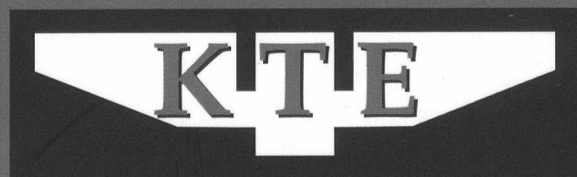


2013 . 1 . sz .

LXIII. ÉVFOLYAM 1. SZÁM  
2013. FEBRUÁR

# KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

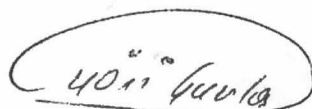
ÚJ IRÁNYOK A KÖZLEKEDÉSI ÉS JÁRMŰPARI TUDOMÁNYBAN  
FIATAL KUTATÓK EREDMÉNYEINEK TÜKRÉBEN



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA  
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

## Ésszerűség, nemzeti érdek, jogszerűség

„Az NKH jövőképe egy olyan integrált közlekedési hatóság, amely gyors, hatékony és ügyfélbarát. A hatóság felel azért, hogy rend és rendezettség legyen a magyar közlekedés területén. Nem a kincstári felsőbbrendűség, hanem a szakmai hozzáértés, a szakszerű munkavégzés teremti meg a hatóság tekintélyét.”



Györi Gyula

Nemzeti Közlekedési Hatóság elnöke

[www.nkh.gov.hu](http://www.nkh.gov.hu)



## KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

A közlekedési szakterület tudományos lapja  
VERKEHRSWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU  
Zeitschrift des Ungarischen Verein für Verkehrswissenschaft  
REVUE DE LA SCIENCE DES TRANSPORTS  
Revue de la Société Scientifique Hongroise des Transports  
SCIENTIFIC REVIEW OF TRANSPORT  
Publication of the Hungarian Society for Transport Sciences

Megjelenik kéthavonta  
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:  
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:  
Kövesné Dr. Gilicz Éva elnök  
Dr. Katona András főszerkesztő

Dr. Békési István  
Berta Tamás  
Bretz Gyula  
Dr. Ivány Árpád  
Horváth Lajos  
Kalmár Koppány  
Mészáros Tibor  
Pállay Antal  
Dr. Prileszky István  
Saslics Elemér  
Szécsey István  
Szűcs Lajos  
Dr. Tánczos Lászlóné  
Dr. Tóth János  
Dr. Tóth László

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:  
Ráczné dr. Kovács Ágnes  
Tel./Fax: 353-2005, 353-0562  
E-mail: szemle@ktenet.hu

SZERKESZTŐSÉG:  
1055 Budapest, Kossuth L. tér 6-8. IV. 419.

FELELŐS KIADÓ:  
Dr. Tóth János,  
a Közlekedéstudományi Egyesület főtítkára

KIADJA:  
Közlekedéstudományi Egyesület  
1055 Budapest, Kossuth L. tér 6-8. IV. 419.

MEGBÍZOTT KIADÓ:  
Press GT Kft.  
1139 Budapest, Üteg u. 49.  
Tel.: 349-6135  
E-mail: info@pressgt.hu

NYOMDAI KIVITELEZÉS:  
Press+Print Kft.  
Felelős nyomdavezető: Tóth Imre

TERJESZTŐ:  
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda  
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesületnél  
Egy szám ára: 1380 Ft, Éves előfizetés: 8280 Ft  
Egyéni KTE tagoknak: 4140 Ft

ISSN 0023 4362

A Közlekedéstudományi Szemlét vagy annak részleteit a Szerkesztőbizottság írásos engedélye nélkül bármilyen formában reprodukálni és közölni tilos.

A cikkek tartalma nem minden esetben egyezik a szerkesztőség véleményével.  
Kéziratot nem örzünk meg.

A lap egyes számai megvásárolhatók a Közlekedéstudományi Egyesület Titkárságán (1055 Budapest, Kossuth L. tér 6-8. IV. 419.),

2013 FEBR 28.

# TARTALOM

## Schváb Zoltán

Ajánlás 4

## Dr. Tánczos Lászlóné

Előszó 5

## Dr. Borsos Attila

Közúti infrastrukturális beavatkozások  
biztonsági hatásmérésének  
módszertani kérdései 6

## Dr. Török Árpád

Közlekedési hálózatfejlesztési döntések  
egyensúlyi modell környezetben történő  
leképezése 17

## Dr. Kovács Gábor

Elektronikus fuvar- és raktárbörze helye,  
szerepe az ellátási láncban 24

## Dr. Boronkai László

Villamos vontatójárművek hajtásdinamikai  
folyamatainak szimulációja 30

## Dr. Budik György, Ph.D.

Alternatív motorhajtóanyagok alkalmazása  
belső égésű motorban 39

## Dr. Kovács Krisztián

Járműalkatrészek és szerkezetek  
élettartamának és kifáradási folyamatának  
statisztikai vizsgálata 55

Könyvismertető 62

# AJÁNLÁS

A Közlekedéstudományi Egyesület (KTE) célja a közlekedés, a közlekedéstudomány elméleti és gyakorlati fejlődésének elősegítése, a közlekedéstudomány eredményeinek közléte, népszerűsítése. Az előzőek komplex megvalósítását jól szolgálja a 2013-ban 63. évfolyamát kezdő Közlekedéstudományi Szemle. A lapkiadás folyamatossága elengedhetetlen a KTE gazdasági-társadalmi súlyának megtartása érdekében is. Miután napjainkban sem nélkülözhetik a műszaki-tudományos tevékenységek a központi támogatást, úgy ítéltük meg, hogy a közlekedésbiztonsági akcióprogramok keretében felhasználjuk a Közlekedéstudományi Szemlét azzal is, hogy tartalmában kiemeljük a közlekedésbiztonságot, ami egyben területi bővítést is jelent.

Tesszük ezt azon természetes felismerés okán, hogy a közlekedési ágazatban innováció és fejlesztés nélkül nem lehet valós eredményeket elérni. A tudomány eredményeinek bemutatása nemes, korszerű vállalat. A közlekedésbiztonság kérdése a jelenlegi közlekedési szakpolitika egyik meghatározó területe. Kulcskérdés, amely döntően befolyásolja a magyarországi közlekedési kultúra fejlődését, a közlekedők biztonságérzetét, mindennapjait. Ez az a terület, ahol átgondolt, hosszú távú programok megvalósításával, mérnöki-leg megtervezett intézkedésekkel érhetünk el eredményeket. Építő, előremutató szakmai programok következetes végrehajtásával elérhetővé válik a közlekedésbiztonsági helyzet további javítása.

Személyes meggyőződésem, hogy a Közlekedéstudományi Szemle segítségével az eddigieket is meghaladó hatékonysággal fogja szolgálni közös céljainkat, a közlekedés fejlesztését.

A közösségi támogatás azonban nem lehet elég eredményes az egyes szakemberek, jelesül a KTE tagok alkotó, áldozatos vállalkozása nélkül. Kérem tagjainkat és a szélesebb körű olvasótábort, hogy minél nagyobb számban fizessenek elő a Szemlére, hiszen ezzel nemcsak saját informáltságukat, tudásukat gyarapítják, hanem egyben lehetőséget adnak a fiatal tudósoknak, kutatóknak tudományos eredményeik közzétételére (Erre jelen szám a legjobb példa!), a tapasztaltabb szakembereknek a továbbfejlesztett munkáik megismertetésére.

Én már előfizettem, elismerve a nagy magyar államférfi, a jeles közlekedési tisztségviselő Baross Gábor örökérvényű szavait: „Minden ember annyit ér, amennyit a köz javára tesz.”

Schváb Zoltán  
közlekedésért felelős helyettes államtitkár  
a KTE társelnöke



# ELŐSZÓ

A Magyar Tudományos Akadémia (MTA) megalakulása óta nagy hangsúlyt fektet a tudományos utánpótlás nevelésére. Napjainkban az MTA tudományos bizottságainak feladatai közé tartozik a PhD fokozatot szerzett fiatal kutatók szakmai karrier-építésének támogatása, tudományos eredményeik széles körű megismertetése, az új megoldások potenciális alkalmazók számára történő ismertté tétele, a gyakorlati alkalmazásokhoz szükséges feltételek megteremtésének elősegítése.

Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya keretében több évtizede működő Közlekedéstudományi Bizottság évente négy alkalommal sorra kerülő zárt bizottsági ülése mellett a fenti célkitűzések megvalósítása érdekében 2-3 évente rendszeresen szervez olyan, nagyobb létszámú hallgatóságot vonzó nyilvános tudományos ülést is, amelyen a közlekedés területén jelentős eredményt elért, sikeres fiatal kutatók bemutatkozására, tudományos eredményeik ismertetésére biztosít lehetőséget.

Az elmúlt évben ez az esemény a „Magyar Tudomány Ünnepe 2012” rendezvénysorozat keretében, a Műszaki Tudományok Osztálya nagyrendezvényeként, a Közlekedéstudományi Bizottság (KTB) és Gépszerkezettani Tudományos Bizottság (GTB) közös ünnepi tudományos üléseként került megrendezésre. **„Új irányok a közlekedési és járműipari tudományban fiatal kutatók eredményeinek tükrében”** címmel. Az ülés védnökei *Dr. Fónagy János* a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium államtitkára, a Közlekedéstudományi Egyesület elnöke és *Dr. Mészáros György* a Nemzeti Innovációs Hivatal elnöke voltak.

Az ünnepi tudományos ülés **közlekedési és a járműipari** szekciójában 3-3 előadás hangzott el. Az egymást jól kiegészítő két tudományterület összekapcsolása eredményesnek bizonyult. A rendezvényen jelentős létszámú szakmai hallgatóság vett részt, s az előadásokat követő élénk vita résztvevői a fiatal kutatók további munkáját ösztönző észrevételeket, javaslatokat is megfogalmaztak.

A Közlekedéstudományi Szemle jelen számában a hat előadás - a tudományos ülésen elhangzottak felhasználásával - szakcikk formájában is helyet kapott annak a célnak a szolgálatában, hogy a hazai tudományos közélet minél jobban megismerhesse legfiatalabb képviselőinek munkásságát, és a bemutatásra kerülő új ötletek, gondolatok, megoldások és eljárások minél előbb megtalálják hasznosításuk lehetőségeit.

*Dr. Borsos Attila*, a Széchenyi Egyetem docensének tanulmánya a közúti infrastrukturális beavatkozások hatásmodellézését és optimalását mutatja be. *Dr. Török Árpád*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) tanársegédje cikkében a közlekedési hálózatfejlesztési döntések egyensúlyi modell környezetben történő leképezésének módszerét ismerteti azzal a céllal, hogy a releváns közgazdaságtudományi eredmények

adaptálásával megalapozottabbá tegye a korszerű egyensúlyi modellkörnyezetben a közlekedési hálózatfejlesztési döntéseket. *Dr. Kovács Gábor*, a BME tanársegédje cikkében az elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszermodelljét ismerteti. Ezt a kutatómunkát a jelenlegi gyakorlati megoldások előzetes felmérése motiválta, amely során kiderült, hogy a jelenlegi börzék nem használják ki a releváns döntéstámogatási módszertanban rejlő optimalizálási lehetőségeket. A fiatal kutató által kidolgozott rendszermodell gyakorlati adaptálása matematikai algoritmusok segítségével a logisztikai kereslet és kínálat közötti összhangot teremti meg.

*Dr. Boronkai László*, a Siemens AG mérnöke cikkében a villamos vontatójárművek hajtásdinamikai folyamatainak szimulációját mutatja be. A szimuláció célja, hogy a hajtásrendszer elemein fellépő, a pálya-jármű kölcsönhatásából adódó fokozott igénybevételek megismerhetők legyenek, és ezek hatásai meghatározhatóvá váljanak az érintett gépelemek élettartama szempontjából. *Dr. Budik György*, a GEA EGI Energiagazdálkodási Zrt. mérnökének tanulmánya az alternatív motorhajtóanyagok belső égésű motorban történő alkalmazhatóságát vizsgálja. A kutatást az motiválta, hogy a kötetlen pályás mobilitás során továbbra is szükség lesz az energiahordozó fedélzeti tárolására, viszont a hagyományos kőolaj alapú hajtóanyagok készletei végesek. Megoldást jelenthet rövid és középtávon az egy motor többféle hajtóanyag elv gyakorlatba ültetése. A cikkben a szóba jöhető alternatív motorhajtóanyagok közül a bioetanol és a hidrogén kerül részletesebb elemzésre. *Dr. Kovács Krisztián*, a Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Hungária Kft. mérnöke cikkében a járműalkatrészek és szerkezetek élettartamának és kifáradási folyamatának statisztikai vizsgálati eredményeiről számol be. A témaválasztás indoka az volt, hogy a járműalkatrészek mértékadó tönkremeneteli módjának meghatározása a mintegy 150 éve tartó folyamatos kutatások ellenére nem lezárható terület: a műszaki újítások mindig további kifáradási vizsgálatokat igényelnek.

Fenti bevezető gondolatok lezárásaként és kedvcsinálónaként a rendezvény védnökének, *Dr. Fónagy János*nak a köszöntőben elhangzott szavait idézve ajánlom a következő hat cikket a Tisztelt Olvasó szíves figyelmébe: **„... a ma fiatal kutatóinak meghatározó szerepe lesz a közeljövőben, különös tekintettel a közlekedésre allokalható erőforrások minél hatékonyabb felhasználásának megalapozására.”** Érdemes tehát megismerni és folyamatosan figyelemmel kísérni eredményeiket!

2013. január

*Dr. Tánczos Lászlóné*  
az MTA

Közlekedéstudományi Bizottságának elnöke

# Közúti infrastrukturális beavatkozások biztonsági hatásmérésének módszertani kérdései

A közlekedésbiztonság fontos összetevőiről készült tanulmány figyelemre-méltó megállapításokat tesz a vonatkozásban, hogy az egyes szakterületek milyen mértékben járulnak hozzá a javuló helyzethez. Az elemzések mértékének növelése a jövőben nagy biztonsággal erősíti a kedvező tendenciákat.

**Dr. Borsos Attila**  
e-mail: borsosa@sze.hu

## 1. BEVEZETÉS

Hazánkat 2006-tól javuló közúti közlekedésbiztonsági helyzet jellemzi. 2001 és 2010 között 40%-kal mérséklődött a közúti balesetek halálos áldozatainak száma, ami a 27 EU-tagállam 44%-os átlagértékéhez képest rendkívül biztató, különösen amiatt, hogy ez a javulás 2007 és 2010 között ment végbe (Holló, 2012). E kedvező sikereket a közúti biztonság három fő területének (ember, út, jármű) képviselői kisebb-nagyobb arányban magukénak tekintik.

