. A kettő közt a kapcsolatot M_{kupl} kuplungzáró nyomaték jelenti. A motor mozgásállapotát (38) írja le.

$$\frac{d\omega_{motor}}{dt} \cdot J_{motor} = M_{motor} - M_{kupl} \quad (38)$$

A motor által előállított nyomaték függvénye a motorfordulatszám, illetve a gázpedál állásának (39).

$$M_{motor} = M_{motor}(\omega_{motor}, p_{gáz}) \quad (39)$$

Fontos az eddigiekhez hozzátenni, hogy a motor vezérlése és a váltó (teljesen automata) vezérlése több funkcióval is rendelkezik. A motorvezérlés:

- elindítja (újraindítja) a motort,
- biztosítja az alapjáratot,
- véd a lefulladások ellen időbeni gázadással:
 - váltás közben,
 - túl alacsony fordulatszám esetén
 - és hirtelen fordulatszámeséskor.

Az automata váltó vezérlése:

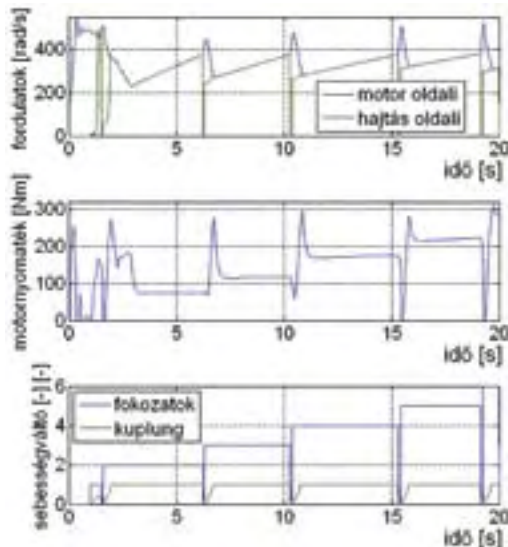
- kiválasztja a megfelelő fokozatot induláskor akár gurulás esetén is,
- megfelelő küszöbfordulatszámok elérésekor megkísérli a következő fokozat behelyezését – figyeli a nem hajtott kerék fordulatszámát, valamint a tengelykapcsoló állapotát is,
- váltás közbeni fordulatszám esésekor több stratégiát alkalmazhat a helyzettől függően:
 - csúsztatott kuplunggal vár,
 - csökkenti a kuplung záró fokát,
 - visszavált az előző fokozatba,
 - üresbe helyezi a váltót,
- felismeri, és azonnal lereagálja a menet közbeni irányválasztó kar változtatását,
- hajtásirányt csak álló helyzetben vált,
- és tetszőleges számú előre- és hátrameneti fokozatot elkezel.

5. EREDMÉNYEK

Végeredményben az egyes járművek vezérlése csak fék- és gázpedál-bemeneteket követel meg (0 és 1 közötti értékeket). A kimenetek között megtalálhatóak a felhasznált fizikai jelenségek főbb mérőszámai a motorfordulatszámától és nyomatéktól kezdve a kerekek fordulatszámán és szlip értékein keresztül a járműváz mozgásállapotát jellemző sebességekig és globális pozíciókig. Aktuálisan megjeleníthető a járművek globális pozíciója akár a sarokpontjaikkal együtt, illetve a jelenleg nem használt kimenetek

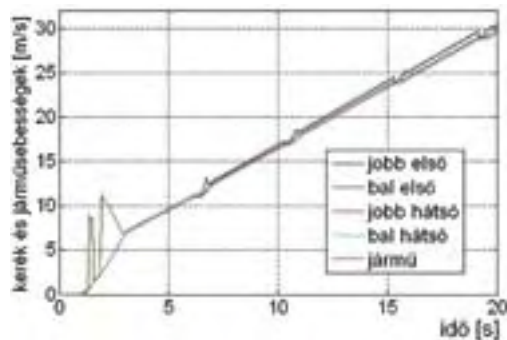
is bármikor elérhetővé tehetőek. A motormodell módosításával könnyedén képesek a modellek például károsanyag-kibocsátás vagy tüzelőanyag-fogyasztás számítására.

Az alábbiakban egy középkategóriás első kerékhajtású jármű példáján mutatjuk be a modell működését. A teszt során egy állandó gyorsulás tartása a cél a járművel, egy előre meghatározott íven való haladásakor. A 3. ábra mutatja a hajtáslánc működését.



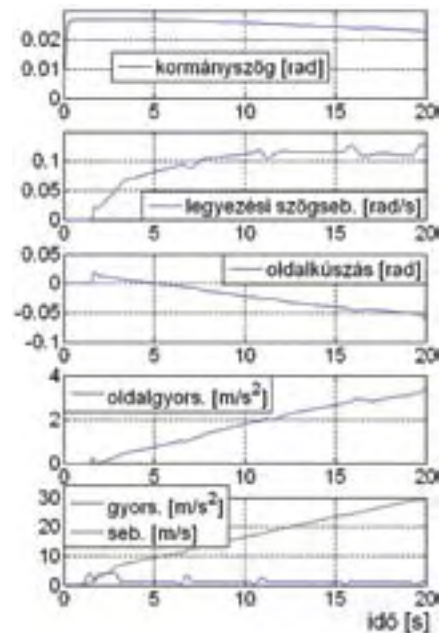
3. ábra: a hajtáslánc működése

Az első grafikon a motor fordulatszámának a tengelykapcsoló túloldali tárcsájának fordulatszámához aránylását mutatja. Utóbbi zöld színnel jelölve a fokozatváltásokkor (nem kuplungoldáskor, csak az új fokozat behelyezésekor) 0 értékűnek kezelődik. A harmadik grafikon zölddel a kuplungpedál állását jelöli – 1 érték felvételekor a hajtáslánc teljesen zárt. A kék fokozatszámok az előbb leírt váltásokkor szintén 0 értékűek.



4. ábra: kerék- és járműsebességek

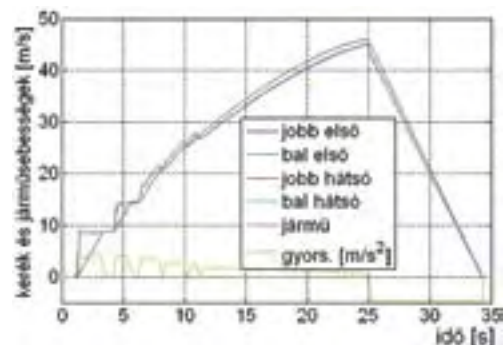
A 4. ábra a kerekek keréktalpponti és a jármű haladási sebességét mutatja. Sajnos a hátsó nem hajtott kerekek és a jármű sebességét jelölő görbék vonalvastagságon belül találhatóak – ez olyan szempontból informatív, hogy a vontatott kerekek megforgatásához igen kis szlip szükséges, mely gyakorlatilag a csapágysúrlódások és a kerekek tehetetlenségének legyőzésére fordítódik csak. Az ábrán a lila és a többnyire takarásban levő vörös színek a hátsó kerekek sebességeit jelzik, ezek a leglassabbak. Náluk valamivel gyorsabb a világoskék jel, ez a jármű haladási sebessége. A zöld és sötétkék pedig a kezdetekben kipörgő kerekeket jelölik. Végezetül az 5. ábra szemlélteti a keresztirányú dinamikát és a hosszirányú sebességet és gyorsulást. A sebesség növelésével folyamatosan szükséges volt növelni az elkormányzást az íven maradáshoz. A legyezési szögsebesség arányos a sebességgel



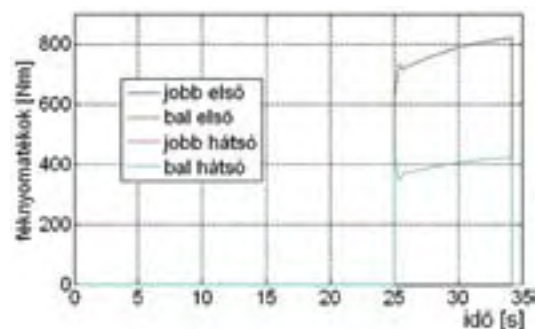
5. ábra: keresztirányú járműdinamika

ugyanazon a kanyarsugáron haladva, ez az ábráról is látható. Ehhez azonban többek közt az elsőkerékhajtásnak és a súlypont elhelyezkedésének köszönhető alulkormányzás miatt az említett módon folyamatos bekormányzás volt szükséges. A jármű megfelelő pontossággal adja vissza az ilyen irányú jellemzőit forgalom-szimulációs mérésekhez.

A 6. és 7. ábra az említett fékezési numerikus gond megoldását szemlélteti. A járművel először gyorsítunk, majd fékezünk. A 6. ábra mutatja a hosszirányú gyorsulást lilával a kerékssebességek és a járműsebesség mellett. A gyorsítási szakaszban tetten érhetőek a váltások az egyes impulzusoknál, a fékezés során pedig a csökkenő légellenállás gyakorol egyre kisebb hatást a járműre. A 7. ábra mutatja a megfelelő pillanatban megszűnő fékezőnyomaték nagyságát.



6. ábra: kerekek numerikus megállása



7. ábra: fékezőnyomatékok

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében kijelenthető, hogy sikerült egy olyan nagymértékben rugalmas járműmodellt alkotni, mely alkalmas a motorkerékpártól a többjárműves vontatmányokig kielégíteni az igényeket egy városi forgalom szimulációs kísérlet számára. Egy kéttengelyes, első kerék meghajtású személygépkocsi szimulációs ideje teljes hajtáslánccal és fékrendszerrel, a csatolt megjelenítő és kiértékelő moduloktól függően akár ötször kevesebb, mint a valóságos idő. Fontos, hogy mindezt a teljesítményt a végrehajtott manőverektől függetlenül tudja nyújtani a szimulációs modell, hála a fix lépések közötti szolvernek. Ha tovább csökkentjük a modell részletességét, és a hajtásláncot például a pedálpozícióktól lineárisan függő hajtó- vagy fékezőnyomatékkal helyettesítjük, és még további numerikus optimalizációkat elvégzünk, akkor a futásidő és a szimuláció idő arányát akár 1:10 értéknél is tovább lehet javítani. Így a városi forgalom szimulációjához szükséges alapvető „építőkövek” minősége több szinten is az igényekre szabható. Mindez tehető úgy, hogy ezekkel egyidejűleg az utazáskényelem vagy emisszió megbecsléséhez szükséges fizikai jelenségek jellemzői jól becsülhetőek járművenként.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat az OTKA 78168 projektben végeztük.

Irodalom

- [1] Choosing a Solver, The MathWorks, Documentation – Simulink, www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink/ug/f11-69449.html#bsfsnf4
- [2] Steve Miller, Jeff Wendlandt: Real-Time Simulation of Physical System Using Simscape, The MathWorks, www.mathworks.com/mason/tag/proxy.html?dataid=12628&fileid=61384
- [3] Prof. Dr.-Ing. G. Rill, Prof. Dr.-Ing. Th. Schaeffer: Grundlagen und Methodik der Mehrkörpersimulation, Vieweg+Teubner, ISBN-10: 3834808881
- [4] Manfred Mitschke, Henning Wallentowitz: Dynamik der Kraftfahrzeuge, 4th edition, Springer 2004 – ISBN 3-540-42011-8
- [5] Dr. Zomotor Ádám: Gépjármű menetdinamika, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., 2006, ISBN 9632124006
- [6] Hans B. Pacejka: Tyre and Vehicle Dynamics, Second edition, 2006, ISBN-10 0-7506-6918-7, ISBN-13 980-0-7506-6918-4
- [7] Prof. Dr.-Ing. G. Rill: Smoothing discontinuities in the Jacobian matrix by global derivatives, EUROMECH 500, Technical University of Lyngby/Copenhagen, Denmark, June 17-19, 2008
- [8] Knorr-Bremse EBS 2.2 fékrendszer, www.knorr-bremse.hu/magazin/zips/magazin20002.zip, www.knorr-bremse.hu/magazin/200002/hun-old5.htm

Elektromos és hibrid-elektromos járművek alkalmazása a postai kézbesítésben

Trencsényi Balázs
projektkoordinátor,
BME EJJT

Szabó Bálint
ügyvivő szakértő,
BME EJJT

Dr. Stukovszky Zsolt
igazgató,
BME EJJT

A GreenPost projekt célja a postai levélszállításban alkalmazott járművek szén-dioxid-kibocsátásának csökkentése. Ennek érdekében különböző európai helyszíneken elektromos és hibrid elektromos hajtásláncú járműveket próbáltak ki a postai feladatok ellátásában. A Magyar Posta számára a hibrid elektromos jármű elemzését és dinamikai vizsgálatát a BME EJJT végezte. A vizsgálatok eredményeképp megállapítható, hogy a prototípus jármű az alapvető céloknak megfelel, és alkalmazása valóban szén-dioxid-megtakarítást eredményezett.

The GreenPost project is based on the substitution of traditional gasoline motorcycles currently used for postal delivery service, with electric and hybrid-electric vehicles to verify the reduction in terms of fuel consumption and CO₂ emissions in the involved 4 European cities. The analysis of a hybrid-electric vehicle for the Magyar Posta (Hungarian Post) was made by the Advanced Vehicle and Vehicle Control Knowledge Center of the Budapest University of Technology and Economics. The prototype vehicle was fit for postal applications. The analysis results are summarized in this paper.

BEVEZETÉS

A klímaváltozás elleni küzdelem egyik legfontosabb terepe a közúti közlekedés szén-dioxid-kibocsátásának csökkentése. E küzdelemben a feladataik ellátásához nagyszámú járművet üzemeltető flottatulajdonosok felelőssége jelentős. Ilyen terület például a levél- és kiscsomag-kézbesítés, melyben a Magyar Posta felismerte felelősségét. A postai kézbesítésben használt járművek emissziója nemcsak a városi CO₂-kibocsátáshoz járul hozzá, hanem az egészségre ártalmas kipufogógáz-összetevők növekedéséhez, valamint a zajterheléshez egyaránt. Több európai posta részvételével és az EU támogatásával kivitelezett GreenPost projekt a megoldáskeresést szolgálta.

A GREENPOST PROJEKT

Az EU támogatásával létrehozott GreenPost projekt 2008 januárjában kezdődött azzal a céllal, hogy ösztönözze az energiahatékonyságra és károsanyag-kibocsátás csökkentésére való törekvéseket négy európai ország, Olaszország, Belgium, Bulgária és Magyarország postai levélszállításában. A partnerországok négy városában postai levélszállításban hagyományosan használt – általában kétütemű – belső égésű motorral szerelt segédmotor-kerékpárokat részben elektromos és hibrid-elektromos négykerekű, de segédmotor-kerékpár kategóriába sorolható járművekkel váltották ki. A projektnek célja volt a tüzelőanyag és a szén-dioxid-megtakarítás kimutatása a prototípus járművek alkalmazása során, valamint a társadalmi-gazdasági szempontok értékelése az új technológiák széles körű bevezetését megelőzően. A projekt deklarálta a postai üzemeltetők elektromos és hibrid elektromos járművekkel szerzett tapasztalatainak áramlását, információcseréjét és a károsanyagkibocsátás-csökkentő technológiák társadalmi elfogadottságát hivatott építeni. A postai levélszállítás a városi mobilitás igen nyilvánvaló példája. Különösen a kis és közepes méretű városközpontokban lehet szembevetni a jelenléte, aminek köszönhetően a közvélemény bevonására is módot ad. Ezt kiegészítendő a helyi szervekkel, oktatási intézményekkel intenzív kommunikáció zajlott a projekt folyamán. A célzott információs kampányok értékes támogatást jelentenek a fenntartható fejlődés technológiáit fejlesztő ipari partnereknek.

Kétféle L6 kategóriában jóváhagyott prototípus jármű érkezett a Magyar Postához, amely a célokkal összefüggésben Szentendrén alkalmazta az alternatív hajtásrendszerű járműveket. Az eltérő hajtásláncú járművek külső megjelenése azonos, melyet a fő méretekkel az 1. ábra mutat. A tisztán elektromos hajtásrendszerű, így lokálisan zéró kibocsátású ZEV (Zero Emission Vehicle) 42 Ah-s gondozásmentes ólomsavas akkumulátoraival a fedélzeti feszültsége 48 V, mellyel két a hátsó kerekek agyába integrált 2,5 kW teljesítményű kefe nélküli motort hajt. Végsebességét 45 km/h-ban maximalizálták, a gyártó által megadott hatótávolsága 45 km. A hibrid elektromos HEV (Hybrid Electric Vehicle) vilamos rendszere megegyezik a ZEV járműével, csak kiegészítették egy az akkumulátorok töltésére képes szinkron generátorral és egy azt hajtó egyhengeres belső égésű motorral. A léghűtéses 100 cm³ lökettérfogatú benzínmotor EURO2 minősítéssel rendelkezett, legnagyobb teljesítménye a jármű gyártója szerint 2,2 kW 4500 1/min fordulatszámra. A HEV jármű is képes pusztán elektromos üzemre. A belső égésű motor külön, kizárólag a műszerfalról indítható a hatótávolság növelése érdekében, melyet egyébként a gyártó 200 km felett adott meg.



1. ábra: FreeDuck jármű

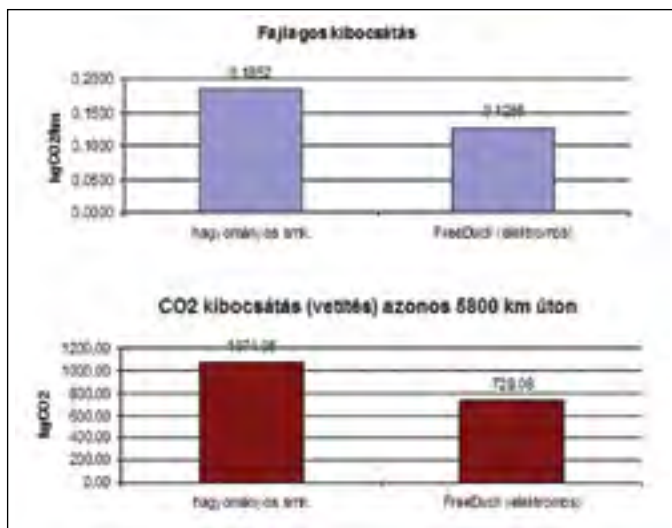
AZ ALKALMAZÁS EREDMÉNYEI

A járművekkel az akkumulátorok elektromos töltését lehetővé tevő egységet is rendelkezésre bocsátott a gyártó. A töltőegység a hagyományos 230 V-os villamos hálózatra csatlakoztatható, és a töltésre fordított energiamennyiséget [kWh] képes mérni.

Ennek segítségével meghatározható, miként alakult a szén-dioxid-kibocsátás az eredetileg használt 50 cm³ lökettérfogatú 3 kW teljesítményű segédmotor-kerékpárhoz viszonyítva. Bár a kézbesítést szolgáló eredeti járművet éves szinten nem sikerült teljes egészében kiváltani, a prototípusokkal megtett több mint 1500 km alatt elegendő adat gyűlt össze az összevetéshez.

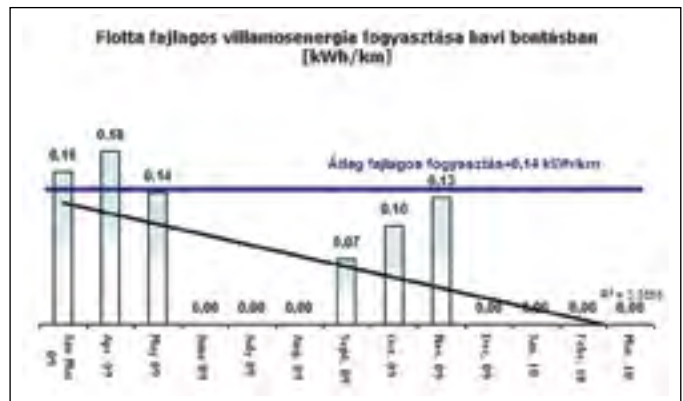
Mivel a prototípus járművek alkalmazása a 2009. év folyamán történt, így az eredeti flotta báziséva a 2008. év. A számítások során havi bontásban állt rendelkezésünkre a megtett úthossz és az elfogyasztott tüzelőanyag-mennyiség. Az adatokból azt kapjuk, hogy a bázisévben havonta átlagosan kb. 493 km-t tettek meg a kézbesítők a járművel. Ezalatt havonta átlag kb. 34 liter tüzelőanyag fogyott, ami csaknem 6,9 l/100 km átlagfogyasztásnak felel meg (tisztán városi forgalom téli üzemet is beleértve). A benzin szén-tömeghányadát 85%-nak feltételezve 1 kg tüzelőanyag tökéletes elégetésekor 3,11 kg CO₂ keletkezik. Ezzel az adott időszakban a jármű átlag 160 g szén-dioxidot bocsátott ki kilométerenként. A tüzelőanyag-előállítását és szállítását is figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy 1 kilogrammnyi benzinből 3,6 kg CO₂ keletkezik [EU JRC WTW]. Ezzel az értékkel, melyet a GreenPost projektben is elfogadtak, a fenti kibocsátás 185 g CO₂/km-re adódik.

A prototípus járművek közül az elektromos hajtásláncúak érkeztek meg előbb, így velük tudtak több szállítási feladatot elvégezni a kézbesítők. Tavaszi, kora nyári időszakban 3 járművel havonta átlag 150–190 km utat tettek meg. A járműveket villamos hálózatról töltötték, az elfogyasztott energiamennyiség havi átlagértéke 23 és 30 kWh értékek közé esett. A GreenPost projektben a villamosenergia-termelés fajlagos szén-dioxid-kibocsátására 699 gCO₂/kWh értéket adtak meg. Magyarországon ez az érték 719 gCO₂/kWh termelői oldalon, és a hálózati veszteségeket beleszámítva 803 gCO₂/kWh fogyasztói oldalon [KVVM 2009]. Az elektromos járművekkel megtett 1542 km-en az előbbi értékkel számolva 110 g/km fajlagos CO₂-kibocsátást kapunk, míg utóbbival 125 g/km-t, ld.: 2. ábra.



2. ábra: fajlagos és összes CO₂-kibocsátás különböző hajtásrendszerű, de azonos feladatot ellátó járműveknél

Ha éves szinten 5800 km megtett utat feltételezünk – ami az eredeti flottával a bázisévben megtett útnak megfelelő –, akkor erre vonatkoztatva a szén-dioxid-megtakarítás a legrosszabb esetben is eléri a 346 kg-ot (2. ábra). A 2009. év alatt az alternatív hajtásrendszerű járművek teljes flotta-fogyasztása 246 kWh volt, összesen 1783 km-t tettek meg, amiből 14,8 kWh/100 km fogyasztás adódik. Ez a gyártó által megadott 11 kWh/100 km értéket meghaladja ugyan [GreenPost Prelim. Report], de kedvező érték a hagyományos segédmotor-kerékpár fogyasztásával, valamint a



3. ábra: flotta fajlagos energiafogyasztása havi bontásban

benzin fűtőértékével számolt 63,25 kWh/km értékéhez viszonyítva még annak ismeretében is, hogy a járművek kevésbé szélsőséges időjárási körülmények között közlekedtek, mint a nagy futásteljesítményű segédmotor-kerékpár. A vizsgált időszakban ténylegesen megtakarított szén-dioxid mennyisége 145 kg-ra tehető.

SZERKEZETANALÍZIS

A következőkben a hibrid jármű részletes ismertetésére kerül sor. A jármű soros rendszerű hibrid elektromos hajtáslánccal rendelkezik. A hátsó kerekbe épített egyenként 2,5 kW teljesítményű kerékagymotor hajtja a járművet. A motorok egyenáramú, kefe nélküli gépek, amelyek vezérlését a hátsó lengőkarokba épített elektronika szabályoz. A két agymotornak külön-külön vezérlése van, amelyek egymástól független működtetik a motorokat. Egy központi vezérlőpanel küld utasítást a két elektronikának a kívánt motorteljesítményekről. A központi vezérlés a gázpedálállás alapján határozza meg a szükséges motornyomatékot. A motorok és a jármű energiaellátásáról egy 48 V egyenfeszültségű akkumulátor-hálózat gondoskodik. Az akkumulátorok 45 Ah kapacitású 12 V névleges feszültségű ólomsavas akkumulátorok. Összesen 8 darab akkumulátort helyeztek el a jármű alvázába épített akkutartó tálcába. Az akkumulátorok páronként párhuzamosan össze vannak kötve, majd az akkumulátorpárok egymással sorba vannak kötve. Kivétel ez alól az első és az utolsó akkumulátorpár, azok nincsenek teljesen párhuzamosítva, az alsó, szélső akkumulátorok és a felső szélső akkumulátorok ugyanis külön-külön vannak kivezetve. Tehát két 48 V-os kivezetés van: külön-külön az egyes motorokhoz.

Az elektromos rendszer külön karbantartást nem igényel. Az elektronikai egységek és az elektromos motorok is (mivel kefe nélküli) a jármű teljes élettartamát kiszolgálják. Az akkumulátorok gondozásmentesek, használatuk során nem igényelnek karbantartást, azonban élettartamuk rövidebb a járműénél, időnként cserélni kell őket. Bár több akkumulátor van összekötve, nincs cellafeszültség-kiegyenlítés a rendszerben. Két egymással párhuzamosan kötött akkumulátor feszültsége kiegyenlítődik, de a sorba kötött akkumulátoroké nem. Tehát ha két sorba kötött akkumulátor esetén azok feszültsége között különbség van, akkor ennél a rendszernél kisütéskor az alacsonyabb töltöttségű akkumulátor a kisütési határfeszültség alá is lemerülhet, míg a magasabb feszültségű akkumulátor nem merül le teljesen. Töltésnél ennek fordítottja következik be, az alacsonyabb töltöttségű akkumulátort nem lehet teljesen feltölteni, míg a magasabbat esetleg túltölti a rendszer. Az akkumulátorok cellafeszültség-kiegyenlítő rendszer hiányában nem garantálható az akkumulátorok azonos mértékű kihasználása, így előfordulhat, hogy egy meghibásodott akkumulátor hatására a többi akkumulátor is idő előtt tönkremegy, sőt nagymértékű különbség esetén a

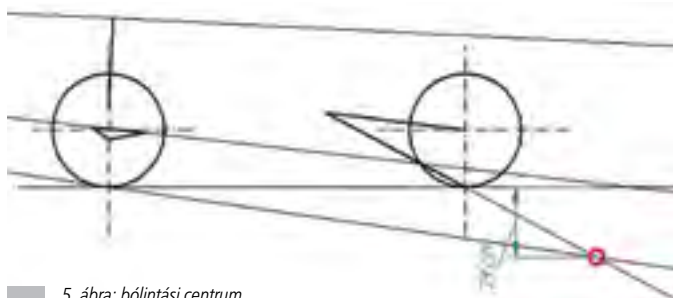
robbanásveszély is fennáll. Ugyanezen oknál fogva figyelni kell az akkumulátorok cseréje esetén arra, hogy az újonnan beépített akkumulátorok minden villamos jellemzője megegyezzen egymással (és persze a gyártó követelményeivel is), valamint azok töltöttsége is azonos legyen.

Az aggregát egy egyhengeres belső égésű motorból és egy szinkron generátorból áll. A belső égésű motor egy egyhengeres Otto-motor, Euro2 környezetvédelmi besorolással. Az alapmotor egy Honda GX100-as 98 cm³-es benzinmotor, amelyet a járműgyártó cég átalakított. Az eredetileg 56 mm-es furatot 58 mm-re bővítették, ezáltal a lökettérfogatot 105,7 cm³-re növelték. Az eredeti motor keverékképzését egy karburátor végezte, ezt a szerepet a módosított motor esetében egy befecskendező-rendszer látja el. A karburátort meghagyták a motorban, hiszen benne található a benzinmotorok mennyiségi szabályozásához szükséges fojtószelep. Mivel egy stabil motorról van szó, regulátorra, fordulatszám-szabályozóra is szükség van. Az eredeti motoron ezt a szerepet egy mechanikus működésű röpsúlyos szerkezet végezte, a módosított motoron viszont a fojtószelepet egy léptetőmotor segítségével forgatják, amit az jármű vezérlőrendszere irányít. Az Euro2 norma biztosításához a motor kipufogórendszerébe oxidációs katalizátort, és a katalizátor elé egy lambda-szondát helyeztek, amely szabályozott keverékképzést biztosít.

A járművet kétkörös hidraulikus fékrendszerrel látták el. A főfékhenger párhuzamos kialakítású, a fékpedálhoz kapcsolt rudazattal két egymás mellett található, egymástól függetlenül működő dugattyút mozgatunk. A kétkörös fékrendszer tengelyenkénti fékkörfelosztású, vagyis az egyes tengelyekhez tartozó kerékfék-szerkezetek vannak azonos fékkörbe kapcsolva. A főfékhenger egyik körében egy nyomáskapcsoló található, amely informálja a vezérlőegységet, hogy a vezető fékez, így elkerülhető, hogy egyszerre működtessük a fék- és a hajtásrendszert. Mind az első, mind pedig a hátsó tengelyen tárcsafékek vannak. A rögzítőfék mechanikus működésű, acélhuzal segítségével működteti a hátsó tárcsaféket. A gépjárművek fékrendszerére vonatkozó előírások szerint 0,8 g fajlagos lassulásig az első tengelynek kell túlfékezettnek lennie. Hogy ezt biztosítani lehessen, a járművekbe fékerő-szabályozót építenek, illetve a korszerű blokkolásgátló rendszerek már külön fékerő-szabályozó nélkül is biztosítani tudják a megfelelő fékerőelosztást. A vizsgált járműben sem blokkolásgátló, sem pedig fékerő-szabályozó nem található. Mivel a jármű tömege nem változik nagymértékben, ezért nincs szükség terhelésfüggő fékerő-szabályozóra, az állandó kapcsolási pontú fékerő-szabályozást pedig megfelelő dugattyúátmérőkkel is biztosítani lehet.



4. ábra: momentán tengely

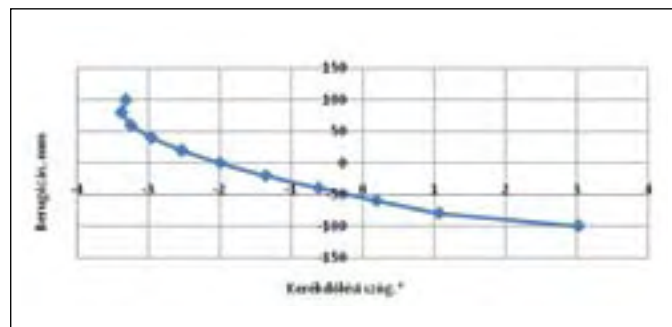


5. ábra: bólintási centrum

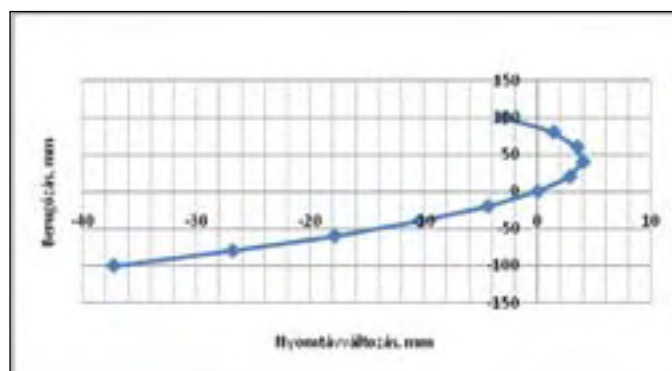
A járművet független felfüggesztésű futóművekkel szerelték, az első futóművének MacPherson felfüggesztést, a hátsónál hossz-lengőkart alkalmaztak stabilizátorral. Ezek a felfüggesztéstípusok az olcsó, kis tömegű járműveknél használatosak. Mind a négy felfüggesztésnél tekercsrugót, és olajos, gáztöltésű lengéscsillapítót használnak. A jármű elsőkerék-kormányzású, a kormányműve fogasléc. A fogasléc jobb oldalát vezetik ki, amely egy kormány-összekötő rúdon keresztül kormányozza a jobb oldali kereket. A jobb első kereket egy kormánytrapéz-szerkezettel kötik össze a bal első kerékkel, vagyis a kormánymű a bal oldali kereket a jobb oldali keréken keresztül kormányozza. A kormányzásnak két fontos jellemzője a maximális kormányoszög, amely meghatározza a jármű fordulókörét, és a kormány-hibagörbe, amely az Ackerman-geometria teljesülését mutatja meg.

A futómű kinematikai vizsgálata során meghatározhatjuk a momentantengelyt, amely tengely körül a jármű oldalról hatására megdől, valamint a bólintási centrumot, amely azt a keresztirányú tengellyel párhuzamos tengelyt definiálja, amely körül a járműtest bólintás során elfordul.

Az egyes futómű-kialakításokra jellemző, hogyan változik a kinematikájuk. Az egyik kinematikai paraméter a kerékdőlés. A kerék ki- és berugózása során a kerékdőlés változni fog, ami meghatározza a jármű dinamikai viselkedését is. Cél, hogy növeljük a jármű stabilitását kanyarban. A stabilitás növelése érdekében berugózás során negatív, kirugózásnál pedig pozitív értékűnek kell lennie.



6. ábra: kerékdőlés változása



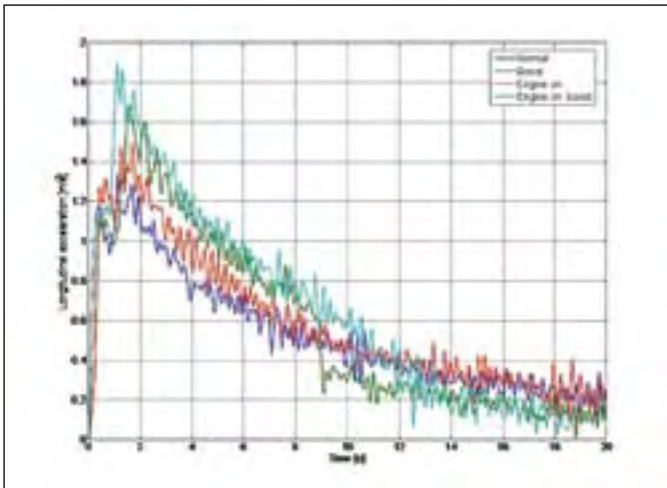
7. ábra: nyomtáv változása

A nyomtávváltozásra hasonló szempontok érvényesülnek, berugózásnál növekednie kell, kirugózásnál pedig negatívnak kell lennie a nyomtávváltozásnak a jármű stabilitásának növeléséhez. Amint az a 6. ábrán látható, a berugózással a kerékdőlés megfelelően változik, a kedvező tendencia csak a nagy berugózási értéknél szakad meg, amikor is a diagram visszafordul, a kerékdőlés-változás pozitív lesz. Hasonlóan fut le a nyomtávváltozás diagramja: berugózással a nyomtáv eleinte nő, de aztán már viszonylag kicsi (> 40 mm) berugózásnál megfordul a kívánt tendencia, és a berugózással csökkenni kezd a nyomtáv.

JÁRMŰDINAMIKAI VIZSGÁLATOK

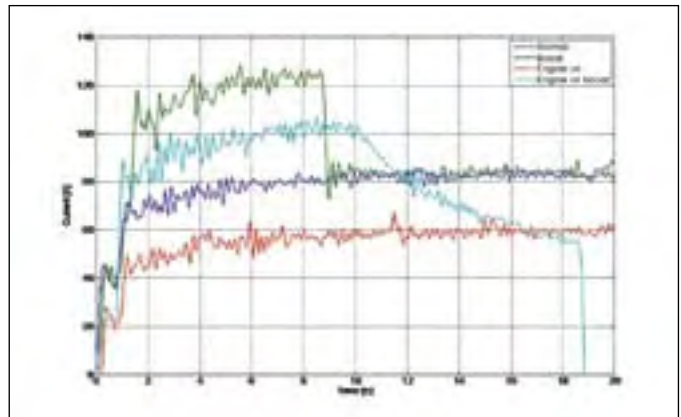
A dinamikai vizsgálatok elvégzéséhez a járművön szenzorokat és adatgyűjtő egységeket helyeztünk el. A dinamikához gyorsulás- és szögsebességjelekre van szükség. Ehhez egy hat szabadságfokú szenzoregységet, egy Inventure VDSU (Vehicle Dynamical Sensor Unit) egységet használtunk. Ez a szenzoregység hat dinamikai jellemzőt: három gyorsulásértéket és három szögsebesség-értéket mér. Ezek rendre: hosszirányú, keresztirányú és függőleges irányú gyorsulások, és a három tengely körüli szögsebességek: a hosszitengely körüli a dőlési szögsebesség (roll rate), a keresztirányú tengely körüli a bólintási szögsebesség (pitch rate), végül a függőleges tengely körüli a legyezési szögsebesség (yaw rate). A VDSU ezeket a mennyiségeket méri, és CAN üzenetek formájában továbbítja az adatgyűjtő egységnek. Ezen kívül a hajtáslánc értékelhetőségéhez még fontos rögzíteni a jármű elektromos hálózatainak jellemzőit: a hálózati feszültséget és az áramerősséget. Az adatgyűjtés feszültségméréssel történik, mivel azonban a hálózati feszültség (48 V) jócskán nagyobb az adatgyűjtő ± 10 V mérési határánál, így feszültségosztóra van szükség. Az áramméréshez egy ± 150 A méréshatárú analóg árammérőt alkalmazva tudjuk a terhelő-, illetve a töltőáramot mérni. Ahhoz, hogy mind a kisütő-, mind pedig a töltőáramot mérjük, az árammérőt az akkumulátorokhoz kell bekötni. A feszültségosztó áramkör és az árammérő analóg jelet ad, de az alkalmazott adatgyűjtő a VDSU miatt egy CANCase egység, amely nem tud analóg jeleket értelmezni. Ezért a két analóg jel fogadására egy AD2CAN egységet alkalmaztunk, amely az analóg jeleket digitalizálja, és CAN üzenetké alakítja. A CANCase egység két csatornáján a VDSU és az AD2CAN felől érkező üzeneteket fogadja és egy számítógép felé továbbítja. A dinamikai tesztek zárt pályán végeztük el.