Minden szakma számára izgalmas kérdés lehet, hogy a közúti biztonság javítását célzó saját intézkedései valójában milyen mértékben járultak hozzá a kedvező eredményekhez. Jelen cikkben az infrastrukturális intézkedések biztonsági hatásmérésének módszertani kérdéseivel foglalkozom, bemutatom azok előnyeit és hátrányait. Egy hazai gyakorlati példán keresztül részletezem az alkalmazási körülményeket, egyes pontokon utalok az aktuális nemzetközi gyakorlatra és javaslatokat fogalmazok meg.

## 2. A HATÁSMÉRÉST ZAVARÓ TÉNYEZŐK

A közúti intézkedések biztonsági hatásának elemzése annak megállapítására irányul, hogy a szóban forgó beavatkozás a balesetek számában és kimeneleiben milyen változást eredményezett. Ez a változás kedvező esetben természetesen balesetszám csökkenés, ismeretesen azonban a hazai és külföldi szakirodalomból olyan esetek is, amikor a beavatkozást a baleseti helyzet romlása követi (Elvik és

Vaa, 2004; Borsos, 2010, 2011; Koren et al., 2007, 2009).

A hatásmérést úgynevezett megfigyeléses előtte-utána vizsgálattal tudjuk elvégezni. Az előtte-utána elnevezés félrevezető lehet, hisz azt sejteti, hogy egyszerűen az előtte és utána mért baleseti gyakoriságok különbségéből tudjuk mérni a hatást. Ezt a megközelítést hívhatjuk egyszerű (a nemzetközi irodalomban naiv) előtte-utána vizsgálatnak, amely elnevezés jelzi, hogy a hatásmérésnek kifinomultabb módszerei is léteznek. Lényeges szempont ugyanis, hogy az időközben bekövetkezett más változásokat minél jobban leválasszuk, úgymond vegytisztán megmondjuk egy adott intézkedés tényleges hatását.

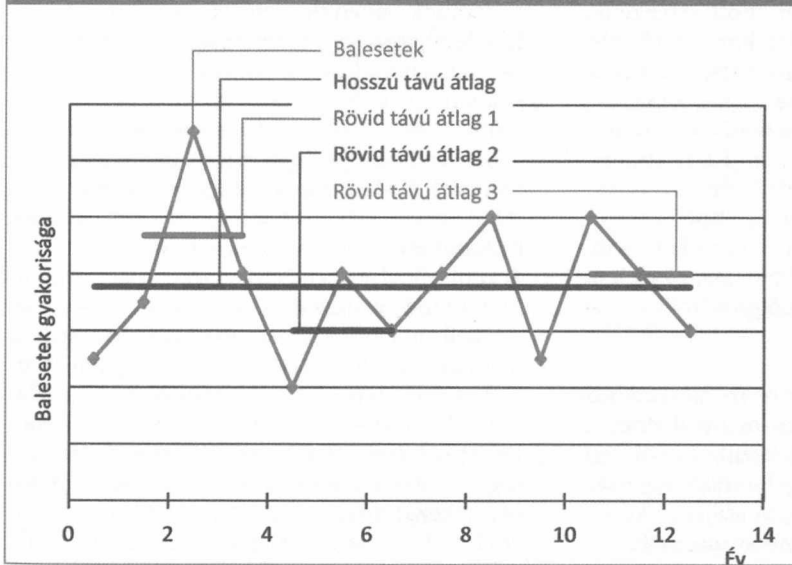
Az intézkedések hatását számszerűsítve számos akadályba ütközünk, amelyek figyelmen kívül hagyása - az elemzési módszertől függetlenül - téves következtetések levonásához vezethet. Ezen zavaró tényezők az alábbiak (Hauer, 1997; ROSEBUD, 2004; CEDR, 2008; AASHTO, 2010; Borsos, 2012):

- a közúti balesetek véletlen jelenségek,
- az átlaghoz való visszatérés jelensége,
- a baleseti trendek,
- az út kialakításában, jellemzőiben beállt változások.

### 2.1. A balesetek természetes ingadozása

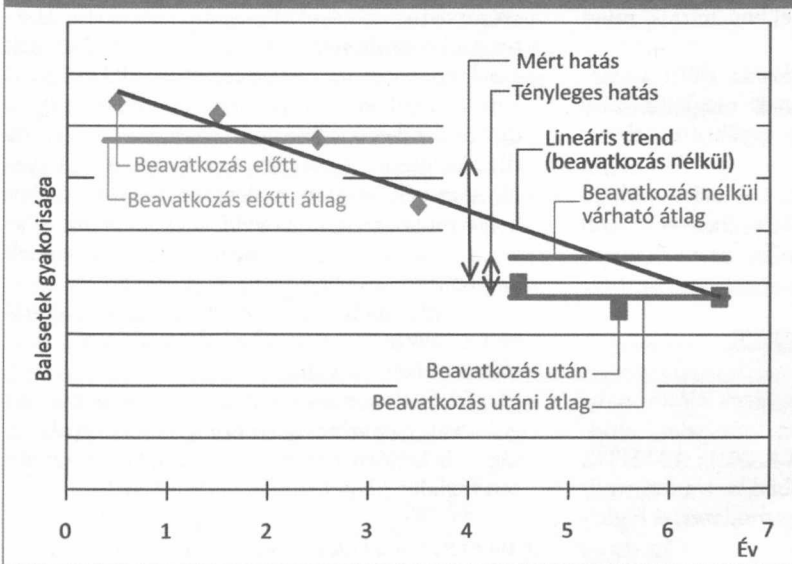
A közúti balesetek előfordulása véletlenszerű, azok gyakorisága az időben mérve ingadozást mutat. A balesetek gyakoriságának évről évre történő ingadozása miatt annak rövid távú átlagai jelentősen eltérhetnek a hosszú távú átlagtól, így a balesetek előfordulási gyakoriságának számításánál félrevezető lehet a rövid távú átlagok figyelembevétele. Erről ad vázlatos képet az 1. ábra. Ez a nehézség fokozottan jelentkezik azokon a helyszíneken, ahol a balesetek alig vagy kis számban fordulnak elő. Itt ugyanis a balesetek előfordulásának véletlenszerű-

1. ábra: A balesetek előfordulásának természetes ingadozása



tékek eltérhetnek (kisebbség, nagyobbak) a hosszú távú átlagtól. Ha például 1-2 év kiugróan magas balesetszámai alapján választjuk ki a beavatkozás helyszínét, és az intézkedést követően balesetszám-csökkenést tapasztalunk, az feltételezhetően – részben, vagy egészben – a hosszú távú átlaghoz való közeledésnek köszönhető, tehát a csökkenés legalább egy része az intézkedéstől függetlenül is bekövetkezett volna. Ezt a jelenséget hívjuk az átlaghoz való visszatérésnek (angolul regression-to-the-mean), amely a véletlen jelenségek (pl. közúti balesetek) hosszú távon átlaghoz való közelítése.

2. ábra: Az átlaghoz való visszatérésből és javuló trendből fakadó zavaró hatás



## 2.3. Baleseti trendek

A fentiekhez társul még az is, hogy általában a közúti balesetek vagy éppen egy bizonyos típusú baleset (pl. frontális gépjármű-ütközések) előfordulásában közép- és hosszú távú trendek figyelhetők meg, például a közlekedési magatartás változásának vagy az infrastruktúra következetes fejlesztésének, átalakításának köszönhetően. Amennyiben a korábbi évekre csökkenő trend jellemző, a beavatkozás utáni további balesetszám-csökkenés egy része valószínűleg az intézkedés nélkül is bekövetkezne. Ezt a hatást figyelmen kívül hagyva, az intézkedésnek tulajdonított hatás

sége miatt a hosszú távú átlaghoz képest arányában nagyobb ingadozást kapunk.

nagyobb lesz, mint a tényleges. Mindezen problémák együttes grafikus ábrázolása látható a 2. ábrán.

## 2.2. Az átlaghoz való visszatérés

A balesetek előfordulásának időbeli ingadozása miatt kérdéses, hogy a balesetszám-csökkenés ténylegesen az intézkedésnek köszönhető, avagy a nélkül is bekövetkezett volna. Adott helyszínen a rövid távon megfigyelt ér-

## 2.4. Az út kialakításában, jellemzőiben beállt változások

Az út kialakításában (pl. geometriában, forgalomszabályozásban) időközben beállt változá-

sok hatást gyakorolnak a balesetek előfordulási gyakoriságára. Ha vannak ilyen változások, akkor ezek világosan lehatárolják az elemző számára azon időszakot, amelyet adott intézkedés biztonsági hatásának értékelésekor figyelembe vehet. Az intézkedések biztonsági hatásának elemzésénél egyrészt előnyös minél hosszabb idősort alapul venni (a hosszú távú átlag miatt), másrészt viszont a fentiekben említett, útkialakítást érintő változások következtében a figyelembe vehető időintervallum szabott keretek között mozog. Az elemzés során ezen két szempont közötti ellentmondással tisztában kell lenni, és a vizsgálati időtávot kellő körültekintéssel kell lehatárolni.

Az adott helyszín egyéb jellemzői az intézkedéstől függetlenül is változásokat eredményezhetnek a balesetszám alakulásában. Ezek közül az egyik legfontosabb nyilvánvalóan a forgalom nagysága; ilyen továbbá a forgalom összetétele, az időjárás körülmények, a területfelhasználás módosulása stb.

Mindezen zavaró tényezőket látva, összegezve elmondható, hogy az intézkedés hatásának számszerűsítéséhez önmagában nem elegendő az egyszerű előtte-utána vizsgálat. A fentiekben leírtak miatt ugyanis szükséges

- egyrészt a balesetek beavatkozás előtti várható előfordulási gyakoriságának meghatározása (mennyi azon a helyszínen egyébként átlagos balesetszám?),
- másrészt a balesetek beavatkozás utáni várható előfordulási gyakoriságának beavatkozás nélküli állapotban történő számítása (mi lenne, ha nem épülne meg?).

### 3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A fentiekben már említett egyszerű előtte-utána vizsgálaton túlmenően többféle vizsgálati módszer létezik (Hauer, 1997; FHWA, 2010; AASHTO, 2010), amelyek közül a továbbiakban a kontrollcsoportos vizsgálatról és a Bayes módszerrel foglalkozom.

#### 3.1. Kontrollcsoportos vizsgálat

A kontrollcsoportos vizsgálat célja, hogy a beavatkozás helyszíneire modellezni tudjuk a beavatkozás nélkül egyébként bekövetkező változásokat. A kontrollcsoportos vizsgálat során azt feltételezzük, hogy a kontrollcsoportban történt változások jól leképezik a beavatkozási helyszíneken a beavatkozás nélküli változást. A kontrollcsoport összeál-

lításánál számos követelményt kell teljesíteni. Ezek az alábbiak:

- A kontrollcsoportba olyan helyszíneket kell választanunk, amelyek esetében nem történt közlekedésbiztonsági – és természetesen a vizsgálati időszakban más egyéb – beavatkozás.
- A kontrollhelyszínek hasonlóak a beavatkozással érintett helyszínekhez a forgalom nagyság és forgalmi rend tekintetében. A forgalom nagyság és a balesetek gyakorisága közötti szoros összefüggés miatt figyelni kell továbbá a forgalom nagyságban bekövetkezett változások hasonlóságára is.
- A kontrollhelyszínek baleseti gyakoriságainak az intézkedést megelőző állapotban hasonló trendet kell mutatniuk a beavatkozás helyszíneivel, különben a módszer nem képes korrigálni az átlaghoz való visszatérést. Azért csak az előtte állapottal lehet/kell foglalkozni, mert a beavatkozási helyszínek beavatkozás nélküli baleseti gyakoriságai az utána állapotban nem ismertek, hiszen a beavatkozás megtörtént. Erre vonatkozóan Hauer (1997) javasol egy vizsgálati módszert, amelynek ismertetésére a későbbiekben visszatérek.
- A beavatkozási helyszíneken tett intézkedés nem lehet hatással a kontrollcsoport helyszíneire. Erre különösen figyelni kell olyan esetekben, amikor szomszédos szakaszokat, csomópontokat választunk a kontrollcsoportba. Bizonyos intézkedések esetében ugyanis úgynevezett továbbgyűrűző hatásra (spill-over effect) lehet számítani. Ilyen eset pl. amikor a sebességmérő vagy a jelzőlámpa tilos jelzésének figyelmen kívül hagyását „figyelő” kamerák hatásának elemzésekor a vizsgálati helyszínt közvetlenül követő, vagy megelőző szakaszt/csomópontot a kontrollcsoport részének választjuk.
- A beavatkozás helyszínein és a kontrollcsoportban az előtte és utána állapotban is azonos időtartamot kell vizsgálni.
- Megfelelő elemszámú minta összeállítása szükséges olyan helyszínekből, ahol a baleseti gyakoriságok is kellően nagyok. E kérdésekkel részletesen foglalkozik például az FHWA (2010).

A baleseti statisztikák tekintetében a kontrollcsoport megfelelőségének vizsgálatára Hauer (1997) által javasolt módszer alkalmazható. A vizsgálat során a beavatkozási helyszínek és a kontrollcsoport baleseti idősorait hasonlítjuk össze a beavatkozás előtti időszakra. A kontrollcsoport baleseti gyakoriságainak időbeli alakulása hasonló kell, hogy legyen a beavatkozási helyszínekéhez. Ez grafikus szemrevételezéssel, valamint matematikai módszerrel, az esélyhányadosok számításával tehető meg. Az esélyhányadosokat a beavatkozás



előtti időszakban évparonként kell számítani az (1) képlet szerint, amely értékekből a teljes időszakra vonatkozó átlag és szórás is megadható.

$$OR = \frac{(N_{B,i} \cdot N_{K,i+1}) / (N_{B,i+1} \cdot N_{K,i})}{1 + \frac{1}{N_{B,i+1}} + \frac{1}{N_{K,i}}} \quad (1)$$

ahol:

OR – esélyhányados (Odds Ratio)

$N_{B,i}$  – az „i” évben a beavatkozási helyszíneken mért baleseti gyakoriság,

$N_{B,i+1}$  – az „i+1” évben a beavatkozási helyszíneken mért baleseti gyakoriság,

$N_{K,i}$  – az „i” évben a kontrollcsoportban mért baleseti gyakoriság,

$N_{K,i+1}$  – a „i+1” évben a kontrollcsoportban mért baleseti gyakoriság.

Amennyiben a számított esélyhányadosok átlaga 1-hez közeli érték, a konfidencia intervallum tartalmazza az 1-es értéket, úgy a kiválasztott kontrollcsoport megfelelőnek tekinthető.