A gyorsítóképesség vizsgálatát minden esetben teljes gázpedálállás mellett, álló helyzetből indulva végeztük. Négy esetet vizsgáltunk meg: normál gyorsítás, BOOST funkció bekapcsolása melletti gyorsítás, és ugyanez a két eset járó belső égésű motor mellett.



8. ábra: hosszirányú-gyorsulások teljes terhelésen

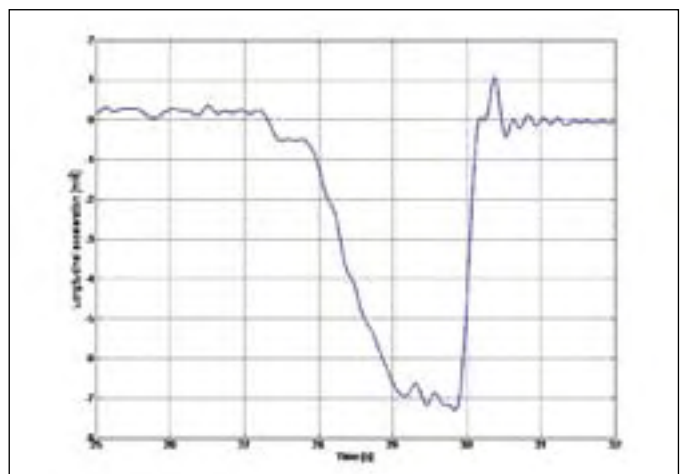
A gyorsulási diagramokból felállítható a sorrend, bár nincs lényeges különbség a négy esetbeli gyorsulások között. A normál üzem melletti gyorsulás a legkisebb. Ennél nagyobb gyorsulást érünk el bekapcsolt motor mellett, aminél még nagyobb a kikapcsolt motor melletti boost funkcióval. Legnagyobb gyorsulást a bekapcsolt motor melletti boost funkcióval történő gyorsítás adja. A boost funkció körülbelül plusz $0,4 \text{ m/s}^2$ gyorsulástöbbletet jelent, míg a motor bekapcsolása körülbelül $0,2 \text{ m/s}^2$ -et. A járó motor azért eredményez nagyobb gyorsulást, mert a generátor által termelt energiát is fel lehet használni a villamos motorok hajtására.



9. ábra: áramerősségek gyorsuláskor

Az áramerősségek között már látványosabb különbségek vannak, mint a gyorsulások között. A pozitív áramerősség kisütőáramot jelent. Mivel az árammérőt az akkumulátorokhoz kötöttük be, így az akkumulátor áramát mérjük, nem pedig a villanymotorét. Bekapcsolt motor melletti gyorsítás esetében volt a legkisebb áramerősség, annál nagyobb volt a normál gyorsításkori áram, aztán a boost funkcióval történő gyorsítás melletti áram következik. Legnagyobb áramerősséget a kikapcsolt motor melletti boost funkcióval történő gyorsításkor mértünk. Mivel az akkumulátorból felvett áram erősségét mérjük, ezért a terhelőáram (pozitív) és a töltőáram (negatív) eredőjét kapjuk. Ezért lesz kisebb áram bekapcsolt motor esetében. Normál gyorsítás esetében 80 A áramot vesznek fel a motorok, boost funkcióval pedig 120 A-t. Ezekhez képest 20 A-rel kevesebb az áramerősség bekapcsolt motor esetében. Vagyis a 9. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy teljes gázzal történő gyorsításnál mindenképpen merülnek az akkumulátorok. Tapasztalataink alapján már 20–30%-os gázpedálállás felett nagyobb a kisütőáram, mint a töltőáram. Ezért bár a belső égésű motor megnöveli a jármű hatósugarát, de átlagos forgalmi használat mellett valószínűleg nem képes az akkumulátort újra feltölteni, vagyis a hatótávolságot továbbra is az akkumulátorok kapacitása határozza meg, nem pedig a benzintartály térfogata. Az ábrákon az is érzékelhető, hogy a boost funkció nem működött a teljes gyorsítás alatt, csak 8–10 másodpercig engedte a rendszer működtetni.

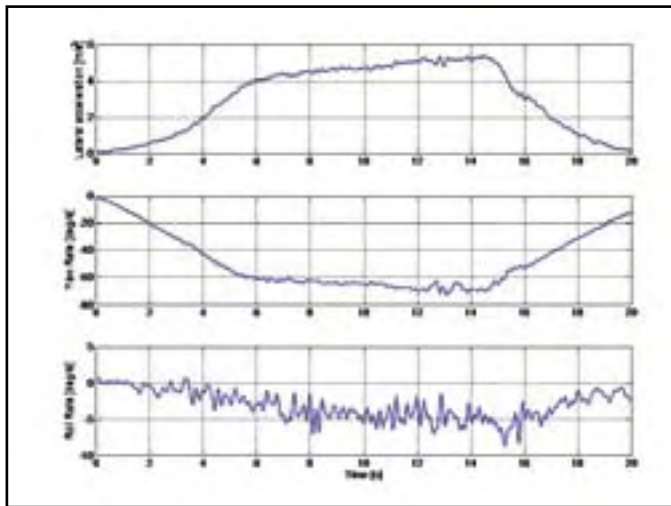
A fékezés vizsgálata során a járművel felgyorsítottunk végsebességre, majd intenzív fékezéssel egyenes pályán megállásig fékeztünk. Az intenzív fékezés azt a legnagyobb fékerőt jelentette, amelyet a vezető még biztonságosnak ítélt meg. Egy negyven másodperces tesztszituációból a fékezésre vonatkozó 7



10. ábra: hosszirányú gyorsulás fékezéskor

másodperces szakaszt mutat a 10. ábra. A fékezés a 28. másodpercben kezdődött, és 1–2 tizedmásodperccel a 30. másodperc után fejeződött be. Az intenzív fékezés során a maximális fékerő 7 m/s^2 volt, amely az előírásoknak megfelel, mivel a minimális elvárt, előírás szerinti lassulás $5,8 \text{ m/s}^2$. Érdekes megfigyelni még a bólintási szögsebességet, amelyből egyrészt a bólintás maximális szögértéke adódik, mely a járműstabilitás szempontjából fontos, másrészt a vezető biztonságérzetét is befolyásolja. A fékezés során körülbelül $0,8$ másodpercen keresztül -5 fok/s szögsebességet mérünk. Ez az 5. ábrán bemutatott viszonylag távol eső bólintási centrummal magyarázható, melynek eredményeképp a jármű nagy valószínűséggel nem borul ugyan előre, de a hátsó tengely az átterhelődés miatt stabilitásvesztés közelébe kerül. A fékezés végén a tömegelemek megszűnésével a kocsi gyorsan visszabilen eredeti helyzetébe, ami alatt 22 fok/s bólintási szögsebességet is elér.

Körpályás tesztnél maximális kormányelfordítási szög mellett kezdtük a tesztet, és álló helyzetből indulva maximális gázpedálállás mellett gyorsítottunk a maximális, még biztonságosnak tartott sebességig, majd utána fékezéssel állítottuk meg a járművet. A teszt során a legnagyobb elért sebesség 14 km/h volt.



11. ábra: keresztirányú gyorsulás, legyezési szögsebesség és dőlési szögsebesség körpályás teszt során

A 11. ábra mutatja a körpályás teszt eredményeit, melynek során a maximális oldalgyorsulás (lateral acceleration) $4,5 \text{ m/s}^2$ volt, ami a kanyarodási sugártól és a jármű sebességétől függ, hasonlóan a legyezési szögsebességhez (yaw rate). Ez utóbbi esetünkben több mint 60 fok/s -ra adódott, amely azt jelenti, hogy egy teljes kört kb. 6 másodperc alatt tesz meg a jármű, vagyis a jármű igen fordulékony. A dőlési szögsebesség (roll rate) ugyanakkor a jármű konstrukciójától erősen függ: elsősorban a jármű súlypontjának és a 4. ábrán szemléltetett momentán tengely távolságától, míg ez utóbbi helyzete közvetlenül a futómű kialakításától függ. A terheletlen jármű súlypontja ugyan kellőképp alacsonyan van a padlón elhelyezett akkumulátoroknak köszönhetően, viszont ezek súlya a járművezetővel összemérhető, akinek ülőpozíciója magas. Terhelt állapotban – mikor a súlypont magasabbra kerül – stabilitásvesztés nem következett be, de a felépítmény dőlő mozgását zavarónak érzékeltek a tesztet végrehajtó járművezetők, amit a viszonylag nagy mért dőlési szögsebesség értékek ($\sim 6\text{--}8 \text{ fok/s}$) is alátámasztanak (ld. 11. ábra alsó diagram). Az elvégzett

szalomsztesztek eredményei hasonló megfontolásokra engednek következtetni. Míg a 12 m-es bójatávolságnál állandó 30 km/h sebességgel tudtunk végighaladni, addig a 6 m-es bójatávolságnál nagyjából ugyanazon dőlési szögsebességek elérése mellett 15 és 20 km/h között folyamatosan változott a járműsebesség. Az egyik legalapvetőbb keresztstabilitási teszt a kettős sávváltás. A szabványban rögzített pályán a jármű végsebességgel gond nélkül tudott végighaladni.

Az elektromos járművek egy fontos jellemzője a járművek hatósugara. Mivel esetünkben a teszt pályán nem volt lehetőségünk a hálózati töltőt alkalmazni, ezért csak a saját aggregátjával tudtuk tölteni a jármű akkumulátorait. Mivel a jármű alkalmazása közben elképzelhető, hogy nem teljesen töltött akkumulátorokkal kell feladatot teljesítenie, ezért nem teljesen töltött akkumulátorokkal hajtottuk végre a méréseket, hanem egységesen 60% töltöttségi szintről teljes terheléssel. Ez természetesen nem ad pontos értéket, a teljes hatósugárról, de a belső égésű motorral és az anélkül történő használatnak az összehasonlítása elvégezhető. Az 1. táblázat tartalmazza a megtett utak hosszát.

	Hatótávolság [km]	Kezdő akkufesz. [V]	Végző akkufesz. [V]
Bekapcsolt motorral	29,4	51,6	46,1
Kikapcsolt motorral	19,5	51,8	47

1. táblázat.: hatótávolságok 60% akkumulátortöltöttségről

A mérés során a műszerfalán leolvasható kilométer-számláló értékeit rögzítettük. Az 1. táblázat értékeiből leolvasható, hogy a gyártó által megadott 200 km feletti hatótávolság legfeljebb csak 25% gázpedálállás alatt lehet elérhető. Ezzel azonban a közúti forgalom dinamikája csak ritkán tartható. A postai szolgálat ellátása során azonban a hibrid jármű belső égésű motorját sosem kellett bekapcsolni, mert a szállítási feladatot tisztán elektromos üzemben el tudta látni a jármű.

ÖSSZEFOGLALÁS

A járműtípusról elmondható, hogy az a postai kézbesítés feladatát üzemképes járművekkel kiválóan képes ellátni. Modern hajtáslánc kategóriájának megfelelő dinamikát biztosít, miközben alkalmazása kedvező a környezetterhelés szempontjából. Hasonlóan a fékrendszer és a futómű is megfelel a járműkategóriának: felépítésük nem bonyolult, de hatásosak. Utóbbinak köszönhetően ugyan dinamikus irányváltásnál a felépítmény dőlése jelentős, de ez nem jelenti a stabilitásvesztést, csak a vezetési érzést befolyásolja hátrányosan. Az ergonómia nem tökéletes, a vezetői helyzetet a pedálok elhelyezése és kialakítása, valamint a kormány állása szokatlan. A hibrid jármű hatótávolságát a belső égésű motor bekapcsolásával növelhetjük ugyan, de ennek időzítése lényeges kérdés, mivel az elérhető hatótávolságot továbbra is az akkumulátorok szabják meg.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a GreenPost projektben valósult meg, amelyet az Európai Unió támogat.



Aktív kormánybeavatkozással kiegészített haszongépjármű-ESP

Hankovszki Zoltán
PhD hallgató, BME GJT

Kovács Roland
projektmenedzser, BME EJJT

Dr. Palkovics László
fejlesztési igazgató,
Knorr-Bremse
Stratégiai rektorhelyettes,
Kecskeméti Főiskola

Haszongépjárművek esetén két fontos tényezőt kell egy aktív kormányművel támogatott ESP-rendszer felépítésekor figyelembe venni: az egyik a jelentős skálán mozgó járműtömeg és annak eloszlása. A másik az alacsony frekvenciájú járműmozgás. Így egy minden esetben robusztus, alacsony frekvenciákon pontos szabályozó elkészítése a célszerű.

In case of commercial vehicle's active steering ESP's development there are two fundamental factors: one of these is the heavily variable vehicle mass and load distribution. The other is the low frequency vehicle behavior. The aim is to ensure a controller, which is in every case robust and accurate at low frequencies.

1. TIPIKUS ESP-SZITUÁCIÓK KÖVETELMÉNYEI

Az ESP-szituációk nagy valószínűséggel baleseti forrásoknak is tekinthetők. Ennek tárgyalására számos statisztika született már, az egyik leglátványosabb talán az amerikai NHTSA (National Highway and Traffic Safety Administration) elemzésének végeredménye [1], amely szerint az SUV kategóriájú járművek ESP-vel szerelt változatai 67%-kal kevesebb balesetben vettek részt, mint hagyományos társaik. Haszongépjárművek esetén a tipikus baleseti források és okaik a következők:

- Borulás: magas tömegközéppont
- Kicsúszás: kis tapadás vagy nagy sebesség
- „Bebicskázás”: pótkocsi ráfutása
- Megpördülés: hátsó tengely tapadásvesztése
- Vázlengés: rossz rakományelosztás
- Elalvás: fáradtság.

Két fontos dolgot kell a felsorolással kapcsolatban észrevenni: az első a rakomány szerepe. Egy Iveco Eurocargo ML120E21P típusú haszonjárműnél például az üres tömeg 4 tonna, maximális terhelés esetén pedig 12 tonna. A tengelyterhelések az első esetben 70:30 arányban oszlanak meg az első és a hátsó tengely között, terhelten pedig 30:70 arányban, tehát pont fordítva. A másik figyelemre méltó dolog az, hogy csak kormányművel megakadályozható balesetek manőverei jó eséllyel kis frekvenciájúak. Egy autópálya-lehajtó szűkülő sugarú ívében történő borulás (mely tipikus haszonjármű-baleset) során lezajló folyamatok például sokkal jobban modellezhetőek lineárisan ebből adódóan, mint egy hirtelen kettős sávváltás. Ez egybevág a kormánymű viszonylag lassú működtetésével (a fékrendszerhez képest), és a hirtelen beavatkozásokkor kívánatos inkább gyors, mint pontos beavatkozási igénnyel – miután a jármű esetleg már felborult vagy ütközött, hiábavaló előny lenne, hogy a szabályozott jellemző viszont „nem lőtte volna túl magát a referencijelen”. Ilyen esetekben egyszerű és effektív beavatkozásra van szükség, nem pedig nagy pontosságúra.

Mindezek összefoglalásaként tűzhető ki a kormányrendszerrel támogatott haszonjármű-ESP megalkotásának két fontos pontja:

1. Minden terhelési esetre és racionális abroncskopási mértékre, valamint útfelületre lehetőleg robusztus szabályozó megalkotása a cél.
2. Kis frekvenciás manőverek esetén (melyeket a kormányaktuátor le tud követni, és elegendő csak ilyen módon beavatkozni) cél a minél pontosabb szabályozó megalkotása. Nagy frekvenciás beavatkozások esetén egyszerű PID szabályozó használata célszerű.

2. SZABÁLYOZÁSI TECHNIKÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Kormányműről lévén szó, rendelkezésünkre áll a szinte analóg módon történő beavatkozás lehetősége (a rendelkezésre álló

határok közt), és fontos hogy kismértékű elkormányzásra már érzékenyen reagál a jármű mozgásállapota – autópályán például egy sávváltáshoz a kormánykeréken mérve elegendő néhány foknyi elfordulás. Ha a kormányzott kerekeken 5°-os additív elfordulást engedélyezünk például, akkor ez 1:20-as áttétellel számolva 100° a kormánykeréken mérve, az autópályás példán keresztül jól látható, ez milyen mértékű beavatkozást jelent a jármű mozgásállapotában. Ebből adódóan a pontos beavatkozás mellett fontos a minél kisebb kontrolljelen mért zajszint.

Hogy biztosítsuk a fenti követelményeket, több kontrollrendszer-tervezési elvet vettünk figyelembe:

- PID szabályozó
- Neuro-Fuzzy szabályozó
- Lineáris Kvadrátikus Regulátor (LQR)
- H_{∞} szabályozó.

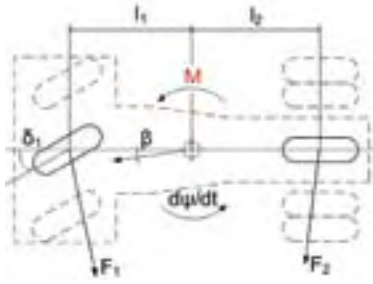
A technikák ilyen módú összeállítását az indokolta, hogy szeretnénk volna tapasztalati alapon, és elvi alapon működő logikákat is kipróbálni. Előbbiek képviselője az első két szabályozási technika: mindkettő esetén a rendszerről nem feltétlenül kell bármiféle ismerettel rendelkezni, az egyes tagok kézi hangolásával, vagy a rendszer ki- és bemenő jeleinek reprezentatív mérésével könnyedén megalkotható a kívánt szabályozási rendszer. Utóbbi két szabályozó esetén pedig választott súlyokkal történő költségfüggvény-minimalizálás vezet a végleges controllerhez.

Az egyes technikák összehasonlításakor szempont volt a megtervezett szabályozó működésének vizsgálata üres és terhelte járműállapotban is, különböző abroncsállapotok mellett (a szabályozók tervezése közepesen terhelte állapotra történt, új abroncsok esetére). Ezek alapján három kísérleti állapotot állítottunk össze, melyeket az első táblázat szemléltet. Az egyes esetek megalkotásakor nem a reprezentativitás biztosítása volt a cél, hanem a tendenciák felismeréséhez szükséges környezet biztosítása. Az állapotok a már említett 3,69 m-es tengelytávú Iveco Eurocargo típusú haszongépjármű komplex szimulációs környezetben elkészített modelljeiből nyert adatok alapján kerültek becslésre – ez a függőleges inerciára, valamint a súlypontra érvényes.

	Üres	Félig terhelte	Terhelte
Tömeg – kg	4111	8045	11 980
Inercia – kgm ²	13 527	27 271	27 995
Tömegelosztás	71:29	36:64	29:71
μ elől/hátul	0,6/0,8	1,0/1,0	0,8/0,6

1. táblázat: az egyes kísérleti állapotok

A kontroller tervezéséhez egy kéttengelyes biciklimodell szolgáltatta az alapot – 1. ábra. Az ábrán láthatóan pirossal jelölt M kontrollnyomaték megállapítását tekintettük feladatnak a szabályozási modellek megalkotásakor.



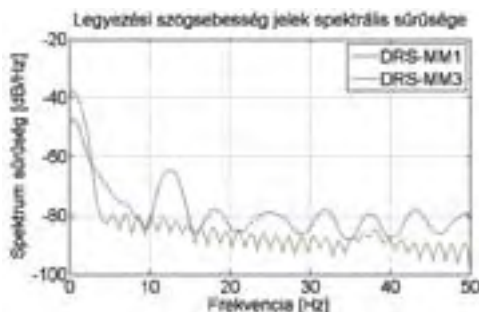
1. ábra: kéttengelyes biciklimodell

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1\max} \\ F_{2\max} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{0.08} = \begin{bmatrix} l_2 \\ l_1 \end{bmatrix} \cdot \frac{m \cdot 0,9 \cdot 9,81}{l_1 + l_2} \cdot \frac{1}{0.08} \quad (1)$$

Az egyes kontrollerek összehasonlítását is egy ilyen biciklimodellre alapuló szimuláció segítségével végeztük, a kontroller hatásának minél egyértelműbb megmutatkozásáért. A jármű állapotparamétereikhez szükségeltetett még a biciklimodell abroncsainak c_i oldalkúszási együtthatója. Ezek becslésére az (1) egyenletet használtuk, célja egy 8%-os oldalkúszási érték esetén fellépő, az aktuális tengelyterhelés 90%-ával megegyező oldalerő lineáris biztosítása – mindez tapasztalati alapon. A modell egyébként ennél nagyobb oldalerő leadására nem képes – az maximálva van a 8%-os értéknél.

Minden megalkotott szabályozóra számításra került egy statikus kontroll nyomaték is, mely 0,05 rad/s szögsebesség-eltérésre (és az ehhez tartozó Ackermann oldalgyorsulásra) vonatkozik. Ennek célja a rendszerek statikus erősítési tényezőjének összehasonlítása. További említendő tényező a szenzorjelek zajainak szimulációja. Ehhez Bosch gyártmányú DRS-MM1 és DRS-MM3 [2] típusú oldalgyorsulást és legyezési szögsebességet mérő szenzorok jeleit hasonlítottuk össze, többek közt spektrális analízissel – 2. ábra. Érdeklenség, hogy az újabb DRS-MM3 szenzor esetén az oldalgyorsulás jel sokkal erőteljesebb szoftveres szűrést kapott, de a legyezési szögsebességgel minősége is javult. Az ábráról látható módon az újabb változat az alacsony frekvenciás jelekre érzékenyebb (itt találhatóak a mérendő jelek is), ugyanakkor a nagyfrekvenciás komponensek mindenütt kevésbé érvényesülnek.

A szabályozók tervezésekor az ilyen módon nyert zajadatokat nem vettük figyelembe: feltételezéseink szerint e szenzoradatok mivel már szűrték, így további szűrést eredményező folyamatok elvégzése jelentős információvesztéssel járna.



2. ábra: Bosch legyezési szögsebesség szenzorok zajainak Welch [3] módszerrel kapott spektruma

Jelölés	Jelentés	Mértékegység
c_i	Oldalkúszási eh.	N/rad
Alsó index: 1	Első tengely	Nem értelmezett
Alsó index: 2	Hátsó tengely	Nem értelmezett
F_{imax}	Maximális oldalerő	N
l_i	Tengely-tp. táv	m
m	Jármű tömege	kg
a_y	Oldalgyorsulás	m/s ²
J_z	Függőleges inercia	kgm ²
t	Idő	s
ψ	Legyezési szög	rad
M	Kontroll nyomaték	Nm
β	Járműoldalkúszás	rad
v_y	Jármű oldalir. seb.	m/s
v_x	Jármű hosszir. seb.	m/s
α_i	Abronsoldalkúszás	rad
δ_i	Kormányközépszőg	rad

2. táblázat: az alkalmazott jelölések

2.1. PID szabályozó

A rendszer hangolásához a biciklimodell egyenleteit vettük alapul.

$$m \cdot a_y = F_1 + F_2 \quad (2)$$

$$J_z \cdot \frac{d\psi}{dt} = F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 + M \quad (3)$$

$$a_y = \left(\frac{dv_y}{dt} + \frac{d\psi}{dt} \cdot v_x \right) \approx \left(\frac{d\beta}{dt} + \frac{d\psi}{dt} \right) \cdot v_x \quad (4)$$

$$\beta \approx \frac{v_y}{v_x} \quad (5)$$

$$F_i = c_i \cdot \alpha_i \quad (6)$$

$$\alpha_i = -\beta + \delta_i + (-1)^i \cdot \frac{l_i}{v_x} \cdot \dot{\psi} \quad (7)$$

Ezekből kis átalakítással adódik (8) csak első kerékkormányzásra.

$$M = \begin{bmatrix} \beta & \dot{\psi} & \delta_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \cdot l_1 - c_2 \cdot l_2 \\ c_1 \cdot l_1^2 + c_2 \cdot l_2^2 \\ -c_1 \cdot l_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Mivel a $c_1 \cdot l_1 - c_2 \cdot l_2$ különbség értéke közel nulla (de legalábbis a legyezési szögsebesség $c_1 \cdot l_1^2 - c_2 \cdot l_2^2$ szorzatához képest több nagyságrenddel kisebb) – tökéletesen semleges kormányzás esetén pedig pontosan nulla kell legyen –, így az (8) egyenletből a β oldalkúszási szög hatását elhanyagoltuk. Mivel feltételezésünk szerint e kísérlet során aktív kormányzást sem használunk, így a δ_1 első kormányszög értéke is nulla. Tehát a statikus kontrollnyomaték értéke közelítőleg (9) szerint számolható.

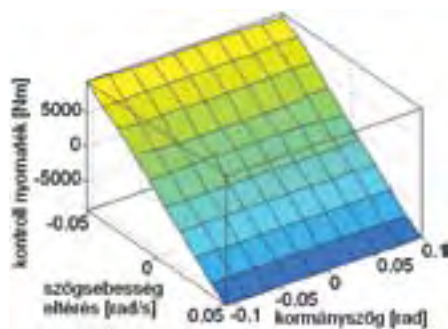
$$M = \frac{\psi}{v_x} \cdot (c_1 \cdot l_1^2 + c_2 \cdot l_2^2) \quad (9)$$

A tesztek során 15 m/s állandó hosszirányú sebességet alkalmaztunk, hogy ezzel is csökkentjük a külső hatásokat. Az első táblázat szerinti félig terhelt állapotra számítva 0,05 rad/s legyezési szögsebesség eltéréskor a statikus kontrollnyomaték 9280 Nm. Arányos szabályozó egyedi alkalmazásakor az soha nem fogja a referenciajelet elérni: ugyanis a szabályozó alapja a referenciától való eltérés, és ez minél kisebb, a szabályozó annál kisebb kontrolljelet fog magából kiadni, vagyis a folyamat önmagát csillapítja. Az ideálistól való nulla eltérés csak végtelen negatív erősítéssel történő visszacsatolással érhető el. Integráló tag alkalmazásával ez megszüntethető. Alkalmazható még deriváló tag is, azonban jelen esetben a kis frekvenciás viselkedésre való koncentráció, valamint a rendelkezésre álló szenzorjelek minél pontosabb másolása miatt (zajszimulálás és diszkrét mintavételezés) a deriváló tag nem volt nagymértékben szükséges, és jelentős mértékben rontotta a kontrolljel minőségét. Ezért használatától eltekintettünk. A végleges controller a (9) egyenletben ismertetett alaptagot arányos és integráló tag esetén is egy kétszeres szorzóval veszi figyelembe. A statikus kontrollnyomaték így 18 560 Nm.

2.2. Neuro-Fuzzy logika

Ilyen típusú logikák alkotásakor „meg kell tanítani a szabályozónak a rendszert”, vagyis reprezentatív módon össze kell állítani olyan teszteket, melyből a rendszerben található kapcsolatokra rá lehet ismerni [4]. Ezen tesztek esetére a bemenő és kimenő jeleket a logika megfigyeli és felállítja a kapcsolati jellemzőket [5]. Esetünkben az említett haszonjármű 15 m/s sebességgel haladva $\pm 0,1$ rad kormányzott kerékszög és $\pm 10\,000$ Nm kontroll nyomaték skálán rögzített állapotai szolgáltatják a becslés alapját. A skálakon 0,02 rad és 2000 Nm volt a lépésköz, és az egyes paraméterek minden kombinációja megfigyelésre került. A „tanítási folyamat” elsősorban a statikus viselkedésre koncentrált, az eredményt az alábbi 3. ábra mutatja.

A megfigyelt tanulási folyamat során a jármű szándékosan a lineáris tartományban mozgott. Ennek megfelelően az első kerékszög nem befolyásolja a létrehozott kontroll nyomaték nagyságát, az csakis a szögsebesség ideálistól való eltérésétől függ – ez volt az egyedüli tanulásra szánt vezérlőjel. Érdemes megfigyelni, hogy a (9) egyenlet alapján számolt 9280 Nm kontrollnyomaték 0,05 rad/s eltérés esetére igen hasonló az ábrán látottakhoz.



3. ábra: Neuro-Fuzzy logika tanult jellegfelülete

A logika tanításának hátránya, hogy a visszahatást nem lehetett vele tanítani: ilyen módon a kapott Fuzzy kontrolljel gyakorlatilag egy arányos tag hatásának felel meg. Így ismét integráló tagot kellett alkalmazni ebben az esetben is – mely itt a logika bemenő jelére került felvitelre. Továbbá a PID szabályozónál is bemutatott kétszeres szorzás itt is alkalmazásra került, így a Fuzzy jellegmező az eredeti eltérés és annak integráltjának összegét veszi figyelembe, kétszeres szorzóval a jobb referenciajel-követés érdekében.

2.3. LQ szabályozó

Az LQ rövidítés jelentése lineáris kvadratikus. Lényege a (10) egyenlet minimalizálása, ahol a Q és R súlyok nem negatívak. Mindezt a (13) kontroll algebrai Riccati egyenlettel lehet megoldani, mely a (12) szerinti erősítéssel olyan (11) állapot visszacsatolós zárt hurkot eredményez, mely a definiált súlyok szerinti legoptimálisabb kontroll energia befektetés – megfigyelt kimenet párost adja a (14) és (15) állapotterre. Mivel a rendszer (14) belső állapota nem megfigyelhető, így a (15) kimenetekből a (16) segítségével meg kell becsülni a rendszer állapotát [6].

$$J(x, u) = \frac{1}{2} \int_0^\infty [x^T \cdot Q \cdot x + u^T \cdot R \cdot u] dt \quad (10)$$

$$u = -K \cdot x \quad (11)$$

$$K = R^{-1} \cdot B^T \cdot P \quad (12)$$

$$P \cdot A + A^T \cdot P - P \cdot B \cdot R^{-1} \cdot B^T \cdot P + Q = 0 \quad (13)$$

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u \quad x(t)|_{t=0} = x_0 \quad (14)$$

$$y = C \cdot x + D \cdot u \quad (15)$$

$$\dot{\hat{x}} = (A - L \cdot C) \cdot \hat{x} + B \cdot u + L \cdot y \quad (16)$$

Jelölés	Jelentés	Jelölés	Jelentés
y	Megfigyelt kimenet	J	Költség
x	Állapot	Q	Állapot súlyfüggvénye
u	Bemenet	R	Bemenet súlyfv.
K	Visszacsatolás	P	Riccati-egyenlet mo.
A	Belső állapotmátrix	B	Bemeneti állapotmátrix
C	Kimenő állapotmátrix	D	Kimenő bemenetmátrix
$\hat{x}$	Becsült állapot	L	Megfigyelési mátrix

3. táblázat: az alkalmazott LQ jelölések

A (14) és (15) egyenleteknek megfelelően a biciklimodell (2)–(7) egyenleteinek állapotter-reprezentációjához (17) egyenleteket használtuk. Ezek alapján az egyes állapotter-mátrixok (A , B , C , D) egyértelműen adódnak. Fontos azonban, hogy az LQ szabályozó tervezésekor csak azon részeit szabad a B mátrixnak figyelembe venni, melyek a kontroll bemenetre vonatkoznak (így a (12) és (13) egyenletek B mátrixai nem feltétlen egyeznek meg a (14) és (15) egyenletek „teljes” B mátrixával). Esetünkben a B mátrix csak a kontroll nyomaték hatására vonatkozó oszlopot tartalmazza, az első kormányoszög-re vonatkozót nem. Az alkalmazott súlyokat (18) mutatja, ezek megállapítása a Bryson-szabály [6] szerint történt, vagyis a kívánt maximális értékek reciprokainak négyzetei az egyes súlyok. Az L állapotbecslő mátrixot (19) mutatja be az adott esetre. Mindezek eredményeként Matlab-program segítségével a K mátrix értéke (20) szerint látható.

$$x = \begin{bmatrix} \beta \\ \psi \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ M \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} a_y \\ \psi \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$R = \frac{1}{10000^2} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0,05^2 & 1 \\ 0 & 0,01^2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$L = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$K = [-1864,08 \quad 696777] \quad (20)$$

A (4) egyenletet stacionárius esetre véve a legyezési szögsebesség tag marad csak meg, így az oldalgyorsulás ilyenkor arányos ezzel és a hosszirányú sebességgel. Ennek segítségével számolható erre az esetre is a (21) statikus kontrollnyomaték, és mint az látható, ez az előbbi két eset másfélszerese nagyjából. Fontos azonban leszögezni, hogy a kapott eredmény a súlyok megválasztásától függ.

$$M = K \cdot \begin{bmatrix} da_y \\ d\psi \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} d\psi \cdot v_x \\ d\psi \end{bmatrix} = 33\,441\,Nn \quad (21)$$

A referenciajel-követés azonban ebben az esetben sem valósult meg minden járműállapotban megfelelő minőségben, így itt is egy integrátor tag alkalmazása vált szükségessé, és a K controller így már az ideális állapotoktól való eltérés és annak integráltjának összege szerint szabályoz.

2.4. H_∞ szabályozó

A H_∞ jelentése [7] a Hardy-tér, ahol minimalizáljuk a szabályozóval ellátott P rendszer (4. ábra) zárt hurkú átviteli függvényének legnagyobb szinguláris értékét (a H_∞ normáját) minden frekvencia esetére. A kapott szabályozóval zárt hurkot alkotó rendszer akkor tekintendő stabilnak, ha normája 1 alá esik.

Hardy térnek nevezzük azt a halmazt, melybe leképezhető minden olyan $F(s)$ függvény (s komplex és a számsíkjenes nyitott jobb oldalán található), melyre található egy olyan b valós szám, hogy:

$$|F(s)| \leq b \quad \text{Re}(s) > 0 \quad (22)$$

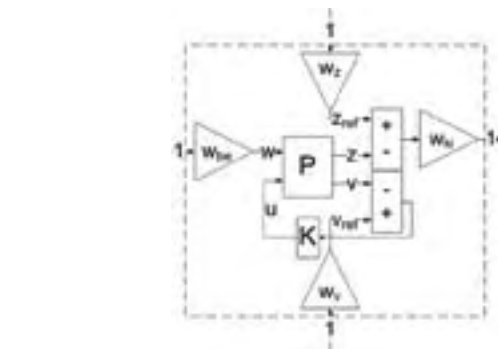
Így az F függvény H_∞ normája definíció szerint:

$$\|F\|_\infty = \sup\{|F(s)| : \text{Re}(s) > 0\} \quad (23)$$

A 4. ábra referenciajel-követés esetére mutatja a célszerű struktúrát, addicionális zajok nélküli esetre. Feltételezzük, hogy egységnyi bemenetek és kimenetek találhatóak a teljes rendszer határain. Ha például a bemenő zavar (nem zaj) nagyságáról vannak feltevéseink, azt a w_{be} súllyal meghatározhatjuk. Hasonlóan, ha a kimeneten előre meghatározott értékeket szeretnénk látni, akkor azok reciprokaival mint w_{ki} súllyal, ismét elvégezhető a „normálás”. Esetünkben a referencia kimenet és referencia controller bemeneti súlyok pedig csak egy tagban különböznek: a megfigyelt kimenetek között szerepel a kontrolljel nagysága is, így ez a vonal egy dimenzióval nagyobb, mint a másik.

Az optimális controller számításához ismét egy Riccati-egyenlet megoldását kell elvégezni, de a (13) egyenletet itt (24) bővített formában alkalmazzuk – a Q és R súlyokat, valamint az itt bemutatott w súlyokat pedig beolvasztjuk a P állapotterébe. Utóbbi (25) mutatja: a kontrollálandó rendszer állapotterét át kell írni olyan módon, hogy az tartalmazza az említett súlyokat, valamint a bemenetek és kimenetek között sorrendben megjelenjenek a zavaró bemenetek, a kontrollbemenetek, a megfigyelt (elvileg ezekre szabályozunk) kimenetek és a controller bemenetek. Az egyes jelölések magyarázatát a 4. táblázat tartalmazza.

$$P \cdot A + A^T \cdot P - P \cdot B_1 \cdot B_1^T \cdot P + P \cdot \gamma^{-2} \cdot B_2 \cdot B_2^T \cdot P = 0 \quad (24)$$



4. ábra: H_∞ szabályozó struktúrája

Jelölés	Jelentés	Jelölés	Jelentés
P	Szabályozott rendszer	K	Kontroller
w	Zavarbemenetek	u	Kontrollbemenetek
z	Szabályozott kimenetek	v	Kontroller bemenetek
z_{ref}	Referenciakimenetek	v_{ref}	Ref. controller bem.
w_{be}	Zavarbemenetek súlya	w_{ki}	Kimenetek súlya
w_z	Ref. kimenetek súlya	w_v	Ref. kont. bem. súlya
B_1	Zavarbemeneti mátrix	B_2	Kontrollbemeneti m.
C_1	Kimenő állapotmátrix	C_2	Kontroller állapotm.
D_{11}	Kimenő zavarmátrix	D_{12}	Kimenő kontrollm.
D_{21}	Kontroller zavarmátrix	D_{22}	Kontroller kontrollm.

4. táblázat: az alkalmazott H_∞ jelölések

$$P = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & D_{11} & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \quad (25)$$

A (25) egyenlet lényege, hogy a B, C és D mátrixokat több részre bontja, és elkülöníthetőek a kontroll és zavar bemenetek hatásai a kontroll és megfigyelt kimenetekre. Így megoldva (24) egyenletet, adódik a lehető legalacsonyabb H_∞ normájú, belső állapottal rendelkező controller.

Akár az LQ szabályozó esetén, a végeredmény itt is nagyban függ a súlyoktól. Célunk volt olyan controller megalkotása, mely minden általunk definiált járműállapot mellett robusztus. Így vizsgálatra került a 30%-os tapadással rendelkező abroncsok esete külön-külön az egyes tengelyeken, illetve minden tengelyen egyidejűleg – 4. táblázat. Ezek alapján pedig elkészült a táblázatban látható, az általunk definiált súlyokra az általunk vizsgált esetekben robusztusan reagáló controller. A súlyokat a (26)–(32) egyenletek tartalmazzák, az indexelésük a 2. táblázat szerint értelmezhető.