A továbbiakban a kontrollcsoport segítségével kiszámoljuk a baleseti gyakoriságok beavatkozás előtti és utáni időszakban bekövetkezett arányát. A beavatkozás helyszínein mért baleseti gyakoriságot ezzel az arányszámmal szorozva megkapjuk a várható balesetszámot a beavatkozással érintett helyszíneken a beavatkozás nélküli állapotra. Ezzel mondjuk meg, hogy mi történt volna a beavatkozási helyszíneken az intézkedés nélkül. Ezt követően ezt a várható értéket hasonlítjuk a beavatkozás helyszínein az utána időszakban mért baleseti gyakorisághoz, meghatározva így a beavatkozás biztonsági hatását. Az alábbiakban e folyamat lépéseit/képleteit részletesen ismertetem.

Első lépésben tehát a beavatkozási helyszíneken az utána időszakra vonatkoztatott, beavatkozás nélkül várható baleseti gyakoriság számítása szükséges a (2) képlet szerint.

$$N_{\text{várható},B,U} = N_{\text{mért},B,E} \cdot \frac{N_{\text{mért},K,U}}{N_{\text{mért},K,E}} \quad (2)$$

ahol:

$N_{\text{várható},B,U}$  – a beavatkozási helyszíneken az utána állapotban, a beavatkozás nélkül várható baleseti gyakoriság,

$N_{\text{mért},B,E}$  – a vizsgálati csoportban az előtte állapotban mért baleseti gyakoriság,

$N_{\text{mért},K,U}$  – a kontrollcsoportban az utána állapotban mért baleseti gyakoriság,

$N_{\text{mért},K,E}$  – a kontrollcsoportban az előtte állapotban mért baleseti gyakoriság.

A beavatkozás nélküli várható baleseti gyakoriság varianciája a (3) képlet szerint.

$$\text{Var}(N_{\text{várható},B,U}) = (N_{\text{várható},B,U})^2 \cdot \left( \frac{1}{N_{\text{mért},B,E}} + \frac{1}{N_{\text{mért},K,E}} + \frac{1}{N_{\text{mért},K,U}} \right) \quad (3)$$

A beavatkozás tényleges hatása a varianciát is figyelembe véve a (4) képlet szerint.

$$H = \frac{\frac{N_{\text{mért},B,U}}{N_{\text{várható},B,U}}}{1 + \frac{\text{Var}(N_{\text{várható},B,U})}{(N_{\text{várható},B,U})^2}} \quad (4)$$

ahol:

H – tényleges hatás

$N_{\text{mért},B,U}$  – a vizsgálati csoportban az utána állapotban mért baleseti gyakoriság

Fontos szempont, hogy a hatás akkor tekinthető relevánsnak, ha mind az átlagos értéket, mind a konfidencia intervallumot meghatároztuk. Ezért az utolsó lépésben a beavatkozás tényleges hatásának varianciáját határozzuk meg az (5) képlet szerint, amelynek segítségével számolható a tényleges hatás konfidencia intervalluma.

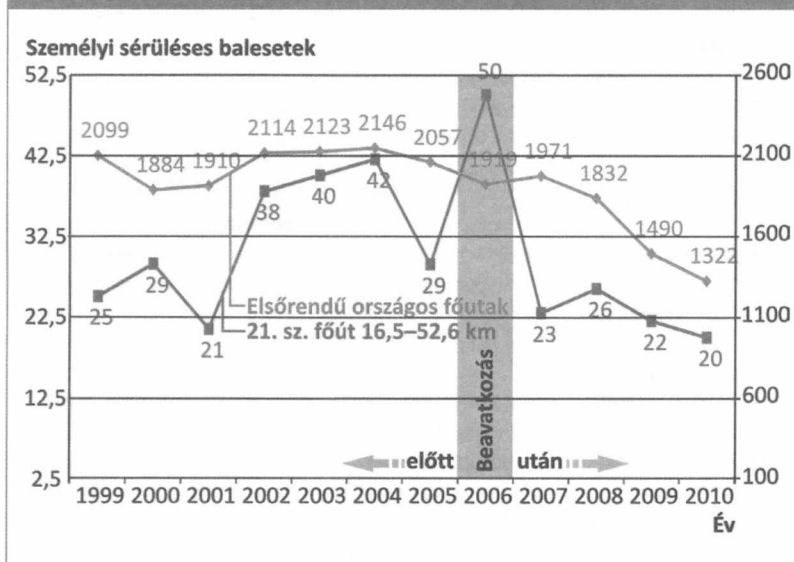
$$\text{Var}(H) = \frac{H^2 \cdot \left( \frac{1}{N_{\text{mért},B,U}} + \frac{\text{Var}(N_{\text{várható},B,U})}{(N_{\text{várható},B,U})^2} \right)}{\left( 1 + \frac{\text{Var}(N_{\text{várható},B,U})}{(N_{\text{várható},B,U})^2} \right)^2} \quad (5)$$

A konfidencia intervallum meghatározására azért van szükség, hogy megállapíthassuk, vajon számításaink szerint a beavatkozás tényleges hatása a megadott megbízhatósági szinten szignifikáns-e vagy sem. Amennyiben a konfidencia intervallum magába foglalja az 1-es értéket, úgy a vizsgált megbízhatósági szint mellett a hatás nem tekinthető szignifikánsnak.

A fenti eljárás gyakorlati alkalmazását a 21. számú főútra mutatom be. A főút 16,5 és 52,6 km szelvények közötti szakaszán 2006-ban négy helyen 2x2 sávcsomópont nélküli előzési szakaszokat, egy helyen kb. 5 km hosszón 3-ágú csomópontokkal 2x2 sávcsomópont alakítottak ki fizikai elválasztással. A főút ezen szakaszain 2008-ban 110 km/h emelt sebességet vezettek be. A KKK által 2011 áprilisában, Sopronban szervezett „Közúti Sebesség-szabályozási Napok”-on Dobos (2011) ismertette az emelt sebesség bevezetésének hatását.

Előtte állapotnak tekinthetjük az 1999 és 2005 közötti időszakot, utána állapotnak a 2007 és 2010 közötti időszakot. A 2006-os évet a beavatkozás éveként (nemcsak kiugró baleseti értékei miatt) nem vehetjük figyelembe (3. ábra). Az emelt sebesség 2008-ban történő bevezetése időben eltér a

3. ábra: Baleseti adatsorok a 21. sz. főúton és az elsőrendű országos főúton



fizikai átalakítástól, az előtte-utána időszakok ezen évhez történő igazítása félvezető lehet. Ebből kifolyólag sokkal inkább a fizikai átalakítás, mintsem az emelt sebesség bevezetésének hatásvizsgálatáról beszélhetünk. E tekintetben az emelt sebesség bevezetése, mint utólagos intézkedés, a kontrollcsoportos vizsgálat szabályrendszerében zavaró tényezőnek tekinthető.

Elsőként a kontrollcsoport – jelen esetben az elsőrendű országos főutak – jószágát kell ellenőriznünk. Az 1999 és 2005 közötti időszakra az esélyhányadosok átlaga 0,98, konfidencia intervalluma 0,39 és

1,58. Az átlag szempontjából a választott kontrollcsoport megfelelőnek mondható, a konfidencia intervalluma viszont meglehetősen tág. Ennek oka részben, hogy csak egy beavatkozási helyszín szerepel a mintában, amelynek idősorában nagy az ingadozás. A vizsgálat során érdemes tehát az adott beavatkozásból is egy több helyszínből álló mintát összeállítani. Ezért is érdemes a kontrollcsoportos vizsgálatot olyan esetekben alkalmazni, amikor azonos intézkedés több helyszínen történő alkalmazásáról van szó.

A további részletes számítás eredményeit foglalja össze az 1. táblázat. A vizsgált helyszínen 29%-kal csökkent a balesetszám. Könnyen kivehető ugyanakkor, hogy a vizsgált években a kontrollcsoportban egyébként is csökkent a baleseti gyakoriság közel 19%-kal (ehhez el kell fogadnunk azt a feltevést, hogy a kontrollcsoportban nem történt beavatkozás). A tényleges hatás értéke a számítás eredményeként 15%-ra adódik, vagyis ekkora javulás tulajdonítható kizárólag a beavatkozásnak. A konfidencia intervallumot vizsgálva látszik továbbá, hogy az magába foglalja az 1-et, így a hatás 95%-os megbízhatósági szint mellett statisztikai értelemben nem tekinthető szignifikánsnak.

1. táblázat: Kontrollcsoportos vizsgálat eredményei

	21. sz. főút	Kontrollcsoport
Balesetek száma előtte (1 évre)	32,00	2048
Balesetek száma utána (1 évre)	22,75	1654
Változás mértéke	0,71	0,81
Beavatkozás nélkül	25,85 (32×0,81)	
Variancia (beavatkozás nélkül)	21,60	
Tényleges hatás	0,85 15%-os csökkenés	
Variancia (tényleges hatás)	0,052	
Szórás (tényleges hatás)	0,228	
Konfidencia intervallum (tényleges hatás)	0,41; 1,30	

A kontrollcsoportos vizsgálat alternatívájaként szignifikancia vizsgálatokkal is lehet dolgozni annak megállapítására, hogy az intézkedést követő változás valamely kontrollcsoporthoz képest szignifikánsnak tekinthető-e vagy sem. Különböző intézkedések nagyobb elemszámú  $\chi^2$  szignifikancia vizsgálatának eredményeit a szerző a korábbiakban publikálta (Borsos, 2011).

A szignifikancia próba két hipotézisen alapul. Ezeket a hipotéziseket nulla hipotézisnek, illetve alternatív hipotézisnek nevezzük. A próbának az a feladata, hogy döntést hozzon valamelyik hipotézis mellett:

$H_0$ : a két változó független egymástól, vagyis a vizsgált úton a változás nem tér el a kontrollszakaszon tapasztalt változástól

$H_1$ : a két változó nem független egymástól, vagyis a vizsgált úton a változás eltér a kontrollszakaszon tapasztalt változástól

A számítás a (6) egyenlet szerint történik:

$$\chi^2 = \frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*} + \frac{(f_j - f_j^*)^2}{f_j^*} \quad (6)$$

$f_i^*$  – empirikus (mért) gyakoriság

$f_i$  – elméleti független eloszlás gyakorisága

A khi-négyzet statisztika értékét össze kell vetni az elméleti (táblázatbeli) khi-négyzet eloszlás megfelelő értékével. Egy  $2 \times 2$ -es keresztábra esetében a szabadságfok=1, a szabadságfok=(keresztábra sorainak száma-1)×(keresztábra oszlopainak száma-1), valamint 95%-os megbízhatóság, azaz 5%-os tévedési valószínűség mellett ez az elméleti érték 3,841. Ha a statisztika értéke 3,841 alatt van, akkor nincs okunk elvetni a nulla hipotézist, vagyis a két változó független egymástól, a változás nem mondható szignifikánsnak. Amennyiben 3,841 – vagy e fölötti az érték – elvetjük a null hipotézist, a vál-

tozás szignifikáns, vagyis a vizsgált úton a változás eltér a kontrollcsoportban tapasztalt változástól.

A 2. táblázatban a 21. sz. főútra vonatkozó számítás látható, ahol a kivastagított kerettel jelölt értékek összegeként kapott  $\chi^2$  értéke 0,213. Ez az eredmény is arra utal, hogy a vizsgált szakaszon bekövetkezett változás az elsőrendű országos főutak csoportjában bekövetkezett változáshoz képest nem tekinthető szignifikánsnak.

### 3.2. Empirikus Bayes-módszer

Az empirikus Bayes-módszerrel még pontosabban számítható a beavatkozási helyszíneken a beavatkozás nélkül egyébként várható baleseti gyakoriság ( $N_{\text{várható,B,U}}$ ) oly módon, hogy a beavatkozás helyszíneire az előtte állapotra is megadunk egy várható baleseti gyakoriságot ( $N_{\text{várható,B,E}}$ ). (A kontrollcsoportos vizsgálat esetében azt feltételeztük, hogy a kontrollcsoport jól leképezi az előtte állapotot, így ennek számításával nem foglalkoztunk.) E módszer a beavatkozás előtti állapotban várható baleseti gyakoriság számításával az átlaghoz való visszatérés hatását jobban figyelembe tudja venni.

Az előtte állapotban mért balesetszám korrekciója a beavatkozás helyszíneire rendelt referenciacsoportok felállításával oldható meg a (7) egyenlet szerint.

$$N_{\text{várható,B,E}} = \alpha \cdot N_{\text{becsült,R,E}} + (1 - \alpha) \cdot N_{\text{mért}} \quad (7)$$

ahol:

$N_{\text{várható,B,E}}$  – a beavatkozás helyszínein várható (korrigált) baleseti gyakoriság

$N_{\text{mért,B,E}}$  – a beavatkozás helyszínein mért baleseti gyakoriság

2. táblázat: A khi-négyzet szignifikancia vizsgálat eredményei

	előtte mért $f_i$	utána mért $f_j$	összesen	előtte elméleti $f_i$	utána elméleti $f_j$	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$	$\frac{(f_j - f_j^*)^2}{f_j^*}$	$\chi^2$
21. sz. főút	32,00	22,75	54,75	30,31	24,44	0,094	0,116	0,213
kontrollcsoport	2048,00	1654,00	3702,00	2049,69	1652,31	0,001	0,002	
összesen	2080,00	1676,75	3756,75	2080,00	1676,75			

$N_{\text{becsült,R,E}}$  – a beavatkozás helyszíneire egy referencia csoport alapján becsült baleseti gyakoriság (mennyi lenne az átlagos?)

$\alpha$  – szorzótényező, amelyet a (8) egyenlet szerint számítunk

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{\text{VAR}(N_{\text{becsült,R,E}})}{E(N_{\text{becsült,R,E}})}} \quad (8)$$

ahol:

$\text{VAR}(N_{\text{becsült,R,E}})$  – a referencia csoport varianciája (szórásnégyzet)

$E(N_{\text{becsült,R,E}})$  – a referencia csoport átlaga

Az  $\alpha$  szorzótényező számításával a referencia csoport „megbízhatóságát” értékeljük. Amennyiben annak varianciája nagy (kevésbé megbízható), úgy kis  $\alpha$  értéket kapunk. Az  $\alpha$  értékét behelyettesítve a referencia csoportot kisebb súllyal vesszük figyelembe, nagyobb súllyal pedig a beavatkozási helyszínen mért baleseti gyakoriságot. Ugyanezen logikával levezethető ennek ellenkezője is.