Tapadás		Terhelés		
Elöl	Hátul	Üres	Félig	Rakott
1,0	1,0	0,6249	0,6050	0,7015
0,3	1,0	0,6099	0,6025	0,6012
1,0	0,3	0,7225	0,6395	0,9912
0,3	0,3	0,6290	0,6132	0,6106

5. táblázat: az egyes állapotok H_∞ normái

$$w_{be_d1} = tf\left(\frac{0,05}{0,3s+1}\right) \quad (26)$$

$$w_{ki_ay} = \frac{1}{6} \quad (27)$$

$$w_{ki_wz} = \frac{1}{0,4} \quad (28)$$

$$w_{ki_M} = \frac{1}{100\,000} \quad (29)$$

$$w_{z_ay} = W_{v_ay} = 3 \quad (30)$$

$$w_{z_wz} = W_{v_wz} = 0,2 \quad (31)$$

$$w_{z_M} = 0 \quad (32)$$

További vizsgálatunk tárgya volt e szabályozó esetén a rendszer belső állapotainak a száma. A HIFOO nevű szoftverrel [8] lehetőségünk volt megkeresni a legkisebb rendű robusztus szabályozót is – az eredmények szerint már a belső állapotváltozó nélküli kontrollerek is képesek lehetnek robusztus szabályozást véghezvinni a (2)–(7) egyenleteken alapuló mintamodellen, külső nyomaték beavatkozás segítségével. Tapasztalataink szerint azonban egy belső állapotot alkalmazva érhető el a legrobusztusabb szabályozó, és ekkor már érvényesül a kapott kontrollerek „csillapító hatása”, mely a belső állapotváltozójának köszönhető – lásd később.

A kapott kontrollert a (33)–(36) egyenletek szemléltetik állapot-tér mátrixok formájában, a statikus kontroll nyomatékot pedig (37) szemlélteti.

$$K.a = [-134,7] \quad (33)$$

$$K.b = [214,4 \quad 4847] \quad (34)$$

$$K.c = [3579] \quad (35)$$

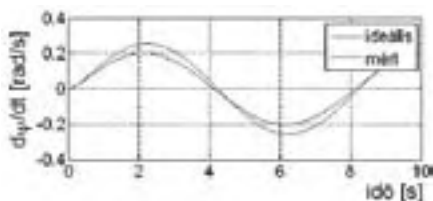
$$K.d = [564,9 \quad 107] \quad (36)$$

$$M = (K.d - K.c \cdot K.a^{-1} \cdot K.b) \begin{bmatrix} 0,05 \cdot 15 \\ 0,05 \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$M = 11\,139\,Nm$$

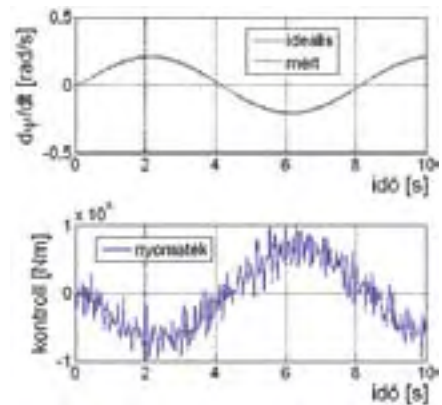
2.5. Az összevetés

Az 5. ábra a terhelt modell viselkedését mutatja túlkormányzott esetben. Látható, hogy a modell legyezési szögsebessége mind fázisában, mind amplitúdójában eltér az ideálistól. Az ideális jelenleg egy a háttérben futó semlegesen kormányzott biciklimodell mint referenciamodell.



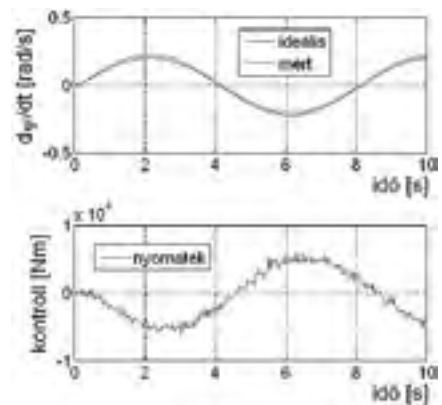
5. ábra: szabályozatlan terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezőkkel

A 6. ábra a PID esetet szemlélteti. A Neuro-Fuzzy és LQ megoldásokat nem szemléltetjük külön, mivel nagymértékben megegyeznek a PID eset eredményeivel.



6. ábra: PID-val szabályozott terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezőkkel

A Fuzzy és a PID kontrollerek gyakorlatilag teljesen megegyeznek, mint ahogy az a statikus kontrollnyomatékokból is látható. Az LQ statikus kontrollnyomatéka a másfélszerese az előző kettőének, nagy eltérés így nem látható az eredmények között. A 7. ábra a robusztus H_∞ esetet szemlélteti. Csökkent a kontrolljel zaja és mértéke is összehasonlítva a 6. ábrával. Ez a „szébb” jel viszont rosszabb referencijel-követést okozott, mint az szintén látható.



7. ábra: H_∞ -nel szabályozott terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezőkkel

A kontrolljel csökkenésének az oka az 5. táblázatból megsejthető: minden terhelési állapotban a legnagyobb normákat a csak a hátsó tengelyen csökkent tapadású abroncsokkal szimulált eset érte el. Vagyis az erősen túlkormányzott viselkedésű jármű a legkevésbé stabil. A H_∞ kontrollerek hangolásakor, ha a szabályozót „erősebbre” állítottuk, akkor ezekben az esetekben már sikerült a normát 1 alá szorítani – a nagyobb frekvenciás gerjesztésekre a rendszer már nem reagált megfelelően. A (26) egyenlet szerint a zavaró első kormányzószög súlyaként egy átviteli függvény van definiálva, mely a nevezője szerint körülbelül 4 Hz-es határtól felfelé egyre kisebb súlyokkal engedi érvényesülni a gerjesztést. Túlkormányzott esetben már ez a gerjesztési frekvencia is soknak bizonyult esetenként.

3. SAJÁT KONTROLLER ALKOTÁSA

Tehát az eddigiek alapján két lehetőség kínálkozott: vagy jó jelkövetést valósít meg a rendszer, viszonylag nagy kontrolljel zajszinttel, és kevésbé robusztusan vagy robusztus szabályozást kevésbé jó jelkövetéssel, de alacsony kontrolljel zajszinttel. Céljaink közt szerepel a minél pontosabb kontrolljel megalkotása. Ennek következményeként a magas zajszint mindenképp kerülendő. Ugyanakkor a minél pontosabb vezérlés is kívánalom. Ezek ered-

ményeként megalkottunk egy fizikai elven működő kontrollert. Az alapelve egyszerű: egy előre definiált paraméterezésű adaptív referenciamodell, mely a sebesség- és kormányzögjeleket a valós járműtől kapja, becsült abroncs oldalkúszási együtthatókkal megbecsli a mindenkor kontrollálatlan állapotát a járműnek. A becsléshez az adaptív modell definiált paraméterei kerülnek felhasználásra: a (2)–(7) egyenletekből csak az oldalkúszási paramétereket tekintve ismeretlennek, előállítható könnyedén azok közelítő becslése (38) és (39) szerint.

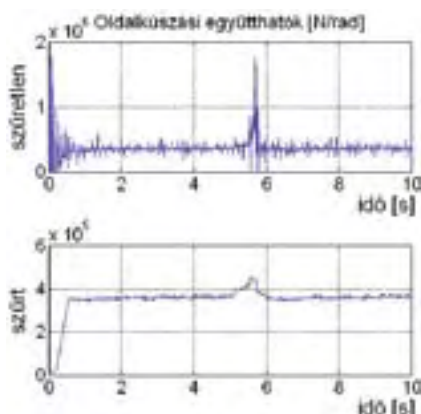
$$\hat{c}_1 = \frac{\ddot{\psi} \cdot J_z + a_y \cdot m \cdot l_2 - M}{\hat{\alpha}_1 \cdot (l_1 + l_2)} \quad (38)$$

$$\hat{c}_2 = \frac{-\ddot{\psi} \cdot J_z + a_y \cdot m \cdot l_2 + M}{\hat{\alpha}_2 \cdot (l_1 + l_2)} \quad (39)$$

Az egyenletekben szerepel az M kontrollnyomaték értéke is, ám a valóságban ilyen esetekben a becslés nem használható, mivel a kerekek fékezésével azok hosszirányú szlip értéke nagymértékben ingadozik, és ezzel jelentősen befolyásolja az oldalkúszási együttható értékét [9]. A 8. ábra egy példát mutat az így nyert oldalkúszási együttható becslött értékére. Mint az látható, szűrés szükséges például a megállapított együttható esetére. Ez a szűrés még további peremfeltételekkel megtámogatandó az ábrán látható impulzusok elkerülésére, például mely a túl alacsony legyezési szögsebesség, oldalgyorsulás, valamint kormányzög okán adódott.

Az egyenletekben szerepel a tengelyek oldalkúszása is. Ezek becslött értéke (7) alapján a (16) és (19) egyenlettel bemutatott állapotbecslő segítségével történik, mely a jármű oldalkúszási szögét becsl. Fontos továbbá ezzel kapcsolatban is megjegyezni, hogy mint azt már említettük, a geometriai paraméterek nem feltétlen a jármű aktuális paraméterei, hanem egy előre felvett paramétersor eredményei. Ez a paramétersor egy közepesen terhelt járműre készült el. Így a kapott oldalkúszási együtthatók, és tengelyenkénti oldalkúszási szögek nem az eredetiek becslései, hanem az adaptív referenciamodellhez igazítottak. A becslésekhez előre definiált paramétersor elemei:

- Jármű tömege,
- Jármű függőleges tengely körüli inerciaja,
- Tengelyek távolsága a tömegközépponttól.



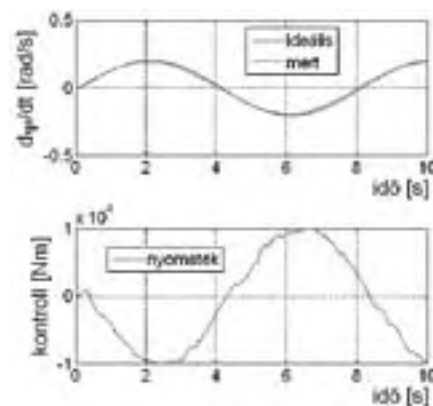
8. ábra: szűretlen és szűrt oldalkúszási együtthatók

Jelölés	Jelentés	Mértékegység
$\hat{c}_i$	Becsült oldalkúszási együttható	N/rad
$\hat{\alpha}_i$	Becsült tengely oldalkúszás	rad

6. táblázat: paraméterbecslés jelölései

A 9. ábra mutatja a rendszer működését. Mivel az adaptív referenciamodell becsli az eredeti mozgásállapotot, így az eredeti és ideális állapotok különbsége független a beavatkozástól. Ennek eredményeképp a kvázi-statisztikus különbségből könnyen számolható a (40) M kontrollnyomaték becslött értéke a (2)–(7) egyenletekből.

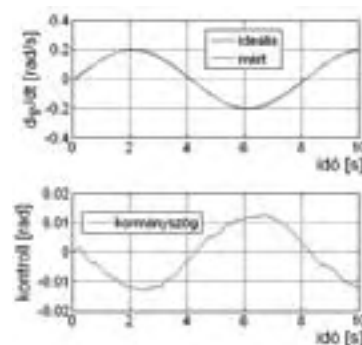
$$M = \frac{\hat{c}_1 \cdot l_1 + \hat{c}_2 \cdot l_2}{2} \cdot (l_1 + l_2) \cdot \frac{d\psi}{v_x} \quad (40)$$



9. ábra: saját controllerrel szabályozott terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezőkkel

A (40) egyenlethez hasonlóan az említett egyenletekből szintén könnyen számolható a szükséges egyenlet az első kormányzög meghatározására az eredeti és az ideális pályák különbségeként, mindezt a (41) egyenlet írja le, és a 10. ábra szemlélteti.

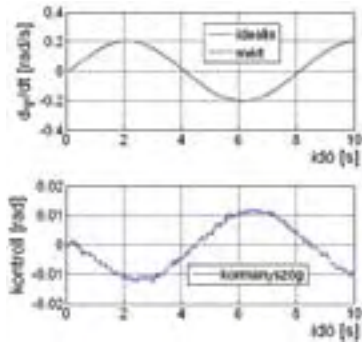
$$\delta_1 = \left(l_1 - \frac{\hat{c}_2}{\hat{c}_1} \cdot \frac{l_2^2}{l_1} \right) \cdot \frac{\ddot{\psi}}{v_x} \quad (41)$$



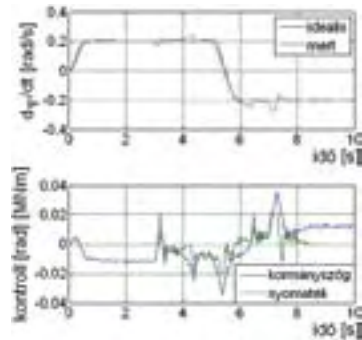
10. ábra: saját kormányzögszabályozott terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezőkkel

A 11. ábra egy robusztus H_∞ controller és a fizikai elven működő controller együttes működését mutatja. Mint látható, a kontroll zaj megnövekedett, de a jelkövetés nem javult szignifikánsan, viszont már nem is volt szükséges. Ezek alapján az alkotott fizikai elven működő controller stabilitásának további vizsgálata szükséges annak érdekében, hogy akár egyedüli működése esetén is szavatolható legyen a biztonságos irányítás. Kérdés, hogy szükséges-e egyéb elven működő hagyományos szabályozóval kombinálni. Sajnos, mivel a rendszer nem hagyományos szabályozástechnikai elemekből épül fel (például a szűrők), így nem állapítható meg a H_∞ normája.

További kérdésként merülhet még fel a fék és a kormányrendszer együttműködése. A 12. ábra erre mutat egy példát.



11. ábra: saját és H_∞ kormányzóval szabályozott terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezővel



12. ábra: aktív kormányzással támogatott ESP-vel felügyelt terhelt modell viselkedése, elől 0,8, hátul 0,6-os tapadási tényezővel csúszós felületen

A 3. másodpercben egy alacsony tapadású felületre fut be a jármű a szimuláció során – itt fele a tapadás –, majd a 7. másodpercben kifut a zónából. A legyezési szögsebességről és a kontrolljelekből megfigyelhető a befutáskor az első tengely előbbi tapadásvesztéséből adódó pillanatnyi alulkormányzás, majd kifutáskor mindezt fordítva lejátszva túlkormányzás. A fékrendszer előbbinél lép életbe, és korrigálja a jármű mozgás-állapotát – az addigi túlkormányzott járművet alulkormányzó kormánymű ellentétes állapotba kell hogy váltson. Ezt csak időkéssélemmel tudja megtenni, a fékrendszer viszont azonnal. Az alacsony tapadású zónában megfigyelhető a fék- és kormányaktuátorok együttmozgása. A zónából kilépéskor a fékrendszer ismét gyorsabban reagál a kormányműnél, majd megfigyelhető, ahogy a csökkenő kontrollnyomatékot a kormánymű ellensúlyozva megszünteti azt.

4. ÖSSZEGZÉS

Összesen négy szabályozótervezési technológiát vizsgáltunk meg. Ezek választásakor törekedtünk tapasztalati alapon működő eljárások (PID és Neuro-Fuzzy), valamint valamilyen matematikai optimalizálás szerinti eljárások (LQR és H_∞) kiválasztására is. A H_∞ módszert leszámítva az első három elv gyakorlatilag egyaránt PID szabályozókat eredményezett, csak más úton hangolva. Természetesen a Neuro-Fuzzy megoldás alkalmas például ennél sokkal bonyolultabb felületek felépítésére akár még több jellemző figyelembevételével, azonban tapasztalataink szerint már ideális szimulált környezetben is nagymértékű a rendszer hangolása során az alkalmazott módszerektől függően a végeredmények „szórása”, ugyanakkor például a tanult modellől eltérő járművön történő alkalmazás során a referenciajel követése nem javul jelentősen. A H_∞ megoldás hatásossága a belső állapotváltozóban rejlik – ez mintegy csillapításként hat a rendszerre. Ugyanakkor

e tranzienseket leszámítva szintén az előbbi technológiákhoz hasonló a működési elve. Az általunk alkotott adaptív referenciamodellel alapuló megoldás még a H_∞ szabályozónál is alacsonyabb zajszinten van.

A haszonjárművek tág skálán mozgó terhelési állapotai hagyományos kontrollerek alkalmazásakor csak megszorításokkal alkalmazhatóak – ahogy az 5. táblázat is mutatja a H_∞ normák esetére. Célunk volt az adaptív referenciamodellel az alkalmazhatósági skálát is megnyújtani, és a szélsőséges állapotokban is jobb referenciajel-követést alkotni. A szemléltetett ábrák a teljes terheléses esetet mutatják, mivel itt a legnagyobb az eltérés az ideális és a controller által megvalósított állapotok között.

További nagy előnye az adaptív referenciamodelleknek, hogy az nem „reaktív” [10] elven működik, vagyis nem a kialakult ideális-tól való eltérésre reagál valamilyen módon, hanem „preaktívan” a vezető kormányfelfordításával egy időben felépül a kontrolljel is, amennyiben az előzőleg megbecsült oldalkúszási együttható nem változik hirtelen jelentős mértékben. Ez utóbbi érdekes tárgyat adhatja még szubjektív vizsgálatoknak, milyen is a vezetési érzet a két megoldással.

Az első kerék aktív kormányzásán túlmenően realisabb célokra is alkalmazható ez a logika. Ilyen például a harmadik kormányzott tengelyek vezérlése. Ezek sok esetben hidraulikusan vezéreltek, irányításuk sokkal kevésbé biztonságkritikus, mint az első tengelyé. Hasonlóan alacsonyabb szintű biztonságkritikussággal jár egy aktív szervokormány. Az itt taglaltak felhasználhatóak akár egy olyan logikához is, mely a vezetőt „megtanítja” a jármű aktuális hatáira.

Összességében kijelenthető, hogy elkészült haszonjárművek esetére egy olyan összehasonlítás az egyes ma használt kontrolltechnológiákról, mely támpontot adhat a továbblépéshez.

Irodalom

- [1] Insurance Institute for Highway Safety – Status Report vol. 41, No. 5, 2006
- [2] Bosch Sárga füzetek sorozat / Gépjárműtechnikai ismeretek / Gépjárművek elektromossága és elektrotechnikája / Szenzorok a gépjárművekben, ISBN 963900583, Maróti Könyvkiadó
- [3] Welch, P.D. "The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms." IEEE Trans. Audio Electroacoust. Vol. AU-15 (June 1967). Pgs.70-73.
- [4] Kóczy László T. – Tikk Domonkos: Fuzzy rendszerek, 2001, <http://www.tankonyvtar.hu/informatika/fuzzy-rendszerek-fuzzy-080904>
- [5] The MathWorks, Documentation, Fuzzy Logic Toolbox, www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/fp715dup12.html
- [6] Joao P. Hespanha: Undergraduate Lecture Notes On LQG/LQR Controller Design, April 1. 2007, University of California, Santa Barbara
- [7] Bruce A. Francis: A Course in ∞ Control Theory, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1987, ISBN 3-540-17069-3
- [8] S. Gumusoy, D. Henrion, M. Millstone and M.L. Overton, Multiobjective Robust Control with HIFOO 2.0, Proceedings of the IFAC Symposium on Robust Control Design, Haifa, Israel, 2009
- [9] Hankovszki Zoltán, Kovács Roland: Aktív kormányzással támogatott ESP, A jövő járműve, 2009/3–4, 80–87. oldal, X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft., HU ISSN 1788–2699
- [10] Koleszár P. – Trencsényi B. – Dr. Palkovics L. – Vehicle dynamic control system with steering intervention for commercial vehicles, 3rd IFAC Symposium on Mechatronic Systems, Manly Beach, Sydney, Australia, 2004

Elektromechanikus működtetőegység fejlesztése automatizált nehézhaszonjármű-sebességváltóhoz

Bóka Gergely

PhD-hallgató,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem

Trencsényi Balázs

projektvezető,
TRUCKDAS, BME EJJT

Dr. Németh Huba

kutatói igazgató, BME EJJT

Dr. Palkovics László

fejlesztési igazgató,
Knorr-Bremse
stratégiai rektorhelyettes,
Kecskeméti Főiskola

Hatékonyágának és irányíthatóságának köszönhetően az elektromechanikus működtetés egyre nagyobb teret nyer a személyautók sebességváltóinak automatizálásánál. Ezen előnyök érvényesítése az eltérő körülmények és lényegesen nagyobb működtetőerők miatt azonban nehéz haszonjárművek esetén komoly nehézségekbe ütközik. A cikk egy újonnan kifejlesztett, kifejezetten nehéz haszonjárművekre szánt elektromechanikus sebességváltó-működtetőt ismertet, a működtetésre jellemző sajátosságok, valamint a tipikus elektropneumatikus rendszerekhez képest tapasztalható előnyök és hátrányok bemutatásával.

Thanks to its efficiency and controllability, electro-mechanical actuation is gaining popularity for the automation of passenger car gearboxes. However, achieving those advantages at heavy-duty commercial vehicles faces major difficulties due to the different conditions and much higher actuation loads. This paper presents an electro-mechanical gearbox actuator unit designed especially for heavy-duty commercial vehicles, describes the special characteristics of its operation, and highlights the advantages and disadvantages compared to the typical electro-pneumatic systems.

BEVEZETÉS

Az elektromos kormányrendszerek térnyeréséhez hasonlóan, a személyautókba szánt, legújabb fejlesztésű automatizált sebességváltók és tengelykapcsolók esetében is egyre gyakrabban alkalmaznak elektrohidraulikus helyett elektromechanikus működtetést. A megoldás előnyei a tömeg-, méret- és költségcsökkenésen túl a működtetők nagyfokú szabályozhatósága, és a hidraulikus veszteségek kiküszöbölésén keresztül a CO₂-kibocsátás kismértékű csökkenése. Az [1]-ben ismertetett rendszer hatékonyságára jellemző, hogy átlagos energiafelhasználása mindössze 15 W, ami 2 hátsó helyzetjelző izzónak felel meg.

Nehéz haszonjárművek esetében az egyébként is jelen levő sűrítettlevegő-rendszer miatt kézenfekvő és manapság csaknem egyeduralgó megoldás a tengelykapcsoló és a sebességváltó automatizálásához elektropneumatikus működtetőket alkalmazni. Az elektromechanikus működtetés azonban itt is ígéretes alternatíva. Az alacsonyabb levegőfelhasználás a kompresszor terhelésének mérséklődésén keresztül az elektromos működtető jó hatásfokával párosítva a fogyasztás csökkenésében jelentkezhet, míg a pontos szabályozhatóság a váltási komfortot és a komponensek élettartamát növelheti. A váltási idők alacsony tartása nemcsak kényelmi kérdés, hanem terhelt járműnél nehéz terepen vagy erős emelkedőn alapvető követelmény. A nagyobb inerciák gyors szinkronizálásához lényegesen magasabb kapcsolóerők szükségesek, mint személyautók esetében, így az ott kifejlesztett kompakt működtetők ebben a kategóriában nem használhatók.

Mindössze néhány, valamely haszonjármű-kategóriához elérhető sebességváltó rendelkezik elektromechanikus működtetéssel, olyan azonban, amely mindhárom lehetséges váltószekció (felező – főváltó – tartományváltó) kapcsolását elektromechanikusan végzi, nem található. A cikk így egy ebben a tekintetben egyedülálló, kifejezetten nehéz haszonjárművek számára kifejlesztett komplett elektromechanikus váltóműködtető egység A-mintás prototípusát mutatja be, amely egy eredetileg elektropneumatikusan működtetett sebességváltóba, az eredeti egység helyére került beépítésre. Az elektromechanikus működtetés személyau-

tók, illetve haszonjárművek esetében létező megoldási módjainak áttekintése után magát a működtetőegységet és annak funkcióját befolyásoló alapvető mechanikai jellemzőket ismertetjük. Tesztpadon elvégzett méréseken keresztül bemutatjuk a rendszer sajátosságait, a pneumatikus fokozatkapcsoláshoz képest tapasztalható legjellemzőbb eltéréseket és a további potenciálokat.

ELEKTROMECHANIKUS VÁLTÓMŰKÖDTETŐK SZEMÉLYAUTÓKHOZ

A kapcsolóvilla működtetéséhez szükséges mozgás előállítása elektromágneses lineáris működtető vagy elektromotor segítségével történhet. Előbbi közvetlenül és igen magas hatásfokkal képes létrehozni a működtetéshez szükséges erőt a szükséges lökettartományban, a kapcsolóvilla mozgztatására így közvetlenül használható. Szériagyártásban ilyen működtetők egyelőre nem találhatók, a technológia potenciálját demonstráló tesztjárművek azonban már léteznek [3].



1. ábra: kapcsolódobok elektromotoros működtetéssel [2]

A jelenlegi elektromechanikus működtetésű sebességváltókban a kapcsolást tehát elektromotorokkal oldják meg, méghozzá sze-

mélyautóknál általában kapcsolódobos villamosítással (1. ábra), mert így lassító áttételen keresztül a motor forgását közvetlenül hasznosítani lehet. A kompakt méretek és alacsony tömeg biztosításához a működtetőegységet általában együtt fejlesztik magával a váltóval, s így ezek szerves egységet képeznek. A vezérlőegységbe a mikrokontroller, a teljesítményelektronika, sőt maguk a működtetőmotorok is integrálhatók, ekkor a sebességváltó és a jármű között egyetlen csatlakozó jelentheti a kapcsolatot. A 2. ábra egy ilyen teljesen integrált, mechatronikus működtetőegységet (Mechatronic Actuation Module, MAM) mutat.



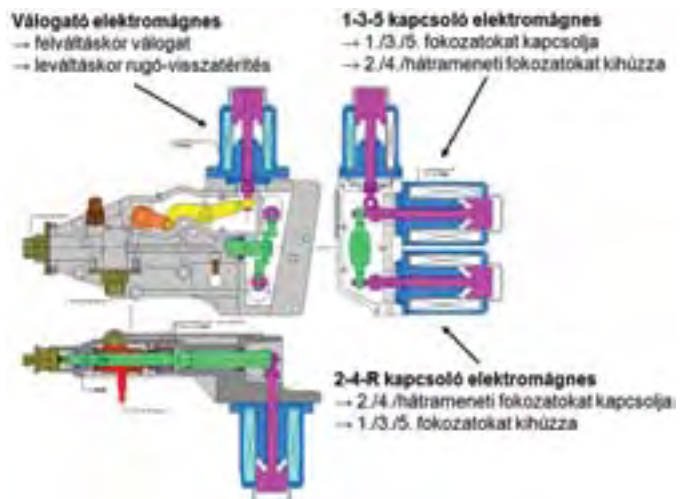
2. ábra: mechatronikus működtetőegység (MAM)[1]

ELEKTROMECHANIKUS MŰKÖDTETŐK HASZONJÁRMŰVEKHEZ

A haszonjárművek terhelte és terheletlen állapota közötti nagy tömegkülönbség miatt a fokozatok kihagyásának lehetősége fontos vezethetőségi szempont, így a szekvenciális működés, s ezzel a kapcsolódobos kialakítás a személyautóktól nem vehető át. A haszonjármű automatizált sebességváltók megőrizték a kézi kapcsolású váltók felépítését, így működtetésükhöz általában továbbra is két, egymásra merőleges irányú mozgás szükséges: a keresztirányú válogatás és a hosszirányú kapcsolás. A legtöbb automatizált sebességváltó a kézi kapcsolású változatból a lehetséges legcsekélyebb átalakítás árán, utólag került kifejlesztésre, de a hagyományos felépítés és a jóval nagyobb méretek miatt a működtetők integráltsági foka még a kezdettől fogva automatizáltak tervezett típusok esetén is lényegesen alacsonyabb, mint személyautóknál. A főváltó felezővel, illetve tartományváltóval való kiegészítésével felépített modulrendszerű, esetenként nagyszámú különböző teherbírású és fokozatszámú változatból álló sebességváltó termékcsaládok automatizálása – az integráltsági foktól függetlenül – szintén moduláris rendszerű működtetőcsaládot igényel. A költséghatékony megoldásokra a személyautókhöz képest töredék darabszámok miatt különösen nagy szükség van.

Elektromechanikus működtetést ma szériában mindössze öt, jellemzően könnyű vagy közepes haszonjármű-sebességváltónál találunk. Ezek az EATON (Fuller) UltraShift és AutoShift, a Mitsubishi Fuso INOMAT, az Isuzu Smoother-E Autoshift és a ZF eTronic, melyek legújabban hibrid hajtáslánchoz kapcsolódnak.

A Smoother-E Autoshift sebességváltó működtetője teljesen egyedülálló, a kapcsolást elektromágnesek végzik, hasonlóan, mint a [3]-ban ismertetett lineáris működtetők esetében. Itt azonban három elektromágnesre van szükség, a keresztirányú a válogatást, a két hosszirányban beépített pedig egymást segítve húzó, illetve nyomó üzemben a fokozatkapcsolást végzi. A tekercsek működtetőereje PWM-mel (pulzusszélesség modulációval) szabályozható.



3. ábra: az Isuzu Smoother-E Autoshift sebességváltó elektromechanikus működtetője (forrás: www.isuzu.com)

Az UltraShift és AutoShift (4. ábra), illetve az INOMAT (5. ábra) sebességváltók esetében a kétirányú működtetés – a válogatás és a kapcsolás – két, egymásra merőlegesen beépített elektromotorral valósul meg, melyek az EATON váltóknál azonosak, az Isuzunál viszont a keresztirányú válogatás lényegesen kisebb erőszükségletére való tekintettel eltérők. Az EATON váltók elérhetők felezővel és tartományváltóval kiegészítve is, ekkor azonban ezen szekciók működtetését egy-egy külön pneumatikus munkahenger végzi, változatlan főváltóműködtető mellett.



4. ábra: az EATON UltraShift és AutoShift főváltójának elektromechanikus működtetője (forrás: www.eaton.com)



5. ábra: a Mitsubishi Fuso INOMAT II sebességváltó elektromechanikus működtetője (www.mitsubishi-fuso.com)

A ZF eTronic (6. ábra) működtetője esetében mindkét motor keresztirányban van beépítve, és a kapcsoláshoz szükséges hossz-irányú mozgást az egyik motorhoz kapcsolt függőleges tengely körül elforduló 1:1 arányú karátétel valósítja meg, amely elrendezés lényegesen kompaktabb kialakítást tesz lehetővé.



6. ábra: a ZF eTronic sebességváltó elektromechanikus működtetője (forrás: www.zf.com)

Az elektromotorok forgását mindhárom esetben orsó alakítja haladó mozgássá. A menetemelkedés alacsony szögének köszönhetően az orsó nagy áttételt valósít meg, így már kis motornyomatéknál is nagy működtetőerő jelentkezik. A mozgási sebesség és a működtetőerő között a menetemelkedés megfelelő megválasztásával köthető az alkalmazásnak és a motor korlátainak megfelelő kompromisszum. A menetemelkedést úgy célszerű megválasztani, hogy az orsó még önzáró maradjon, ekkor ugyanis – ellentétben a pneumatikus vagy hidraulikus működtetéssel – nincs szükség a kapcsolórúdak külön reteszelésére, melyek elhagyása a súrlódást és az alkatrészek számát is csökkenti.

Már elérhetők kifejezetten váltóműködtetésre szánt kombinált működtetők is, melyek a kétirányú mozgást lényegesen kompaktabb felépítés mellett képesek megvalósítani. Ilyen kombinált működtető nyerhető a lineáris működtető forgatómágnessel történő kiegészítésével [4], illetve két elektromotor célszerű összeépítésével [5]. Az utóbbi megoldásnál a két motor egy közös kihajtótengelyt hajt egy-egy meneten keresztül, melyek menetemelkedése azonos nagyságú, de különböző irányú. Ha a motorok azonos sebességgel és egy irányba forognak, akkor a kihajtótengelyt ezzel a sebességgel tisztán forgatják. Ha a motorok azonos sebességgel, de ellentétes irányba forognak, akkor a kihajtótengely forgás nélkül, tisztán haladó mozgást végez az orsó menetemelkedésének megfelelő sebességgel. A motorok teljesítménye mindkét mozgás esetén összeadódik, ezért egy-egy motor lényegesen kisebb méretű lehet. Bár váltóműködtetésnél a kétféle mozgás egyidejűleg nem szükséges, a motorok összehangolt pozíciószabályozásával azok fordulatszám-, nyomaték- és teljesítménykorlátain belül, továbbá a közös tengely hossza által kijelölt működési tartományban a forgó és haladó mozgás tetszőleges kombinációja megvalósítható.

AZ ÁTALAKÍTOTT HAJTÁSLÁNC-IRÁNYÍTÓ RENDSZER

Mivel a fent bemutatott működtetők közül egyik sem alkalmas egy nehézhasznójármű-sebességváltó mindhárom szekciójának elektromechanikus kapcsolására, ezért az átalakításra egy ilyen felépítésű sebességváltót választottunk ki, amely 12 előrementi és 4 hátrameneti fokozattal, nem szinkronizált főváltóval, valamint szinkronizált felezővel, illetve tartományváltóval rendelkezik. A

választás a kategórián belül azért esett az adott típusra, mert a váltórúdak egy, a sebességváltó házában kialakított teknőben végződnek (7. ábra), s így a működtető a kategória többi termékéhez képest a legkompaktabb egységet képezi, amely az új kísérleti konstrukció szempontjából is kedvező.



7. ábra: váltóműködtető kapcsolórúdak a működtetőegység teknőjében (a kép felső részén a reteszek nyomórugói láthatók még az eltávolítás előtt)

A sebességváltó működtetése három váltórúd mozgásával történik. A két szélső (a felező és a tartományváltóé) mindig ugyanazt a kapcsolóvilla mozgítja és tengelyirányban két stabil állás között kapcsolható. A főváltó kapcsolórúdja két villát mozgathat, tengelyirányban három-három stabil állás között. A középső, üres állásában a rúd szöghelyzetének állításával választható ki a rúd által tengelyirányban mozgított kapcsolóvilla. A teknőben elhelyezett eredeti váltóműködtető egység a hajtáslánc-irányító szoftver futtatására alkalmas kontrollert, három hosszirányú és egy keresztirányú pneumatikus munkahengert, az ezek, valamint az előtét-tengely-fék működtetéséhez szükséges mágnesszelepeket, a kapcsolórúdak pozíciószenzorait, hőmérsékletszenzort, a behajtótengely fordulatszám-szenzorát és az összes mágnesszelep – ideértve a külön egységet képező kuplungműködtető szelepeit is – végfokozatát tartalmazza.

Az átalakítás csak erre a váltóműködtetőre vonatkozik, az előtét-tengely-fék és a kuplungműködtető maradt az eredeti, s így azok továbbra is elektropneumatikusak. Az új egység a fokozatkapcsolást négy elektromotor segítségével valósítja meg, és a motorok pozíciószenzorain felül minden, az eredeti egységben is megtalálható szenzort, valamint az előtét-tengely-fék mágnesszelepeit is tartalmazza. Egy kis teljesítményű beépített elektronika a fordulatszám- és pozíciószenzorok jelfeldolgozását végzi, valamint a négy kuplungszelep végfokozatát tartalmazza. Az előtét-tengely-fék szelepek végfokozatai különállóan vannak elhelyezve.

A hajtáslánc teljes funkcionalitásának biztosításához egy saját működtetőszoftver (TCS) került kifejlesztésre, amely gyors-prototípus ECU-ban futva a járművel vagy a szimulációs környezettel szabványos CAN üzenetek formájában kommunikál. A szoftver – melynek ismertetésére e cikkben nem térünk ki – moduláris felépítésű, a legalsó, ún. beavatkozó szint az elektromechanikus működtetésre van kialakítva, a logika felsőbb szintjei viszont függetlenek a működtetés módjától. A TCS külön CAN csatornán kommunikál a váltóműködtetővel és az összes elektromotor végfokozatát, valamint szabályozóját egyben tartalmazó egységgel is. Ez utóbbi a konfiguráláshoz kapcsolódó kommunikáción túl fogadja a kívánt irányítási módokat és megkívánt értékeket mind a négy motorra, illetve visszaküldi azok pillanatnyi pozícióit, sebességeit és áramait.

[illegible]

A VÁLTÓMŰKÖDTEŐ MECHANIKUS KIALAKÍTÁSA

A jövő járműve

Mivel a motor inerciája az orsón keresztül a pneumatikus munkahenger tömegénél három nagyságrenddel nagyobb redukált tömegként jelentkezik, a kapcsolóvilla kapcsolódáskor, illetve végállásban történő ütközése a motorral való merev kapcsolat esetén hatalmas erőcsúcsban jelentkezne. Az önzárás miatt ez az erőcsúcs a menetnél nem fut le, hanem állandósul, és a motor végleges megszorulását okozza. Ezt elkerülendő, minden

motorhoz közvetlenül az orsó után, rugalmas elemként egy-egy előfeszített csillapítórugó került beépítésre (10. ábra), amely a motor forgási energiájának részleges eltárolásával annak „puha” megállását mindkét irányban biztosítja. A rugó összenyomódása a kapcsolóvilla pillanatszerű megállását követően meghatározható. Ahhoz, hogy az ütközés ne okozza a menet beragadását, és a motor legalább visszafelé megforgatható maradjon, az alábbi összefüggésnek kell teljesülnie:

$$T_{max} > \sqrt{F_0^2 + \left[2\pi \left(\frac{1}{\mu_g r_g} - \frac{\mu_g}{r_g} \right) \theta_m + m \right] k v_0^2} \quad (3)$$

ahol: T_{max} a motor csúcsmomentuma,
 F_0 a rugó előfeszítő ereje,
 μ_g a súrlódási tényező a hornyoknál,
 r_g a hornyok közepes sugara,
 θ_m a forgórész tehetetlensége,
 m a rugó előtti mozgatott tömeg,
 k a rugó merevsége, és
 v_0 az ütközési sebesség.