A baleseti gyakoriság és a forgalomnagyság közötti szoros összefüggés miatt adott beavatkozás biztonsági hatásának mértéke a beavatkozás helyszínének forgalmi adataitól és azok változásától is függ. A nemzetközi gyakorlatban egyre szélesebb körben alkalmazzák az úgynevezett SPF függvényeket (Safety Performance Function). Ezek regressziós egyenletek, amelyek adott útkialakítás mellett a forgalomnagyság függvényében (a modell bővíthető más változókkal is) adják meg az átlagos baleseti gyakoriságot. Ezek szakaszokra (lásd (9) egyenlet) és csomópontokra (lásd (10) egyenlet) is kalibrálhatóak.

$$N_{SPF} = \alpha \cdot L \cdot \hat{ANF}^\beta \quad (9)$$

$$N_{SPF} = \alpha \cdot \hat{ANF}_f^{\beta_1} \cdot \hat{ANF}_m^{\beta_2} \quad (10)$$

ahol:

$N_{SPF}$  – a balesetek előfordulási gyakoriságának adott kialakításra jellemző értéke (baleset/év)

$\hat{ANF}$  – átlagos napi forgalom

$L$  – szakasz hossza

$\hat{ANF}_f$  – a főirány átlagos napi forgalma

$\hat{ANF}_m$  – a mellékirány átlagos napi forgalma

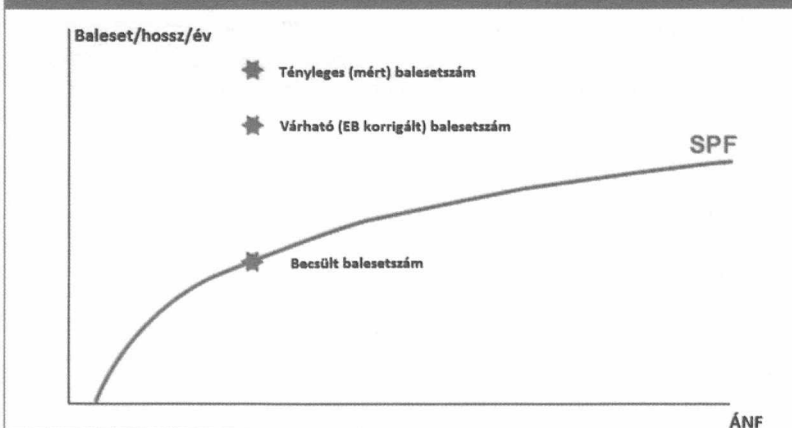
$\alpha, \beta, \beta_1, \beta_2$  – a modell kalibrálása során becsült paraméterek

Az adott forgalomnagysághoz tartozó mért és a fenti regressziós egyenletek során becsült baleseti gyakoriságokból a (7) egyenlet szerinti logika szerint számítható a várható, Empirikus Bayes módszerrel korrigált (EB korrigált) baleseti gyakoriság (4. ábra). A (7) egyenletben felírt súlyok ebben az esetben a függvény kalibrálása során kapott túlszóródás (overdispersion) ismeretében számíthatóak.

Fentiek ismertetését azért is tartom fontosnak, mivel ezek a függvények a legtöbb esetben nemlineáris összefüggést álltanak fel a forgalomnagyság és a baleseti gyakoriság között, a túlszóródás ismeretében pedig információt adnak a becslés jóságáról is. A jelenlegi hazai gyakorlatban a szakaszokra vonatkozóan különböző útkategóriákra úgynevezett relatív sérülési mutatókat alkalmazunk (lásd Közúti Biztonsági Hatásvizsgálat). E relatív mutatók azt feltételezik, hogy az  $\hat{ANF}$  és a balesetek előfordulása között lineáris összefüggés áll fenn, ami nem feltétlenül igaz. Nem tudjuk továbbá

az egyes útkategóriák mintaelemszámát és a kapott mutatók jóságát. Csomópontok esetében ez idáig hazai mutatószámok nem álltak rendelkezésünkre. Előrelépésnek számít, hogy elkészültek az első vizsgálatok a különböző típusú csomópontok fajlagos mutatói tekintetében (3. táblázat), amely esetekben a minta elemszámából és a szórásból lehet következtetni a mutatók megbízhatóságára. Az egyes csomópont típusokra az ágak száma szerint is rendelkezésre

4. ábra: Az átlaghoz való visszatérés korrigálása az empirikus Bayes-módszerrel (FHWA, 2010).





3. táblázat: Csomópontok relatív baleseti mutatói (Hóz Erzsébet (KTI) adatállománya alapján)

Csomópont típus	Elhelyezkedés	Baleset/ 10 <sup>6</sup> jármű	Minta elemszáma	Szórás
Táblás	külterület	0,188	92	0,221
	belterület	0,251	27	0,321
Jelzőlámpa	külterület	0,165	9	0,095
	belterület	0,143	43	0,126
Körforgalom	külterület	0,056	46	0,092
	belterület	0,086	20	0,113

állnak a mutatók, az egyszerűség kedvéért itt öszszevontuk őket.

Visszatérve a 21. sz. főút példájához, a Bayes-módszerrel végzett további részletes számítás eredményeit foglalja össze a 4. táblázat. Bár az elnevezés más, a korábbiakban kontrollcsoportként használt elsőrendű főúthálózat képezi a referenciacsoportot (SPF függvények híján). Az előtte EB korrigált érték számításához az  $\alpha$  értékét 0,25-re vegyük fel, vagyis  $\frac{1}{4}$  súllyal vesszük figyelembe a referencia csoportot és  $\frac{3}{4}$  súllyal a vizsgálati helyszínt. Látható, hogy az EB korrigált előtte érték a mért és referencia érték között helyezkedik el. A számítás további részében  $N_{várható,B,U}$  értékét a (11) egyenletben felírtak szerint a referenciacsoport változásából lehet számítani, varianciáját az alábbiakban megadott (12) egyenlet szerint. A továbbiakban a kontrollcsoportnál használt (4) és (5) egyenletekkel megegyező módon történik a számítás.

$$N_{várható,B,U} = N_{várható,B,E} \cdot \frac{N_{becsült,R,U}}{N_{becsült,R,E}} \quad (11)$$

$$Var(N_{várható,B,U}) = N_{várható,B,U} \cdot \frac{N_{becsült,R,U}}{N_{becsült,R,E}} \cdot (1 - \alpha) \quad (12)$$

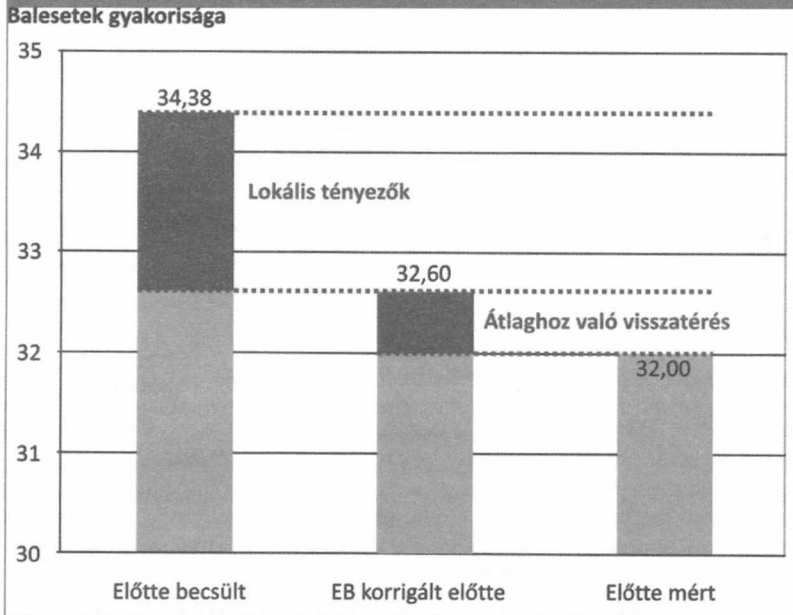
Mivel a referencia csoport baleseti statisztikái az előtte állapotban rosszabbak, mint a 21. sz. főúté, és az EB korrigált érték magasabb a mértnél, így kedvezőbb mutatószámot kapunk a tényleges hatás tekintetében (16%). A konfidencia intervallum itt is magába foglalja az 1-et, így a hatás 95%-os megbízhatósági szint mellett statisztikai értelemben nem tekinthető szignifikánsnak.

Fenti számítások rendkívül hasznosak abból a szempontból, hogy megmondjuk, a változás milyen mértékben tudható be az átlaghoz való viszonyulásnak (lásd 5. ábra), a baleseti trendeknek és a beavatkozásnak (lásd 6. ábra).

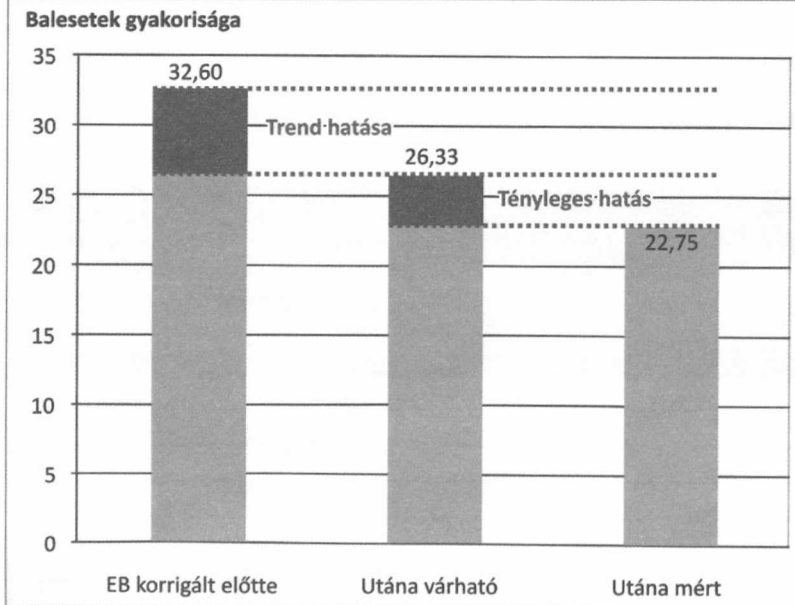
4. táblázat: Az empirikus Bayes-módszer eredményei

	21. sz. főút	Referenciacsoport (szakaszhosszal arányosan)
Balesetek száma előtte (1 év)	32,00	34,38
Balesetek száma utána (1 év)	22,75	27,77
Változás mértéke	0,71	0,81
EB korrigált előtte	32,60	
Beavatkozás nélkül	26,33 (32,60×0,81)	
Variancia (beavatkozás nélkül)	15,95	
Tényleges hatás	0,84 16%-os csökkenés	
Variancia (tényleges hatás)	0,047	
Szórás (tényleges hatás)	0,217	
Konfidencia intervallum (tényleges hatás)	0,42; 1,27	

5. ábra: A mért és referencia értékek közötti eltérések okai



6. ábra: A baleseti trendek és a beavatkozás hatása



A 21 sz. főúton a beavatkozás előtti állapotban évente átlagosan 32 személyi sérüléses baleset történt, míg ugyanez az érték a referencia csoportban 34,38 volt. A Bayes-módszerrel korri-

rálágítok arra, hogy az egyszerű előtte-utána vizsgálatokkal félrevezető eredményekre juthatunk.

gált érték a 21 sz. főútra e két értékből számítva 32,60-ra adódik. Fenti értékek közötti eltérések egyrészt a helyi (és ismeretlen) tényezőknek, másrészt az átlaghoz való visszatérés jelenségének tudhatók be (5. ábra).

Az előtte állapotra korrigált értékkel (32,60 baleset/év) tovább számolva megkapjuk az utána várható baleseti gyakoriságot (26,33 baleset/év). E két szám különbségét nevezzük a trend hatásának, ami a beavatkozás nélkül egyébként is bekövetkezett volna. Az utána várható baleseti értéket hasonlítva a beavatkozás utáni állapotban mért tényleges balesetszámhoz (22,75 baleset/év) kapjuk meg a tényleges hatást.

## 4. ÖSSZEGZÉS

A cikkben átfogó képet kívántam nyújtani a közúti biztonsági intézkedések hatásvizsgálati módszereiről és egy hazai példa kapcsán bemutattam azok alkalmazását. A módszerek adatigényét, erősségeit és gyengeségeit az 5. táblázatban foglaltam össze.

A jelenlegi nemzetközi gyakorlatot és fenti módszereket látva szükségesnek tartom a hazai közúti intézkedések hatásának következetesebb elemzését. A cikkben

5. táblázat: A vizsgálati módszerek összehasonlítása

Szempont	Egyszerű előtte-utána	Kontrollcsoport	Bayes-módszer
Adatigény	Kizárólag a beavatkozási helyszínekről.	Beavatkozással nem érintett helyszínekről is, amelyek jól leképezik a beavatkozási helyszíneket	Beavatkozással nem érintett helyszínekről is, ideális esetben kalibrált SPF függvények segítségével.
Erősség	Egyszerű alkalmazhatóság.	A kontrollcsoport megfelelősége esetén kezelni tudja a baleseti trendeket és a forgalomnagyság változását.	Kezelen tudja az átlaghoz való visszatérést, a baleseti trendeket és a forgalomnagyság változását.
Gyengeség	Nem számol az átlaghoz való visszatéréssel, baleseti trendekkel, a forgalomnagyság változásával.	A megfelelő kontrollcsoport összeállítása körülményes, az átlaghoz való visszatérés kezelése ebből kifolyólag nehézkes.	Alkalmazása komplex, kifinomult alkalmazásához kalibrált SPF függvényekre van szükség.