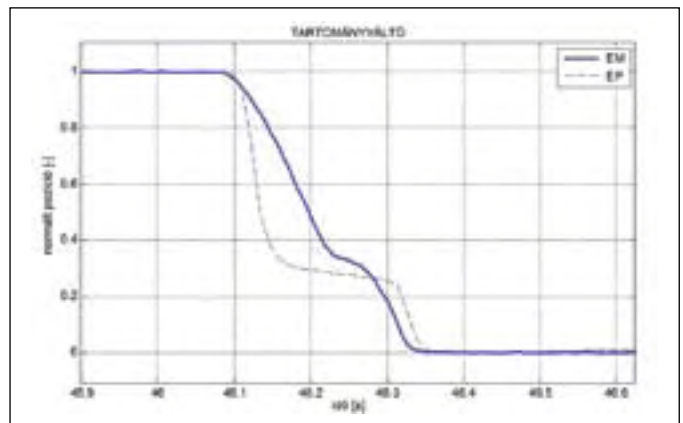
A fenti összefüggésben csak a menetsúrlódást vesszük figyelembe, a motor súrlódási veszteségét, amely szintén a lefékeződést segíti, elhanyagoljuk. Így a kifejezés lényegesen egyszerűsödik, míg a hiba a számítási eredmények alapján mindössze néhány százalék, ráadásul a biztonság irányába. A kapcsolóvilla és a motorpozíció közötti egyértelmű kapcsolat biztosításához a rugó előfeszítését úgy kell megválasztani, hogy az legalább a névleges működtetőerő legyen, s így a rugó csak az ütközésnél nyomódjon össze. Mivel az orsó működési tartománya csak kicsivel nagyobb, mint a kapcsolóvilláé, a rugó ütközés utáni összenyomódását a lehető legkisebb értéken kellett tartani. Mindezek miatt a csillapítórugók kiválasztásánál a lehető legmerevebb rugókat kellett választani, melyekkel a (3) összefüggés még érvényben marad. A szinkrongyűrűvel való ütközés után a rugóban eltárolt energia által okozott többlet-összenyomódás a motorok névleges erejénél jóval nagyobb szinkronizáló erőt tesz lehetővé.

SZINKRONSZERKEZET KAPCSOLÁSA

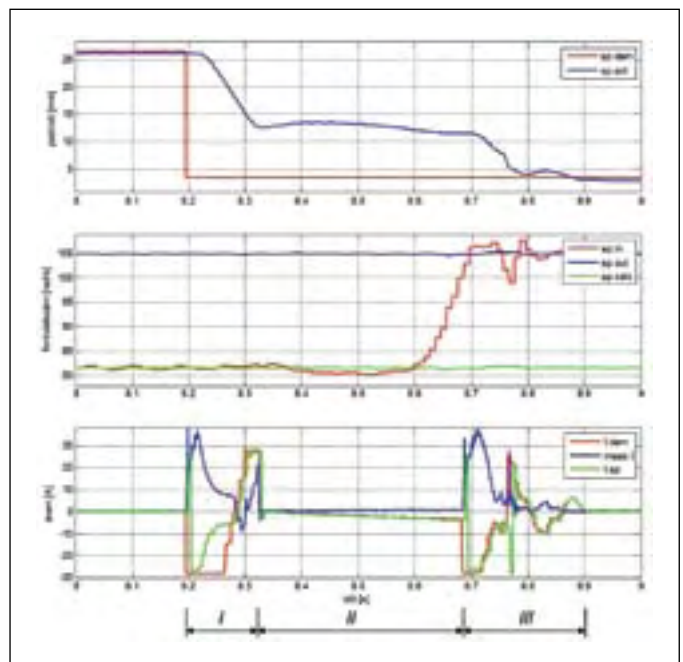
A kicserélt váltóműködtetőnél – és a jelenlegi pneumatikus rendszerek esetében általában is – a munkahenger megfelelő kamrája költség-hatékonyság miatt egyetlen háromutas, kétállású (3/2-es) szelepen keresztül tölthető fel, illetve ugyanazon át üríthető le. Néhány rendszerrel az ellenoldali kamra szelepének közvetlenül a végállásban történő felütközés előtti megnyitásával az ütközési sebességet csökkentik, azonban a nyomástartás lehetőségének hiánya és a 3/2-es szelepek lassú dinamikája miatt a kapcsolás során érdemi nyomás-, vagyis kapcsolóerő-szabályozás nem valósítható meg. Ehhez hasonló alacsony szintű funkcionalitáshoz az elektromechanikus működtetés esetén akkor jutunk, ha a motorokat a kívánt állásba egyszerű pozíciószabályozással juttatjuk el, figyelmen kívül hagyva a kapcsolódási folyamat jellemző fázisait.

A 11. ábra a tartományváltó elektromechanikus és az eredeti működtetővel történő elektropneumatikus kapcsolásának közvetlen összehasonlítását tartalmazza, a függőleges tengelyen a kapcsolóvilla 0 és 1 közé normált pozíciója látható. Megfigyelhető, hogy az elektromotor gyorsan eléri a fordulatszám-korlátját, a kapcsolóvilla ettől kezdve állandó sebességgel halad tovább. A pneumatikus működtetés esetén ilyen korlátozott sebesség nincsen, és a szinkrongyűrűt ezzel összhangban rövidebb idő alatt lehet elérni. A csillapítórugóban felhalmozott energia által biztosított, a névlegesnél jóval nagyobb szinkronizáló erő hatására az elektromechanikus működtetés esetén a szinkronizálás hossza lényegesen rövidebb, az elmozdulás-idő függvényen csaknem

észrevehetően. Ez összességében a pneumatikus kapcsolással gyakorlatilag megegyező váltási időt eredményez, viszont egyben a szinkrongyűrűk intenzívebb kopását és hangosabb kapcsolódást is. Az önzárás megszűnése miatt a menetemelkedés nagyobbra már nem választható, így magasabb maximális működtetési sebesség csak a motorok maximális fordulatszámának növelésével érhető el. Az elektromotorok pontos szabályozhatósága azonban a rendelkezésre álló pozíció- és fordulatszám-szenzorok jeleinek visszacsatolásával így is a szinkronszerkezet kapcsolódási folyamatainak egyes fázisaihoz igazítható működtetést tesz lehetővé.



11. ábra: a tartományváltó elektropneumatikus (EP) és csak pozíciószabályozással történő elektromechanikus (EM) kapcsolása



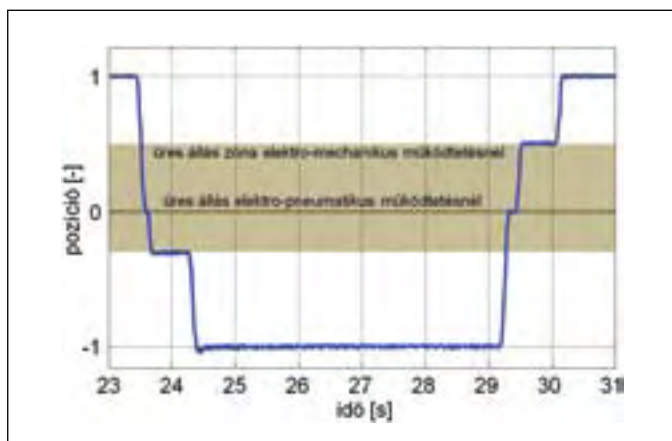
12. ábra: a felező kapcsolása a folyamat három fázisra bontásával

Az itt ismertetett szabályozott kapcsolási folyamat három fázist tartalmaz, melyet a 12. ábra a pozíció-, sebesség- és áramjelekkel a felező kapcsolásán keresztül mutat be. Az első fázisban (I) a motor pozíciószabályozás módban működik, hogy a tolókerék a lehető leghalványabb idő alatt megközelítse a szinkrongyűrűt. A komponensek igénybevétele és a kapcsolódási zaj mérséklődése céljából közvetlenül a szinkrongyűrűvel történő ütközés előtt a kapcsolóvilla sebessége közel nullára csökken. A második fázis (II) a szinkronizálás, ami alatt a motorok áramszabályozás módban dolgoznak. A működtetőerő nulláról lineárisan épül fel a lehetséges leg-

nagyobb értékig, a rámpa meredekségét a szinkronizálási idő és a mechanikai igénybevételek közötti kompromisszum határozza meg. A fázisok könnyebb azonosíthatósága végett az ábrán a rámpa meredekségét szándékosan nagyon alacsonyra választottuk és így a szinkronizálási idő mesterségesen hosszú. A szinkronizálás befejeződése, vagyis a szinkronizálandó elemek fordulatszám-különbségének eltűnése a sebességváltó fordulatszámjeleiből megállapítható. Ez után a harmadik, befejező fázisban (III) a motor ismét pozíciószabályozás módban mozgatja a kapcsolóvilla a végállásba. A kapcsolási folyamat ily módon történő szabályozása a kapcsolási időt az egyszerű pozíciószabályozáshoz képest ugyan növeli, a folyamat során bekövetkező igénybevétel mérséklődése viszont jelentősen emeli a kapcsolószerkezet élettartamát.

KÖRMÖS KAPCSOLÓSZERKEZET KAPCSOLÁSA

A váltási komfort és az élettartam növelése céljából az összekapcsolandó elemek fordulatszámát a kapcsolódás előtt a körmös kapcsolók esetében is közelíteni kell egymáshoz. A főváltó szinkronizálása a motor, a tengelykapcsoló, illetve az előtétengely-fék összehangolt működtetésével, még a kapcsolás előtt, üres állásban történik meg. A körmös kapcsolószerkezet kapcsolódási folyamata a szinkronszerkezetétől teljesen különböző. A nehéz hasznajárművek körében egyaránt elterjedt két alaptípus, a standard, illetve homlokkörmös kialakítás is jellegzetesen eltérő viselkedést mutat a kapcsolódáskor érvényes fordulatszám-különbség és terhelőnyomaték függvényében. Ezen sajátosságok elsősorban a szinkronizálás során vehetők figyelembe, a kapcsoláskor már csupán a – standard kialakításra inkább jellemző – köszörülést és az ezzel járó axiális vibrációt megelőző nagy működtetőerő biztosítása szükséges. Komfort és élettartam szempontjából így az elektromechanikus, illetve elektropneumatikus fokozatkapcsolás közötti eltérés kisebb, mint a szinkronszerkezetek kapcsolásánál, azonban az elektromos rendszerek energiamedszment előnyeit, valamint az egyszerűbb gyártás és beépítés előnyeit ez esetben is ki lehet használni (pl.: hibrid-elektromos járműveknél).



13. ábra: kétlépéses működtetés az üres állás zóna határára való mozgatással, a függőleges tengelyen a kapcsolóvilla -1 és 1 közé normált pozíciója látható

Megjegyzendő, hogy az előtétengely-fék elektromechanikus működtetése – mely az itt bemutatott rendszernek nem sajátja – a pontos szabályozhatóságon keresztül a kapcsolódási körülmények pontosabb beállítását és így a kapcsolási zajra ma jellemző erős szórás megszüntetését tenné lehetővé. Ezen szórás azonban a fokozatkapcsolás sajátos kiegészítésével is megvalósítható. Kihazsnálva, hogy a kapcsolóvilla tetszőleges pozícióban megállítható, és ott stabilan tartható, az elektropneumatikus működtetőknél a retesz által egyértelműen kijelölt üres állással szemben egy üres állás zóna definiálható, amelyen belül a tolókerék még nem érintkezik semelyik fogaskerékkel sem. Kapcsolás előtt, a főváltó szinkronizálása alatt a tolókerék a zóna megfelelő határára mozgatható (13. ábra). Ennek következtében a teljes kapcsolási idő is kismértékben csökken, sokkal fontosabb viszont, hogy a fogaskerék jóval hamarabb elérhető, és ez a lényegesen kisebb időkésedelem a szinkronizálással megcélzott, optimális kapcsolódási feltételek pontosabb elérését teszi lehetővé.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra került egy elektromechanikus, nehéz hasznajármű sebességváltó működtető egység. Bemutattuk a kísérleti rendszer felépítését, melyben a fokozatkapcsolást négy elektromotor végzi, közülük kettő speciálisan a váltóműködtetés igényeinek megfelelően összeépítve. Ismertettük a menetemelkedés és a csillapítórugó megválasztásának legalapvetőbb szempontjait. Mérési eredmények segítségével, az eredeti pneumatikus rendszerrel összehasonlítva bemutattuk a működtetési mód jellemzőit, és potenciális előnyeit. Demonstráltuk az elektromechanikus működtetés nagyfokú szabályozhatóságát, mellyel a kapcsolás menetét többé már nem a működtetőegység jellemzői határozzák meg, hanem az rugalmasan, a kapcsolószerkezetek sajátosságainak megfelelően irányítható. A működtetési mód a kapcsolási zaj csökkenésén és az élettartam növelésén túl nagyban támogatja a modulrendszerű felépítést, mert ugyanaz a hardveres elrendezés különböző sebességváltók optimális működtetésére lehet képes.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunkát a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) támogatta a TRUCKDAS projekt keretében.

Irodalom

- [1] Bünder, C. Dr. et al. 6DCT250 – The next generation High Efficiency Getrag Powershift® – Product for the world market, 8th International CTI Symposium, 2009
- [2] Küçükay, F. Prof. Dr.-Ing. Grundlagen und Praxis der Fahrzeuggetriebe, Konstruktive Ausführungen Teil 1, 5th International CTI Symposium, 2006
- [3] New Ricardo technology promises low cost and weight, high fuel-efficiency automated transmissions, Sajtóközlemény, 2008. július 28.
- [4] Turner, A., Ramsay, K., Clark, R. és Howe, D. Direct Drive Rotary-Linear Electromechanical Actuation System for Control of Gearshifts in Automated Transmissions, IEEE, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) 2007
- [5] Müller, A. Betätigungseinrichtung für ein Getriebe eines Fahrzeugs; Europäische Patentanmeldung EP1870617A2, 2008

Korszerű autonóm járműirányítási rendszerek szimulációalapú analízise hibainjektálási módszerrel

Szabó Bálint
ügyvivő szakértő,
BME EJJT

Kerekes Tamás
ügyvivő szakértő,
BME EJJT

Hankovszki Zoltán
ügyvivő szakértő,
BME EJJT

Dr. Szalay Zsolt
projektvezető,
BME EJJT

A korszerű járművek, járműrendszerek fejlesztésének egyik fontos lépése a rendszer biztonsági analízise. A járművekben alkalmazott elektronikai szabályozástechnikai rendszerek megjelenésével a rendszerekben előforduló hibalehetőségek száma megsokszorozódott. Az utólagos hibaanalízist még inkább megnehezíti, hogy az elektronikai rendszerekben a hibák többnyire rejtve vannak, azok megtalálása nagyon nehéz feladat. Másodsorban az elektronikai rendszerek egy része biztonságkritikus rendszer, hiszen a jármű veszélyhelyzet esetén történő megállítást vagy irányítást vezérli, ezeknek a rendszereknek a megbízható működése ezért magas prioritású szempont. Hasonló a helyzet azoknál a rendszereknél, amelyek a jármű mozgásába avatkoznak be autonóm módon, hiszen egy hibásan működő rendszer is könnyedén balesetet okozhat. Ezért alkalmaznak már a fejlesztések során különböző elemzési eljárásokat, amelyekkel hibamentes, illetve hibatűrő rendszereket tudnak készíteni. Ezek az analízisek mind szoftveres, mind pedig hardveres környezetben elvégezhetőek. Jelen cikk a szimulációs környezetben elvégezhető biztonsági elemző eljárások egyikét, az úgynevezett hibainjektálási módszert mutatja be.

One of the most important processes of the development of modern vehicles, vehicle systems is the safety analysis. Using electronically controlled systems in vehicles have multiplied the possibilities of failure modes and locations. Mostly these failures remain hidden during common examinations; therefore it is quite hard task to reveal them. On the other hand some of these electronically controlled systems are safety critical, because they have influence on the dynamics of the vehicle, therefore it has high priority to ensure, that these systems operate properly. Therefore different types of analysis are used during the development to make these systems fail safe and fail tolerant. The analysis can be carried out both in software and in hardware environment. This paper describes one of these safety analysis procedures: the failure injection method.

BEVEZETÉS

A biztonságkritikus rendszerek esetében szigorú követelményeket támasztanak a rendszerekkel szemben a tervezés során. Nemcsak az a fontos, hogy a rendszer hibamentesen működjön, hanem azt is vizsgálni kell, hogy egy esetleges hiba megjelenésekor a rendszer felismeri-e a hibát, és megfelelő módon reagál-e. Az ilyen jellegű vizsgálatokat először csak szimulációs környezetben vizsgálják, és ezt követően kerül sor a hardveres, illetve járműves tesztek elvégzésére. A számítástechnika fejlődésének köszönhetően a számítógépes szimulációk egyre nagyobb szerepet kapnak a biztonsági analízisek terén. A szimulációalapú biztonsági analízis előnye az alacsony költségek mellett, hogy még a tervezés stádiumában ellenőrizni lehet a tervezett rendszer működését.

A biztonsági elemzőrendszerek modellalapúak, vagyis azok eredményeit erősen befolyásolja a modell pontossága. A szimulációs környezetben felépített modellek mindig több-kevesebb egyszerűsítést tartalmaznak. Az egyszerűsítések mértékét mindig az adott probléma határozza meg, hiszen minél komplexebb a modell, annál nagyobb a számítási kapacitásigénye, de a túl egyszerű modell nagyon pontatlan is lehet. Azt magától értetődőnek vehetjük, hogy a rendszer hibamentes esetben megfelelően működik, a vizsgálat célja az, hogy ha a rendszer valamely része meghibásodik vagy a rendszer hibás információkat kap, akkor hogyan viselkedik, felismeri-e egyáltalán a hibákat, és ha igen, milyen gyorsan.

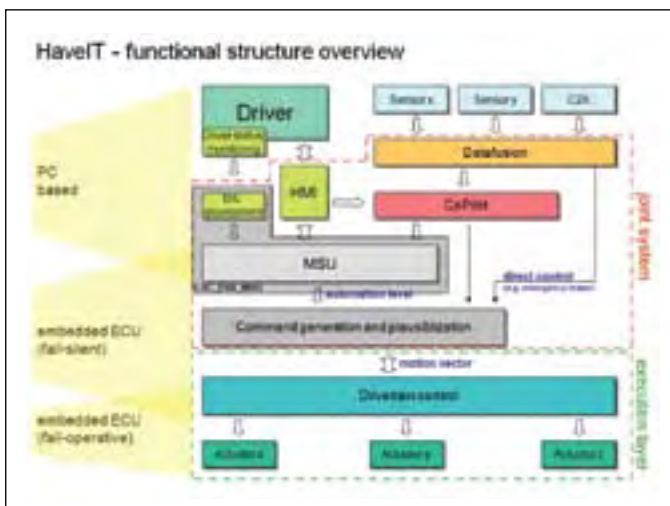
AUTONÓM JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI RENDSZEREK

Az autonóm járműirányítási rendszerek hosszú távú célja a járművek vezetőtől független irányítása. A jelenlegi rendszerek legegyszerűbb változatai a vezetéstámogató rendszerek, amelyek mindössze audiovizuális jelzésekkel segítik a vezetőt a jármű irányításában. Ezzel szemben léteznek már beavatkozó rendszerek is, amelyek nemcsak figyelmeztetnek, hanem befolyásolják is a jármű dinamikáját, mindezt természetesen úgy, hogy a járművezető szándékát nem bírálják felül. A kereskedelembe elérhető rendszerek közül ma még csak a hosszirányú dinamikai rendszerek léteznek, azaz a rendszer egy előre beállított sebességgel hajtja a járművet, szükség esetén lassítva azt, hogy az előttünk haladó járműhöz képest biztonságos követési távolság meglegyen. Még főként kísérleti stádiumban vannak a keresztirányú dinamikai rendszerek, amelyek a járművet a forgalmi sávban lehet tartani, illetve fejlettebb rendszerek vezetői beavatkozás nélkül akár sávot is váltanak. Az autonóm járműirányítási rendszerek felépítésüket tekintve három csoportból állnak: vannak szenzorok, amelyek a környezetről, illetve a jármű aktuális dinamikai állapotáról adnak információt a rendszernek; a második csoportba a vezérlő logika tartozik, amely a kapott információk alapján meghatározza a jármű következő időpillanatbeli dinamikai állapotát; a harmadik csoportba pedig az aktuátorok tartoznak, amelyek a vezérlőegység utasításainak megfelelően működtetik a hajtás-, fék- és kormányrendszert, hogy a kívánt mozgásállapotot biztosítsa.

Az ilyen rendszereknek a megfelelő működése érthető módon nagyon fontos, hiszen bármely alrendszer meghibásodása esetén a járművet nem a kívánt célnak megfelelően irányítja a rendszer, aminek beláthatatlan következményei lehetnek. Ezért szükséges ezeknek a rendszereknek a fejlesztés során elvégezni a biztonsági analízist, amelynek során hibainjektálási módszerrel is ellenőrizni kell a rendszer hibatűrését.

RENDSZERSTRUKTÚRA

Ennek a projektnek a keretében is egy autonóm járműirányítási rendszer kifejlesztése a cél. A rendszert a vezető egy kapcsoló segítségével különböző automatizáltsági szintre állíthatja. A legalsó szint a manuális mód, amikor a vezető maga irányítja a járművet, a rendszer ilyenkor készenléti állapotban van. A következő szint a félautomatikus mód, amikor a rendszer a hosszirányú dinamikát szabályozza, laterális irányban a vezető irányít. Ebben az esetben a rendszer az adott útszakaszon megadott maximális megengedett sebességre gyorsítja a járművet, de figyelembe veszi a jármű előtti objektumokat, illetve azok sebességét is, hogy mindig egy biztonságos követési távolságot tartson. A harmadik szint már a magasan automatizált módot jelenti, amikor keresztirányban is a rendszer irányítja a járművet, azaz úgy kormányozza azt, hogy mindig a forgalmi sáv közepén haladjon a jármű.



1. ábra: az autonóm járműirányítási rendszer struktúrája

A rendszer struktúráját az 1. ábra mutatja. A rendszer által bemenetként kapott információkat négy csoportba sorolhatjuk. Az elsődleges információ a járművezető felől érkezik, mint például a kormánykerékszög, a pedálállások vagy a sebességfokozat. Az autonóm irányításhoz szükség van a jármű környezetének ismeretére, ezért radarszenzorokkal a jármű előtt található objektumokat, videokamerával pedig a forgalmi sáv jelöléseit detektálják. A jármű dinamikai állapotának szabályozásához visszacsatolásként szükség van az aktuális mozgásállapot ismeretére, amelyet a járművön elhelyezett szenzorok biztosítanak. Ezen felül a rendszer figyeli a járművezető állapotát is, amihez az utastérben elhelyezett kamerákat használja. Az így kapott jeleket a vezérlő logika dolgozza fel, és utasításokat ad az aktuátoroknak, amelyek ebben az esetben a motorvezérlő elektronika, egy automatikus fékaktuátor, illetve a kormányrendszer aktuátora.

A vezérlő logika két nagy részből áll: a jármű jövőbeli mozgásállapotát meghatározó Command Layer (piros szaggatott vonallal bekeretezett rész az 1. ábrán), és az Execution Layer (zöld szaggatott vonallal bekeretezett rész az 1. ábrán), amely a megtervezett mozgásállapot alapján ad utasításokat az aktuátoroknak.

A rendszer „lelke” a Command Layer, amely a rendelkezésre álló információk alapján megtervezi a jármű mozgáspályáját, majd abból előállítja az úgynevezett mozgásvektort, amely a következő időpillanatbeli dinamikai állapotot definiálja. A vezető által adott utasítások az úgynevezett Human-Machine Interface-en (HMI) érkeznek, a vezető éberségét figyelő kamerák információit pedig Driver State Assessment (DIL assessment) modul dolgozza fel. Az összes többi, a jármű állapotát és környezetét figyelő szenzor jele a Data Fusion egységbe kerül. Ez a modul dolgozza fel a szenzorok adatait, és konvertálja őket a szükséges formátumba. A Mode Selection Unit (MSU) modul feladata meghatározni az automatizáltsági szintet. Ez nemcsak a vezető igénye alapján történik, hanem számos egyéb paramétert is figyelembe kell venni. A CoPilot rész tervezi meg a szenzorok jelei alapján a jármű jövőbeli mozgáspályáját, amely alapján a Command Generation modul állítja elő a jármű dinamikai állapotát leíró mozgásvektort.

HIBAINJEKTÁLÁSI MÓDSZER

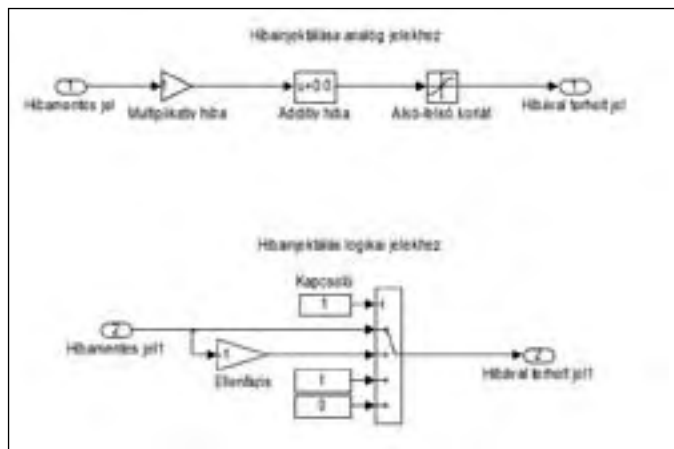
Két technológia létezik: a mérésalapú és a szimulációalapú hibaelemző technika. Bár mindkettőnek az a lényege, hogy egy rendszerbe hibás jeleket táplálva vizsgáljuk annak reakcióit, milyen válaszokat ad a rendszer: milyen gyorsan detektálja, hogy hibás jel érkezett, és hogyan reagál a felismert hibára. A második módszer teljes egészében számítógépes környezetben történő vizsgálatot jelent, még a fejlesztésnek már kezdeti stádiumaiban is elvégezhető, de ugyanakkor komplex módszerről van szó nagy számítási kapacitásigénnyel. Az első módszer hardverszintű mérési igényel, tehát csak egy kész prototípuson lehet elvégezni. A mérés egyszerűbben, gyorsabban kivitelezhető, valósághűbb eredményt ad, de ugyanakkor költségesebb megoldás is, illetve a feltárt hibák visszajavítása is körülményesebb. A gyakorlatban mind a két eljárást alkalmazzák, így lehet kellő biztonságú rendszereket, alkatrészeket fejleszteni.

A szimulációalapú hibaelemzés első lépéseként el kell készíteni a vizsgálandó rendszer teljes matematikai modelljét. A vizsgált rendszer alkalmazásától függően el kell készíteni a környezetének a modelljét is, amennyiben annak az alkatrészre gyakorolt hatását is vizsgáljuk. Létre kell hozni egy szimulációs környezetet, amelyben a vizsgált rendszer ugyanúgy tud működni, mint a valós, járműbe installált rendszer. A második lépés egy vagy több szimulációs forgatókönyv készítése. Ezek a forgatókönyvek írják le azoknak a környezeti változóknak a változását, amelyek hatással vannak a rendszer működésére. Ezek a változók, illetve azok változása rendszerspecifikus, minden rendszernél egyedileg kell definiálni. Fontos, hogy úgy kell megválasztani a forgatókönyveket, hogy lehetőleg minden olyan esetet lefedjünk vele, amely a gyakorlatban is releváns módon előfordul. Az eddigiek alapján már van egy alkalmas eszközünk arra, hogy a rendszert megvizsgáljuk, hogyan viselkedik hibamentes állapotban. A hibainjektálási technika következő lépése a hibatér definiálása. A hibatér egy többdimenziós tér, amelynek dimenziói a hiba helye, jellege és mértéke. Ebben a térben kell definiálni egy vektorhalmazt, amelynek minden eleme meghatároz egy hibahelyet, jellegét és mértékét. Ennek a halmaznak a megadása megint csak rendszerspecifikus feladat, hiszen a hiba helyei mindenképpen a vizsgálandó rendszer struktúrájától függenek. Evidens, hogy egy rendszer összes bemenetét hibával terheljük, de sok esetben érdemes a belső struktúrát is megvizsgálni, nem érdemes-e belső jeleket is hibával terhelni. A hiba jellege is rendszerfüggő. Szimulációalapú analízis esetében külső vagy belső jeleket terhelünk hibával. Ezek lehetnek logikai jelek (kapcsolók), ahol diszkrét hibákat definiálhatunk. Lehet például ellenfázisú működés vagy a kapcsoló megragadhat az egyik állapotban. A jelek másik csoportját az analóg jelek alkotják, de ezek, mivel a

szimuláció is digitális számítógépeken numerikus módszerekkel történik, a szimuláció során digitálisként lehet kezelni. Ez nem jelent gondot, egyrészt, mert a vezérlőegység is digitalizálja az analóg szenzorok jeleit, másrészt a szimulációs szoftverek alkalmazott jelek precizitása nagyságrendekkel nagyobb, mint a vezérlőegységek digitális jeleinek felbontása. A jelek mindegyik korlátos, alulról és felülről egyaránt. Kétféle korlát létezik: egy fizikai és egy méréstartományi. A fizikai jelkorlát azt adja meg, mekkora az a minimális (általában zérus), illetve maximális feszültségérték, ami az adott csatornán érkezik. A méréstartományi korlátok pedig azokat a limiteket adják meg, amely az adott jelnél reális értéket jelent. Tehát bármilyen hibával is terhelt a jel, a fizikai korláton nem érdemes kívül menni. A mérés-technikai korlátot viszont célszerű átlépni, ezzel is vizsgálni lehet, hogy a rendszer detektálja-e a tartományon kívüli jelet. Annak ellenére, hogy ezek diszkrét jelek, a jelértékek nagy száma miatt a hibaelemzés során analóg jelként kezeljük őket. Ebben az esetben is lehet szélsőséges hibákat definiálni, például, hogy egyáltalán nem érkezik jel egy adott csatornán, vagy egy adott értéken megragad a jel. Ezekon kívül kétféle hibatípust lehet definiálni: a multiplikatív és az additív jellegű hibákat (1). Ezek a hibajellegek a szenzorok kalibrációs hibáinak felelnek meg, mintha rossz faktor és nullponti érték lenne megadva (2. ábra). Mindkét hibajellegnél létre kell hozni egy-egy halmazt, mekkora értéket vehet fel a tényező.

$$\tilde{u} = h_m u + h_a \quad (1)$$

Ahol u a hibamentes jel, $\tilde{u}$ a hibával terhelt jel, h_m a multiplikatív, h_a pedig az additív hiba.



2. ábra: hibainjektálási módszerek

A hibaelemzés során szimulációkat hajtunk végre, amelyek során mindig más-más helyre különböző jellegű és különböző mértékű hibát injektálunk. Ez a módszer lehetővé teszi azt is, hogy egyidejűleg több hibát is vigyünk a rendszerbe, de kezdetben érdemes szimulációként csak egy hibát injektálni, mert így könnyebben elemezhető az egyes hibák hatása.

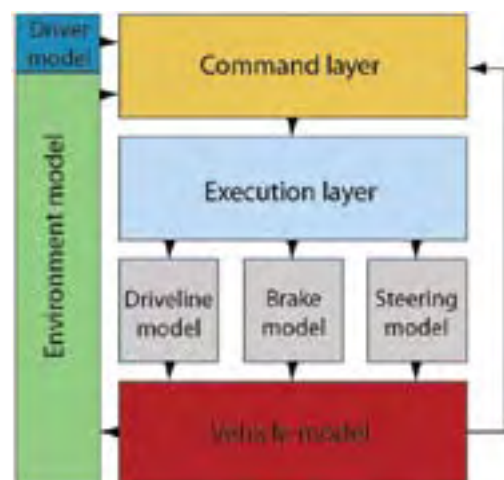
A hibaszimuláció eredményeit a rendszer kimenetein mérhető jelek, illetve a rendszer állapotváltozásai adják. Minden egyes szimulációs esethez és hibavektorhoz, egy függvényhalmazt rendelhetünk, amely az eredményfüggvényeket tartalmazza. Az eredmények kiértékeléséhez szabályokat kell rendelni, mely válaszok a megfelelőek, és mikor tekintjük hibásnak egy rendszer reakcióját.

Összefoglalva, a hibainjektálási módszer segítségével megvizsgálható, mennyire hibátűrő egy rendszer. A korszerű biztonsági analíziseknél nem a hiba megjelenésének, hanem annak továbbterjedésének a megakadályozását vizsgálják elsősorban.

HIBAANALÍZIS AUTONÓM JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI RENDSZERBEN

A harmadik fejezetben bemutatott autonóm járműirányítási rendszeren kell szimulációalapú hibainjektálási módszerrel biztonsági analízist elvégezni. A teljes rendszerből a Command Layer képezi a vizsgálat tárgyát. A szűkebb értelemben vett hibainjektálási módszer szerint ennek a rendszernek a bemenetére kell különböző függvényeket adni, majd a hiba injektálását követően a válaszelet figyelni. Ehelyett a rendszer tágabb értelemben vett vizsgálatát végezzük el, azaz elkészítjük a rendszer teljes környezetének modelljét, és ebben a szimulációs környezetben fogunk elemzéseket elvégezni. A szimulációs környezet magában foglalja a teljes jármű, a környezet és a járművezető modelljét (3. ábra).

A Command Layer bemenetei a szenzorok, amely a szimuláció esetében a környezeti információkat, a vezető utasításait, valamint a jármű dinamikai állapotát méri. A járműmodell egy úgynevezett négykerekűvé bővített kerékpármodell. A modell alapját ugyanis egy kétkerekű modell szolgáltatja, de a kanyarodás során az átterhelődések figyelembevételére a járművet négykerekűvé egészítettük ki. A kormánygeometria meghatározásánál továbbra is kétkerekű modellel számolunk, de a kerékterhelések és a kerék-talpponti erők már négy keréken jelennek meg. A járműmodell tartalmazza a különböző járműrendszerek modelljeit is. A hajtáslánc statikus motormodellből, tengelykapcsoló, nyomatékváltó és differenciálmű modellből áll. A nyomatékváltó hatfokozatú automatikus kapcsolású, így a kapcsolási logikát is tartalmazza a modell. A fékrendszer egy hagyományos kétkörös hidraulikus fékrendszer, egy külön aktuátorral kiegészítve, amely a fékpedál lenyomása nélkül is képes megfelelő nyomást létrehozni. Ezen kívül a kormányrendszert kell még modellezni, amelynek két bemeneti és egy kimeneti változója van. A bemenetek a vezető és a kormányaktuátor által kifejtett nyomatékok, míg a kimenőjel a kormányzott kerék szögelfordulása. A járműmodell a három modellezett járműrendszeren keresztül vár bemenetet, nyomatékigényt a hajtáslánc, a fékpedálállást a fékrendszer és a kormánykerék-nyomatékot a kormányrendszer. A járműmodell válasza a bemenetre a jármű dinamikai állapotának megváltozása, amelyet visszacsatolunk a Command Layer felé. Ezenkívül a járműmodell igényel némi információt a környezet felől is, mint például a súrlódási tényező vagy az út emelkedési szöge. Ez fordítva is megvan: a jármű is ad információt a környezetnek, hiszen a jármű pozíciója változik, ezáltal a környezeti modellnek is követnie kell a jármű aktuális helyzetét a trajektóriához képest.



3. ábra: a szimulációs környezet felépítése

A környezeti modell két információt tartalmaz: az úttest trajektóriáját, valamint a környező objektumok mozgásfüggvényeit. Az útvonal alakját tetszőlegesen választhatjuk meg, akár több

különbözőt is választhatunk. Az összes lehetséges trajektória lefedése lehetetlen, végtelen sok lehetőséget adna, ezért elég néhány releváns útvonalgörbét kiválasztani. Ehhez a függvényhez kell hozzárendelni az ívhossz mentén változó súrlódási tényezőt és emelkedési szöget, valamint a sebességkorlátot is, amely a Command Layer számára szükséges. A környező objektumokat a jármű előtt, a járművel azonos sávban haladó többi jármű jelenti. Ezeknek a járműveknek kell egy kezdőpozíciót, illetve egy sebességprofilot definiálni, illetve azt is lehet szimulálni, hogy az adott jármű éppen a mi forgalmi sávunkban halad vagy sem.

A vezetőmodell feladata, hogy manuális, illetve félautomatikus módban végigvezesse a járművet a trajektória mentén. Ezen kívül az üzemmódok közötti váltást is a vezetőmodell végzi előre definiált forgatókönyvek alapján.

A szimulációs környezet felépítését követően kell a hibák helyeit definiálni. Alapvető jelentőségű a bementi (szenzor) jelek hibákkal történő terhelése is. A környezeti szenzorok közül kettő kerül modellezésre: a radarszenzor és a kameraszenzor. Mindkettőt lehet hibával terhelni, igaz a kamera esetében nem egyszerű a közvetlen hiba bevitelle, mert a képi információt nehéz egzakt, reprodukálható hibával terhelni. Ennél egyszerűbb lehetőség, ha nem a kamera képi információját, hanem a már feldolgozott adatsort (trajektóriát) terheljük hibával. A járműszenzorok értékeit ugyanígy lehet hibainjektálással módosítani. A vezető által adott információk közül a gázpedáljel hasonló módon vizsgálható, de a fékpedál és a kormányászóg esetében már más a helyzet, itt ugyanis lehet, hogy hibázik a szenzor, és pontatlan értéket mér, de a fék- és kormányrendszer ettől függetlenül megkapja az utasítást a rendszer működtetésére. Azaz a jármű megfelelően viselkedik, csak a vezérlőrendszer nem értesül megfelelően a vezető szándékáról. De a belső jelek is vizsgálhatóak, hiszen a Command Layer is moduláris felépítésű, ezért az egyes modulok is generálhatnak hibát.

Mind a két hibatípust alkalmazni kell, mind a multiplikatív, mind pedig az additív. Igaz, hogy azonos hibaértékek állíthatóak elő a kétféle típussal, de a hiba változásának jellege más, egy zárt szabályozási körnél ez is sokat számít. Amennyiben a hiba kis-mértékű, és a jel értéke nem esik az elfogadhatósági tartományon kívül, azt a rendszer nem tekinti, nem tekintheti hibának. Viszont a zárt szabályozási körbe mint szabályozási hiba megjelenik az injektált hiba is, amelyet a szabályozó kompenzálni igyekszik. Ebben az esetben másként fog viselkedni a rendszer egy additív és egy multiplikatív hibára.

Azt hogy egy adott jelre milyen mértékű hibát szuperponálunk, mindig az adott jeltől függ, tehát előzetesen rögzíteni kell egy intervallumot minden egyes hibával terhelt jelhez.