Fontosnak tartom legalább a különböző útkategóriák esetében, a nemzetközi gyakorlatot követve a balesetszám becslő modellek kalibrálását (SPF függvények), leellenőrizve ezzel, hogy a több éve használt lineáris összefüggést feltételező relatív mutatóink helyénvalóak-e.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Highway Safety Manual, 2010
- [2.] Borsos A.: Közúti infrastrukturális intézkedések biztonsági hatásának modellezése, In: Koren Cs. (főszerkesztő): A közúti infrastruktúra biztonsága, Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2012, pp. 238-282.
- [3.] Borsos A.: Közúti infrastrukturális beavatkozások biztonsági hatásának modellezése és optimalítása, doktori értekezés, Győr, 2010, p. 127.
- [4.] Borsos A.: Közúti intézkedések biztonsági hatásának becslése, Közlekedéstudományi Szemle, LXI. évf. 1., 2011. február, pp. 14-20.
- [5.] Conference of European Directors of Roads (CEDR): Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments, Full report, 2008, p. 130.
- [6.] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) (2010): A guide to developing quality crash modification factors, Report No. FHWA-SA-10-032, p. 72
- [7.] Dobos Cs. (2011): A 21. sz. főút előzési szakaszainak hatása, Közúti Sebességszabályozási Napok, Sopron, 2011. április 13-14.
- [8.] Elvik R. & Vaa T.: The handbook of road safety measures, Amsterdam, Elsevier, p. 1078, 2004, ISBN 0-08-044091-6
- [9.] Hauer, E.: Observational Before-After Studies in Road Safety, Toronto, Pergamon, 1997, p. 306., ISBN 0-08-043053-8
- [10.] Holló P.: Magyarország közúti közlekedésbiztonsági helyzete, In: Koren Cs. (főszerkesztő): A közúti infrastruktúra biztonsága, Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2012, pp. 17-26.
- [11.] Koren Cs. (témafelelős), Makó E., Tóth-Szabó Zs., Borsos A., Hegyi P.: Közúti biztonsági beavatkozások hatékonyságvizsgálati módszerének kidolgozása, Zárójelentés (Megrendelő: Magyar Közút Közhasznú Társaság, munkaszám: 3811.13/2007), Győr, Széchenyi István Egyetem (munkaszám: 92-3106-89), 2007, p. 63.
- [12.] Koren Cs. (témafelelős), Makó E., Tóth-Szabó Zs., Borsos A., Balassa B., Hóz E., Szabó L., Tassonyi Zs., Temesiné T. K.: Negatív biztonsági hatással járó beavatkozások elemzése, Zárójelentés (Megrendelő: Magyar Közút Nonprofit Zrt., munkaszám: 3811.18/2008), Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft. (munkaszám: 711-402), 2009, p. 125.
- [13.] ROSEBUD project: The use of efficiency assessment tools: solutions to barriers, Workpackage 3, 2004, p. 117, <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>



## Methodology questions of the measurement of safety efficiency of road infrastructure intervention

Since 2006, Hungary has been typified by an improving road safety situation. Between 2001 and 2010, the number of road accident fatalities fell by 40%, which is exceptionally reassuring, considering the 44% average of the 27 EU member states, especially because this improvement took place between 2007 and 2010. This success can be attributed to the three main areas of road safety (human, road, vehicle) in varying proportion.

It is a fascinating question for every profession to find out in what measure its own actions aimed at improving road safety have contributed to these propitious developments. In this article, I review the questions of methodology of the measurement of the efficacy of road infrastructure safety intervention, introducing its advantages and disadvantages. I review the application circumstances in detail through a practical example from Hungary, at certain points I refer to current international practice and I also put forward proposals.

## Fragen der Methodologie für die Messung der Auswirkungen der Eingriffe in die Infrastruktur auf die Sicherheit des Straßenverkehrs

Die Sicherheit des Straßenverkehrs in Ungarn verbessert sich seit 2006. Zwischen 2001 und 2010 verminderte sich die Anzahl der tödlich Verletzten um 40%; im Vergleich mit dem Durchschnittswert von 44% der 27 EU-Mitgliedstaaten ist dieses Ergebnis außerordentlich ermutigend, insbesondere, weil diese Verbesserung zwischen den Jahren 2007-2010 stattgefunden ist. Die drei Fachgebiete, die die Straßenverkehrssicherheit wesentlich beeinflussen (Mensch, Strasse, Fahrzeug) beteiligen sich mit verschiedenen Anteilen in diesen vorteilhaften Ergebnissen.

Es kann für alle Fachgebiete eine faszinierende Frage sein, wie hoch ihr realer Beitrag zu diesen guten Ergebnissen war. In diesem Artikel es werden die methodologischen Fragen der Messung der Auswirkungen von den Eingriffen in die Infrastruktur behandelt. Die Verwendungsbedingungen werden anhand eines Beispiels aus der ungarischen Praxis detailliert beschrieben. Es wird in einigen Punkten auf die internationale Praxis hingewiesen und es werden einige Vorschläge formuliert.

## Kérjük olvasóinkat, hogy a személyi jövedelemadójuk 1%-ával támogassák a Közlekedéstudományi Egyesületet

A kedvezményezett adószáma:  
19815709-2-41

A kedvezményezett neve : **Közlekedéstudományi Egyesület**

### Hogyan lehet az 1 százalékról rendelkezni?

A rendelkező nyilatkozat a bevallási nyomtatvány részét képezi, így az a magánszemély, aki adóbevallást vagy egyszerűsített bevallást ad, a nyomtatvány megfelelő lapjának kitöltésével rendelkezhet.



# Közlekedési hálózatfejlesztési döntések egyensúlyi modell környezetben történő leképezése

A közlekedés területén tervezett infrastruktúra-beruházások döntéselőkészítésében fontos szerepe van a költség–haszon elemzéseknek. A módszerek, eljárások alkalmazásának finomítása, új elemekkel történő bővítése folyamatos feladat. A bemutatott módszer alkalmas össztársadalmi szinten a legnagyobb hasznosságnövekedést eredményező közlekedésfejlesztési döntések meghatározására.

**Dr. Török Árpád**  
e-mail: artorok@kgazd.bme.hu

## 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt években a közlekedési infrastruktúra-beruházások értékelésére irányuló gazdasági elemzések módszertani kereteivel kapcsolatban számos szakmai kérdés, kritika merült fel. A problémák megoldása az alkalmazott értékelő elemzések módszertani fejlesztésén, kiterjesztésén keresztül lehetséges. A hagyományosan alkalmazott gazdasági elemzésekben rejlő ellentmondások miatt olyan új módszerek terjedtek el, amelyek **lehetőséget teremtenek az értékelő eljárások konzisztenciájának javítására**. Napjainkban nemzetközi szinten számos olyan pályázati kiírással találkozunk, ahol az egyes beruházások értékeléséhez már elvárják az új módszertani elemek alkalmazását [1], [2].

Az **integrált megközelítés** nem csupán a közlekedési infrastruktúra és a szolgáltatások fejlesztéséhez elengedhetetlen, hanem ahhoz is, hogy a döntéshozatal során a közlekedési kérdések összekapcsolódjanak a környezetvédelemmel, az egészséges környezettel, a területhasználattal tervezésével, a lakáspolitikával, továbbá az elérhetőség és a mobilitás szociális szempontjaival.

A **számszerűsíthető térbeli egyensúlyi modellek módszertana** alkalmas a hazai és a határon átnyúló térségi kapcsolatok gazdasági és közlekedési kapcsolatainak leírására, így az egyes **infrastruktúra-beruházások, közlekedési fejlesztések átfogó értékelésére**, figyelembe véve a gazdasági versenyképesség szempontjait.

Fontos kiemelni, hogy a számszerűsíthető térbeli általános egyensúlyi modellek módszertanára épülő modellek a gyakorlati tervező munkában a jövőben jelentős szerephez juthatnak. Ezt alátámasztja, hogy olyan társadalmi, műszaki és közlekedésszervezési szempontból élenjáró országok, mint Hollandia [RAEM], Norvégia [PINGO] vagy az Amerikai Egyesült Államok [RELU-TRAN] már a gyakorlati közlekedéstervezési folyamat során is alkalmaznak nemzeti szintű interregionális és városi szintű intraregionális számszerűsíthető térbeli általános egyensúlyi modelleket; így a hazai alkalmazás széles körű elterjesztése is időszerű.

## 2. KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRA-BERUHÁZÁSOK GAZDASÁGI ELEMZÉSÉVEL KAPCSOLATOS MÓDSZERTANI AKADÁLYOK

Az alábbi fejezetben röviden összegezve bemutatom azokat a fontosabb tényezőket, amelyek indokolják a közlekedési beruházások értékelésénél a hagyományosan alkalmazott módszertan kereteinek **egyensúlyi modellrendszerrel történő** bővítését. A módszertani keretrendszerrel szemben megfogalmazott kritikai észrevételeket a szakirodalom áttanulmányozásán keresztül határoztam meg [3], [4], [5], [6].

A hagyományos módszerek vizsgálatára fókuszáló tanulmányok közül célszerű külön kiemelni az egyesült királyságbeli Peter Mackie és John Preston szerzőpáros által 1998-ban írt cikket [4], amely bemutatja a közlekedési projektekkel kapcsolatos költség–haszon elemzések vonatkozásában felmerülő ellentmondásokat. A cikk valós projektek bemutatásán keresztül szemlélteti a hibás elemzések-ből levont téves következtetések veszélyeit.

Az irodalomkutatás során tanulmányozott szakcikkek közül ki kell még emelni az ausztrál Henry Ergas 2009-es tanulmányát [5], amely a költség-haszon elemzés módszertanát ért támadások védelmében megvizsgálja a kritikák által megkérdőjelezett metodikai elemeket és azok indokoltságát sorra alátámasztja.

## 2.1. Monetárizálhatóság

A költség-haszon elemzésekkel kapcsolatban felmerülő talán leggyakoribb kérdés, hogy hogyan lehetséges a nem monetárizálható hatások értékelése. Ez a közlekedési beruházások esetében különösen hangsúlyos probléma, hiszen számos, csak nehezen internalizálható hatás kötődik egy-egy beavatkozáshoz (közlekedésbiztonság, területfejlesztő, versenyképesség-, illetve a társadalmi jólétet növelő hatás).

A gyakorlat szerint a közúti infrastruktúra-beruházások esetében alkalmazott költség-haszon elemzések módszertanában úgy monetárizálják a beruházás externális hatásait, hogy adott útkategóriához az externális tényezők költségeit meghatározó forgalomfüggő paramétereket rendelnek (pl. károsanyag-kibocsátás, zajkibocsátás, baleset bekövetkezési valószínűség, átlagos sérültek száma stb.). A fenti megközelítés azzal a kritikával illelhető, hogy a pálya mellett a közlekedési rendszer másik két elemét – az emberi tényezőt, illetve a járművet – csak korlátozott mértékben veszi figyelembe.

A fenti problémát kevésbé hangsúlyosnak értékelhetjük, ha figyelembe vesszük, hogy a költség-haszon elemzéseket leggyakrabban infrastrukturális beruházások értékelésénél alkalmazzuk, tehát túlnyomó részt a pályát érintő fejlesztéseket elemzünk. Célszerű azonban szem előtt tartanunk, hogy pl. a közlekedési balesetek jelentős részében a legnagyobb szerepe éppen az emberi tényezőnek van, tehát egy pályaközpontú értékelési módszertan csupán a beruházások által generált hatások szűk halmazának leképezésére alkalmas.

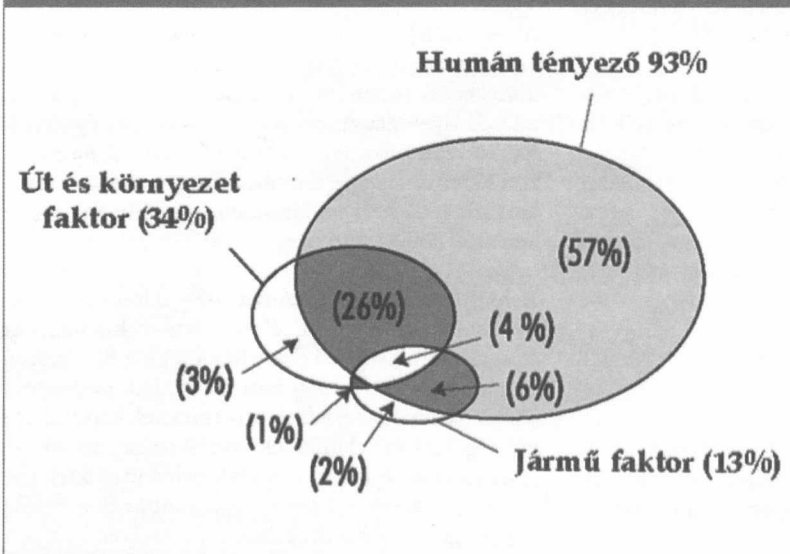
Emellett további érvként szólhat a kritika mellett, hogy a fenti módszertan csak rendkívül korlátozott mértékben alkalmas nem infrastrukturális jellegű fejlesztések értékelésére. Ennek következtében egy nem infrastrukturális projekt esetében másfajta értékelő eljárást kell alkalmaznunk. A hatékony forrásallokáció azonban megköveteli a különböző típusú beruházások és hatékonyságuk összehasonlíthatóságát.

A közlekedési infrastruktúra-beruházások biztonsági értékelése mellett a területfejlesztő és versenyképesség-növelő hatás becslése is komoly kihívásokat jelent a közgazdászok számára. Ennek oka, hogy a közlekedési fejlesztések az érintett térségeket attraktívabbakká teszik a beruházók számára. A megnövekedett attraktivitás hatására megjelenő beruházások következményeként kialakuló termelékenység, illetve munkaerő-keresletnövekedés gazdasági hatása azonban direkt módon csak hozzávetőlegesen számszerűsíthető.

## 2.2. Társadalmi aszimmetriák leképezése

Kritikaként fogalmazzák meg a költség-haszon elemzésekkel szemben, hogy az egyes társadalmi csoportok számára felmerülő költségeket és bevételeket ugyanazon az értéken vesszük figyelembe. Ennek azonban az az oka, hogy a csökkenő határhaszon törvényének értelmében egy magasabb jövedelmi kategóriába sorolható fogyasztói csoport tagjának az egységnyi bevételnövekedés kisebb határhasznosság növekedést eredményez. Nem szabad elfeledkez-

1. ábra: Az emberi tényező szerepe a közúti közlekedési baleseteknél (forrás: Treat et al., 1979)



nünk arról sem, hogy a legkedvezőbb közlekedés-fejlesztési stratégia az össztársadalmi érdekeket tartja elsődlegesen szem előtt. Az össztársadalmi érdekek azonban a költség–haszon elemzés hagyományos módszertani keretei között nehezen választhatók el egyes kitüntetett társadalmi csoportok érdekeitől. A témára vonatkozó szakirodalmi forrásokat értékelő kritikai elemzéseimre támaszkodva, a társadalmi szinten értelmezhető közlekedésfejlesztési döntéseket a következő szempontok mentén célszerű meghozni:

1. A döntés célja maximális társadalmi hasznoságnövekedést eredményező közlekedésfejlesztési intézkedés azonosítása. Ehhez szükséges az adott döntésből (pl. közlekedési infrastruktúra-fejlesztés) következő össztársadalmi hasznoságnövekmény meghatározása, figyelembe véve a fejlesztés okozta különböző hasznokat, illetve költségeket (pl. szegregációs vagy kapcsolatépítő hatás, esztétikai hatás, forgalomnövekedés, balesetek számának változása). A költség–haszon elemzés hagyományos módszertani keretei között a fenti szempont vizsgálatára csak korlátozott mértékben van lehetőségünk.
2. A marginális hasznosság maximalizálás szempontja mellett célszerű figyelembe venni a társadalmi aszimmetriák szűkítésére irányuló megközelítést. Ennek oka, hogy a méltányosság szükségessé teszi a felzárkóztatást [8]. Így pl. célszerű megvizsgálni az egyes közlekedésfejlesztési döntésekből következő kiegyenlítő hatást is, átfogóbb szemléletben, az esélyegyenlőséget illetően pedig a helyváltoztatás térbeli akadályainak leküzdését. A költség–haszon elemzés hagyományos módszertani keretei e szempont vizsgálatára sem nyújtanak kielégítő megoldást.