Az előkészített bemeneti jelek és az injektálandó hibák segítségével végre lehet hajtani a szimulációkat. Ez azt jelenti minden egyes hibahelyre, minden egyes hibatípusra és minden egyes hibaértékre le kell futtatni a definiált forgatókönyv szerinti szimulációt. Mivel

a rendszer hossz- és keresztirányú dinamikai szabályozást végez, ezért mind a két esetet meg kell vizsgálni mint eredményt, mégpedig külön-külön. A hosszirányú dinamika eredménye a követési távolság minimuma. Vagyis, hogy a szimuláció során mekkora volt a legkisebb távolság, amire a járművünk megközelítette az előtünk haladó járművet. Keresztirányban egyszerűbb a helyzet, itt azt kell vizsgálni, elhagyja-e a jármű a forgalmi sávot vagy sem. Látható, hogy rengeteg szimulációt kell végrehajtani, majd kiértékelni, ezért mindenképpen szükség van a módszer automatizálására. Bármilyen erre alkalmas programozási környezetben lehet erre ciklust készíteni. Illetve a szűk keresztmetszetet a modell forrásnyelve jelenti, hogy milyen leíró nyelvben készült a szimulációs modell. A futtatás során először az összes hibaértéket kezdőértékre állítjuk (multiplikatív esetben 1-re, additív esetben pedig 0-ra). Kiválasztjuk a soron következő hibahelyet és hibatípust, majd annak az összes értékével egyesével lefuttatjuk a szimulációt, és egy négydimenziós mátrixba gyűjtjük az eredményeket. Ebből a mátrixból azután későbbi kiértékeléssel elemezhetjük az eredményeket, és levonhatjuk a következtetést.

KONKLÚZIÓ

A hibainjektálási módszer egy rendkívül hasznos eljárás olyan rendszerek hibaanalíziseihez, amelyek már túlságosan komplexek ahhoz, hogy kizárólag hibafa vagy hibamód analízissel vizsgáljuk a rendszer működését. Ez a módszer nemcsak a lehetséges hibák feltárásához nyújt segítséget, hanem arra is alkalmas, hogy követelményrendszert állítsunk fel például a szenzorokkal kapcsolatban. Ilyen szimulációkkal meg tudjuk mondani, milyen pontosságú, illetve nullpont hibájú szenzorokat kell alkalmazni a rendszer megfelelő működtetéséhez. Az eljárás továbbfejlesztésével nem csak állandó értékű hibákat, hanem véletlenszerűen felmerülő hibákat, de akár a jelekre terhelt zaj hatását is vizsgálni lehet.

Irodalom

- [1] Joshi, M. Whalen, M. P.E. Heimdahl (2005): Model-Based Safety Analysis: Final Report, Technical report, NASA
- [2] Benso, P. Prinetto (2003): Fault Injection Techniques and Tools for Embedded Systems, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA
- [3] Website of the project HAVEit: <http://www.haveit-eu.org>
- [4] Tajarro, F., Latif-Shabgahi, G. (2008): A Novel Methodology for Synthesis of Fault Trees from MATLAB-Simulink Model, Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology, Volume 31 Issn 2070-3740
- [5] Papadopoulos, Y. et.al. (2001): Model-Based Semiautomatic Safety Analysis Of Programmable Systems In Automotive Applications, Proceedings of ADAS 2001, the International Conference on Advanced Driver Assistance Systems, Birmingham, UK, CFP # 483, pp.53-57.

Alternatív tüzelőanyagok és hajtásrendszerek követelményei és értékelése üzleti modell alapján

Trencsényi Balázs
projektvezető, BME EJJT

Dr. Stukovszky Zsolt
igazgató, BME EJJT

A tartósan fenntartható mobilizáció vitathatatlan társadalmi cél. Éppen úgy vitathatatlan, mint az energiafogyasztás és a vele járó környezeti terhelések csökkentésének szükségessége. Az utóbbi idők erőfeszítései már jelentős változásokat eredményeztek a közúti közlekedésben manapság általánosan használatos belső égésű motorok fogyasztását és kipufogógázainak károsanyag-tartalmát illetően. Bár ezen a területen további technológiai fejlesztés várható, a környezetterhelés csökkentésének igénye, valamint az ellátásbiztonság fokozása a kőolajból nyert hajtóanyagok alternatíváinak kutatására kényszerít.

The sustainable mobility is a basic social interest. It has the same argument like the necessary reduction of the environmental load of energy consumption. The efforts in the automotive industry have already led to significant changes in the last decades. The fuel consumption and the emissions of the wide-spread internal combustion engines have decreased considerably. New propulsion technologies will ensure further improvement of efficiency of road transport segment. The demands to an environment-friendly transport and the growing energy dependency excite the research the new technologies from the application point of view.

1. BEVEZETÉS

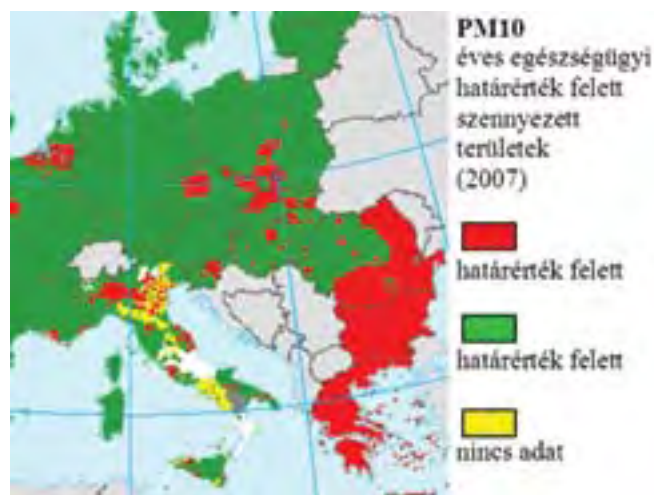
Egyértelmű összefüggést fogalmaztak meg Földünk klímájának változása és az emberi tevékenységek következményeként a légkörbe került gázok, elsősorban szén-dioxid és egyéb üvegházhatást fokozó gázok mennyisége között. Ugyanakkor az antropogén emissziók közvetlen hatásairól sem feledkezhetünk meg. A mai nagyvárosok – mely alól Budapest sem kivétel – levegőminőségének romlásáért nagyrészt a közúti közlekedés a felelős, mert ez a szektor növekedett a legdinamikusabban az elmúlt húsz évben. Az emberi tevékenység hatásának felismerése és az eddig hagyományosnak tekintett fosszilis energiahordozók készleteinek alakulása új kihívások elé állítja az energiaipart és a nagy energiafogyasztó szektorokat, amilyen a közúti közlekedés is. Új típusú energiaforrások bevonása szükséges a környezet megóvása és az energiaellátás biztonságának szavatolása miatt egyaránt. Kutatásaink középpontjában a közúti közlekedésben alkalmazható technológiák áttekintése és összehasonlítása állt. Célunk a lehetséges előnyök és hátrányok vizsgálata felhasználói szempontból, valamint a további vizsgálati – például empirikus – módszerek kidolgozásának előkészítése.

2. JELENLEGI HELYZET

A közúti gépjárművek döntő többsége ma két csoportba sorolható a felhasznált üzemanyag típusa szerint: a benzinnel és a gázolajjal üzemelő járművekre. Ezeknek a tüzelőanyagoknak az elégetésekor legnagyobb részben szén-dioxid keletkezik, az égéstermék többi összetevője tulajdonképpen csak töredékét teszi ki a keletkező gáznak. Mivel a szén-dioxid erősen üvegházhatást fokozó gáz, és az égésfolyamatba bevitt tüzelőanyaggal összemérhető a keletkezett CO₂ mennyisége, ezért alapvető fontosságú energiatermelésünk hatékonyságának növelése. Megoldást jelenthet zárt CO₂-körfolyamat létrehozása, illetve lehetőség szerint nem szénelapú energiaforrások fejlesztése.

A szén-dioxid mellett a dízelüzemű motorokból elsősorban aeroszol (főként korom és a gázolaj kéntartalmából eredően szulfát), valamint nitrogén-oxidok, míg a benzinüzemű motorokból

leginkább gáznemű légszennyezők kerülnek a levegőbe. Ezek egy részére ma már vonatkozik előírás, egy részük hatásmechanizmusáról pedig még zajlanak a szakmai viták. Az Európai Unió mindenesetre többé-kevésbé felismerte a szálló por részecskéinek veszélyeit, amelyekre rákkelő vegyületek tapadnak, és belégzéssel könnyedén az emberi szervezetbe kerülhetnek (ld. 1. ábra). Az üvegházhatást fokozó gázok mellett tehát a kipufogógázok egyéb mérgező anyagainak és részecskéibocsátásának csökkentése is aktuális feladata a gépjárművek hajtástechnikájának.



1. ábra: szálló por szennyezésnek erősen kitett területek Európában [EEA]

Ma alternatív energiaforrásnak tekinthetők azok az anyagok, amelyek újrafelkező (regeneratív) forrásokból fosszilis energiahordozók nélkül nyerhetők, de ide sorolhatók azok a tüzelőanyagok is, amelyek a benzintől és a gázolajtól különböznek, bár nagy részük ugyancsak fosszilis anyagokból kerül ki. Azt mondhatjuk, hogy ezeket az anyagokat mint alternatív hajtóanyagokat környezetvédelmi és gazdasági szempontok hozzák előtérbe.

3. KÖVETELMÉNYEK OSZTÁLYOZÁSA

A hagyományos belső égésű motorral hajtott közúti járművek tüzelőanyagainak több követelménynek kell megfelelniük:

1. nagy energiasűrűség,
2. könnyű kezelhetőség,
3. szilárd vagy folyékony égéstermékek nélkül égjen,
4. időben és térben elegendő mennyiségben álljon rendelkezésre,
5. ne legyen emberre és természetre akut károsodást előidéző hatása, égésterméke,
6. alkalmazása ne vezessen meteorológiai vagy klimatikus változásokhoz.

Azt mondhatjuk, hogy a ma alkalmazott tüzelőanyagok, a benzin és a gázolaj az első három feltételt teljes mértékben kielégítik – kivétel a dízelek részecsk kibocsátása, de az inkább az 5. és 6. pontokhoz kapcsolható. Sőt, a jelenlegi helyzetben részben a 4. pontot is teljesítik, hiszen jól kiépített infrastruktúra áll rendelkezésre, de a készletek időben korláatosnak mutatkoznak. Emellett azonban a gépjárművek számának növekedésével egyre nagyobb jelentőséget kell tulajdonítanunk az utolsó két környezetvédelmi feltételnek is, amelyeknek – főleg a darabszámok ismeretében – alig felelnek meg jelenlegi motorhajtó anyagaink.

Ebből adódóan az autópárnak és a gépkocsik felhasználóinak számos fontos részterületen még szigorúbb követelményeknek kell megfelelniük. Ezek túlnyomóan ökológiai és gazdasági jellegűek, amelyekben hangsúlyeltolódás figyelhető meg az elmúlt időszakhoz képest. A legfontosabbak:

1. zajcsökkentés,
2. károsanyag-kibocsátás csökkentése,
3. atmoszférába jutó CO₂ csökkentése,
4. függetlenség a kőolajtól,
5. függetlenség a fosszilis energiahordozóktól.



2. ábra: többszintű követelményrendszer-struktúra

Ezek közül több ponton jelentős javulást sikerült már elérni. Különösen szép példa erre a modern technikai megoldásokkal (szegénykeverékes, réteges keverékképzés, közvetlen befecskendezés, katalizátorok) kivitelezett a fogyasztáscsökkentéssel párhuzamosan megvalósított CO, HC és NO_x-emissziók csökkentése az elmúlt néhány évben. Becslések szerint Németországban 2005-ben a személygépkocsik nitrogén-oxid-kibocsátása a '80-as évek értékének negyedére esett, a szénhidrogének emissziója pedig a '70-es évek átlagának hatodára esett vissza. Mindenképpen meg kell jegyeznünk azonban, hogy az előírások (és az eredmények többsége is) csak a motor egy szűk működési tartományára vonatkoznak – igaz, ebben

üzemel leggyakrabban a gépkocsi. Nagy fordulatszámon és nagy terhelésen viszont egyelőre törvényileg szabályozatlan a károsanyag-kibocsátás, és ezekben az üzemállapotokban jóval nagyobbak az emissziós értékek.

A gépjárművekben felhasználható ideális tüzelőanyagok és hajtási módok tulajdonságait a következőkben foglalhatjuk össze:

Járműre és motorra vonatkozóak:

- fizikai és kémiai tulajdonságok szűk határok között legyenek,
- gyulladási és kopogási hajlam kívánt tartományba essen,
- Otto-motorok esetében elegendően magas gőznyomás a hidegindításhoz,
- az üzemanyag és égéstermékei ne okozzanak káros lerakódásokat a keverékképző berendezésben, az égéstérben és a kipufogóban,
- ne tartalmazzon a katalizátorra káros összetevőket,
- csekély igények a motorteknika iránt (pl.: kis befecskendezési nyomás),
- tiszta égés, a kipufogógáz egyszerű kezelésével is elérhetőek legyenek az előírt károsanyag-emissziós (NO_x, CO, HC) értékek,
- magas energiasűrűség,
- ne lépjen fel energiavesztés használaton kívüli járműnél se,
- csekély agresszió a motor és az üzemanyag-ellátó rendszer anyagaival szemben,
- kielégítő kenési tulajdonságok,
- összeférhető legyen a kenőolajjal.

Kezelhetőségre és biztonságra vonatkozóak:

- tárolhatóság és szállíthatóság normál hőmérsékleten és -nyomáson,
- laikusok számára is veszély nélkül kezelhető legyen,
- kis gőznyomás a párolgásból adódó veszteségek elkerülésére,
- csekély hajlam robbanásveszélyes keverékek képzésére kezeléskor és baleset esetén egyaránt,
- a jármű korlátozás nélküli elhelyezhetősége zárt parkolóknak, parkolóházakban.

Gazdaságosságra vonatkozóak:

- csekély, de legalább hosszú távon kalkulálható költségek,
- világszerte rendelkezésre álljon, illetve legalább kiterjedt töltőállomás-hálózaton keresztül hozzáférhető legyen a mennyiségileg jelentős járműpiacokon,
- alapanyaga nagy mennyiségben álljon rendelkezésre a világ különböző régióiban.

Emberre való hatásokra vonatkozóak:

- ne legyen toxikus,
- ne legyen karcinogén,
- ne váltson ki allergiát,
- ne legyen narkotikus,
- ne legyen maró hatású,
- ne legyen kellemetlen szaga,
- könnyen ki- és lemosható legyen.

Környezeti hatásokra vonatkozóak:

- előállításakor csekély emisszió,
- a kipufogógáz csekély fotokémiai potenciálja (csekély mértékben járuljon hozzá a szmog- és ózonnépződéshez),
- ne bocsásson ki olyan kémiai elemeket, amelyek a természetes levegőben nem fordulnak elő,
- nem szándékos környezetbe jutásakor se károsítsa a talajt, a vizeket, a levegőt,
- ne legyen üvegházhatást fokozó,
- biológiailag könnyen bontható legyen.

Az említett követelmények részben ellentmondásban állnak egymással. Egyértelmű, hogy nincs olyan anyag, amely minden kritériumnak ugyanolyan módon képes megfelelni. A ma széles körben elterjedt tüzelőanyagok, a benzin és a gázolaj sok követelményt képesek is kielégíteni, de a környezeti, gazdasági viszonyok folyamatos változásával bizonyos hangsúlyeltolódások megfigyelhetők az igények között.

4. HAJTÁSRENDSZEREK ÉRTÉKELÉSE

A gépjárművek felhasználói köre igen széles, egyéni magántulajdonosoktól a nagyflotta-üzemeltetőig. Járművekkel és azok üzemeltetésével szemben eltérőek igényeik, de racionális piaci gondolkodásukat minden esetben feltételezhetjük. Éppen ezért a követelmények értékelése gazdasági módszerekkel kivitelezhető, még ha a különböző felhasználók érzékenysége az egyes hatástípusokra eltérő is lehet, azaz prioritásaik nem egyeznek. Egy átlag személygépkocsi-tulajdonos is csak ésszerű határon belül fogad el többletköltséget a vezetési élmény biztosítására, amely egy haszonjármű üzemeltetésekor egyáltalán nem szempont.



3. ábra: egyes kitüntetett követelmények értékelése felhasználási korlátok súlyozása szerint

Kijelenthetjük tehát, hogy az egyes új tüzelőanyagok, hajtás-módok elterjedése csak akkor várható, ha az adott technológiai megoldás gazdasági előnyöket mutat a felhasználóknak. A fenti követelményrendszerben a direkt gazdasági szempontok mellett a technikai kérdések elsősorban a fejlesztési és előállítási költségekben lesznek tetten érhetőek. A biztonsági kérdések többsége is kezelhető műszakilag, viszont ez többletköltséget okozhat: az üzemeltetőnek például tovább kell képeznie a felhasználó személyeket. Az egészségügyi és környezeti hatások, vagyis nem közvetlen üzemeltetésből adódó ún. externális költségek kifejezése általában nehéz, nagy bizonytalansággal terhelt. Ezek tulajdonképpen az össztársadalmi hatásokat foglalják magukba, melyek ismeretében a politika kidolgozhatja az egyes technológiák támogatási rendszerét, melynek alkalmazásával azok elterjedése befolyásolható. A jogi környezet alakulása – bár időben általában lassan megy végbe – jó közelítéssel a társadalmi elfogadottságtól függ. A lehetséges alternatívák értékelése a fenti strukturált követelményrendszer súlyozása által kivitelezhető, melyre a 3. ábra mutat példát táblázatos formában.

5. ÜZLETI MODELL

Az alternatív hajtásrendszerre való áttérés beruházása csak akkor éri meg a felhasználónak, ha azt követően a felhasználás fázisában kisebb működési költségeket tud realizálni, amivel képes az – adott esetben – emelt szintű beruházási költségét kompenzálni, vagyis a beruházása megtérül. Célunk ez egyes alternatív tüzelőanyagok alkalmazásakor adódó többletköltségek megtérülési

idejének meghatározása volt. Ekkor valamelyik kiindulási technológia – célszerűen benzin vagy gázolaj – üzemeltetési költségeihez hasonlítjuk az alternatív hajtásrendszerek üzemeltetési költségeit. A modell bizonytalansága, hogy a kiválasztott költségtípusok jövőbeli alakulását hogyan becsüljük. Megtérülés számítása során azonban a társadalmi előnyök csak akkor vehetők figyelembe, ha az externális költségek megfelelő elemzésén nyugvó támogatási rendszer működik – vagy működése várható – az adott piacon.

5.1 Megtérülési idő számítása

Az üzemeltető beruházásának megtérülési idejét a benzinüzemű jármű költségeihez viszonyítjuk. A számítás során öt költségkategóriát határoztunk meg. Változó költségek azok, amelyeket az üzemeltetés ideje alatt egységnyi megtett útra tudunk vonatkoztatni. Ilyen például a tüzelőanyagár [Ft/l vagy Ft/kg], a karbantartási költségek [Ft/intervallum]. Éves költségek, melyek a futamidő alatt évente egyszer jelentkeznek: teljesítménnyadó, kötelező biztosítás stb. Ebben a kategóriában vehetjük figyelembe a behajtási díjakat bizonyos útszakaszokra, környezetvédelmi adót (későbbiekben nem zárható ki bevezetése), tankolás/karbantartás időszükségletét (üzemi állásidő, mely tartalmazhatja a töltőállomásig/szervizig megtett utat is), infrastruktúra üzemeltetés éves díját (esetleges önálló töltőállomás üzemeltetése esetén), stb. Egyszeri költségek, melyek a futamidő alatt várhatóan csak egyszer, de legalábbis ritkán jelentkeznek: járműbeszerzés és -átalakítás költségei, regisztrációs adó, infrastruktúrabeszerzés (esetleges önálló töltőállomás üzemeltetése esetén). Negyedik kategória az amortizáció [Ft/hónap], mely az egyszeri költségek tervezett elszámolási idejét tartalmazza. Végül figyelembe vesszük a kamatlábat, amely a futamidő alatt mind a nyereséget, mind a veszteséget diszkontálja. Természetesen a megtérülés számításához üzemi jellemzők megadása is szükséges. Ezek a futamidő [hónap], flottaméret [db], átlagos megtett út hossza [km], éves futásteljesítmény [km], fogyasztás, egységnyi megtett útra vonatkoztatva [l/100 km vagy kg/100 km], hidegindítás során megnövekedett fogyasztás mértéke.

Benzin, CNG és hibrid jármű esetében a fogyasztási adatokat Budapesten, reggeli csúcsforgalomban a Petőfi-híd – Oktogon útvonal háromszori megtételével vettük fel. A mérés során használt járművek nagyságrendileg azonos méretkategóriába sorolhatóak (benzin: Opel Astra 1.6 kombi; CNG: Opel Zafira 1.6 CNG; hibrid: Toyota Prius II), futásteljesítményük különbözött, de műszakilag mindegyik kiváló állapotban volt. A többi fogyasztást arányosítással, az egyes hajtásrendszerek jellemzőinek – például a járműtömeg változás – és a tüzelőanyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak – például a fűtőérték – figyelembevételével határoztuk meg.

Szekunder energiafogyasztás	
benzin	12,67 l/100 km
gázolaj	10,136 l/100 km
CNG	9,9 kg/100 km
LPG	16,471 l/100 km
biodízel	10,336 l/100 km
hibrid	4,97 l/100 km
etanol	13,17 l/100 km
elektromos	32 kWh/100 km

1. táblázat: városi fogyasztási adatok

Fő paraméterekként éves 15 000 km futásteljesítményt és 30 km átlagos úthosszat feltételezve a 2010. április havi tüzelőanyag-árakkal azt kaptuk, hogy leggyorsabban a CNG üzemű jármű térül

meg (27 hónap). Ezt követi a műszakilag hasonló felépítésű LPG üzemű jármű (28 hónap), majd az etanol üzemű jármű (54 hónap), amit a hagyományos hajtásrendszerű dízel jármű követ csaknem 5 éves megtérülési idővel. A hibrid (84 hónap) és az elektromos jármű (175 hónap) hosszabb megtérülési ideje a jelentősen nagyobb beszerzési költségükkel magyarázható. Az eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

Megtérülés ideje	
Szekunder energia	hónap
CNG	27
LPG	28
E85	54
hibrid	84
dízel	60
biodízel	129
elektromos	175

2. táblázat: megtérülési idők városi fogyasztási adatokkal

Jelentős eltérés mutatkozik a megtérülési időkben, amennyiben a mért fogyasztási értékek helyett a gyártók által megadott, szabványos ciklusban mért fogyasztási adatokat vesszük figyelembe.

Szekunder energiafogyasztás	
benzin	6,65 l/100 km
gázolaj	5,32 l/100 km
CNG	5,2 kg/100 km
LPG	8,645 l/100 km
biodízel	5,52 l/100 km
hibrid	4,51 l/100 km
etanol	7,15 l/100 km
elektromos	32 kWh/100 km

3. táblázat: szabványos ciklus fogyasztási adatok

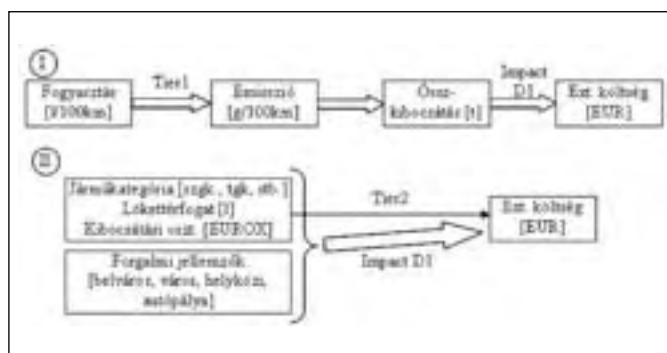
A szabványos menetciklusban felvett – mértnél jóval kedvezőbb – fogyasztási adatok hatására a benzinüzemhez viszonyítva jócskán meghosszabbodnak a megtérülési idők, illetve az etanol, a biodízel, a hibrid és az elektromos hajtásrendszer esetében nem beszélhetünk megtérülésről. Utóbbi ugyan kisebb költségekkel üzemeltethető, de a nagy beruházásigényt ez esetben nem képes kompenzálni. A beruházás megtérülése a CNG (90 hónap), az LPG (226 hónap) és a dízelüzemű (116 hónap) jármű alkalmazásával várható.

Megtérülés ideje	
Szekunder energia	hónap
CNG	90
LPG	226
E85	-
hibrid	-
dízel	116
biodízel	-
elektromos	-

4. táblázat: megtérülési idők szabványos ciklus fogyasztási adatokkal

5.2 Externáliák meghatározása

A környezetbarát technológiák társadalmi előnyeinek számszerű kifejezése rendkívül sok adat meglétét feltételezi. Az externális költségek tulajdonképpen azok a költségek, melyeket az emberi tevékenység káros hatásainak kompenzációjára kell fordítanunk. Jelen kutatásban csak a közúti közlekedés károsanyag-kibocsátásának hatásait vettük figyelembe, a baleseti, zaj, forgalmi torlódások stb. káros hatásokat nem. Az externáliák meghatározásakor tehát meg kell becsülnünk az alkalmazott hajtásrendszerű járművek emissziós értékeit. Alapvetően kétfajta káros hatást tudunk megkülönböztetni. Az egyik az élőlények élettani folyamatait hátrányosan befolyásoló, megbetegedéseket okozó emissziós komponensek. Másik hatás, a klímaváltozást elősegítő, azt felgyorsító, az életkörülményeket károsító hatás.



4. ábra: lehetséges externáliák becslő módszerek és azok adatbázisai

Áttekintve a rendelkezésre álló irodalmat és eszközöket, azt mondhatjuk, hogy az externáliák becslésekor alapvetően két módszer használatára nyílik lehetőség. Az első, hogy a fajlagos megtett út alatt elfogyasztott tüzelőanyag-mennyiséghez rendelünk emisszióértékeket. Ebből a tényleges megtett út ismeretében számolható az összkibocsátás, melynek ismeretében becsülhető az externális költség. Másik lehetőség, hogy a vizsgált járművet kategóriája, összlöket-térfogata és károsanyag-kibocsátási osztálya alapján soroljuk be, ami alapján létező európai költségbecslő adatbázisokból az externális költségértékek kivehetők. Ez utóbbi megoldás a jellemző forgalmi szituációk megadásával finomítható. Ezekben az eljárásokban más és más adatbázisok felhasználása szükséges. A lehetőségeket a 4. ábra szemlélteti, melyben feltüntettük az alkalmazott adatbázismodelleket is [3], [4].

Az üzleti modell kidolgozásánál az első módszer alkalmazása mellett döntöttünk. Azért, mert az üzleti modellnek bemenő paramétere az egységnyi útra eső fogyasztás. A forgalmi szituációk, amit a második módszer használatakor definiálni kellene pedig meghatározzák a fogyasztásértékeket. Természetesen a jármű kipufogógázában a kompozitens arányai több motorikus jellemzőtől is függenek, de alapvetően a motorba juttatott tüzelőanyag mennyisége, vagyis a fogyasztás határozza meg az emisszió mennyiségét. A második módszer ugyan egyszerűbbnek tűnik, de a valóságban ott sem történik más, mint hogy alap járműadatokból (járműtömeg, technológia és összlöket-térfogat) közvetve a tüzelőanyag-fogyasztás és azzal összefüggésben az emisszió mértékét becslik. Az általunk választott módszerben alkalmazott Tier1 emissziós faktorokat a Copert programban is használt Tier3 modell alapján, a tipikus EU15 flottán a Tremove 2.52 verziójából származó közúti forgalmi statisztikai (elsősorban fogyasztási) értékekkel használjuk, ami így idősebb flottával rendelkező országok vizsgálatára is alkalmazható. A Tier1 károsanyag-kibocsátás közelítő eljárás általánosan a következő egyenlettel írható le:

$$E_i = \sum_j \left(\sum_m (FC_{j,m} \cdot EF_{i,j,m}) \right) \quad (1)$$

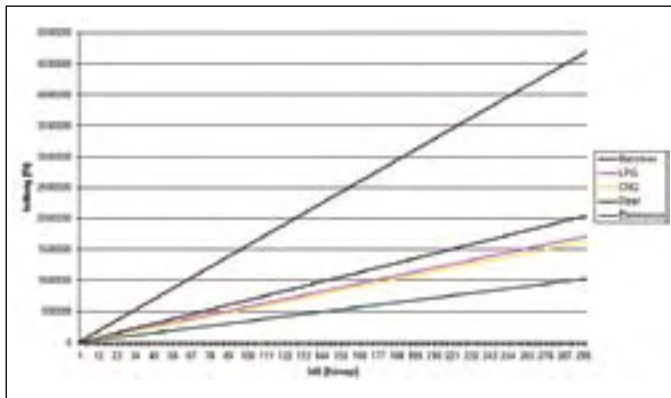
ahol

E_i az i komponens emissziója [g]

$FC_{j,m}$ a j járműkategória m típusú tüzelőanyagának fogyasztása [kg]

$EF_{i,j,m}$ az m típusú tüzelőanyaggal üzemelő j járműkategóriájú jármű kipufogógázának i komponensének tüzelőanyag-specifikus emissziós faktora [g/kg].

A modellben kiválasztható járműkategóriák: személygépkocsi, könnyű haszonjármű és nehéz haszonjármű vagy busz. A különböző járműkategóriákban az egyes tüzelőanyagokra jutó emissziós faktor értékek mint alapadatok forrása az EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 [4]. A modellben az emisszió számításakor a hidegindításkor megemelkedett fogyasztást vesszük figyelembe. A modellben a kalkulált kibocsátásértékek felhasználásával létrejövő légszennyezési (egészségkárosodási) és klímaváltozási költségeket külön-külön feltüntetettük. A modell használatakor minden egyes tüzelőanyaghoz megkapjuk az előző két költségfajta összegét havonkénti bontásban, valamint a kumulált költséget adott hónapok alatt. Lehetőség van továbbá a villamosenergia-termelésben létrejövő emissziók eltérő költségcsökkentésére, amire az elektromos hajtás elemzésekor van szükség.



5. ábra: externális költségek alakulása

A 5. ábra mutatja a modell kimenetén az externális költségek alakulását az állandó bemeneti paraméterek – azaz havonta azonos üzemeltetési körülmények és a városi fogyasztási értékek – mellett kapott eredményeket idődiagramban ábrázolva. Leolvasható, hogy a hagyományos dízeljárművek okozzák a legnagyobb externális költségeket, melyet a benzinüzemű járművek követnek. A kétféle gázhajtás egymáshoz közel, érzékelhetően kisebb externális költségeket jelent a hagyományos benzinüzeműnél is, ráadásul a CNG valamivel kedvezőbb helyzetben van. Az elektromosáram-termelés nagy hatásfokának köszönhetően azonban a fajlagos externális költségei alacsonyok. Ebben a modellben a levegőbe kerülő károsanyag-kibocsátást vesszük figyelembe.

A villamos hajtásrendszer esetében azonban az energiatároló akkumulátorok kezelése jelenthet gondot. Összességében azt mondhatjuk, hogy a CNG-hajtás alkalmazása esetén társadalmi előnyöket tudunk felmutatni. Ráadásul a gázmotorok zajkibocsátása is sokkal kedvezőbb, mint a hagyományos tüzelőanyagokkal üzemelő belső égésű motoroké, vagyis alkalmazásukkal kisebb a környezet zajterhelése.

6. KONKLÚZIÓ

A kifejlesztett üzleti modell alkalmazásával kapott eredmények a jelenlegi tüzelőanyagárak mellett kedvezőnek nevezhetők a gázhajtás szempontjából. Jelenleg a megtérülési idők elfogadható mértékűek amennyiben csak a járműüzemeltetés költségeit nézzük, de ez az alternatív hajtásrendszerek használatához szükséges esetleges további beruházások középtávú megtérülése inkább csak a városi körülmények között várható. A többletberuházás igénye ma a hazai CNG töltőhálózat kiépítetlensége miatt lehet szükséges. A hagyományos tüzelőanyagok és az alternatív szekunder energiaforrások árainak relatív eltéréseinek növekedésével azonban a helyzet valószínűleg kedvezőbbé válik gazdasági szempontból is. A megtérülési periódus vizsgálata mellett elemeztük a társadalmi szempontból fontos externáliákat. Ezek becsléséhez európai kutatási projektek eredményeire támaszkodó modellt implementáltunk az üzleti modellbe. Ennek segítségével megmutattuk, hogy gázhajtás társadalmi szinten képes költségelőnyöket felmutatni a hagyományos tüzelőanyagok alkalmazásával szemben.

Irodalom

- [1] N. Pézsa, B. Trencsényi: Alternatív jármű tüzelőanyagok elterjedésének üzleti modellje, A jövő járműve 2009. 1–2. szám.
- [2] N. Pézsa, B. Trencsényi, Dr. Zs. Stukovszky, P. Kraft: Földgáz mint alternatív járműhajtóanyag Magyarországon, Debrecen, 2009.
- [3] M. Maibach et.al.: Handbook on estimation of external costs in the transport sector, Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT), Version 1.1, CE Delft, 2008
- [4] L. Ntziachristos, Z. Samaras et.al.: EMEP / EEA Emission Inventory Guidebook, Road Transport, 2009
- [5] Prof. Dr. H. Baum et.al.: External Costs in the Transport Sector – A Critical Review of the EC Internalisation Policy, University of Cologne, 2008
- [6] C. Schreyer et.al.: External Costs of Transport – Update Study, Final Report, Zürich / Karlsruhe, 2004
- [7] G. De Ceuster et.al.: TREMOVE, Service contract for the further development and application of the transport and environment TREMOVE model Lot1 (Improvement of the data set and model structure), Final Report, Transport&Mobility Leuven, 2007
- [8] M. Ekström et.al.: Evaluation of the COPERT III emission model with on-road optical remote sensing measurements, Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 38, December 2004, Pages 6631-6641
- [9] Robin Smita et.al.: Improved road traffic emission inventories by adding mean speed distributions, Atmospheric Environment Volume 42, Issue 5, February 2008, Pages 916-926

A járművezetés biztonsága és eszközeinek fejlődése

Petrók János

A gépkocsik növekvő jelentőségű eszközei a vezetői asszisztensek. Újabb változataikat a Robert Bosch kínálatából tervezzük bemutatni, hiszen egy részük fejlesztését a cég budapesti központjában végzik. A cég mint az egyik legnagyobb autóiipari beszállító azonban már túljutott az eszközök izolált fejlesztésén. Termékeit nagyobb struktúrába, közelebbről a járműmozgás és biztonság [Vehicle Motion & Safety (VMS)] elnevezésű rendszerbe ágyazva fejleszti és gyártja. Írásunkat ezért előbb az asszisztenseket befogadó biztonságtechnika bemutatásának szenteljük.

Driver assistant systems have an increasing role in vehicles. We would like to introduce their new versions from the Robert Bosch portfolio, as they are partly developed in the company's Hungarian centre in Budapest. The company – one of the greatest automotive supplier in the world - has already passed the isolated development of these devices. The products are developed and produced in a greater structure called Vehicle Motion & Safety (VMS). That's why we are focusing on the safety technology including the driver assistant systems.

A BIZTONSÁG FOGALOM BŐVÜLÉSE

Az autóvezető ember-gép rendszert alkot járművével. Közúti közlekedésünket ilyen rendszerek áramlatai alkotják. Hatékonyságát a rendszerelemek optimuma, határait a forgalom biztonsága szabja meg. A biztonság, a hibátlan működés bizonyossága. A forgalom biztonságán a jármű, a vezető és a pálya együttes biztonságát értjük. Korunk motorja az elektronika, a közlekedés biztonságát is újraértelmezi.

A legjobb baleset az, amelyik be sem következik. A legjobb védelem pedig az, amit az aktív biztonság nyújthat, a gépkocsiban utazóknak. Biztonsági eszközeink védelme utóhatású, hiszen bennük, maga az elkerülendő esemény bekövetkezése vált ki védőhatást.

Passzív biztonságunk reaktív védelmi eszközök használatára épül. Olyanokéra, amelyekben a járműütközés indítja el a védelmet, mint a biztonsági öv, az övfeszítő és a légszék esetében.

Ma az aktív védelem többsége preaktív, azaz olyan eszközökből áll, amelyeket az elkerülendő veszélyhelyzet, a blokkoló kerék, vagy a megperdülésnek induló jármű hoz működésbe, a védelmet befolyásoló tényezők teljes körű ismerete nélkül. Úgy, hogy a kormány és a fék mint az aktív biztonság legfőbb eszközeinek működése lassú, és korlátozottan szabályozható.

A járműről és annak forgalmi környezetéből, folyamatosan 10¹¹ bit/s-nyi információáram éri a vezetőt. Amikor ebből tudatos válasz születik, a válaszadás 1-2 információra csökken, másodpercenként. Az intelligens rendszerek ennél legalább két nagyságrenddel kisebb válaszadási késedelemmel tájékoztatják a vezetőt a jármű mozgásállapotáról, és avatkoznak be annak módosításába.

Napjaink gépkocsi-biztonsági rendszereinek fejlesztése az integrált biztonság fejlesztése felé mutat. Az integrált biztonsági rendszerek a hagyományos járműveket több szolgáltatás nyújtására alkalmas információkkal egészítik ki.

Az integrált biztonsági rendszerek távolság-, kép- és tapadásérzékelőkkel vannak felszerelve. Ezek nemcsak a veszélyhelyzetet utólag elhárító (reaktív) beavatkozásra alkalmasak, hanem megelőző (pre-ventív) védelemmel egészítik ki meglévő biztonsági rendszereinket.

A JÁRMŰMOZGÁS ÉS A BIZTONSÁG TÁVLATI TENDENCIÁJA

A gépkocsik biztonsági eszközeinek körét, a '80-as évek óta egyre több elektronikus rendszer javítja. Az önálló egységként működő változatokhoz képest, napjaink integrált rendszerei nemcsak kiforrot-



VMS: JÁRMŰMOZGÁS ÉS BIZTONSÁG

1. ábra: az utazás biztonságának, kényelmének és a jármű agilitásának kapcsolata

tabbakká váltak, hanem mindinkább közös hálózatot is alkotnak.