### 2.3. Hálózati hatás

A költség–haszon elemzésekkel kapcsolatban gyakran említik veszélyforrásként a hálózati hatás figyelmen kívül hagyásából keletkező problémákat. A hálózati hatás akkor jelentkezik, ha több párhuzamosan megvalósuló közlekedésfejlesztési beruházás hatásai egymástól nem függetlenek, tehát nem egyszerűen összeadódnak, hanem szinergiák következtében egymást gyengítik vagy erősítik. Ennek megfelelően a kölcsönhatásban működő fejlesztések nem vizsgálhatóak külön-külön, ezért közös értékelő-elemző keretrendszerben célszerű hatásaikat becsülni [4].

Jó példa a hálózati hatás jelentőségére az egyesült királyságbeli Leeds/Bradford-Skipton-Kendal útvonal infrastruktúra elemeinek vizsgálata (az A65 és az A650 sz. utak). Az említett fejlesztés kapcsán

az Egyesült Királyságban hosszú évekig tartó polémia folyt arról, hogy a kölcsönhatásban működő utakhoz kapcsolódó, tervezett, majd elhalasztott fejlesztések összességében pozitív vagy negatív hatásokat generálnak [9].

### 2.4. A kereslet és a kínálat kölcsönhatása

A közlekedési infrastruktúra-beruházások értékelése során bemenő adatként használják a forgalmi adatokat. A bemenő forgalmi adatokat külső közlekedési modellel állítjuk elő, amely hagyományosan a közlekedési igénymátrixot (honnan-hová mátrixot) használja kiindulási adatként. A fenti soros modell problémája, hogy amennyiben egy új infrastruktúra-elem rendszerbe illesztésének hatását elemezzük, számolnunk kell a fejlesztés igényszerkezetre (jelen esetben a honnan-hová mátrixra) gyakorolt hatásával. A soros felépítésű modellek a rendszerfolyamatok rövid távú változásainak leképezésre alkalmasak (pl. útvonalak közti áterhelődés), azonban a hosszú távon jelentkező igényszerkezet-változásokat (pl. a honnan-hová mátrix közvetlen változásait) nem kezelik.

Ez ellentmondáshoz vezethet, tekintve, hogy a közúthálózat fejlesztése mellett sokszor a legerősebb érv a versenyképesség-növelő hatás. A versenyképesség növekedésétől azonban éppen azt várjuk, hogy adott térségben új beruházások valósuljanak meg, amelyek azonban a jövőben várhatóan több-letforgalmat eredményeznek.

Összefoglalva: a hagyományos közlekedéstervezési megközelítés feltételezi, hogy a térségek közötti mobilitási igény állandó. Ezzel ellentétben, a térségek közötti kapcsolat kapacitáshiánya és telítettsége súlyosan befolyásolja a közlekedési és gazdasági döntéseket. Ezért a konstans közlekedési keresletet feltételező megközelítése nem tekinthető kellően valósághűnek [10].

Jól szemlélteti a fent ismertetett összefüggéseket, hogy Bagwell leírása alapján 1770 és 1830 között Angliában az utazások száma a 15-szörösére nőtt, és a főbb városok közötti eljutási idő a felére csökkent [11]. Ezek alapján joggal feltételezhető kölcsönhatás a gazdaság és a közlekedési hálózat között (a közlekedési idő csökkenése társadalmi-gazdasági igényeket generál, ami helyváltoztatási igények megjelenéséhez vezet). Tehát egy térség közlekedési kapcsolatai jelentős mértékben befolyásolják a mobilitási igényszerkezetet.

A fent említett jelenség rámutat egy másik problémára, ami a gazdasági és közlekedési rendszerhez is

kapcsolódik, ugyanis a közlekedési rendszer döntő hányada köztulajdonban van, így a fejlesztésével kapcsolatos döntések közösségi döntések meghozatalát feltételezik. A közjavak korlátozott természetéből fakadóan nagyon fontos a hatékony forrásallokáció. Ez a probléma magyarázza a modellfejlesztés következő lépését, ami a közösségi döntések támogatását célzó optimalizáló eljárások kidolgozására irányul.

## 2.5. Az idő szerepe az egyéni választásokban

A költség–haszon elemzések során bemenő adatként használt közlekedési adatokat külső közlekedési modellel állítják elő. A közlekedési modellek a rendszerfolyamatok rövid távú változásait (pl. útvonalak közti áterhelődést) az egyes útvonalak eljutási időértékeinek összehasonlításával képezik le. Ezek a modellek az eljutási időt, mint a hasznosságot közvetlenül befolyásoló tényezőt vizsgálják, amely megközelítés megfelel Torsten Hägerstrand, svéd földrajztudós definíciójának [12], miszerint a helyváltoztatási igények kialakulásáért felelős egyéni tevékenységek közlekedési döntéseket indukálnak. Az egyének ezeket a döntéseket a közlekedési folyamathoz kapcsolódó hasznosságváltozás alapján hozzák meg. Eszerint pl. minél messzebb van egy adott tevékenység az utazás kiindulási helyétől, annál kisebb a tevékenységgel elérhető hasznosságnövekedés, míg a helyváltoztatás módjához köthető kényelmi szint a helyváltoztatáshoz kapcsolódó használdozat csökkenését eredményezi. Amennyiben a fenti definíciót összevetjük a hasznosság általános meghatározásával, ellentmondásba ütközünk. A hasznosság általános definíciója szerint ugyanis a hasznosság a dolgok azon tulajdonságát jelenti, amely alkalmassá teszi azokat az egyéni szükségletek kielégítésére. A szükségletek az egyént cselekvésre készítetik, energetizálják a cselekedetet és egyben irányt adnak neki [13].

Tekintve, hogy a közlekedési igényeket elsősorban az váltja ki, hogy a termékek és szolgáltatások előállításának és felhasználásának, illetve fogyasztásának helyei térben elkülönülnek, nem hagyhatjuk figyelmen kívül a közlekedési folyamatnak az eredeti termék vagy szolgáltatás iránti szükséglettől való függőségét [14]. Ezért, szem előtt tartva a helyváltoztatás másodlagos szerepét, levonható a következtetés, miszerint igen ritkán merül fel olyan szükséglet, amelyet a közlekedés önmagában összességét tekintve ki tudna elégíteni. A közlekedési infrastruktúra-beruházások értékelésére irányuló hagyományos módszertan tehát olyan ellentmondást tartalmaz, ami kedvezőtlenül befolyásolja a vizsgálatok konzisztenciáját.

## 3. KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRA-BERUHÁZÁSOK GAZDASÁGI ELEMZÉSÉVEL KAPCSOLATOS MÓDSZERTANI FEJLESZTÉSEK

A térbeli, számszerűsíthető, általános egyensúlyi modellek továbbfejlesztésével a gazdasági elemzés hagyományos módszertanával kapcsolatban megfogalmazott problémák feloldhatók.

A hagyományos elemzések infrastruktúra-közpon-tú módszertanából fakadó problémák az egyensúlyi modellek döntéseméletre épülő megközelítésének alkalmazásával áthidalhatók. Az általam fejlesztett egyensúlyi modellben az egyéni döntéseket feltételes szélsőérték problémaként vettem figyelembe, amelyben a fogyasztók döntéseik során hasznosságukat maximalizálják (célfüggvény), tekintettel a rendelkezésre álló költségvetésükre (korlát). Ezzel a módszerrel az egyes beavatkozások egyéni döntésekre gyakorolt hatása is vizsgálható, hiszen az externális költségeket befolyásoló tényezőket az infrastruktúra-jellemzők mellett a közlekedők egyéni döntései is befolyásolják (monetarizálhatóság problémája).

Amennyiben az egyensúlyi modellekben a fogyasztói döntések feltételes szélsőérték problémaként kerülnek leképezésre, a költségek és hasznok elemzése mellett alkalmasak a relatív fogyasztói hasznosság-változások összehasonlítására is, ami lehetővé teszi a méltányossággal kapcsolatos problémák megoldását.

Az általam fejlesztett modell a kereslet és a kínálat kölcsönhatásaként határozza meg a vizsgált rendszer egyensúlyi pontját, figyelembe véve a teljes közlekedési hálózatot, így a kereslet-kínálati, illetve a hálózati hatás leképezéséből eredő problémák is áthidalhatók.

Az eljutási idő szerepével kapcsolatos ellentmondások feloldhatók, amennyiben a helyváltoztatási igényeket a fogyasztási igényekből vezethetjük le. Ebben az esetben a közlekedést, mint az elsődleges szükségletek kielégítéséhez nélkülözhetetlen másodlagos tényezőt vesszük figyelembe. A fogyasztói döntések feltételes szélsőérték problémaként történő leképezésével az eljutási időt nem a fogyasztói hasznossági függvény, hanem a fogyasztói költségvetési függvény tartalmazza.

## 4. A FEJLESZTETT EGYENSÚLYI EGYENLETRENDSZER

A modell a gazdaságot termelői és fogyasztói szegmensekre osztja. A fogyasztói szegmens fogyasztását aggregált egységtermék reprezentálja. Az ipari



szegmensben „i” típusú terméket  $p_i$  áron állítanak elő, „i” körzetben, vagyis minden körzetben egyedi típusú aggregált terméket állítanak elő. A termelést növekvő skáláhozadék jellemzi. Az ipari szegmens a termeléshez „j” típusú munkaerőforrást használ fel (pl. szellemi és fizikai munkás). Az ipari szegmens célja a profit maximalizálás ( $Pr$  függvény).

A fogyasztói szegmenset a lakosság alkotja. Az „i” körzetben „j” féle társadalmi csoport ( $M_{ij}$ ) reprezentálja a társadalmi rétegződést, ami egyben a helyi lakosság által biztosított munkaerőforrás csoportjait is reprezentálja. Ennek megfelelően azok a lakosok kerülnek egy fogyasztói csoportba, akik ugyanazon körzet ugyanazon társadalmi csoportjába tartoznak. A fogyasztók szükségleteiket (pl. az „i”-edik körzetben termelt „j” társadalmi réteg által a „k”-edik körzetben elfogyasztott terméket:  $X_{ijk}$ ) a munkaerőforrásaik értékesítéséből, vagyis a kapott munkaerő-típusra jellemző munkabérukból ( $w_{ij}$ ) fedezik.

A termelő döntési problémáját az alábbi feltételes szélsőérték problémával írhatjuk le:

– a maximalizálandó célfüggvény minden „i”-edik körzetre:

$$Pr = p_i \cdot \sum_{jk} X_{ijk} - \sum_j M_{ij} \cdot w_{ij} \quad (1)$$

– az erőforráskorlát:

$$\sum_{jk} X_{ijk} = B_i \cdot \prod_j M_{ij}^{\delta_{ij}} \quad (2)$$

A fogyasztói szegmens célja a hasznosság maximalizálás.

A modell kiinduló alapfeltevése szerint a térbeliség jelentős mértékben befolyásolja a fogyasztói döntéseket, ezért a modell a fogyasztói hasznossági függvény ( $U_{jk}$ : a „k”-edik körzet „j”-edik társadalmi rétegének hasznossági függvénye) tényezőinek árát a hozzátartozó helyváltoztatási folyamat költségével növeli.

A fogyasztó döntési problémáját az alábbi feltételes szélsőérték problémával írhatjuk le:

– a maximalizálandó célfüggvény minden „k”-edik körzet minden „j”-edik társadalmi rétegre:

$$U_{jk} = \prod_i X_{ijk}^{\alpha_{ijk}} \quad (3)$$

ahol  $\alpha_{ijk}$ : a hasznossági függvény termékeinek fogyasztási rugalmassága

– a költségvetési korlát minden „k”-edik körzet minden „j”-edik társadalmi rétegre:

$$w_j \cdot M_{jk} = \sum_i (p_i + T_{ik}) \cdot X_{ijk} \quad (4)$$

A fenti feltételes szélsőérték problémák Lagrange módszerrel történő megoldásával a következő egyenletrendszerhez jutunk:

Az erőforrás árak kapcsolatát leíró egyenletek, „k” darab körzet minden „j”-edik társadalmi rétegre (összesen  $j \cdot k$  darab egyenlet):

$$\frac{w_{ik}}{w_{jk}} = \frac{\delta_{ik}}{\delta_{jk}} \cdot \frac{M_{jk}}{M_{ik}} \quad (5)$$

Zéró profit egyenletek „i” darab körzetre („i” darab egyenlet):

$$p_i \cdot \sum_{jk} X_{ijk} = \sum_j M_{ij} \cdot w_{ij} \quad (6)$$

A fogyasztói igények kapcsolatát leíró egyenletek. A „k” darab körzet minden „j”-edik társadalmi rétegének „i”-edik körzetből származó fogyasztása arányosítva az 1. körzetből származó termékek fogyasztott mennyiségével (összesen  $i \cdot j \cdot k$  darab egyenlet):

$$\frac{\alpha_{ijk}}{\alpha_{ijk}} \cdot \frac{X_{ijk}}{X_{1jk}} = \frac{p_1 + T_{1k}}{p_i + T_{ik}} \quad (7)$$

A fogyasztó költségvetési egyenlete minden „k”-edik körzet minden „j”-edik társadalmi rétegre (összesen  $j \cdot k$  darab egyenlet):

$$w_j \cdot M_{jk} = \sum_i (p_i + T_{ik}) \cdot X_{ijk} \quad (8)$$

Az egyenletrendszer tehát összesen ugyanannyi változót és egyenletet tartalmaz (összesen  $i \cdot j \cdot k + 2 \cdot j \cdot k + i$  darab).

## 5. AZ OPTIMALIZÁLÓ MODUL

Az alábbi fejezetben bemutatom az össztársadalmi szintet érintő döntések meghatározását támogató optimalizáló eljárást. A kifejlesztett módszer alkalmas össztársadalmi szinten a lehető legnagyobb hasznosságnövekedést eredményező közlekedésfejlesztési döntések meghatározására.

A kidolgozott optimalizáló eljárás célja, hogy a közlekedésfejlesztési beavatkozások hatásaiból kiindulva a társadalmi jóléti függvény növekedésének maximumát eredményező intézkedéscsomag kerüljön meghatározásra. Ennek megfelelően a helyváltoztatás költségét reprezentáló  $T_{ik}$  mátrix  $t_{ik}$  változását új ismeretlenként vesszük figyelembe a

modellben, így (7) és (8) egyenletek helyett az alábbi egyenleteket kapjuk:

$$\frac{\alpha_{ijk}}{\alpha_{ijk}} \cdot \frac{X_{ijk}}{X_{ijk}} = \frac{p_i + T_{ik} - t_{ik}}{p_i + T_{ik} - t_{ik}} \quad (9)$$

$$w_j \cdot M_{jk} = \sum_i (p_i + T_{ik} - t_{ik}) \cdot X_{ijk} \quad (10)$$

Így a terméktranszfer költségváltozását rendszerváltozónak tekintve  $i \cdot j$  db további ismeretlen jelenik meg az egyenletrendszerben. A továbbiakban tehát  $i \cdot j$  db új egyenletre lesz szükségünk, hogy megoldható maradjon az egyenletrendszer. Egy járulékos optimalizálási probléma bevonásával a kiterjesztett egyenletrendszer megoldható marad.

Ehhez a (9)-edik egyenlet (10)-edikbe történő helyettesítésével meg kell határoznunk a közlekedési költségek függvényében kifejezett egyéni fogyasztói hasznossági függvényeket:

$$X_{ijk} = \frac{w_{kj} \cdot M_{kj}}{(p_i + t_{ik})} \alpha_{ijk} \quad (11)$$

Bár Samuelson korábban már rávilágított arra, hogy a közösségi jóléti függvény becslése nem tudományos feladat [16], jelen esetben mégis célszerű a társadalmi jólét függvény azonosítása, azaz a szigorú feltétellel, hogy csak relatív értelemben alkalmazható a beavatkozások egymáshoz viszonyított változásainak értékelésére. A fenti megfontolások mentén aggregált társadalmi hasznossági függvény a következő formában írható fel:

$$\Pi X_{ijk}^{\alpha_{ijk}} = \Pi \left[ \frac{w_{kj} \cdot M_{kj}}{(p_i + T_{ik} - t_{ik})} \alpha_{ijk} \right]^{\alpha_{ijk}} \quad (12)$$

A célfüggvény korlátját az alábbi társadalmi költségvetési függvénnyel (BDGT) írjuk le, ahol  $c_{ik}$  az  $i$ -k körzet közötti kapcsolat fejlesztéséhez rendelt fajlagos beavatkozási költség:

$$BDGT = \sum t_{ik} \cdot c_{ik} \quad (13)$$

A szélsőérték probléma megoldásával az alábbi ( $i \cdot j$ ) egyenlethez jutunk:

$$\frac{\sum_j \alpha_{ijk}}{(p_i + T_{ik} - t_{ik})} = \frac{\sum_j \alpha_{ijl}}{(p_i + T_{il} - t_{il})} \quad (14)$$

A fent bemutatott modellel lehetővé válik a közlekedési költség, mint belső változó egyensúlyi egyenletrendszerbe történő integrálása, hiszen éppen  $i \cdot j$  db egyenletünk és ismeretlenünk van. Ez lehetővé teszi az optimális fejlesztési beavatkozások meghatározását a közösségi jólét maximalizálása szempontjából [10].

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként elmondható, hogy napjainkban nemzetközi szinten számos olyan beruházás-előkészítő feladattal találkozunk, ahol az egyes beruházások értékeléshez már elvárják az térbeli egyensúlyi egyenletek alkalmazását [1], [2].

A gazdasági elemzésekkel kapcsolatban felmerülő talán leggyakoribb kérdés, hogy hogyan lehetséges a nem monetarizálható hatások értékelése. Ez a közlekedési beruházások esetében különösen hangsúlyos probléma, hiszen számos, csak nehezen internalizálható hatás kötődik egy-egy beavatkozáshoz (pl. közlekedésbiztonság).

Emellett a hagyományos elemzések feltételezik, hogy a térségek közötti mobilitási igény állandó. Ezzel ellentétben, a térségek közötti kapcsolat kapacitásihiánya és telítettsége súlyosan befolyásolja a közlekedési és gazdasági döntéseket. Ezért a konstans közlekedési keresletet feltételező hagyományos soros modellszerkezet nem tekinthető kellően valóságshűnek [8], [17].

A közösségi projektek értékelésére alkalmas döntéstámogató eszközként egyre gyakrabban alkalmazzák Európában a CGE modelleket. Példaként kiemelhetjük „A közös EU-s ÁFA csökkenés kereskedelmi hatásainak elemzése” c. európai uniós közbeszerzési kiírást [1] vagy az Európai Bizottság által kidolgozott „A strukturális reformok hatásait elemző makrogazdasági modell megvalósíthatóságra vonatkozó tanulmány” c. dokumentációt [2].

Használatukkal kiküszöbölhetőek az indirekt (flow-on) hatások figyelmen kívül hagyásának kockázatai. Realisztikusabb képet kapunk a gazdasági kapcsolatokról, beleértve a meglévő termelési és hozzáférhetőségi korlátozásokat is. A különböző eljárások (CGE modell eredményeire épített CBA analízis) ötvözésével az egyes modellek előnyei együtt jelentkeznek [15].

A kifejlesztett modellrendszer alkalmas a hagyományos elemzéssel kapcsolatos problémák áthidalására. Segítségével meghatározható az össztársadalmi hasznosságot leginkább növelő intézkedéscsomag.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] United Nations, 2003.: A set of guidelines for socio-economic cost-benefit analysis of

- transport infrastructure project appraisal. UN, New York and Geneva
- [2] Peter Mackie, John Preston, 1998.: Twenty-one sources of errors and bias in transport project appraisal. *Transport Policy*, 5 (1998) –7, Elsevier Science Ltd., 1998.
- [3] Henry Ergas, 2009.: In Defence of Cost-Benefit Analysis. *A Journal of Policy Analysis and Reform*, Volume 16, Number 3, 2009.
- [4] R.K. TURNER, 2006.: Limitsto CBA in UK and European environmental policy: retrospects & future prospects. CSERGE working paper edm 06-17.
- [5] D. Shinar and J.R. Treat, 1979.: Tri-level Study: Modification Task 3: Validity Assessment of Police-Reported Accident Data, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC (1979).
- [6] Nábrádi, A.: A vidékfejlesztés társadalomtudományi megalapozása. Az agrár innovációtól a társadalmi aszimmetriáig, Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen. 32- 39. 2006.
- [7] [http://www.lopra.org.uk/A65\\_inquiry.htm](http://www.lopra.org.uk/A65_inquiry.htm), letöltve: 2012. május 30.
- [8] Török Árpád, 2010.: A fenntartható városi közlekedés feltételei és a megvalósítás eszköztudománya. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésgazdasági Tanszék.
- [9] Bagwell, P. S.: *The Transportation Revolution from 1770*. New York, Barnes & Noble, 1974. (ISBN: 0649028899).
- [10] Hagerstrand, T.: What about people in regional science? *Regional Science Association Papers* 24, 7–21. 1970.
- [11] Hunyady, Gy., Székely, M.: *A közgazdaságtan pszichológiai vonatkozásai*. Osiris Kiadó, Budapest, 2003. (ISBN: 963-389-310-0).
- [12] Gubbins, E. J.: *Managing Transport Operation*. London, Kogan Page Ltd., 2002. (ISBN: 978-0749439286).
- [13] Walras, L.: *Éléments d'économie politique pure*. 1876.
- [14] Cunningham, W., McLure, M.: *Vilfredo Pareto: critical assessments of leading economists*. New York, Routledge, 1999.
- [15] Bruce Layman, 2004.: CGE Modelling as a Tool for Evaluating Proposals for Project Assistance: A View from Trenches. *Biennial Regional Modelling Workshop*, Melbourne, 2004.
- [16] Samuelson, P. (1954). *The Pure of Theory of Public Expenditure: The Review of Economy and Statistics*. Vol. 36., Nr.4.
- [17] Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft., 2012.: *A közlekedési projektek gazdasági értékeléséhez alkalmazott költség-haszon elemzés módszereinek fejlesztése, különös tekintettel a közlekedésbiztonsági hatások értékelésére*.



## The illustration of road network development decisions in a balance model environment

Over the last few years, a great number of professional queries and criticisms have emerged relating to the methodological framework of economic analyses attempting to evaluate road infrastructure projects. These problems can be solved through the methodological improvement and extension of the applied evaluation analyses. Because of the contradictions found in traditionally applied economic analyses, new methods have been implemented that make possible the improvement of the consistency of evaluation techniques. These days, a great number of invitations to tender can be encountered on an international level where the application of new methodological elements is expected when evaluating individual projects.

## Die Abbildung von Entscheidungen über die Entwicklung des Verkehrsnetzes in einer Umgebung eines Gleichgewichtsmodells

In den vergangenen Jahren es wurden zahlreiche professionelle Fragen und Kritiken hinsichtlich der methodologischen Rahmen der wirtschaftlichen Analyse für die Bewertung von Investitionen in der Verkehrs-Infrastruktur erhoben. Die Lösung der Probleme wird durch die methodologische Weiterentwicklung und Ausbreitung der verwendeten Bewertungen ermöglicht. Wegen Widersprüche in den traditionellen wirtschaftlichen Analysen es haben sich neue Methoden verbreitet, die die Verbesserung der Konsistenz der Bewertungsverfahren ermöglichen. Heutzutage können auf internationale Ebene zahlreiche Ausschreibungen gefunden werden, wo für die Bewertung einzelner Investitionen die Verwendung von den neuen Methoden erfordert wurde.

# Elektronikus fuvar- és raktárbörze helye, szerepe az ellátási láncban

A kutatás fő célja a hiánypótlás révén egy olyan, komplex elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszermodell kifejlesztése, amely a közeli jövőben a szállítási és raktározási szolgáltatási kínálat és kereslet (a szabad szállítási, raktározási kapacitások és a szállítási, raktározási igények) gyűjtőhelye lehet, sokszínű elektronikus kereskedelmi, döntéstámogatási és optimumkeresési lehetőséggel segítve a kínálat és a kereslet összerendelésével megvalósuló szállítási, raktározási folyamatok magas színvonalú szervezését.

**Dr. Kovács Gábor**

e-mail: gabor.kovacs@logisztika.bme.hu

## 1. BEVEZETÉS

Az elektronikus kereskedelem elterjedésével (pl. web shopok, online tenderek és aukciók, elektronikus piacterek) egy időben megjelentek az Interneten a logisztikai szolgáltatók és azok szolgáltatásait igénybe vevők online kapcsolatát biztosítani hivatott börszék. A legkorábbi és egyben a legelterjedtebb az elektronikus fuvarbörze, amelyben szabad szállítási kapacitások és szállítási feladatok jelennek meg. Kevésbé elterjedt az elektronikus raktárbörze, amelyben szabad raktározási kapacitások és raktározási feladatok között lehet keresni az igényeknek megfelelően. A jelenleg ismert és használt elektronikus fuvar- és raktárbörzék nem rendelkeznek kifinomult e-kereskedelmi eszközökkel, belső döntéstámogató és optimalizáló algoritmusokkal, többnyire csupán egyszerű hirdetésként jelenítik meg az ajánlatokat, korlátozott keresési/kiválasztási lehetőséggel. A felhasználás is szűk területre korlátozottan valósul meg. A kutatás egy másik célja annak bizonyítása, hogy az elektronikus fuvar- és raktárbörzék e szolgáltatások terén történő alkalmazása célszerű és komoly lehetőséget nyújthat, továbbá cél a gyakorlatban jól használható, komplex logisztikai folyamatok támogatására képes működési logika és algoritmusok kifejlesztése is.

## 2. AZ EDDIG ELÉRT TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az elektronikus fuvar- és raktárbörze résztvevői a logisztikai szolgáltatók (szállítási és raktározási ka-

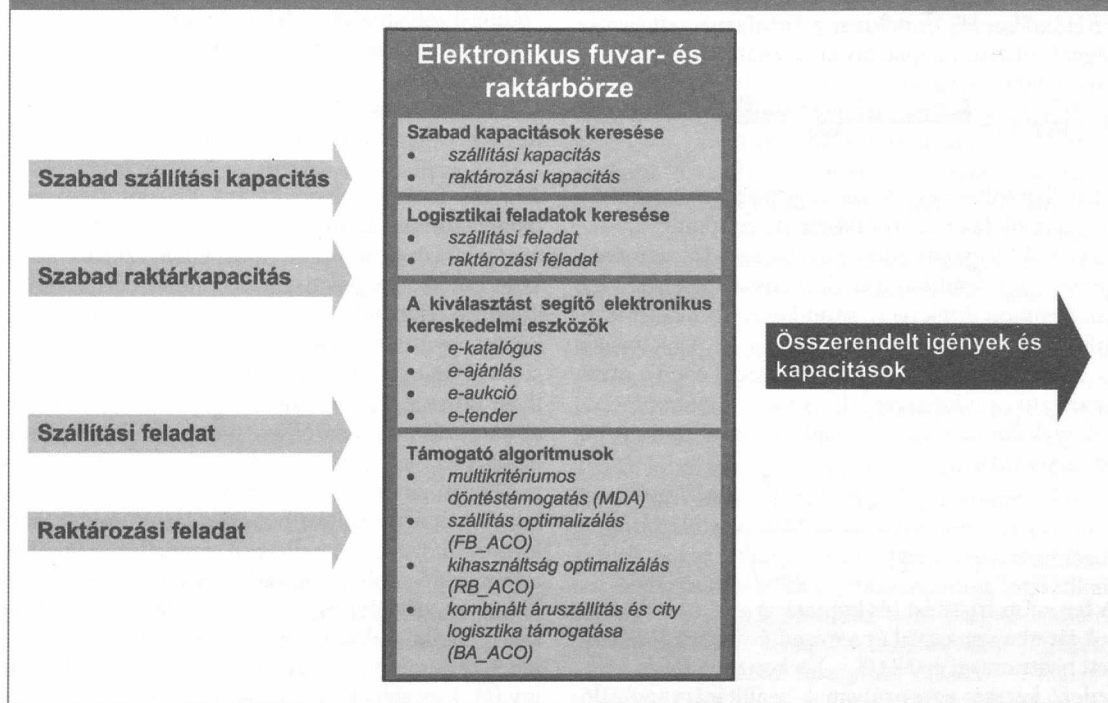
pacitással rendelkezők), a logisztikai szolgáltatókat igénybe vevők, valamint a piactér üzemeltetője. A börze alapvető céljai a kínálati és a keresleti oldal összehangolása, az ajánlatkérési/adási folyamat támogatása korszerű elektronikus kereskedelmi és döntéstámogató eszköztár segítségével, valamint a felhasználók belső folyamatainak optimalizálása. Az 1. ábrán látható a kutatás során tervezett elektronikus fuvar- és raktárbörze egyszerűsített rendszermodellje [11], [16]. A rendszer kettő, struktúrájában egymáshoz hasonló részből áll, az egyik a fuvarbörzét, a másik a raktárbörzét foglalja magába. A rendszer összefogja a logisztikai kínálati oldalt (szállítási-, ill. raktározási kapacitással rendelkezők) és a logisztikai keresleti oldalt (szállítási-, ill. raktározási feladatokat meghirdetők). Az ábra középső részén helyezkedik el a fuvar-, ill. a raktárbörze tulajdonképpeni magja, a szolgáltatásokkal és belső algoritmusokkal [7].