A gépkocsifejlesztés fontos lépése a vezetői asszisztensek közös rendszerre integrálása a jármű aktív és passzív biztonsági, távközlési, valamint navigációs rendszereivel, a vezető-jármű közötti kapcsolat hatékonyabbá tétele érdekében.

A követő évtizedben a Car-2-Car telekommunikációhoz hasonló rendszerek elterjedése miatt, az elektronika mindinkább eléri a fedélzeti hálózatok bővíthetőségének fizikai határait. Ezért a hosszabb távú bővítések a fedélzeti hálózatok digitalizálását és integrálását igénylik. Az ennek jegyében kifejlesztett járműmozgás és biztonság [Vehicle Motion & Safety (VMS)] elnevezésű rendszert a következő főbb sajátosságok jellemzik.

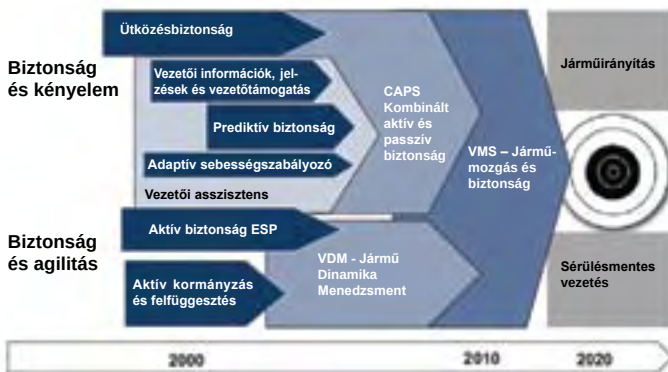
- Légszék és ESP nélkül nem készítenek gépkocsit.
- Mind több járműbe építenek fejlett vezetői információs és asszisztens (Advanced Driver Information Systems és Advanced Driver Assistance Systems) rendszereket.
- Új biztonsági funkciókkal, például kombinált aktív és passzív [Combined Active and Passive Safety Systems (CAPS)] rendszerrel bővül a gépkocsik villamos hálózata.
- Új, prediktív [Pre-Crash & Predictive Safety Systems (PSS)] biztonsági rendszerek küszöblik ki az ütközéseket. Az új VMS rendszer, hosszanti és oldalirányú mozgást korlátozó beavatkozása, a sérülésmentes járművezetés javítását célozza.



2. ábra: az utazás biztonságát, kényelmét és a jármű agilitását felügyelő szolgáltatások belső kapcsolatai. Ezen belül, a VDM járműdinamikai menedzsment (Vehicle Dynamics Management = VDM) a jármű kormányzásával, erőátvitelével és felfüggesztésével kapcsolatot tartó szoftvert és elektronikus hálózatot, a CAPS az aktív és a passzív biztonsági rendszerek kombinációját [Combined Active and Passive Safety Systems (CAPS)] adó szoftvert és elektronikus hálózatot jelent

CÉL: AZ ÜTKÖZÉSMENTES KÖZLEKEDÉS

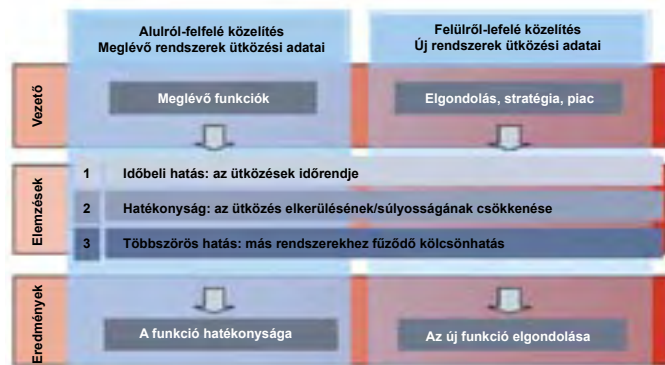
A Bosch biztonságjavító rendszerfejlesztői a korábbi ütközések elemzéséből indulnak ki, és a belőlük szerzett ismereteknek megfelelően fejlesztik eszközeiket és rendszereiket.



3. ábra: fejlesztési cél: ütközésmentes közlekedés

A tervezés fő tendenciáját a középtől-felfelé és felülről-lefelé irányuló nézetek szabják meg. Az előbbi a meglévő rendszerek és funkciók hatékonyságát veszi alapul, az utóbbi stratégiai célok és piaci követelmények megvalósítója.

A két nézet közös alapja a baleseti adatok átfogó primátusa. Ezeket olyan alaposan veszik számba, hogy az elemzett részletek száma némely esetben a 3500-at is meghaladja. A fejlesztők számára kedvező lehetőség, a közúti balesetek tanulmányozására szakosodott GIDAS (German in-depth accident study) projekt 15 ezernél is több esetet magába foglaló adatbázishoz való hozzáférés. Mindemellett a nemzetközi adatbázisból amerikai és japán baleseti adatok is rendelkezésre állnak, melyekből a regionális sajátosságok is nyomon követhetők. Ez indokolt is, hiszen amíg adott ütközéscsoportban Amerikában minden negyedik, személyi sérüléses baleset, Japánban csupán harmincadik esetenként merül



4. ábra: az ütközés-kutatás közelítésmódja

csak fel ugyanez. A funkciók pontosabb kimunkálása érdekében a Bosch, a feltörekvő piacok országaiban, így Kínában, Indiában és Braziliában szorosan együttműködik az autógyártókkal. Az együttesen nyert adatok közös jellemzője, hogy a balesetek mintegy 90 százalékát a járművezetők tévedései okozzák. Ígéretesnek mondható, hogy a személyi sérüléssel járó közúti balesetek és költségeik, vezetői asszisztensek és fejlett biztonsági rendszerek alkalmazásával, jelentős mértékben csökkenthetők. Annak ellenére, hogy az EU-ban korainak bizonyult a 2010-es cél, a halálos balesetek évenként 50 ezres létszámának 25 ezer főre csökkentése. A Bosch ez irányú fejlesztéseinek fő törekvése, a funkcionálisan kedvező, költséghatékony megoldások széles körű bevezetése.



5. ábra: a közúti biztonság akcióterve az EU 25 országában

A biztonság-korszerűsítő törekvések jó része a gépkocsi kisodródását csökkentő ESP alkalmazására vezethető vissza. A Kölni Egyetem vizsgálatai szerint, a velük való teljes körű ellátottság esetén, az európai személygépkocsi-forgalomban évente 4 ezer halálos és 100 ezer súlyos sérüléssel járó baleset lenne kiküszöbölhető.



6. ábra: ütközések okai német autópályákon

Jellegzetes fékmanőver 50 km/h tempóban



Jellegzetes fékmanőver 100 km/h tempóban



7. ábra: különböző sebességeken végzett fékmanőverek fékasszisztenssel és anélkül

A BIZTONSÁGI CÉLOK MEGVALÓSÍTHATÓSÁGA

A jármű optimális irányításában a VMS, valós vezetési helyzetek adaptálásával támogatja a vezetőt. A lehető legnagyobb biztonság, kényelem és agilitás elérésére, a rendszer valamennyi érzékelőjét és beavatkozó szervét aktiválja. A vezetői viselkedés, a jármű és a környezet pillanatnyi állapotának figyelembevétele a következő adaptív és prediktív beavatkozásokra ad lehetőséget.

- Érzékelői révén az ESP minden pillanatban átfogó adatokat gyűjt a jármű mozgásáról. Más rendszerekkel fennálló hálózati kapcsolatain keresztül, a megfelelő kerékek aktiválásával, automatikusan stabilizálja a jármű mozgását.



8. ábra: az ESP jellegzetes beavatkozásai

- Ütközés bekövetkezésekor, az utasvisszatartó rendszer méri a jármű pontos lassulásértékét, és dönt arról: mikor és hogyan nyissa a légzsákokat és hozza működésbe az övfeszítőket.



9. ábra: korszerű gépkocsi, érzékelő-vezérelt passzív visszatartó rendszere

- A jármű előtti útszakasz forgalmáról a radarrendszer szerez információkat, és határozza meg belőlük a jármű haladási sebességét. A Lidar optikai érzékelői valójában csak távolságot tudnak mérni, és a távolságadatokból származtatnak sebességet. A követett jármű intenzív lefékezésékor, a biztonsági funkciók megfelelő működtetéséhez, alapkövetelmény a nagy dinamikával változó sebesség és gyorsulás pontos mérése. Rossz időben, a radarérezékelők információi az optikaiakénál gyorsabbak és pontosabbak. A ma gyártott rendszerek közül, a kétféle érzékelésmódot egyidejűleg, az adaptív sebességszabályozó [ACC (Adaptive Cruise Control)], illetőleg a prediktív rendszerekben, például a prediktív ütközésselzőben (Predictive Collision Warning) használja.
- Videotechnika a sávváltó, a forgalmi jelzésfelismerő és az éjjellátó rendszerekben kerül felhasználásra. Említést érdemel, hogy a radarvideók, a jármű előtti forgalom tárgyfelismerésére és az osztályozott adatok egyesítésében, robusztusabb és megbízhatóbb információkat adnak.



10. ábra: a járműkörnyezetről információkat gyűjtő, szenzitív jármű víziója

Kiinduló elemüket, a Bosch aktív és a passzív védelmét kombináló CAPS-rendszere foglalja magába.



11. ábra: a CAPS, a meglévő rendszerek hálózatba szervezése

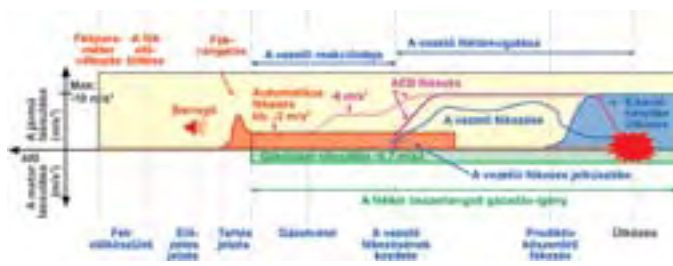
Váltsunk nézőpontot, és olyan gépkocsit vegyünk szemügyre, amelyik már kisodródott, és közben egy újabb gépkocsival is ütközik. Az ilyen jármű az esetek többségében, feltartóztatatlanul az út menti mezőn szokott kikötni. Német baleseti adatok szerint, az esetek 29%-ában, az első ütközést további ütközések kísérik. A Bosch mérnökei a második ütközés energiájának csökkentésére is fejlesztettek ki védelmet. Ez akkor lép működésbe, ha a jármű légszáka az első ütközés alkalmával már aktiválódott. Ilyenkor az ESP a járművet automatikusan lefékezi, csökkentve ezzel a kisodródás és a második ütközés veszélyét. A SCM az eddigi bal-



12. ábra: a CAPS – az aktív és a passzív biztonság kombinációja

esetek felében pozitív hatással enyhítette a járművek további ütközésének hatását.

A CAPS figyelemre méltó szolgáltatása a többszörös ütközés elleni járművédelem [a Secondary Collision Mitigation (SCM)]. A SCM olyan esetekben nyújt védelmet, amikor az eredeti első ütközést a jármű, más járművekkel és/vagy környezeti tárgyakkal való további ütközése kíséri. Kifejlesztése abból indult ki, hogy német statisztikák szerint, minden negyedik autópálya-baleset többszörös ütközéssel jár. Ilyen esetekben, az SCM-mel gyártott járműveken, az utasok védelmét az ESP és a légzsákok közös működésvezérlése adja.



13. ábra: a CAPS ütközéscsökkentésének koncepciója

Az autópálya-torlódásokkal járó gyorsítási, fékezési manővereket gyakran kísérik sorozatos járműütközések. Ha a sor elején haladó jármű SCM-mel van felszerelve, a jármű légzsák-jeladói érzékelik az első jármű ütközését. A biztonsági övrendszer működésbe lép, az SCM vezérlőegysége ütközésjelet továbbít az ESP-nek, az működésbe hozza a blokkolásgátlót. A két rendszer automatikusan aktiválódik, és stabilizálja a jármű mozgását. Anélkül, hogy a vezető észlelné a vészfékezést. A fékbeavatkozás ily módon minimálisra csökkenti a másodlagos ütközés kockázatát.

Funkciók	Előnyei
Detektált ütközés esetén: automatikus fékbeavatkozás (az utas-visszatartó rendszer működtetésével, és anélkül)	- Az egymást követő ütközések mozgási energiája csökken - A jármű sebességcsökkenésének megfelelően javul a jármű kontrollálhatósága
Bemeneti jellemzők - A központi és a periférikus ütközés-érzékelők légzsáknak küldött adatai - Az ESP-érzékelők (féknyomás-jelei) - A gázpedál-adó jelei	
Kimeneti jellemzők Fékezési igény	

14. ábra: a másodlagos ütközések hatásainak csökkentése

A BOSCH ÚJ BIZTONSÁGI ÉS ASSZISZTENS RENDSZEREI

A biztonságfejlesztések további főbb területét a prediktív (megelőző) biztonsági rendszerek jelentik. Ezek ugyanis ütközéskritikus helyzetekben támogatják a járművezetőt.



15. ábra: a készenléti vészfékező asszisztens méterekkel rövidíti meg a fékutat

A forgalomsűrűség növekedése mind gyakrabban vezet kritikus menetállapotokhoz. Hogy ilyen helyzetben el tudjuk kerülni a balesetet, a másodperc tört része alatt kell dönteni. Baleset-elemzések azt mutatták, hogy a ráfutásos balesetek mintegy 60%-a, a frontális ütközéseknek pedig egyharmada elkerülhető lenne, ha a vezető fél másodperccel korábban tudna reagálni.



16. ábra: optimális lassulás prediktív fékezéssel

A prediktív biztonsági rendszer (Predictive Safety Systems = PSS) veszélyhelyzetekben egy sor előrelátó biztonsági rendszer használatával, gyorsabb védelmi reakciót, a balesetek számának csökkentését, és az elkerülhetetlen balesetek sérülési kockázatának minimalizálását teszi lehetővé. Az új, megelőző funkciók a radarérzékelős ACC (Adaptive Cruise Control) aktív biztonsági rendszerekkel fennálló együttműködésén alapulnak. Az említett aktív biztonsági rendszerek a blokkolásgátlót (ABS-t), a kitorésgátlót (ESP) és a hidraulikus fékasszisztens (HBA) foglalja magába. A Bosch PSS három kiépítési változatból, az Automatikus Fékasszisztensből (Automatic Emergency Braking = AEB), a Prediktív Ütközésjelzőből (Predictive Collision Warning = PCW) és a Vészfék Asszisztensből (Emergency Braking Assist = EBA) áll.

FÉKEZÉSRE KÉSZEN, A VEZETŐT MEGELŐZVE

A fenyegető ütközések elkerülésére, környezeti információkat hasznosító Automatikus Fékasszisztens (AEB) először európai piacokon került bevezetésre. Ütközésveszélyes helyzetben az AEB, az Adaptive Cruise Control (ACC) radarérzékelőjének adatait használja fel a küszöbön álló vészfékezés, teljes intenzitással végzett fékezés kezdeményezésére. Úgy, hogy a fékkört előzetesen feltöltönyomás alá helyezi, amely a fékbetéteket a vezető által nem észlelhető módon, minimális holtjátékkal, a féktárcsákhoz közeli állapotba helyezi.

A beavatkozás jelentőségét az adja, hogy a vizsgálatok szerint, ütközésveszélyes helyzetben, a vezetőknek mindössze egyharmada fékezi teljes intenzitással járművét. A vezetők többsége, olyan kis pedál-erővel fékez, hogy a hidraulikus fékasszisztens működésbe sem lép. Amint a vezető időben reagál, és megfelelő intenzitással lép a fékre, a megelőző beavatkozásának köszönhetően, a fékasszisztens értékes századmásodpercekkel előbb kezdi el a jármű fékezését. A vezető és az AEB együttműködésekor, a fékút egyértelműen megrövidül.

FIGYELMEZTETÉS, RÁFUTÁSOS ÜTKÖZÉS ELŐTT

A prediktív beavatkozás további fokozata az prediktív ütközés-jelző, előzetes ütközésjelző (Predictive Collision Warning = PCW), amely az ütközési helyzet kialakulása előtt figyelmezteti a vezetőt, a veszélyt elkerülő, gyors beavatkozásra. Ehhez a rendszer egyidejűleg optikai/akusztikai figyelmeztető jelzést ad, gyors, érezhető, figyelmeztető féknyomást fejt ki, és riasztásképpen megfeszíti a biztonsági öveket.

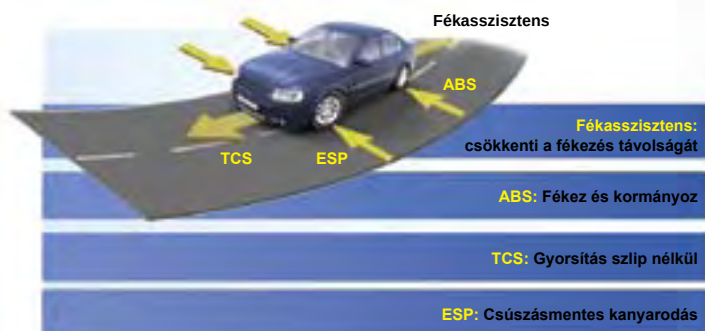


17. ábra: a többfázisú biztonság koncepciója

Itt érdemes megemlíteni, hogy a GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft) társaság felmérése szerint, az ütközés előtt, a balesetet okozó vezetők fele egyáltalán nem fékezett. A vezetők a korai figyelmeztetés hatására, az ütközés előtti kormányzással/ és fékezéssel, gyorsan elkerülhetik az ütközést, vagy veszélytelen sebességre lassíthatják járműüket, mérsékelve az ütközés súlyosságának következményeit.

VÉSZFÉK ASSZISZTENS (EBA)

A Vészfék Asszisztens, a prediktív biztonsági rendszerek harmadik kiépítési fokozata, úgy foglalja magába a EBA és a PCW rendszer szolgáltatásait, hogy adott esetben, Vészfék Asszisztens is egyben. Ez a funkció akkor lép működésbe, ha a vezető nem, vagy nem elég intenzíven reagál az ütközési energia megfelelő mértékű csökkentéséhez. Az automatikus vészfékezés a vezető reakciójától



18. ábra: a kerekek egyedi megfékezésével elérhető főbb beavatkozások

függetlenül, maximális lassulást hoz létre, a sérülés kockázatának a minimálisra csökkentéséhez.

A PEB a járművezetés aktív eleme, amely a tárgyfelismerés és az ütközéskockázat-becslés legmagasabb követelményeinek kielégítésére alkalmas. Ebben a radarérzékelők információit videoérzékelők egészítik ki. Ilyen rendszer alkalmazása a közlekedésbiztonság összes jogi követelményét kielégíti.

A biztonsági eszközök fejlesztésének további fokozata a funkciók és a szerkezeti egységek integrálása. Például (hosszanti és szögsebesség) érzékelők légsák vagy az ESP vezérlőegységben végzett egyesítésével, aminek köszönhetően vezérlőegységhez, kábelcsatlakozók és dugaszok takaríthatók meg, tovább növelve a rendszer megbízhatóságát, csökkentve annak költségeit.

KORAI PÓLUSÜTKÖZÉS-DETEKTÁLÓ (EARLY POLE CRASH DETECTION = EPCD) RADAR- ÉS VIDEOJEL-ALAPÚ, PREVENTÍV FÉKEZÉSSSEL

A gépkocsi utasai számára a járművet oldalról érő ütközés jelenti a legnagyobb sérülési kockázatot. Különösen veszélyes a fatörzsnek és az oszlopnak ütközés. A preventív pólus-ütközésetektáló, funkcionálisan az ESP-vel és a légsákvezérléssel alkot közös hálózatot. Ha az ESP érzékelői kritikus oldalirányú járműmozgásra utaló jeleket küldenek, a jármű légsák-vezérlését lehetséges oldalirányú ütközésre készítik elő. Ha ez ténylegesen bekövetkezik, az oldal- és a fejlégsákok előbb aktiválódnak, anélkül, hogy az ütközés jeleit, további költséges verifikációnak kellene alávetni.



19. ábra: a pólusütközés tipikus végpontját az út menti oszlopok vagy fák jelenti

SÁVFELISMERÉS, VIDEOJELEK ALAPJÁN

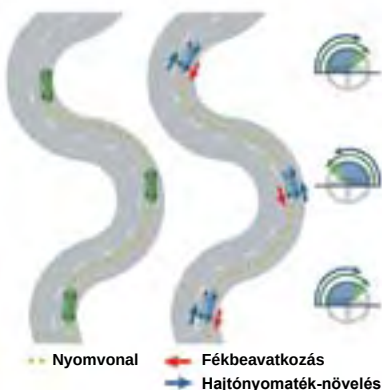
A vezetés során bekövetkező pillanatnyi elalvás, vagy a napszemüveg leejtése, bőven elegendő a választott forgalmi sáv, nem szándékolt elhagyásához. Ilyenkor a másodperc tört része alatt az előttünk, vagy a szemközti sávban haladó járművel való ütközéshez. Ilyen helyzetben, a gépkocsi videokameraja elegendő arra, hogy a veszélyhelyzetről alkotott kép alapján, akusztikus vagy megfelelő rezgető jelzést kezdeményezzen a sávba „terelésre”, és az ott tartásra.

AGILITÁSNÖVELÉS, HAJTÓ- ÉS FÉKEZŐ- NYOMATÉK-SZABÁLYOZÁSSAL

A vezetők és rajtuk keresztül a gyártók számára is növekvő értéket képviselnek a gépkocsik sportos menettulajdonságai. A futóművön és a gumiabroncsokon túl, a kanyarodás dinamikája jelentősen javítható, ha a kanyar-külső kerék nagyobb hajtónyomatékot kap. Három éve került bevezetésre, a kanyar-belső kerék lefékezésének, nyomatéknöveléssel egyidejűleg végzett, Dynamic Wheel Torque Control by Brake nevű technikája. Az egyszerűen csak Torque Cont-

ESP DWT-B nélkül

ESP és DWT-B



1. A bal hátsó keréken a hajtónyomaték megnő, a jobb hátsó kerék lefékeződik, a kormányzási erőigény csökken, a jármű egyenesebb nyomvonalon halad
2. A jobb hátsó keréken a hajtónyomaték megnő, a bal hátsó kerék lefékeződik, a kormányzási erőigény csökken
3. A bal hátsó keréken a hajtónyomaték megnő, a jobb hátsó kerék lefékeződik, a kormányzási erőigény csökken

20. ábra: a dinamikus járműmenedzsment kanyargós úton agilisabbá teszi a velük felszerelt hátsókerék-hajtású járművek haladását

rol néven elterjedt módszer sokat segít abban, hogy ha a kanyar-külső kerékre jutó nyomaték megnő, a vezetők kevesebbet kell kormányoznia és a jármű gyorsabban haladhat a kanyarokkal teli utakon. Speciális osztóművel ez a funkció tovább javítható, ennek használata azonban egyértelműen költség- és tömegnövelő. A dinamikus járműmenedzsment a Dynamic Wheel Torque Control by Brake használatával, kanyargós úton agilisabbá teszi a hátsókerék-hajtású jármű haladását. DWT-B hajtónyomaték-szabályozó rendszere úgy gyorsítja a kanyarodást, hogy a hajtónyomaték növelése közben, egyidejűleg enyhén megfékezi a kanyarbelső kereket. Ennek hatására a jármű agilisabbá válik: egyenesebb nyomvonalon halad, kanyarvételi sebessége megnő, és kormányzása kisebb kormányerő-kifejtést igényel. A biztonságon és a menetdinamikán túl, a kényelem a harmadik terület, amelyen a hálózatra vont asszisztens funkciók javíthatnak. A radar és a videotechnika ugyanis a biztonságnövelés új minőségét alapozza meg. Az adaptív sebességszabályozó ugyanis a Stop & Go-asszisztensként az akadályozott városi forgalomban való közlekedést, a hegyi asszisztens pedig az emelkedőn és a lejtőn végzett utazást teszi egyszerűbbé és biztonságosabbá. E kényelmi funkciók nagy előnye, hogy főképp a kevésbé gyakorlott vezetők számára könnyítik meg a mindennapi közlekedést, akik változatlan kezeléstechnikával, új lehetőséget kapnak az asszisztensektől.

STOP & GO FUNKCIÓ ÉS RÁFUTÁSJELZÉS

Az aktív sebességszabályozó (ACC) kifejlesztői a sebesség elől haladó járműhöz végzett igazításával nagy lépést tettek a vezetők kímélésére. Az ACC Stop & Go funkcióval való kiegészítése ennél is nagyobb jótéteménye a vezetők tehermentesítésének.



21. ábra: új generációs képfeldolgozó algoritmusok

A Stop & Go rendszer szintén radarérzékelőt használ az elől haladó jármű sebességének méréséhez. A saját jármű sebességének és lassításának ehhez igazítása automatikus folyamat. Ennek során négy különböző lassításfokozatot választható. A maximális lassítás mértéke 2,5, 3, illetve 4 m/s². Ennél nagyobb lassítás esetén a rendszer optikai és akusztikai jelzéssel figyelmezteti a vezetőt. A rendszer ráfutás megakadályozására is igénybe vehető. Aktíválásának jellemzője, hogy a funkció bekapcsolásakor, a jármű DSC elnevezésű sebességszabályozója is működésbe lép. A ráfutásveszély küszöbén a rendszer a szokott módon figyelmezteti a vezetőt.

VIDEOALAPÚ GYALOGOSFELISMERÉS

Ez a fejezet már átvezet cikkünk következő részéhez, a vezetői asszisztens rendszerekhez. Az elkövetkező években a képi információkat a biztonsági és a vezetői asszisztens rendszerek a maiakénál jóval elterjedtebben alkalmazzák. Főképp azért, mert a számítási teljesítmények állandó növekedése, egyre fejlettebb vi-

Képfeldolgozás



22. ábra: utat keresztező gyalogos mozgása, egymást követő kameraképeken

deoalgoritmusok megoldását teszi lehetővé, például a videoalapú gyalogosfelismerésben. Az elemző munka, nagysebességű (egymást 40 ms időközönként követő) egymást követő képsorozat egyes kockáin látható változások vizsgálatából áll. A vizsgálat lényegét a 22. ábra szemlélteti. Az ábra jobb oldalán lévő (n-edik) képen, szabad szemmel is felismerhető a veszélyre utaló részlet, az úton átszaladni készülő gyermekfej formájában. Tőle balra, a felvételsorozat előző 40 ms-dal későbbi követő, (n+1-edik), képen már a teljes gyermekfej kivehető. A sorozat ezt követő, (n+2-edik) képen látható gyermekláb, az algoritmus számára a helyzet veszélyességét még nyilvánvalóbbá teszi. Az első képfelvételtől számított 120 ms múlva, az 50 km/h-val közlekedő jármű csak 1,7 métert tesz meg, ami elegendő a védelmi beavatkozásra, hiszen minél korábbi



23. ábra: a sztereokamera hatdimenziós képeinek kiértékelése

MPC funkciók:

- Intelligens fényszóró vezérlés
- Sávelhagyás jelzés/sávban haladás támogatás
- Útburkolati jelfelismerés
- ACC/PSS támogatás (radar-videó jelek egyesítése)
- Vezető éberség monitor

Az MPC család jellemzői

- CMOS kamera integrált vezérlőegységgel
- Moduláris platform, néhány rugalmas komponens megengedi a termék szegmentációt
- Öt funkció egy dobozban
- Integrált ECU, FPGA alap kontroler maggal



24. ábra: a multifunkciós kamera rendszer főbb funkciói



25. ábra: a gyalogosvédelem, érzékelők jeleire megemelkedő motortetővel való „lágy” ütközést jelent

az érzékelés, annál biztonságosabb lehet a kezdeményezés. A jármű vezetői beavatkozással végzett, valós reakcióidőt is figyelembe vevő, 14 másodperces megállítási, mindenképp.

A gyalogosérzékelés elvét a 23. ábra szemlélteti, amelyen egy utat keresztező gyalogos látható. A gyalogos következő, második képe a mozgásfolyamat gyors értékelésére, a képek közötti különbségek összehasonlítása pedig a távolság pontos mérésére ad lehetőséget. E két algoritmus együttes értékelése pedig, megbízható információt nyújt a felbukkanó eseményről, és annak távolságáról. Az optikai folyamatlemező kamerájának,



26. ábra: a korszerű gépkocsik integrált biztonsági rendszereit közös elektronikus vezérlőegység működteti

hagyományos kamerával végzett kiegészítése, robusztus gyalogosfelismerő eszköz készítésére ad lehetőséget. A biztonsági rendszerek fejlesztését várhatóan az aktív és a passzív védelmi rendszerek kombinációja, ezek vezetői asszisztenssel, telematikai és kommunikációs eszközökkel végzett, közös rendszerré integrálása jelenti majd. Ezt azonban írásunk következő részében folytatjuk.



27. ábra: a vezetői asszisztensek és a biztonsági rendszerek kapcsolata

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Végezetül, e helyen szeretnék köszönetet mondani dr. Szászi István úrnak a cikk megírásához nyújtott támogatásáért, és „Intelligent control systems for active and passive safety” című Nádor Viktor; Sebastian Helbeck; dr. Jan Peter Stadler, Jan Peter Robert, a Robert Bosch Kft., Hungary uraival közös, FISITA előadásuk írott anyagának rendelkezésre bocsátásáért.

A dízelrészecske és a részecskeszám meghatározása

Szabados György

tudományos segédmunkatárs,
KTI, Járműtechnikai,
Környezetvédelmi és
Energetikai Tagozat

Pollák Iván

tudományos főmunkatárs,
KTI, Járműtechnikai,
Környezetvédelmi és
Energetikai Tagozat,
ENSZ-EGB, GRPE munkacsoport
magyar tagja

A kibocsátott részecskék számának a meghatározása, és a hozzá tartozó határértékek a dízelmotorral szerelt személygépjárművek és kistehergépkocsik emisszió szempontjából történő jóváhagyásának követelményei közé az EURO 6 (2012) előírások bevezetésével kerül. A tehergépjárművek motorjainak emisszió szempontjából történő jóváhagyásának követelményei közé szintén az EURO VI előírások (2014) életbe lépésével épül be. Az előírásokba beke-
rülő részecskeszám-határértékek a személygépkocsik és kistehergépkocsik esetén részecske-
szám/km, tehergépjármű-motorok esetén részecskeszám/kWh fajlagos mutatókkal vannak
megadva a járművön, vagy a motoron elvégzett vizsgálati ciklusra vonatkozóan.
Leírásunk röviden foglalkozik a részecskék keletkezésével, felépítésével, majd a nagysá-
guk szerinti felosztás bemutatása után néhány gondolat erejéig a nanorészecskékkal,
nanoaeroszolokkal. Bemutatjuk a részecskeszám-mérés kialakulásának okát és a részecske-
szám-mérési eljárást, mérőrendszert kialakító PMP programot. Bemutatjuk a kondenzációs
elven működő részecskeszámláló berendezés működését és jellemzőit, és végül részletezzük
a típusvizsgálathoz tervezett részecskeszámmérő berendezés legfontosabb követelményeit
[5] alapján.

The determination of number of the emitted particles, and particle number limits will get into among the requirements of type approval with regards to emissions of compression ignition engines for use in light duty vehicles with introduction of standards of EURO 6 (2012), and in heavy duty vehicles with introduction of standards of EURO VI (2014). The particle number limits will be in terms of unit of particle number pro km for light duty vehicle, and will be in terms of unit of particle number pro kilowatt hour for heavy duty vehicle weight, in reference to the test cycle carried out with the vehicle or on the engine. Our article shortly deals with proceeding and the structure of particles emitted from compression ignition engines. After the introduction of the partition of particles with regards to their size we deal with nanoparticles, nanoaerosols. We introduce the reason of the measurement of particle number and the Particle Measurement Program. We give a description about a particle number counter (PNC) operate as condensation particle counter (CPC) and about its characteristics. Finally we show how it will seem the coming particle number emissions measurement equipment according to [5].

A RÉSZECSKÉK KELETKEZÉSE ÉS FELÉPÍTÉSE

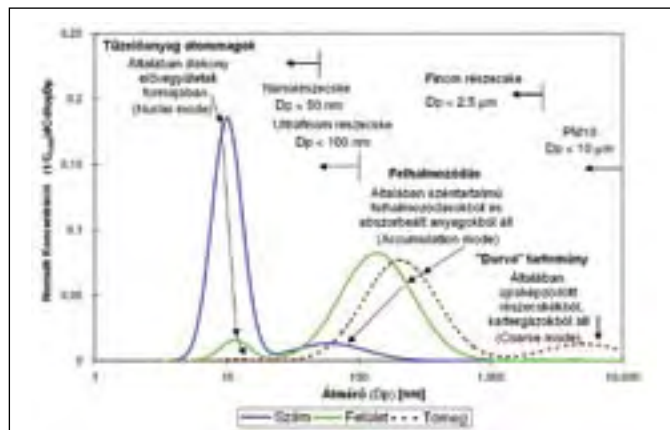
A részecske meghatározó alkotórésze a korom. További alkotóelemei a kenőanyagból és a tüzelőanyagból származó szerves részek, a szulfátok (a gázolaj kéntartalmából keletkező összetevők), szénhidrogének, víz stb. A részecskék a környezeti levegőben szét-
szórt (diszpergált) állapotban fordulnak elő, halmazállapotukat tekintve szilárd vagy folyékony jellegűek. A levegőből és a benne szétoszórt állapotban lévő részecskékből alkotott együttest aeroszolnak nevezzük.

A dízelmotorban a koromképződés fő oka a gyulladási késedelem, valamint az oxidációs reakciók befagyása, amely folyamatok valamilyen transziens üzemi állapotban (gyorsítás, hidegindítás) fordulnak elő olyan mértékben, hogy az jelentősen befolyásolja a kibocsátást.

A gázolaj égése során a porlasztáskor létrejövő cseppek képződés, a porlasztás minősége rendkívül nagy szerepet játszik a koromképződés tekintetében, mivel a koromképződés a cseppek méretének növekedésével nő.

A koromképződés első fázisában történik a részecskék kialakulása a tüzelőanyag-molekulákból, azok átmeneti oxidációja és pirolízise során. Nagy számban keletkeznek, de tömegarányuk alacsony. A második fázisban megy végbe a részecskék növekedése, mégpedig a felületnövekedés útján. A felületi növekedés során a részecskék felületéhez különböző vegyületek kötődnek és beépülnek molekulaszervezetbe. A felületnövekedés nem változtatja meg a részecskék számát, de növeli a részecske tömegét. A halmozódás jelensége – amely az előző folyamatokat követi – jelenti a széntartalmú részek és abszorbeált anyagok részecskeláncolatokká történő kialakulását.

kék felületéhez különböző vegyületek kötődnek és beépülnek molekulaszervezetbe. A felületnövekedés nem változtatja meg a részecskék számát, de növeli a részecske tömegét. A halmozódás jelensége – amely az előző folyamatokat követi – jelenti a széntartalmú részek és abszorbeált anyagok részecskeláncolatokká történő kialakulását.



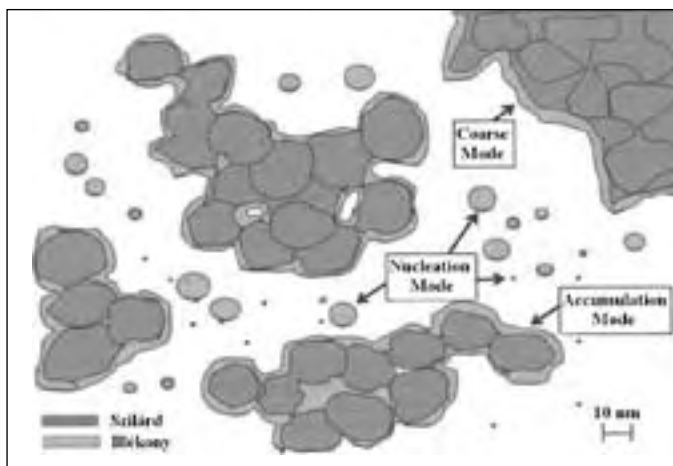
1. ábra

Az 1. ábra mutatja egy jellemzően dízelmotor részecskekibocsátása során keletkező részecskejellemzők eloszlását, úgy, hogy az ordínáta tengelyen a normált koncentráció, az abszcissa tengelyen a részecske átmérője van feltüntetve. A diagramból látható, hogy más részecskeméreteknél jelennek meg a részecskeszám, részecsketömeg és részecskefelület szempontjából legnagyobb koncentráció. A részecskeszám szempontjából legnagyobb koncentráció kb. 10 nm-es részecskeátmérőnél adódik, míg a tömeg-eloszlás-görbének legnagyobb értéke 0,1 μm és 1 μm között van.

A RÉSZECSEKÉK MÉRETTARTOMÁNYAI

A részecske (PM, Particulate Matter) méret általános tartománya 0,01–100 μm közé tehető. A mérete alapján a PM-et lehet osztályozni, a következők szerint: összes lebegő részecske (Total Suspended Particle, TSP), PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ (finom részecske), $\text{PM}_{1,0}$ (finom részecske) a részecske aerodinamikai átmérő (D_p) figyelembevételével, amely – az előző jelöléseket definiálандó – kisebb, mint 100, 10, 2,5 és 1,0 μm . A teljesség kedvéért ide soroljuk még a $\text{PM}_{100\text{nt}}$ ($D_p < 100\text{ nm}$, ultrafinom részecske) és a $\text{PM}_{50\text{nt}}$ ($D_p < 50\text{ nm}$, nanorészecske).

A dízelmotorra jellemző részecskéket 3 különböző alakra, formára lehet szétválogatni a méretük alapján, amelyek a következők: nucleation mode (nukleációs (mag) alak, $D_p < 100\text{ nm}$), accumulation mode (halmozódási alak, $D_p = 100\text{ nm} - 900\text{ nm}$) és a coarse mode (durva alak, $D_p > 900\text{ nm}$), ahogyan az 1. ábra mutatja. Durva részecskék csak kismértékben állnak elő a motorok kibocsátása révén, a motorok általi kibocsátást inkább a másik két alak határozza meg. A legtöbb kutatás a nukleációs alakú (szintű) részecskékről arra utal, hogy ezek illékony anyagokból állnak, de más kutatási jelentések azt rögzítik, hogy szilárd halmazállapotúak vagy egy szilárd maggal rendelkeznek. A halmozódási alakú részecskéket vizsgálták a legnagyobb gondossággal. Sajátosságuknak tekinthető, hogy sok kis szilárd széntartalmú maggal rendelkező „parányi gömb” primer részecskék kollektójából állnak, amelyek mérettartománya 20–50 nm. Az ilyen alakú részecskék mérete függ a nagyon kis méretű gömbök (spherules) számától, ami terjedhet a pár darabtól a több ezerig. Minden esetben egy külső illékony réteg csatlakozik ilyen alakú képződésekhez. A 2. ábra egy általános képet nyújt a három, előzőekben röviden leírt részecskealakokról.



2. ábra

A NANORÉSZECSE

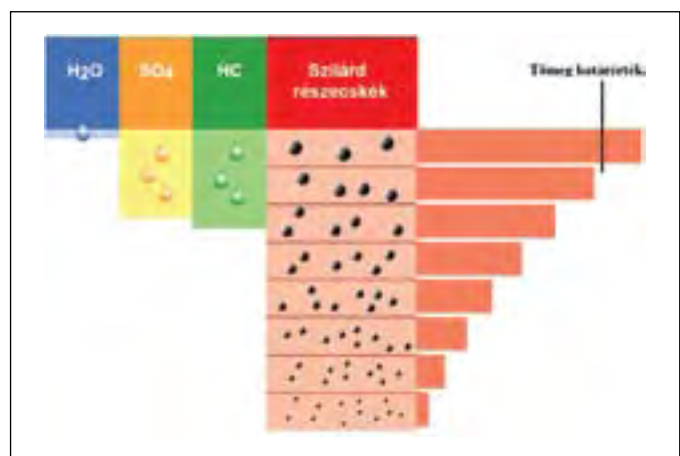
Mik azok a nanorészecskék, kell nekünk törődni a nanorészecskékkel, nanoaeroszolokkal? Ugyan az előzőekben megadtunk határértékeket, de máig nincs általánosan elfogadott definíciója

a nanorészecskék felső méretének „határáról”, ez néha 100 nm, néha 50 nm, vagy éppen kisebb is használatos. A természet által előállított (természetben előforduló) részecskék (pl. fehérjék) egy jellemző 1 nm – 25 nm-ig terjedő mérettel rendelkeznek, amelyeket mint nanorészecskék kell számításba venni. A nanorészecskék méretének jellemzésére többnyire a külső, a felületéhez rendelhető átmérőt használják. Egy külső felület két nanométeres átmérővel kb. 300 atomot tartalmaz. A nanorészecskék mindenütt jelen vannak a környezeti levegőben (környezeti nanorészecskék), részei az atmoszférikus folyamatoknak, és rendelkeznek közvetlen egészségi hatásokkal is. A növekvő kényszer kifejleszteni nanoméretű anyagokat előnyös fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságokkal (termelt nanorészecskék) magával hozza azt a szükségletet, hogy jellemezni, azonosítani és szabályozni (egészségügyi kockázat) kell a nanorészecskéket.

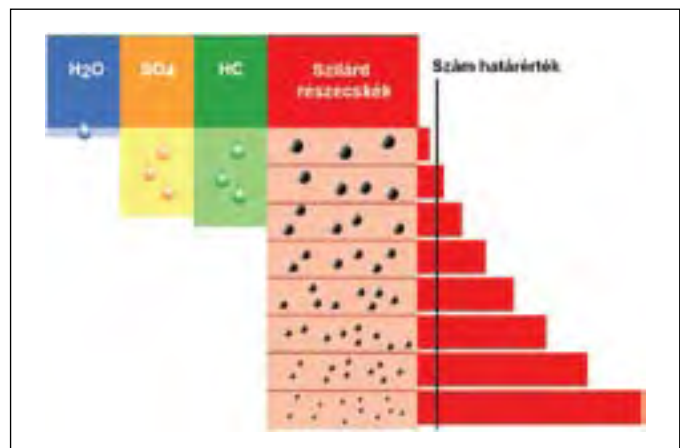
Melyik fizikai paraméter a legfontosabb, és melyik alkalmazás szempontjából? A tömeg, a felület, a szám, a tényleges méret, a sűrűség? A hagyományos részecske egészségügyi hatása a dózis függvénye, ezért a konvencionális részecskemérés a valóságos méret és a koncentráció mérésére korlátozódik. A nanoaeroszolkok egészségügyi hatása a tömeg, a tényleges méret, a sűrűségnek, a felület nagyságának stb. a függvénye, ezért ezeket mind meg kell tudni mérni.

A RÉSZECSEKSZÁM ÉS A PMP PROGRAM

A részecsketömeget legnagyobb részben a szilárd és egyéb nagyméretű részecskealkotók határozzák meg, a részecskeszámot viszont azok a szilárd halmazállapotú részek, amelyek tömege az előzőekhez képest nem befolyásoló tényező (3/a és



3/a. ábra



3/b. ábra

3/b ábrák). Az ábrán látható a PM felépítése a különböző összetevőkből. A jövőben a nagyszámú kis méretű szilárd részecskéket is figyelembe kell venni, mert a jelenlegi eljárás, vagyis a tömeg mérése nem veszi figyelembe az ultrafinom részecskéket. A részecskeszámlálás azon méretű részecskékre összpontosít, amelyek száma jelentős.

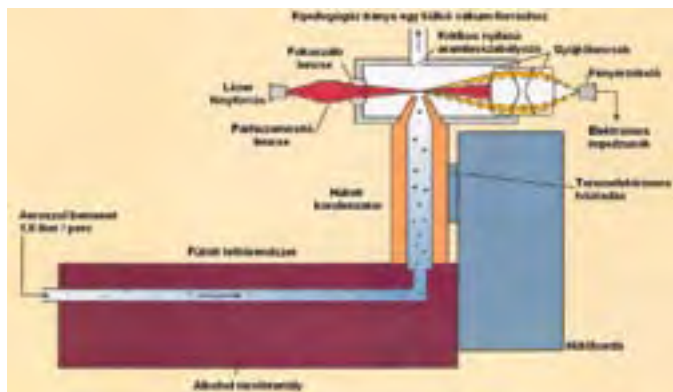
A részecskeszűrők részecskeszám-csökkentő hatását nem lehet egyértelműen meghatározni, mert a részecskék száma növekedhet is, és csökkenhet is a szűrő beépítésével.

Nőhet a részecskeszám, ha a folyadék halmazállapotú részecskék – a szulfátok és a szerves részecskék – a szűrő után képződnek, mert a részecskeszűrő eltávolítja azokat az alkotókat a kipufogógázból, amelyek máskülönben képesek lennének megakadályozni a számnövekedés folyamatát a szűrő után. Ez azt jelenti, hogy a részecskeszűrő beépítése miatt gyakran nő a képződött folyadék nanorészecskék száma. Ennek oka nem maga a szűrő, hanem a regenerálásához szükséges nagy hőmérséklet, amely kedvez a szulfátok képződésének. Természetesen ehhez kell a szulfátok képződésének alapja a tüzelőanyagban – ugyan a már igen kis mennyiségben – megtalálható kén. Ennek alapján megfogalmazható, hogy kisebb tüzelőanyag-kéntartalom és kisebb kipufogógáz-hőmérsékletek esetén csökken a kibocsátott nanorészecskék száma. De nemcsak a szulfátokból állnak a nanoméretű részecskék, hanem a különböző szénhidrogénekből is, amelyek szintén hozzájárulnak a nagy részecskeszám kialakulásához. Felszerelt szűrő esetén is szénhidrogénmennyiség-csökkenés figyelhető meg, mivel a szűrőben felhalmozott korom mennyiség „elnyeli” a szénhidrogéneket, és így csökkentő hatással van a részecskék számának tekintetében.

A PMP PROGRAM (PARTICLE MEASUREMENT PROGRAMME)

Az ENSZ-EGB járműszabályozásokkal foglalkozó testületének, amely az Európában egységes jármű-típusvizsgálati eljárások kidolgozásával foglalkozik, a GRPE csoportján (a járművek energiafelhasználásával és légszennyezésével foglalkozó csoport) belül a PMP informális csoportot 2001 májusában hozták létre azzal a céllal, hogy fejlesszenek ki egy új eljárást és mérőrendszert az ultrafinom részecskék méréséhez, amely helyettesíteni vagy kiegészíteni tudná a már meglévő gravimétrikus elven működő PM méréseket, amelyet a személygépjárművek, vagy tehergépjármű-motorok emisszió szempontjából történő típusjóváhagyáshoz használnak.

Az ultrafinom részecskék mérési szükségességének indoka azok egészségre gyakorolt hatása, miután széles körben felismerték, hogy a dízel kipufogógáz a fő forrása az ultrafinom részecskéknek. Ehhez hozzátartozik az a fontos tény, hogy Európában több, mint 50%-a az új személygépjárműveknek dízelmotorral hajtott.



4. ábra

RÉSZECSKESZÁM MEGHATÁROZÁSA

A részecskemérési programban (PMP) a részecskeszámláló rendszer jellemzői a következők:

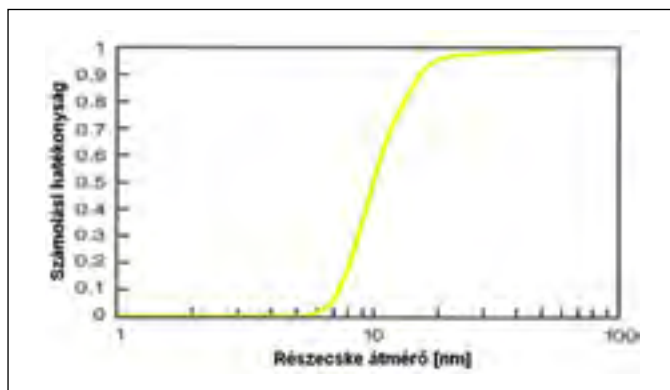
- csak egyetlen részecskeszámlálási technika használható
 - a megkövetelt számolási pontossága $\pm 10\%$
 - a leolvashatóság (felbontás) 1 részecske/cm³
 - lineáris „válasszal” rendelkezik a részecskekoncentrációra, 0-tól a maximum meghatározott koncentrációig, feltétel hogy $R^2 \geq 0,95$ legyen.
 - válaszidő (reakcióidő) kisebb, mint 5 s
 - Nem foglal magába automatizált adatbeviteli funkciókat, véletlen korrekciókat, k-faktort (nem fotometrikus mód)
- Ezeknek a PMP követelményeknek ma csak a kondenzációs elven működő részecskeszámláló felel meg.

A KONDENZÁCIÓS ELVEN MŰKÖDŐ RÉSZECSKESZÁMLÁLÓ (CONDENSATION PARTICLE COUNTER)

A kondenzációs elven működő részecskeszámláló működésének rövid leírását a TSI 3010 jelű készülékének működése alapján adjuk meg. A készülék a folyamatos áramlású CPC-k közé tartozik. A modern CPC-berendezések folyamatos aeroszoláramlással működnek, és képesek a részecskék egyenkénti megszámlálására. A műszer azoknak a részecskének a számkoncentrációját határozza meg, amelyek 0,01 μm (10 nm) átmérőjűek vagy annál nagyobbak. A készülék számolást megvalósító részének felépítését a 4. ábrán lehet látni.

A RÉSZECSKESZÁMOLÁS A KÖVETKEZŐ FOLYAMAT SZERINT MEGY VÉGBE

Az aeroszoláramlást egy fűtött telítőszerben butanollal telítik. Ezután ezt a részt elhagyva a butanol-aeroszol keverék hőmérsékletét 17 °C-kal csökkentik a CPC kondenzátorában. A hűtött kondenzátorban a butanol túltelítetté válik, és lecsapódik a részecskékre. A részecskék így cseppekké „nőnek”, amelyek már több μm átmérőjűek. A részecskéket így – tehát az alkohol párá részecskékre történő lecsapódása által – lehet észlelhetővé tenni. Ezeket a részecskéket, cseppek formájában könnyen számlálni lehet, egy egyszerű optikai részecske detektor segítségével. A cseppáramlást egy fűvókába fókuszálják, és bevezetik egy számláló optikába. A cseppek áthaladnak egy lézersugáron, és minden egyes részecske generál egy fényimpulzust. A keletkező impulzust akkor értékelik (részecskedarabnak) ha az amplitúdója egy bizonyos küszöbérték felett van. A részecskekoncentrációt az aeroszol áramlási sebessége ismeretében lehet számítani. A hűtőborda, amely a CPC teljes hátsó panelét képezi feladata, hogy a keletkező hőmennyiséget természetes konvekció formájában leadja.



5. ábra

A TSI 3010 műszer legfontosabb adatai a táblázatban vannak összefoglalva.

CPC 3010	
Gyártó	TSI
Mérési általános jellemző	Folyamatos számolás
egyenkénti részecske számláló	
Minimális részecskenagyság [nm]	
50% számolási hatékonyság	10
90% számolási hatékonyság	-
Maximális részecskenagyság [nm]	>3000
Átömlési sebesség a mérőkamrában [l/min]	1,0 ± 0,015
Koncentráció [részecske/cm ³]	
Egyenkénti részecskeszámlálás real-time	0,01-től 104
Fotometrikus mód	-
Pontosság [%]	± 10%
	104 részecske/cm ³ -ig
Megszólalási idő [s]	< 5
Fényforrás	50 mW, 780 nm lézer
Hőmérséklet-különbség	17 °C
Környezeti hőmérséklet	10–30 °C

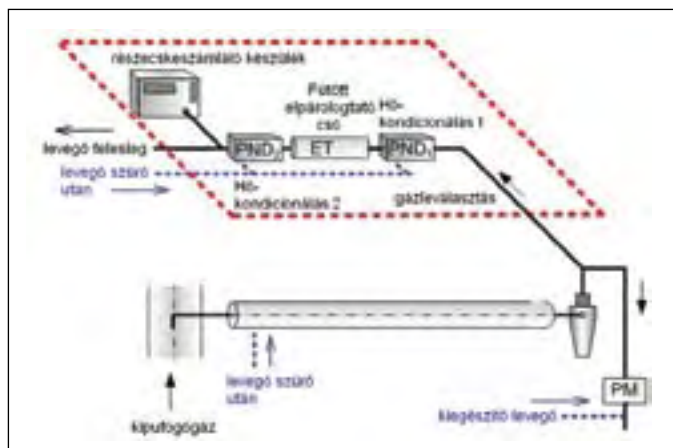
A műszer fontosabb jellemzőit tartalmazó táblázatot kiegészítendő az 5. ábra mutat egy a műszerre jellemző függvényt. A részecske átmérő függvényében van ábrázolva a készülék számolási hatékonyságának változása. Az ábráról leolvasható, ami a táblázatban is fel van tüntetve, hogy 10 nm-es részecskeátmérőhöz tartozik 50%-os számolási hatékonyság. Közvetlenül ez felett kis részecskeméret-változásra jelentős hatékonyságváltozás a jellemző (logaritmikus skála). 20 nm átmérő esetén már majdnem eléri a 100%-os értéket, és kb. 6 nm az, ahol 0% hatékonysággal képes számolni.

A tervezett részecskeszám-mérési eljárás a 3,5 t megengedett össztömegnél nagyobb közúti járművek motorjainak vizsgálata során GRPE munkacsoport PMP informális al csoportjának 25. ülésén (Genf, 2010. január 11.) javaslatot tett a 49. számú ENSZ-EGB előírás egy új kiegészítésére (4C Melléklet), amely a részecskeszám meghatározásának mérési eljárását tartalmazza. A következőkben a leendő előírásrész lényeges elemeit ismertetjük.

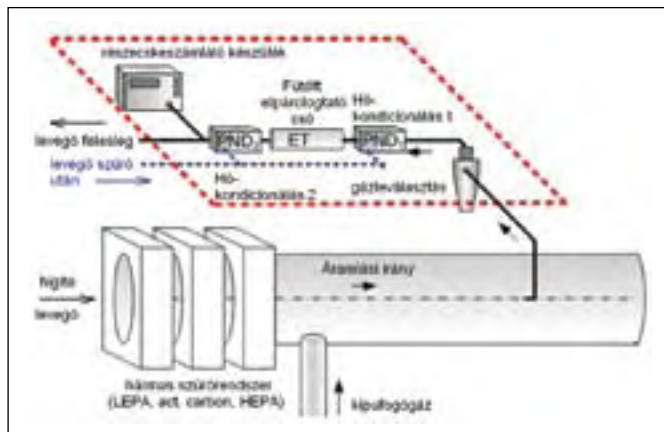
A javasolt 4C Melléklet írja le a motorok által kibocsátott részecskék számának meghatározására szolgáló mérési eljárást, minden további mérési eljárással kapcsolatos információt a 4B melléklet tartalmaz.

AZ AJÁNLOTT RENDSZER LEÍRÁSA

A 6. és 7. ábra mutatja a sematikus rajzait az ajánlott részecske-mintavevő rendszereknek.



6. ábra: részecske-mintavevő rendszer – részarányú mintavétel



7. ábra: részecske-mintavevő rendszer – teljes áramú mintavétel

A MINTAVEVŐ RENDSZER

A részecske-mintavevő rendszer egy mintavevő szonda csúcsból vagy részecske-mintavételi pontból a hígító alagútban, egy részecskeátvezető csőből (PTT, Particle Transfer Tube), a részecske előosztályozóból (PCF, Particle Pre-Classifier), az illékony részecske eltávolítóból (VPR, Volatile Particle Remover) és a részecskeszámológépből (PNC, Particle Number Counter) egységből áll. A VPR egység magába foglal három eszközt, egyrészt a minta hígítását szolgáló részegységeket (részecskeszám-hígítók: PND1 és PND2, Particle Number Dilution), másrészt az illékony részecske elpárolgatója céljára kialakított részegységet (ET, Evaporation Tube= Elpárolgató cső). A mintavevő szondát vagy mintavételi pontot a kipufogógáz-hígító csatornán belül úgy kell elhelyezni, hogy a reprezentatív mintaáramot egy homogén hígítólevegő/kipufogógáz keverékből vegyék. A mintának a teljes rendszerben való tartózkodási ideje, plusz a részecskeszámológép (PNC) t_{90} válaszüzeje nem lehet nagyobb, mint 20 másodperc.

A RÉSZECSCKEÁTVITELI RENDSZER

A mintavevő szonda csúcs vagy részecske mintavételi pont és részecskeátvezető cső (Particle Transfer Tube) együttesen alkotják a részecskeátviteli rendszert (PTS, Particle Transfer System). Az átviteli rendszer vezeti a mintát a hígító alagútból a VPR bejáratához. Az átviteli rendszernek meg kell felelnie a következő követelményeknek.

A részleges mintavételi típusú teljes áramú és részarányú hígító rendszerek esetében a mintavevő szondát az alagút középvonalának közelében kell elhelyezni, a gáz belépésétől számítva az áramlási irányban 10–20-szoros alagútátmérő távolságban, az alagút gázáramába alulról felfelé haladó irányban bevezetve, úgy hogy a szonda tengelye párhuzamos legyen a hígító alagút hossz tengelyével. A mintavevő szondát a hígítási térben úgy kell pozicionálni, hogy a mintát egy homogén hígító/kipufogógáz keverékből vegyék.

A teljes mintavételi típusú részarányú hígító rendszer esetében a mintavételi pontot vagy részecske-mintavevő szondát a részecskeátvezető csőben kell elhelyezni, a részecskeszűrő-tartó, az áramlásmérő készülék, és minden minta/megkerülő elágazási pontban lévő áramlással szemben. A mintavevő szondát a hígítási térben úgy kell pozicionálni, hogy a mintát egy homogén hígító/kipufogógáz keverékből vegyék.

A mintagázáramnak, amely az átviteli rendszeren keresztül halad, meg kell felelnie a következő feltételeknek:

- A Reynolds-szám (Re) < 1700 kell hogy legyen.
- ≤ 3 másodperc tartózkodási idővel rendelkezzen a PTS-en belül.

Minden más PTS mintavételi konfigurációt, amely esetében bizonyított az egyenértékű részecske penetráció a 30 nm elektromos mozgékonyági átmérőjű részecskék vonatkozásában, elfogadottnak tekintenek.

A kivezető csőnek (OT, Outlet Tube), amely hígított mintát az elpárologtató egységből (VPR) a részecskeszámláló (PNC) bemenetéhez vezet, a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- a cső belső átmérője ≥ 4 mm kell legyen;
- a minta gázáram kivezetőcsőbeni tartózkodási ideje $\leq 0,8$ másodperc kell legyen.

Minden más OT mintavételi konfigurációt, amely esetében bizonyított az egyenértékű részecske penetráció a 30 nm elektromos mozgékonyági átmérőjű részecskék vonatkozásában, elfogadottnak tekintenek.

A RÉSZECSCKE-ELŐOSZTÁLYOZÓ

Az ajánlott részecske-előosztályozót az illékony részecske eltávolítóban (VPR) kialakult áramlással szemben kell elhelyezni. A előosztályozónak lehetővé kell tennie azt, hogy a PM_{10} részecskék tömegkoncentrációjukat tekintve, annak legalább 99%-a belépjen az előosztályozóba, és átmenjen az előosztályozó kimenetén a részecskeszám mintavételhez kiválasztott térfogatáramlási sebességgel. Részáramú hígítórendszer esetében elfogadható az, hogy ugyanazt az előosztályozót használják a részecsketömeg és a részecskeszám mintavétele számára.

Alternatív megoldásként külön előzetes osztályozást lehet használni a részecskeszám mintavételezéséhez a hígítórendszerből, részecsketömeg-előosztályozóban kialakult áramlással ellentétesen.

AZ ILLÉKONYRÉSZECSCKE-ELTÁVOLÍTÓ

Az illékonyrészecske-eltávolító (VPR, Volatile Particle Remover) egy első részecskeszám-hígítóból (PND_1), egy elpárologtató csőből és egy második hígítóból (PND_2) áll, az áramlás szempontjából ebben a sorrendben elhelyezve. Ez a hígítás, funkciója szerint olyan mértékben csökkenti a számlálóba belépő minta számkoncentrációját, hogy kisebb legyen, mint a PNC egyszerű részecskeszámolási módjának felső küszöbértéke, és elnyomja a nucleation módú részecskéket a mintán belül.

A VPR-nek rendelkeznie kell egy kimeneti jellel, arra vonatkozóan, hogy a PND_1 és az elpárologtatócső a megfelelő üzemi hőmérsékleten vannak-e.

A VPR-nek fűtés segítségével, és a tetrakontán parciális nyomásának csökkentése által meg kell valósítania a $> 99,0$ százalékos elpárologtatását a 30 nm-es tetrakontán ($CH_3(CH_2)_{38}CH_3$) részecskéknek, egy $\geq 10\,000\text{ cm}^{-3}$ bemeneti koncentráció mellett.

A 30 nm és 50 nm elektromos mozgékonyági átmérőjű részecskékre vonatkozó részecskekoncentráció-csökkentési tényezőt (f_p , d_p) szintén el kell érnie, amely nem több, mint 30%-kal, és 20%-kal külön-külön magasabb, és nem több mint 5 százalékkal alacsonyabb, ahhoz képest, mint amekkora hígítási tényező a 100 nm elektromos mozgékonyági átmérőjű részecskékre vonatkozik a VPR teljes egészén belül.

AZ ELSŐ RÉSZECSKESZÁM-HÍGÍTÓ KÉSZÜLÉK (PND_1 , PARTICLE NUMBER DILUTION)

Az első részecskeszám-hígító berendezés feladata a részecskeszám-koncentráció csökkentése, mintegy $150\text{ }^\circ\text{C}$ – $400\text{ }^\circ\text{C}$ üzemi (fal) hőmérséklet mellett. A falhőmérsékletet ezen a tartományon belül tartani kell egy állandó névleges üzemi értéken, $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ -os toleranciával, és nem haladhatja meg az elpárologtató cső falhőmérsékletét. A hígítót HEPA szűrési rendszer által szűrt hígító levegővel kell ellátni, és képesnek kell lennie a 10–200-szoros hígítási faktor teljesítésére.

AZ ELPÁROLOGTATÓCSŐ (ET, EVAPORATION TUBE)

Az elpárologtatócső teljes hosszát tekintve szabályzott falhőmérsékleten kell hogy üzemeljen, amely hőmérséklet meg kell haladja vagy legrosszabb esetben egyenlő kell legyen azzal a hőmérséklettel, amely az első részecskeszám-hígító készülék falhőmérséklete, és ezt az értéket tartania kell egy rögzített névleges üzemi hőmérsékleten $300\text{ }^\circ\text{C}$ – $400\text{ }^\circ\text{C}$ között, $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ tűrésen belül.

A MÁSODIK RÉSZECSKESZÁM-HÍGÍTÓ RENDSZER (PND_2)

A második részecskeszám-hígító berendezés a részecskeszám-koncentráció további csökkentésére szolgál. A hígítót HEPA szűrési rendszer által szűrt hígító levegővel kell ellátni. Az általa megvalósítandó hígítási tényező értéke a 10–30-szoros hígítási tartományon belül kell legyen, azonban a PND_2 hígítási tényezőjét a 10 és 15 közötti tartományon belül kell kiválasztani, annak megfelelően, hogy a részecskeszám-koncentráció a második hígító áramlási irányával megegyezően kevesebb legyen, mint a PNC szimpla részecske számolási módjának felső küszöbértéke, és a mintagáz hőmérséklete $35\text{ }^\circ\text{C}$ alatt maradjon a számláló bemenetén.

A RÉSZECSKESZÁMLÁLÓ (PNC, PARTICLE NUMBER COUNTER)

A részecskeszámláló berendezésnek meg kell felelnie többek között a következő követelményeknek:

- Működőképesnek kell lennie teljes áramú mintavételi működési körülmények mellett;
- Rendelkeznie kell egy $\pm 10\%$ -os számolási pontossággal 1 cm^{-3} tartományban a PNC egyszerű részecske számolási módjának felső küszöbértékéig. A 100 cm^{-3} alatti koncentrációjú mérések esetén, egy kiterjesztett mintavételi periódus átlagát tekintve kötelező, hogy az egy nagyfokú statisztikai bizonyossággal a PNC pontosságának megfelelően;
- A leolvashatósági pontossága legalább $0,1$ részecske cm^{-3} legyen a 100 cm^{-3} alatti koncentrációk esetén;
- Lineáris választ adjon a részecskekoncentrációra, a teljes méréstartományban egyszerű részecskeszámlálási módban;
- Az adatszolgáltatási frekvenciája, nagyobb vagy egyenlő legyen, mint $0,5\text{ Hz}$;
- Rendelkezzen egy $t_{90} < 5\text{ s}$ válaszidővel, a mért koncentrációtartományon belül;
- Számlálási hatékonysága a 23 nm -es ($\pm 1\text{ nm}$) és 41 nm -es ($\pm 1\text{ nm}$) elektromos mozgékonyági átmérőjű részecskék esetén, 50% -os értékű legyen (± 12 százalékpont) mindkettőre vonatkozóan, és $> 90\%$ egyenként.

Irodalom

- [1] TSI Seminar 2009: Lösungen, auf die Sie zählen können, Wien, 6. Mai 2009, amelyen a KTI, JKE Tagozat munkatársai vettek részt
- [2] TSI: Model 3010 Condensation Particle Counter, Instruction Manual, August 2002
- [3] Andreas Mayer: Why use size and substance and number of solid particles instead of PM-mass to characterize and limit particle emissions of IC-engines. Ultrafine Particles – SCAQMD/CARB Los Angeles April 30 – May 2, 2006
- [4] Longfei Chen: Measurement of Particulate Emissions from Gasoline Direct Injection Engines. PRS Transfer Report, Saint Cross College Department of Engineering Science, August 2008
- [5] ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2010/7 - (UK) Proposal for Supplement 4 to the 05 series of amendments to Regulation No. 49 (Emissions for compression ignition and gas fuelled positive ignition engines for use in vehicles)

Személygépkocsi generátorának szimulációja

Dr. Blága Csaba
egyetemi docens
Elektrotechnikai-
Elektronikai Tanszék,
Miskolci Egyetem

Dr. Kovács Ernő
egyetemi docens
Elektrotechnikai-
Elektronikai Tanszék,
Miskolci Egyetem

A személygépkocsi villamos hálózatának tápforrása és az akkumulátor töltője a generátor, amelyre egyre nagyobb terhet ró a villamos fogyasztók számának növekedése, a teljesítményigény növekedése, az egyre pontosabb szabályozási feltételek, a követelmény, hogy egyre kevesebb üzemanyag fogyjon. Kb. fél deciliter benzin szükséges 100 W villamos energia előállításához, tehát oda kell figyelni a legjobb hatásfok eléréséhez. A cikkben bemutatott szimuláció a generátor működésének és szabályozhatóságának jobb megértését célozta meg.

This paper presents a simulation model of alternator in order to get its performance characteristic. Studying the construction and operation of alternator a mathematical model was created and simulation can be carried out. It can be observed that the alternator is a synchronous generator where the amplitude and frequency of the induced alternating voltage changes as the function of the shaft revolution. The saturation of magnetic flux and frequency dependence of impedance has great influence on the performance characteristic. The paper discusses briefly the influence of different parameters in the design process and education as well.

A GENERÁTOR SZERKEZETI ÉS ÁRAMKÖRI FELÉPÍTÉSE

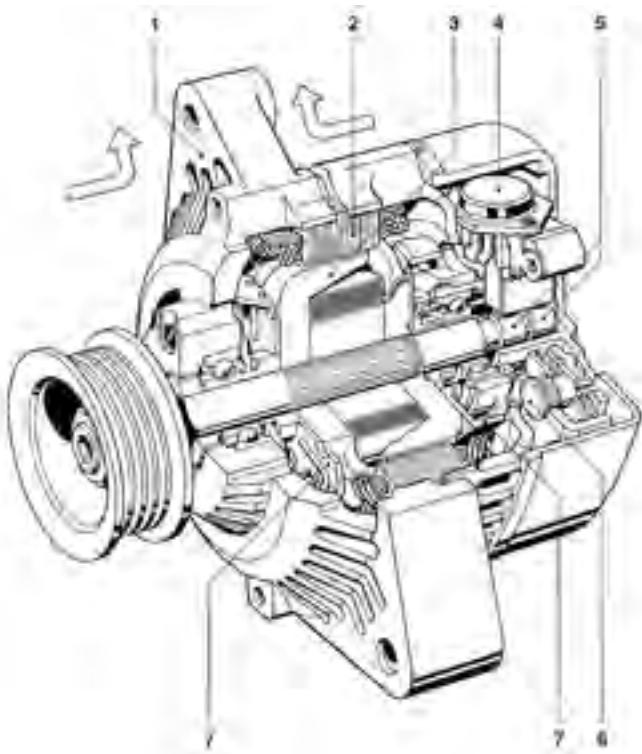
A generátor egy háromfázisú szinkron generátor, amelynek kimeneti feszültségét egyenirányítják, hogy alkalmas legyen az akkumulátor töltésére, valamint a gépkocsi egyenfogyasztóinak táplálására. Mivel a gépkocsi belső égésű motorjának fordulatszáma tág határok között változik, akár 10-szeres különbség lehet a legkisebb és a legnagyobb érték között, ezért fontos egy feszültségszabályozó alkalmazása.

A kapcsolási rajz bal oldalán megtalálható az akkumulátor, jobb oldalán az egyenirányító. Jól felismerhető a háromfázisú generátor állórészének a csillagba kapcsolt armatúra tekercselése, alatta a gerjesztőtekercs, amelyet csúszógyűrűkön keresztül táplálnak egyenárral.

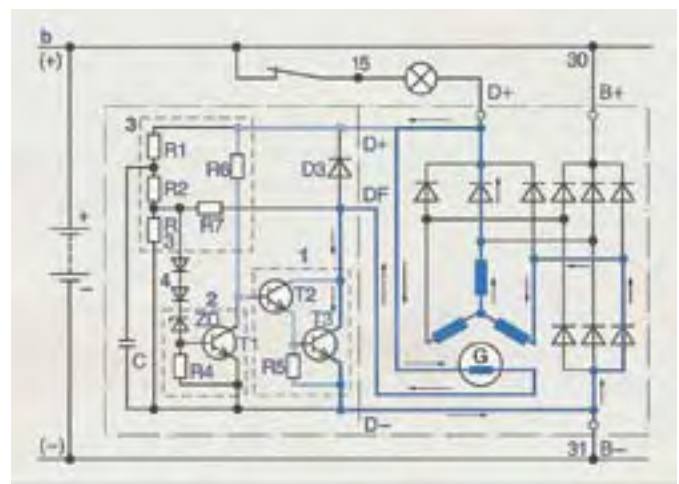
Az indukált feszültség nagysága arányos a fluxussal és a fordulatszámmal.

$$U_i = c\Phi n \quad (1)$$

$$U_k = U_i - Z_b \cdot I_{\text{terhelő}} \quad (2)$$



1. ábra: a generátor szerkezeti felépítése. 1 – ház, 2 – állórész, 3 – forgórész, 4 – tranzistoros feszültségszabályozó a kefetartóval, 5 – csúszógyűrű, 6 – egyenirányító, 7 – ventilátor



2. ábra: az alternátor, az egyenirányító, az akkumulátor és a feszültségszabályozó áramköre [1]

A generátor kimeneti feszültségét befolyásoló külső tényezők a fordulatszám és a terhelő áram. A mennyiségek jelölése: U_i az indukált feszültség, U_k a kapocsfeszültség, Φ a fluxus, n a fordulatszám, c arányossági tényező, Z_b belső impedancia, $I_{\text{terhelő}}$ a terhelőáram. A változó üzemviszonyok (fordulatszám, terhelőáram) következtében a kapocsfeszültség széles határok között változik. A

feszültségszabályozó a gerjesztőtekercs áramával állítja be a szükséges fluxusértéket.

A 2. ábrán megfigyelhető a feszültségszabályozó felépítése is, amelynek fontosabb egységei a következők:

1. végfok: nyitott-kollektoros teljesítménytranzisztor,
2. komparátor Zener-diódával,
3. feszültségosztó ellenállások
4. hőmérséklet-kompenzáló diódák

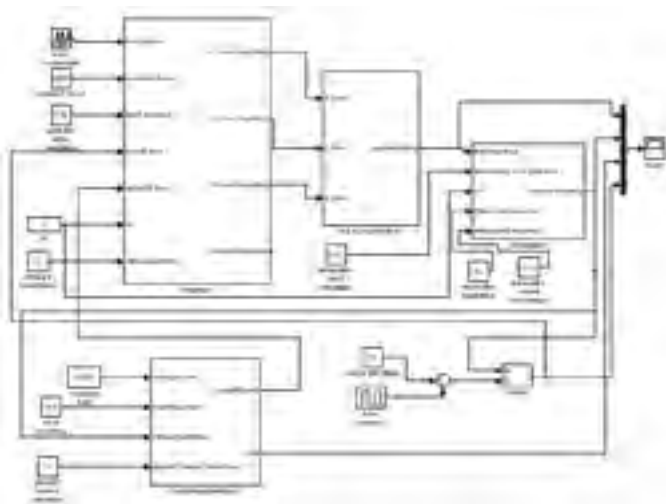
A feszültségszabályozó tartalmaz még zavarászűrő kondenzátort (C) és nulldiódát D3.

A GENERÁTOR SZIMULÁCIÓS MODELLJE

Az 1. és 2. ábrán tanulmányozva és megértve felépítését és működését az alábbi szimulációs modellt állítottuk össze:

A szimulációs modell főbb tömbjei:

- alternátor, amely tartalmazza a háromfázisú szinkrongenerátort,
- egyenirányító, amely tartalmazza a háromfázisú kétutas hatütemű diódás egyenirányítót,
- akkumulátor és
- feszültségszabályozó.



3. ábra: az alternátor, az egyenirányító, az akkumulátor és a feszültségszabályozó MATLAB/SIMULINK szimulációs modellje

A HÁROMFÁZISÚ SZINKRONGENERÁTOR MODELLJE

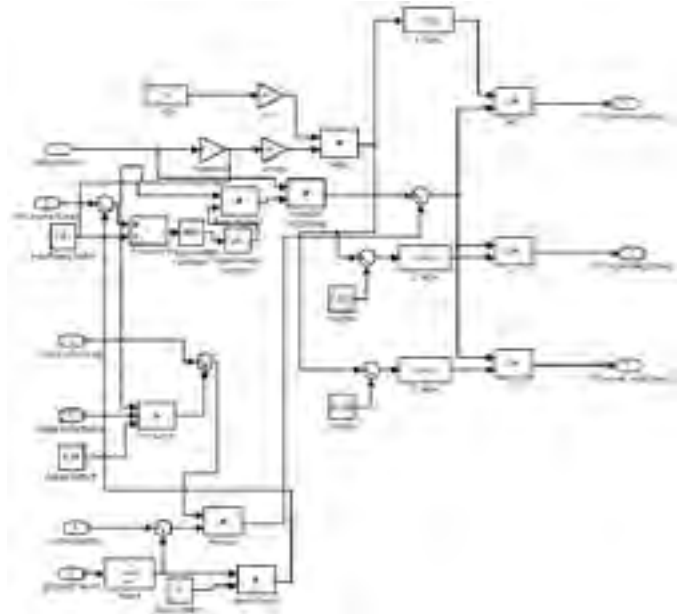
Egy háromfázisú feszültségrendszert kellett generálnunk, amelynél változik a feszültség nagysága is és a frekvencia is. A feszültséget a fluxus és a fordulatszám is befolyásolja, míg a frekvenciát csak a fordulatszám. További befolyásoló tényező a terhelőáram, amely a belső ellenállás miatt csökkenti a kapocsfeszültséget. A fluxus a telítődés miatt változik a gerjesztőáram függvényében. Az elkészült modell a 3. ábrán látható.

A HÁROMFÁZISÚ KÉTUTAS HATÜTEMŰ EGYENIRÁNYÍTÓ MODELLJE

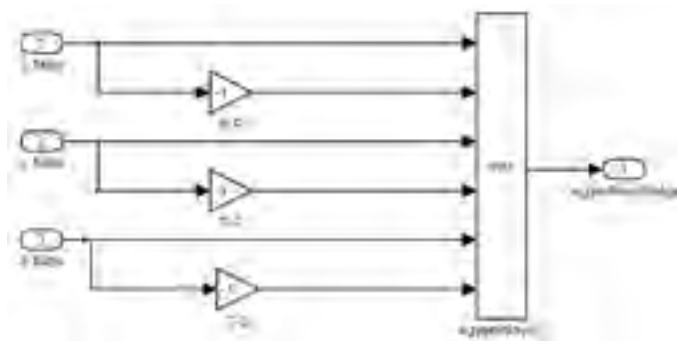
A kétutas egyenirányító matematikailag a szinuszos feszültség abszolút értékének a burkológörbéjét jelenti, amelyet legegyszerűbben az alábbi módon modellezhetünk.

A FESZÜLTÉGSZABÁLYOZÓ MODELLJE

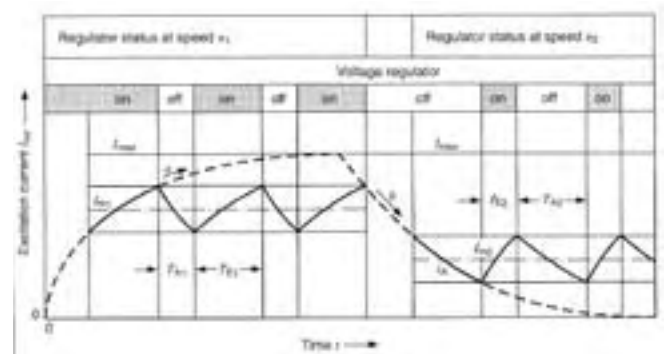
A 6. ábrán látható, hogy a generátor gerjesztőáramát kétállapotú szabályozó vezérli. Így egy teljesen bekapcsolt és egy teljesen kikapcsolt állapot váltogatja egymást. Egy-egy szabályozási hely-



4. ábra: a háromfázisú generátor MATLAB/SIMULINK szimulációs modellje. Bemenetek: 1 – fordulatszám, 2 – remanens fluxus, 3 – belső ellenállás, 4 – terhelőáram, 5 – gerjesztőáram, 6 – idő, 7 – állórész induktivitása. Kimenetek: 1 – R-S vonali feszültség, 2 – S-T vonali feszültség, 3 – T-R vonali feszültség, 4 – frekvencia

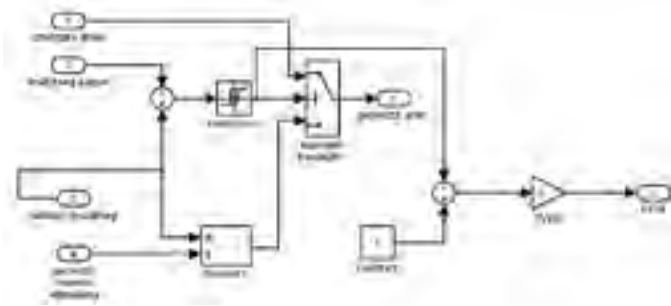


5. ábra: a háromfázisú kétutas hatütemű egyenirányító MATLAB/SIMULINK szimulációs modellje

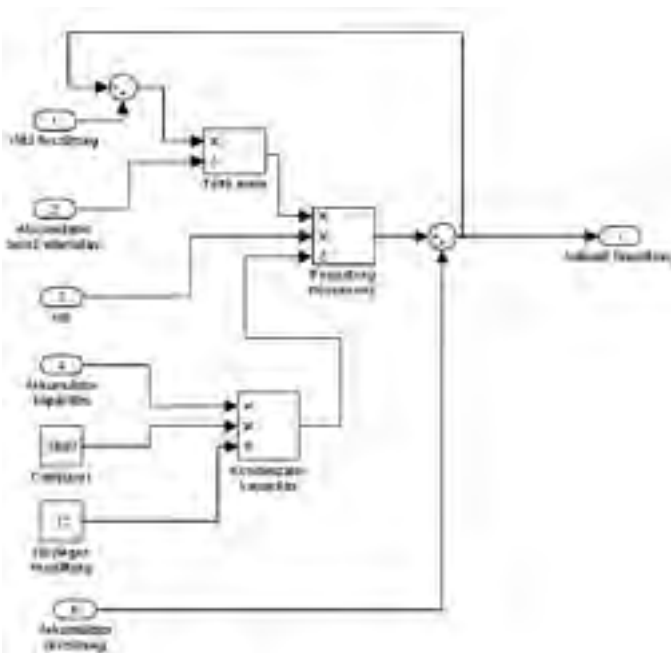


6. ábra: a feszültségszabályozó áramának kétállapotú szabályozása [1]

zetnek megfelelően más és más kitöltési tényezővel, valamint más és más frekvenciával történik az áram kapcsolgatása. Az áram exponenciális változása, illetve a fluxus lassú változása „kisimítja” a hirtelen változásokat, így az ugrásszerű állapotváltozást jelentő kapcsolgatások nem okoznak zavart a rendszer működésében. A feszültségszabályozó megépített modelljének a kétállapotú vezérlője a külső feszültség alapjelét és a hálózati feszültséget



7. ábra: a feszültszabályozó MATLAB/SIMULINK szimulációs modellje. Bemenetek: 1 – szivárgási áram, 2 – feszültségjel, 3 – hálózati feszültség, 4 – gerjesztőtekercs ellenállása. Kimenetek: 1 – gerjesztőáram, 2 – DFM (digital field monitor) vagyis a gerjesztés digitális követése



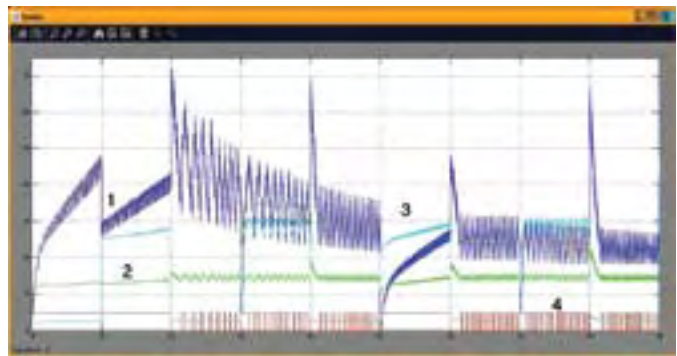
8. ábra: az akkumulátor modellje. Bemenetek: 1 – töltőfeszültség, 2 – belső ellenállás, 3 – idő, 4 – kapacitás, 6 – belső feszültség. Output: 1 – hálózati feszültség

hasonlítja össze. Amennyiben túl nagy a feszültség, csökkenti a gerjesztést azáltal, hogy teljesen lekapcsolja az áramot. Ha lecsökken a feszültség, azonnal visszakapcsolja a gerjesztőáramot. A feszültszabályozó pedig a „fedélzeti számítógépnek” megküldi a be-, illetve kikapcsolt állapotát. Ez jelenik meg a modell jobb oldalán DFM-mel jelölve. A modern feszültszabályozók már a fedélzeti számítógéptől kapják a beállítandó feszültség értékét. Erre külön kommunikációs port és protokoll van.

A SZIMULÁCIÓ ELVÉGZÉSE ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Sikerült felépíteni a modellt minden egyes alkotóegységét. A paraméterek megadása után elkezdődik a szimuláció futtatása. A belső égésű motor fordulatszáma 1000 min^{-1} -ről 6000 min^{-1} -re nő 50 s periódusonként, míg a terhelő ellenállás $5,5 \Omega$ és $0,5 \Omega$ értékek között ugrásszerűen változik 10 s periódusonként.

A szimuláció eredményei a 9. ábrán láthatók. Megállapítható, hogy az indukált feszültség (1) időfüggvényében jelentkeznek az egyenirányításból adódó ütemek, valamint a feszültszabályozás hatása. A hálózati feszültséget (2) jelentősen meghatározza az akkumulátor töltöttségi állapota és a terhelőáram (3). A DFM jel az alternátor üzemállapotáról ad információt, pontosabban



9. ábra: a szimuláció eredménye. 1 – az állórész tekercsében indukált feszültség, 2 – a hálózat feszültsége, 3 – terhelőáram, 4 – DFM jel

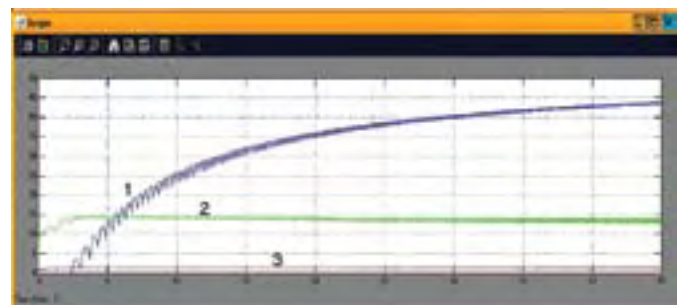
arról, hogy a gerjesztés milyen állapotban van. Minél nagyobb a DFM jel kitöltési tényezője, annál nagyobb a gerjesztés, tehát az alternátor terhelése is nagyobb.

A bemutatott szimuláció eredménye a megadott módon változó motorfordulatszám és állandó terheléssel készült. Természetesen lehetőség van tetszőleges körülmények beállítására.

TERHELÉSI JELLEGGÖRBE

A terhelési jelleggörbe a generátor áramának fordulatszám szerinti függvénye állandó feszültség mellett úgy, hogy a feszültszabályozó ki van iktatva az áramkörből. Tehát egy nem szabályozott természetes jelleggörbéről van szó. Ugyanakkor az akkumulátor is le van kapcsolva, mert az akkumulátor úgy viselkedik, mint egy nagy kondenzátor és kiintegrálja az egyes hatásokat.

Tehát elkezdjük növelni a fordulatszámot és olyan mértékben növeljük az áramot, hogy a generátor kapocsfeszültsége állandó legyen:



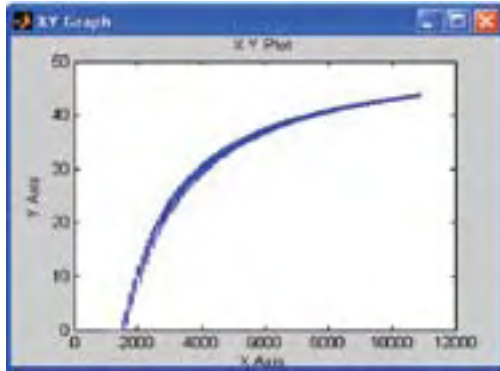
10. ábra: terhelési görbe időfüggvénye. 1 – terhelőáram, 2 – feszültség, 3 – gerjesztőáram

A 10. ábrán látható, hogy a generátor terhelőárama (1) nő, de a feszültsége (2) állandó értéken marad, miközben a gerjesztőáram (3) időfüggvénye nincs szabályozva kívülről. Annak folyamatos csökkenése egyrészt a frekvencia növekedéséből adódó belső impedancia növekedésnek, másrészt a mágneses telítődésből adódó indukált feszültség csökkenésének köszönhető.

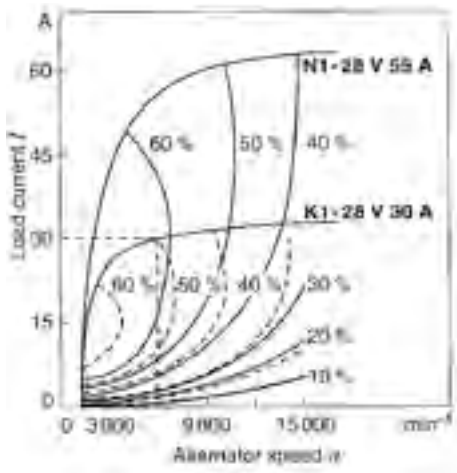
Az időtényezőt kiiktatva megkapjuk a terhelési jelleggörbét:

KÖVETKEZTETÉSEK

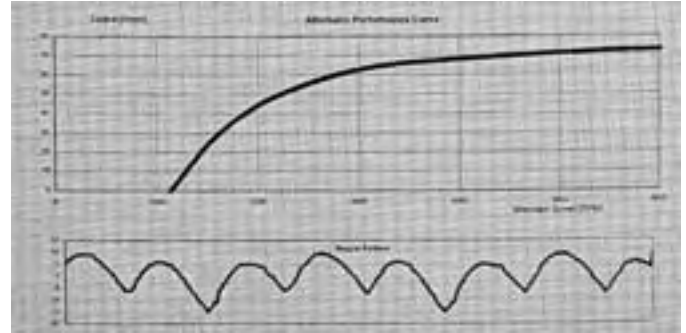
A generátor szimulációs modellje elkészült. A kapott eredmények megfelelnek a szakirodalomban található elméleti megfontolásoknak, valamint az ipari környezetben végzett gyakorlati méréseknek. Tehát jó kiindulási alapot jelent a fejlesztésben és az oktatásban egyaránt. További tesztmérésekkel a modell paramétereit validálni lehet egyes konkrét generátornak megfelelően.



11. ábra: a terhelési jelleggörbe $I(n)$ szimulációs eredménye



12. ábra: a szakirodalom [2] szerinti terhelési jelleggörbe



13. ábra: generátor tesztlapjának részlete ipari környezetben, az ALT-7 számítógép-vezérelt tesztpadon végzett mérés eredményeként

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka az NKTH BAROSS_EM07-EM_ITN3_07-2008-0039 pályázat keretében készült. Továbbá köszönjük a FER-VILL Kft. értékes támogatását, hogy a teszteredményeket rendelkezésünkre bocsátotta.

Irodalom

- [1] Tömösy M. Jenő, Frank György, Autóvillamosság, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975
- [2] Horst Bauer, Alternators and starter motors, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2003
- [3] Kovács Ernő, Blága Csaba, Személygépkocsi generátorának szimulációja, X. ENELKO, EMMTT, Marosvásárhely, 2009. október 8–11., (pp. 78–83)
- [4] Blága Csaba, Munkásság tézisszerű összefoglalása, a Miskolci Egyetem Doktori (PhD) Tézisfüzetei, Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa, Miskolc, 1997 (64 oldal)

Személygépkocsi indítómotorjának szimulációja

Dr. Blága Csaba
egyetemi docens,
Elektrotechnikai-
Elektronikai Tanszék,
Miskolci Egyetem

Dr. Kovács Ernő
egyetemi docens,
Elektrotechnikai-
Elektronikai Tanszék,
Miskolci Egyetem

Ebben a cikkben az indítómotor szimulációs modelljét mutatjuk be, valamint az indító-motor jelleggörbéit rajzoljuk meg a szimulációs modell segítségével. Minden gyártósor végén található egy teszt-pad, amellyel ellenőrzik, hogy az elkészült indítómotor teljesíti-e a követelményeket, előírásokat. A mért jelleggörbék a következők: nyomaték, fordulatszám, feszültség, leadott teljesítmény, felvett teljesítmény és hatásfok az áram függvényében. A cikk az indítómotor matematikai modelljétől és elméleti háttérétől kiindulva kezd felépíteni a szimulációs modellt. A modell alapján elkészült szimulációs eredményeket összehasonlítva a szakirodalomban és az ipari mérések során adott eredményekkel megállapítható a modell helyessége.

This paper presents a simulation model of a starter and its performance curves. At the terminal of every manufacturing line of starters there is test stand to measure the performance curves of the starter. This provides important parameters into the validation process of starter. These curves cover the following functions: torque, rpm, voltage, output power, input power, and efficiency versus current. The paper introduces a mathematical model of starter and its theoretical background. The model is validated through available characteristics known from literature and industrial datasheets.

BEVEZETÉS

Minden indítómotort gyártó sor végén megtalálható az a teszt-pad, amellyel „validálják” az elkészült terméket, tehát kimérik az indítómotor jelleggörbéit és ellenőrzik, hogy megfelel-e az előírásoknak, teljesíti-e a megrendelő követelményeit. Melyek ezek a jelleggörbék: a nyomaték, a fordulatszám, a feszültség és a leadott teljesítmény időfüggvénye.

Miért fontosak ezek a mennyiségek számunkra? Mint ismeretes, a belső égésű motor önmagát nem képes elindítani, tehát egy külső indítórendszerre van szükség. Az indítónyomaték értéke igen nagy és több tényezőtől is függ, mint pl. a motor típusa Otto- vagy dízel, a motor térfogata, a hengerek száma, a sűrítési arány, a kenőolaj minősége, a hőmérséklet stb. Továbbá egy minimális fordulatszám szükséges ahhoz, hogy önfenntartóvá váljon a folyamat. Az akkumulátor szolgáltatja az áramot, amelynek az értéke több száz amper is lehet, viszont az akkumulátor feszültsége nem eshet adott érték alá, mert tönkremennek a cellák. Kíváncsú, hogy az indítómotor mérete és tömege minél kisebb legyen. Nagyon sok ellentmondó feltételt kell teljesítenie egy indítórendszernek, és ezért fontos, hogy az előírt követelményeknek minél jobban megfeleljen.

Mivel az akkumulátor egyenáramot ad, ezért a legkönnyebb megoldás egyenáramú motort választani. Többfajta egyenáramú motor ismert, ezek közül a soros gerjesztésű biztosítja a legkedvezőbb indítási feltételeket. Manapság már állandó mágneses gerjesztésű indítómotorokat is alkalmaznak. Továbbá a sönt gerjesztésű indítómotorok az indítási folyamat befejeztével akár dinamóként is üzemelhetnek. Ma már inkább azt tapasztaljuk, hogy az alternátort (háromfázisú szinkron generátort) inverteren keresztül meghajtva használják a motoros üzemmódban a belső égésű motor indításához (start-stop rendszerek). Az indítógenerátorok az igen divatos mikrohibridek fő elemei. Érdekes megoldást kínál az ISAD (Integrated Starter Alternator Damper) rendszer, amely az indítás és áramgenerálás mellett csillapító feladatokat is ellát. Újabban arról is hallani, hogy a közvetlen befecskendezésű benzinmotoroknál egész kisméretű, csak ráségítő szerepet betöltő indítómotorokat alkalmaznak.

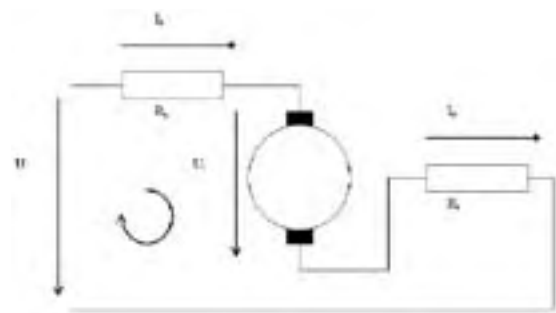
A SOROS GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ INDÍTÓMOTOR MATEMATIKAI MODELLJE

A kiindulást az egyenáramú motorok két alapegyenlete adja:

$$M = k \cdot \phi \cdot I_a \quad (1)$$

$$U_i = k \cdot \phi \cdot \omega \quad (2)$$

ahol M = nyomaték [Nm], k = gépállandó,
 ϕ = mágneses fluxus [Wb], I_a = armatúraáram [A],
 U_i = indukált feszültség [V], ω = szögsebesség [rad/s]
Egy másik összefüggés az áramkörből adódik:



1. ábra: a soros egyenáramú motor áramköri modellje

ahol U = feszültség [V], I_a = armatúraáram [A],
 U_i = indukált feszültség [V], I_e = gerjesztőáram [A],
 R_a = armatúra-ellenállás [Ω], R_e = gerjesztő ellenállás [Ω]

Felírva az armatúrákör hurokegyenletét:

$$-U + I_a R_a + U_i + I_e R_e = 0 \quad (3)$$

A soros gerjesztés következtében:

$$I_a = I_e \quad (4)$$

Továbbá a fluxust a gerjesztőáram határozza meg:

$$\phi = \chi \cdot I_e \quad (5)$$

ahol χ egy hozzárendelési együttható.

Az (1)–(5) egyenletek rendezésével a következő összefüggéseket kapjuk:

$$M = K \cdot I^2 \quad (6)$$

$$\omega = \frac{U}{K \cdot I} - \frac{R}{K} \quad (7)$$

$$P_{\text{out}} = U \cdot I - R \cdot I^2 \quad (8)$$

$$\eta = 1 - \frac{R \cdot I}{U} \quad (9)$$

ahol $K = k \cdot \chi$, $I = I_a$ és $R = R_a + R_e$.

A gyakorlatban nem a szögsebességet, hanem inkább a fordulatszámot használják. A kettőjük közötti összefüggés a következő:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (10)$$

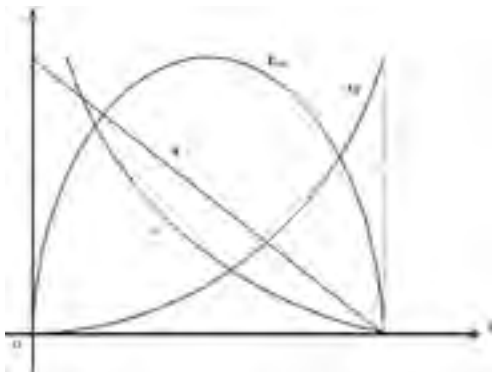
és

$$n = \frac{U}{C \cdot I} - \frac{R}{C} \quad (11)$$

ahol

$$C = \frac{\pi \cdot K}{30} \quad (12)$$

Ezen összefüggések alapján megrajzolhatók a jelleggörbék várható alakjai:

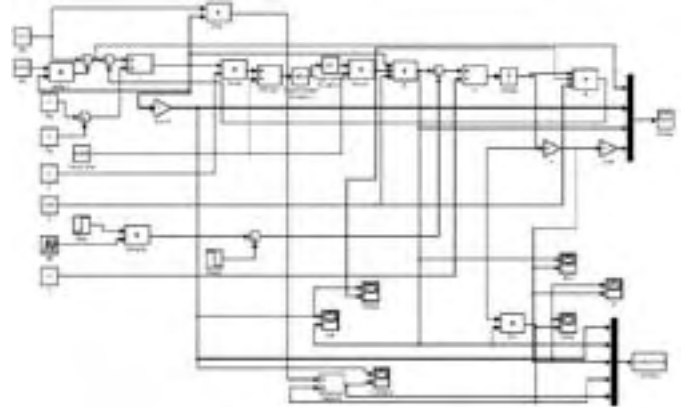


2. ábra: a soros egyenáramú indítómotor elméleti jelleggörbéi

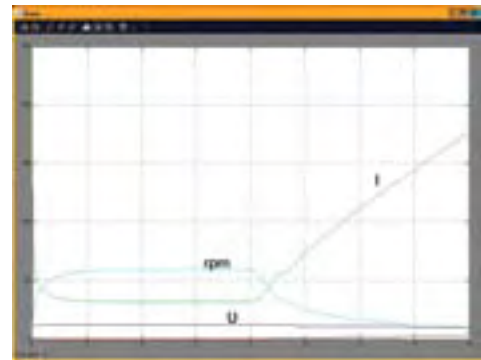
A SOROS EGYENÁRAMÚ INDÍTÓMOTOR SZIMULÁCIÓS MODELLJE

Az előző részben megadott összefüggések nagyon elméletiek. Néhány jelenséget nem vettünk figyelembe, mint pl. az akkumulátor belső ellenállása, az armatúra vasvesztései, a forgórész súrlódási és ventilációs veszteségei, a mágneses fluxus telítődése

stb. Ezek igen bonyolulttá teszik a matematikai összefüggéseket. Az indítómotor viselkedésének jobb megértése és az egyes paraméterek hatása jobban tanulmányozható egy szimulációs modell megalkotásával. Egy ilyen modellt készítettünk el és az alábbi ábrán mutatjuk be:



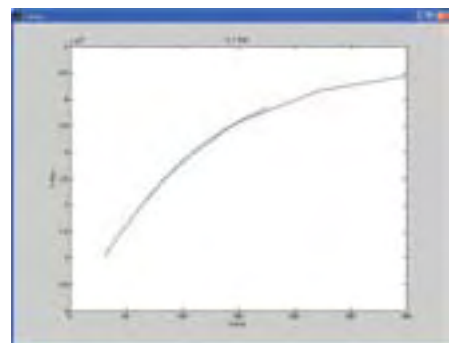
3. ábra: a soros gerjesztésű egyenáramú motor szimulációs modellje



4. ábra: a szimuláció eredménye az idő függvényében

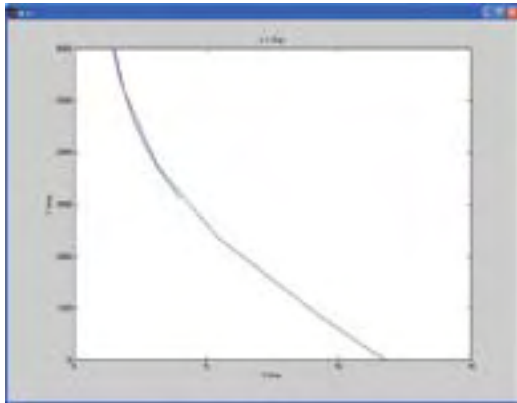
A szimuláció kezdeti fázisában elindul az indítómotor és üresjárásban üzemel, majd 9 s eltelté után fokozatosan növeljük a terhelőnyomatékat.

Átrendezve a koordináta-rendszereket az 5–10. ábrákat kapjuk:

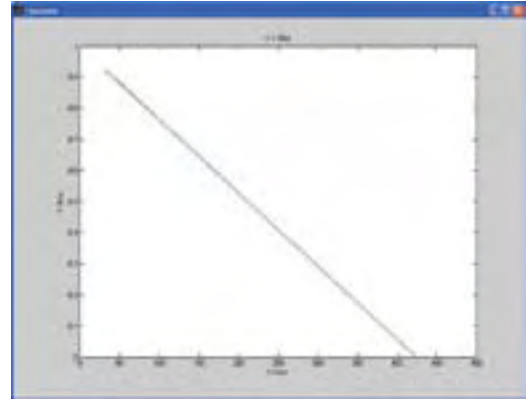


5. ábra: a fluxus az áram függvényében

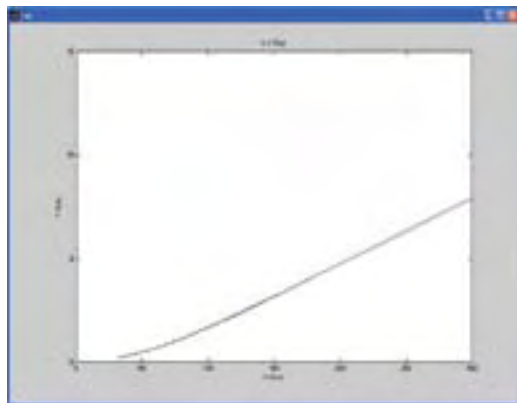
A 3. ábrán bemutatott szimulációs modell tartalmazza a mágneses fluxus telítődést, tehát a fluxus és áram közötti összefüggés már nem lineáris, amint ez az 5. ábrán is látható. Így egy nemlineáris egyenletrendszerrel kell beszélnünk. Vagyis a mágneses fluxus kisebb mértékben nő, mint az áram és egy adott érték fölé már nem megy. A fluxus és az áram közötti matematikai összefüggést a szakirodalomból [3] vettük.



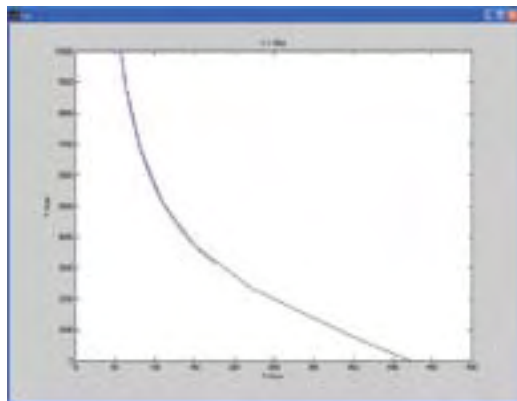
6. ábra: fordulatszám a nyomaték függvényében



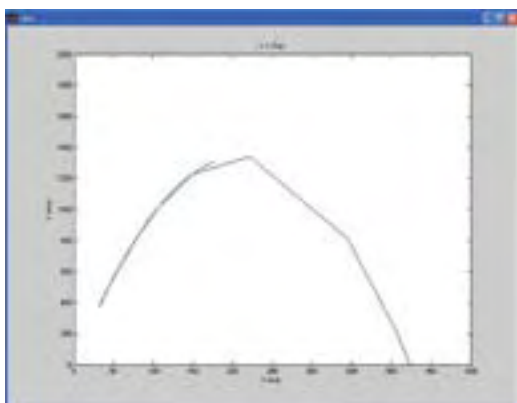
10. ábra: hatások az áram függvényében



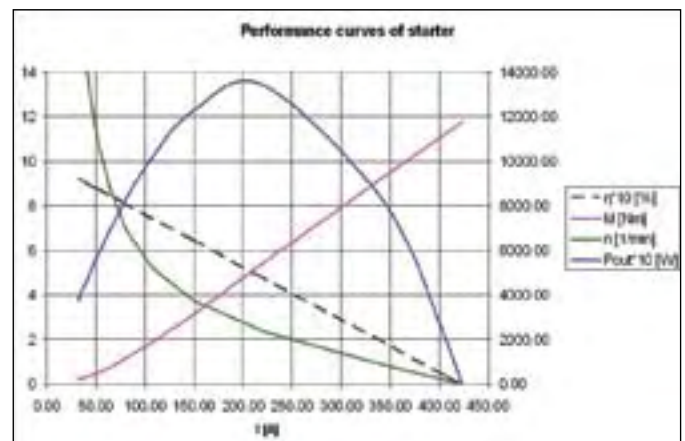
7. ábra: nyomaték az áram függvényében



8. ábra: fordulatszám az áram függvényében

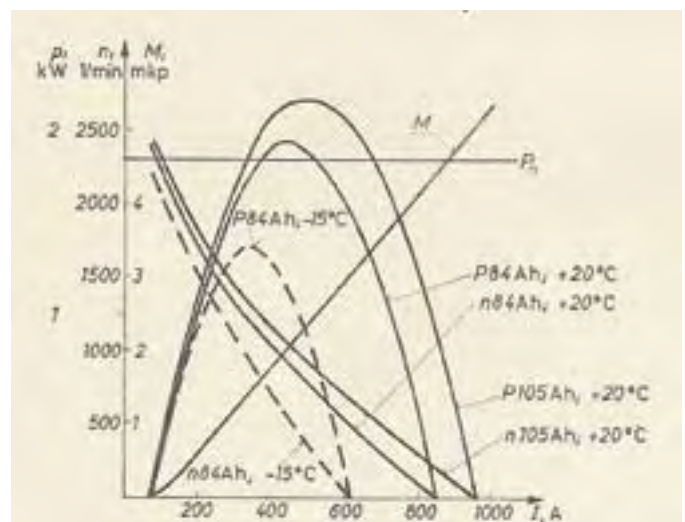


9. ábra: leadott teljesítmény az áram függvényében

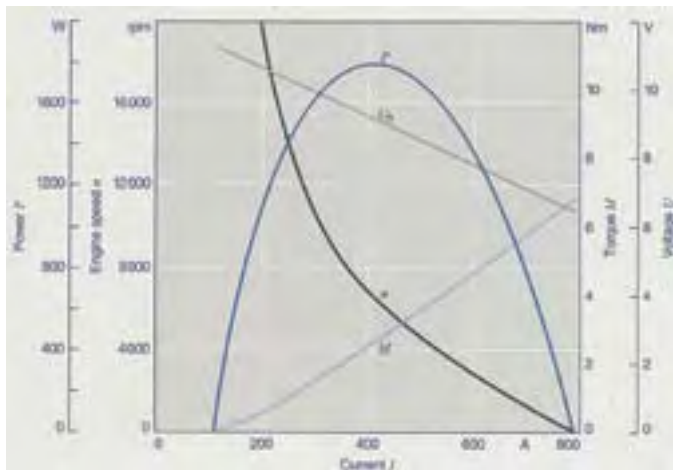


11. ábra: a szimuláció eredménye: az indítómotor jelleggörbéi

A 11. ábrán bemutatott grafikonok minőségi helyességét a szakirodalomban (12. és 13. ábrák) megadott elméleti jelleggörbékkel és az ipari tesztmérések (14. ábra) eredményeivel tudjuk igazolni.



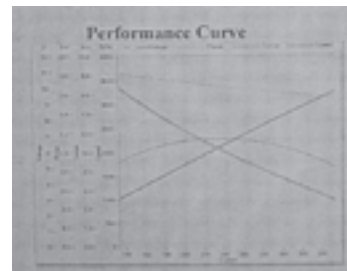
12. ábra: indítómotor jelleggörbéi a szakirodalomban [1]



13. ábra: indítómotor jelleggörbéi a szakirodalomban [2]

KÖVETKEZTETÉSEK

A soros gerjesztésű egyenáramú motor matematikai és szimulációs modellje elkészült és a jelleggörbéket sikeresen meg tudtuk rajzoltatni a programmal. A szimulációs modell nemlineáris elemeket is tartalmaz. Az elkészült grafikonok helyességét a szakirodalomban megadott elméleti jelleggörbékkel és ipari környezetben végzett tesztmérések eredményeivel tudtuk igazolni.



14. ábra: indítómotor tesztlapjának részlete ipari környezetben, az ST-12 számítógép vezérelt tesztpadon végzett mérés eredményeként

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka az NKTH BAROSS_EM07-EM_ITN3_07-2008-0039 pályázat keretében készült. Továbbá köszönjük a FER-VILL Kft. értékes támogatását, hogy a teszteredményeket rendelkezésünkre bocsátotta.

Irodalom

- [1] Bakos István, Jármű villamosság, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [2] Horst Bauer, Alternators and starter motors, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2003
- [3] Blága Csaba, Munkásság tézisszerű összefoglalása, a Miskolci Egyetem Doktori (PhD) Tézisfüzetei, Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa, Miskolc, 1997 (64 oldal)

IMPRESSZUM

A jövő járműve • Járműipari innováció

V. évfolyam, 2010/1–2. 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 (EJIT)
1111 Budapest, Stoczek utca 6., J épület 516. • Tel.: 1/463-1753 • Fax: 1/463-3255 • E-mail: info@ejit.bme.hu

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

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

KIADÓ:

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft. • Felelős kiadó: Pintér-Péntek 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. Czigány Tibor • Dr. Czinege Imre • Dr. Kardos Károly • Dr. Keviczky László • Lepsényi István • Dr. Michelberger Pál • Dr. Nádai László • Dr. Palkovics László • Dr. Réti Tamás • Dr. Stukovszky Zsolt • Szilasi Péter Tamás • Dr. Tisza Miklós

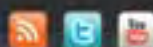
NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:

Palatia Nyomda és Kiadó Kft. • 9026 Győr, Viza utca 4.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.



X-MEDITOR LTD.

X-Meditor Ltd was established in 1995. Our firm situated in Győr, in Hungary. The profile of X-Meditor is wide-range, but all of them are in connection with information-services. We edit different newspapers, magazines, design graphs, make websites, outdoor displays, organise conferences and fairs.

History:



AUTÓTECHNIKA

Autótechnika magazine had its first edition in September 2002. The aim of making a new specialized magazine was to create such a professional automotive forum, which collects all the information, which are essential for the specialists working in the automotive industry.

The autotechnika.hu was established and developed in 1998 with the same target audience, like printed magazine. It was totally renewed this year to a daily refreshed online magazine for the professionals in automotive industry.

If your company is looking for a Hungarian automotive partner (manufacturer, dealer, workshop etc.), our newspaper and our website is the best forum to find it.

Main topics of the Autótechnika:

- Automotive technology, research & development, road safety
- Production of cars, production technologies, recycling
- Production of spare parts and components
- Car maintenance, diagnostics, car electricity
- Bodywork repairs and painting
- Car distribution, new car sales, used car sales
- Traffic and traffic safety
- Motorsports
- Laws, authorities
- Associations, chamber news
- Quality assurance
- R&D in automotive industry
- Quality assurance
- Education

Autótechnika magazine:

Published: monthly
 Circulation: 4000 copies per issue
 Distribution and sale: in Hungary, direct mail
 Target group: car mechanics, car dealers, garages of body finishing, car electronics, teachers of professional training schools, members of professional associations
 Paper quality: inner sheet – 80 g dull
 cover – 200 g dull
 Number of pages: 80–120
 Printing method: offset sheet
 Screen density: 60

[SEARCH](#)
[VOCABULARY](#)
[ABBREVIATIONS](#)
[FAULT CODE](#)

[GO](#)

WEBMAIL ENTRY



CURRENT ISSUE



VIDEOGALLERY



Editorial office:

X-Meditor Ltd. • H - 9002 Győr, Csabai u. 21. • H - 9002 Győr, P.O.B. 156. • Hungary
 Tel.: +36 / 96 / 618-060 • Fax: +36 / 96 / 618-063 • E-mail: auto@xmeditor.hu

Tech4Auto

Regionális Kutatás-Fejlesztési
Konferencia és Laborbemutató

2010

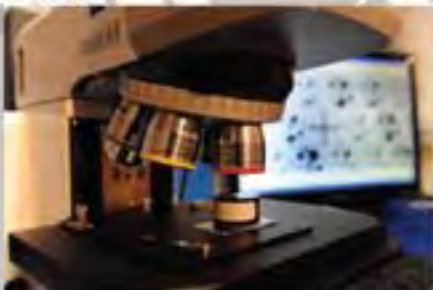
2010. november 10-11.
Széchenyi István Egyetem Győr, Laborépület

„Vállalati innováció – egyetemi kutatás”



A Tech4Auto Konferencia és Laborbemutató főbb eseményei és programja

- *Regionális Kutatás-Fejlesztési Konferencia*
 - Plenáris előadások
 - Egy hazai nagyvállalat jó gyakorlata a K+F területén
 - Egyetemi és vállalati K+F projektek
 - Innovációt támogató szolgáltatásokat bemutató program
- *A konferenciához kapcsolódó nyitott laborbemutatók*



JÁRMŰIPARI
REGIONÁLIS EGYETEMI
TUDÁSKÖZPONT



Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal

SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM



Járműipari,
Elektronikai,
Logisztikai
Kooperációs Kutató Központ

www.tech4auto.eu