Az elektronikus fuvar- és raktárbörzéken az ajánlatok kiválasztását segítő elektronikus kereskedelmi formák alkalmazása során döntési problémák lépnek fel (a sok lehetséges ajánlat közül a céloknak legmegfelelőbb kiválasztása), amelyek megoldására AHP alapú [18], [19], [21], [22] multikritériumos döntéstámogató algoritmus került kifejlesztésre (MDA), [12], [14], [15], [17].

A megalkotott MDA alapmodelljének magja a szempontrendszer hierarchikus felépítése és a szempontok páros összehasonlításának eredményét tartalmazó mátrix felírása. A szempontok súlyszámait a páros összehasonlítás mátrixból kiindulva numerikus módszerek segítségével lehet meghatározni. Az alternatívák egyes szempontok szerinti relatív értékeinek (a k. alternatíva esetén:



1. ábra: Az elektronikus fuvar- és raktárbörze egyszerűsített rendszermodellje



$R_{ij}^k$ ) és a szempontok ( $w_i$ : főszempontok /1...i...f/;  $w_{ij}$ : főszempontokon belüli alszempontok /1...j...a<sub>i</sub>/) súlyszámainak segítségével kalkulált súlyozott teljesítési érték ( $\hat{E}_k$ ) által az ajánlatok között minősített sorrend állítható fel:

$$\hat{E}_k = \sum_{i=1}^f \left\{ w_i \cdot \sum_{j=1}^{a_i} [w_{ij} \cdot R_{ij}^k] \right\} \Rightarrow \text{MAX!}$$

A közvetlenül nem számszerűsíthető szempontok esetén a súlyszámok generálásánál használtlalt megegyező eljárással lehet az alternatívákhoz relatív értékeket rendelni.

A szubjektív hatásainak elemzésére kifejlesztett érzékenységvizsgálati eljárás a szempontokat négy csoportba sorolja (E-1, E-2, E-3, E-4), és megadja, hogy a minősített sorrend első helyén lévő ajánlat teljesítési értéke miként reagál (meddig a legkedvezőbb) a vizsgált súlyszám módosítására. Ezzel összefüggésben a maximális szenzitivitás vizsgálatra [20] alapozva kidolgozásra került az egyes súlyszámok módosítására bekövetkező teljesítési érték változás maximális százalékos értékének számítására alkalmas formula is. A vizsgált súlyszámok (1...i...v számú), az ezek változásától függő súlyszámok (v+1...j...f számú) és az egyes alternatívák alszempontok szerinti súlyozott értékeinek ( $c_i$ ,  $c_j$ ) segítségével az alábbi összefüggés alapján számít-

ható a k. alternatíva vizsgált súlyszámokra vonatkozó maximális szenzitivitásának értéke:

$$S_k(w) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^v \left\{ c_i - \sum_{j=v+1}^f \left[ \frac{w_j \cdot c_j}{\sum_{j=v+1}^f (w_j)} \right] \right\}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^v \{w_i^2\}}}{\sum_{i=1}^v \{w_i \cdot c_i\} + \sum_{j=v+1}^f \left\{ [1 - \sum_{i=1}^v (w_i)] \cdot \frac{w_j \cdot c_j}{\sum_{j=v+1}^f (w_j)} \right\}}$$

Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék a bennük szereplő szállítási/raktározási feladatokat és kapacitásokat tároló adatbázis gyors áttekinthetősége és keresetősége révén optimumkeresésre adnak lehetőséget. Ehhez a börze dinamizmusa miatt valósidejű adatokra és automatikus foglálási rendszerre van szükség.

A kutatás során kifejlesztettem egy, a metaheurisztikus hangyakolónia algoritmuson [1], [2] alapuló járatszerkesztő eljárást (FB\_ACO), [8], [10]. Az algoritmus a szállítási feladatok halmazából kiválasztja és sorba rendezi azokat (1...i...l számú), amelyekkel a korlátozó feltételek betartása mellett, egy adott szállítási kapacitással, a lehető legnagyobb  $H_i^{\text{kapcs}}$  haszon elérésével lehet egymás után soron következő szállítási feladatokat teljesíteni. A  $H_i^{\text{kapcs}}$  haszon értéke a szállítási költségek (eljutás:  $k^c$ , árutovábbítás:  $k^a$ , visszatérés:  $k^v$ ) és a fuvardíj (FD) figyelembevételével kalkulálható. Megalkottam továbbá az összetett  $\mathbb{H}$  hasznossági érték fogalmát, amely alapértelmezésben az adott

változat (járat) hasznának ( $H_r^{\text{kapcs}}$ ) és az iterációs lépésekben elért legjobb haszonnak ( $H_{\text{max}}^{\text{kapcs}}$ ) a hányadosa. A  $\mathbb{H}$  kiegészíthető további tényezőkkel /  $\mathbb{H} = f(H_1, \dots, H_n, \dots, H_{\text{oh}}) /$ , például a jármű megtett távolsággal súlyozott kapacitás kihasználtságával ( $\eta_{\text{jm}}$ ):

$$\mathbb{H} = \frac{H_r^{\text{kapcs}}}{H_{\text{kapcs}}} \cdot \eta_{\text{jm}} = \frac{\sum_{i=1}^L \{FD_i\} - [\sum_{i=1}^L \{k_i^f\} + \sum_{i=1}^L \{k_i^a\} + k_i^v]}{H_{\text{kapcs}}} \cdot \eta_{\text{jm}} \Rightarrow \text{MAX!}$$

Megállapítottam egy összefüggést az r. és s. szállítási feladatok (az r. után választható feladatok száma: 1...t...s...L) egymás után következési valószínűségének ( $p_{r,s}$ ) számítására. Ezen összefüggésben az ún. feromon érték ( $\varphi_{r,s}$ ), mint keresésből származó információ; és az eljutási távolság ( $d_{r,s}$ ) reciproka (a minél kisebb úthossz elérése érdekében), mint heurisztikus adat szerepelt. Az  $\alpha$  és  $\beta$  paramétereket ezek fontosságának megfelelően állítottam be ( $\alpha=2, \beta=1/3$ ):

$$p_{r,s} = \frac{\varphi_{r,s}^\alpha \cdot \left(\frac{1}{d_{r,s}}\right)^\beta}{\sum_{t=1}^L \left\{ \varphi_{r,t}^\alpha \cdot \left(\frac{1}{d_{r,t}}\right)^\beta \right\}}$$

A feromon frissítést (és koptatást) az r. és s. feladatok járatba vonásával és sorrendjével elért  $\mathbb{H}$  összetett hasznossági érték ( $\mathbb{H}_{\ell(r,s)}$ ), a konzervatív és a felfedező keresés egyensúlyának beállítására szolgáló  $\mathcal{B}$  (javasolt érték:  $\mathcal{B} = 5/36$ ) paraméter, valamint a feromon párolgási együttható ( $\rho=0,1$ ) segítségével lehet elvégezni:

$$\varphi_{r,s} = [\varphi_{r,s} + \mathcal{B} \cdot \varphi_{r,s} \cdot \mathbb{H}_{\ell(r,s)}] \cdot [1 - \rho]$$

Kifejlesztettem továbbá egy, a fenti logikán alapuló, a raktározási szolgáltatók által használható hozzárendelő algoritmus (RB\_ACO), [8]. Ez alkalmas a megadott raktározási feladatok halmazából azok kiválasztására, amelyekkel a korlátozó feltételek betartása mellett a raktározási kapacitáshoz a lehető legnagyobb haszon ( $\mathbb{H}$  az adott megoldásban elért és a legjobb tárolóter kihasználtság hányadosa) mellett lehet raktározási feladatokat hozzárendelni. A feladatválasztási valószínűség számítása során heurisztikus adatként a tárolandó mennyiség kerül beírásra (kevés raktározási feladat jó kihasználtság mellett).

Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék a jelenlegi alkalmazási területeken túlmenően számos olyan logisztikai folyamat támogatására alkalmasak, amelyek esetén napjainkban a résztvevő felek közötti kommunikációs hiányosságok okozzák a legnagyobb problémákat [3]. Így az elektronikus fuvar- és raktárbörzék alkalmasak a gyűjtő-elosztó járatok szervezésére és az egyes szállítási és raktározási kapacitások szolgáltatók közti megosztására,

az eszközpark átcsoportosítására [4], [5]. Alkalmassak a különféle áruszállítási módok csatlakozási pontjain ébredő raktározási és az ide/innen történő szállítási folyamatok hatékony szervezésére (kombinált áruszállítás, városi áruellátás). Így képesek a zöld logisztikai elvek támogatására, főként a közúti járművek számának és a kibocsájtott káros anyag mértékének csökkentése által [9], [13].

A fenti feltevés bizonyítására kialakítottam egy hangyakolónia algoritmust (BA\_ACO), [6]. Ez az áruszállítási csomópontokon elhelyezkedő átrakóterminálokra gyűjti, illetve onnan osztja szét a szállítási feladatokat, amelyek az átrakóközpontok között együttesen, nagy kapacitású és nagy szállítási távolságú járművel továbbíthatóak a teljes szállítási útvonal jelentős hosszán. A célfüggvény ( $H$ ) az összes áruszállítási teljesítmény növekményének minimalizálása ( $Q^{\text{CF}}$ ), az ehhez tartozó összes futásteljesítmény-csökkenés maximalizálása ( $F^{\text{CF}}$ ) a kombinált áruszállítást biztosító jármű minél jobb kihasználása ( $K^{\text{CF}}$ ) mellett. A modellezési logikát a felmerülő többlet logisztikai szolgáltatásigények bizonyos mértékű figyelembe vétele céljából átrakás specifikus időalapú büntetőfüggvénnyel ( $RI^{\text{BF}}$ ) lehet kiegészíteni. Az összetett  $\mathbb{H}$  hasznossági érték így ( $H_{\text{max}}$  az elért legjobb haszon):

$$\mathbb{H} = \frac{H}{H} = \frac{RI^{\text{BF}} \cdot K^{\text{CF}} \cdot \frac{F^{\text{CF}}}{Q^{\text{CF}}}}{H} \Rightarrow \text{MAX!}$$

Az FB\_ACO és RB\_ACO algoritmusokhoz képesi eltérés, hogy a feladatválasztási valószínűségben heurisztikus információként az elszállítandó mennyiség reciproka szerepel (minél nagyobb futás/közúti járműszámcsökkenés elérése érdekében).

### 3. TOVÁBBLÉPÉSI IRÁNYOK

A továbbfejlesztés irányaként elsősorban az új gyakorlati alkalmazási lehetőségek további feltárása (főként a kombinált áruszállításra és/vagy városi áruellátásra vonatkozó mintarendszer megalkotása), részletes kidolgozása, valamint az algoritmusok további finomítása jelölhető meg. Az optimumkeresés terén talán az egyik legtöbbet ígérő fejlesztési irány a gyűjtő/elosztó szállítás és a rendszerszintű optimum feltételeinek és megoldási módszereinek kidolgozása. A hangyakolónia algoritmusok által megoldott feladatokra (gráfban keresés, kapacitáskihasználtság optimalizálás) képezhető például egy általános, többváltozós diszkrét nemlineáris matematikai megfogalmazás.

További kutatási lehetőségek merülhetnek fel az ilyen börzékhez kapcsolódó jogszabályi és pénz-

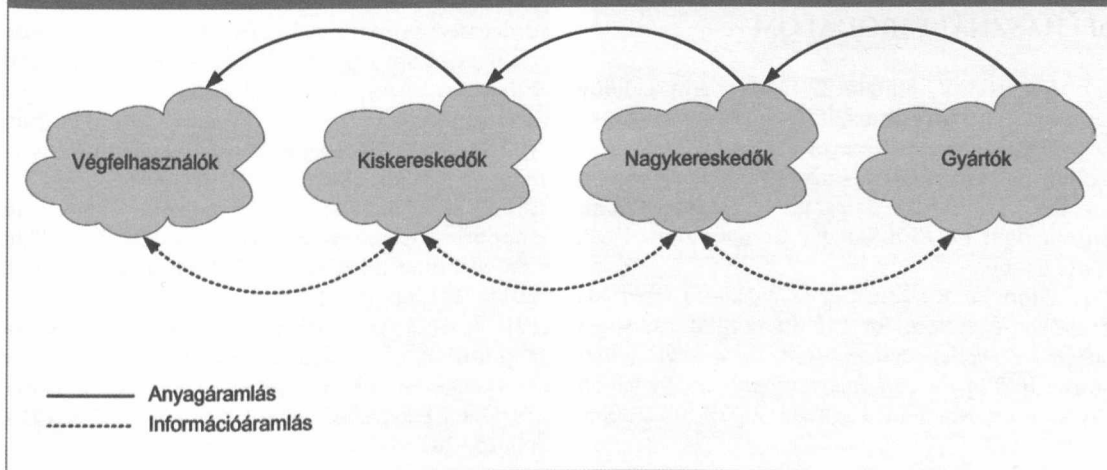
ügyi kérdések terén. Érdekes fejlesztési irányokat vehetnek fel még a közösségi közlekedés területén ismeretes igénybefolyásolás lehetőségei is. Ez utóbbi kettő terület jó példát és lehetőséget ad más szakterületek bevonására az elektronikus fuvar- és raktárbörzékkel kapcsolatos kutatásokba. Különösen fontos fejlesztési irány lehet a logisztikai központok folyamatainak elektronikus fuvar- és raktárbörzékkel történő szervezése, optimalítása.

A fentiekkel összefüggésben ígéretes továbblépési irány lehet például egy adott termék/árucsoport teljes ellátási láncának elektronikus fuvar- és raktárbörzék segítségével történő átalakítása. A hagyományos értelemben vett ellátási láncok esetén a 2. ábrán látható módon az adott terméket gyártó vállalatoktól a nagykereskedőig, onnan a kiskereskedőig, majd a végfelhasználóig valósul meg a fizikai anyagáramlás és az ahhoz szorosan kapcsolódó információáramlás. Ez esetben az egyik legjelentősebb logisztikai feladat a nagykereskedőket terheli, hiszen a gyártóktól beérkezett áruk tárolása és a kapcsolódó szállításszervezés (a gyártóktól beérkező és a kiskereskedőkhöz induló járatok) is sokszor rájuk hárulhat. Ezt a helyzetet nehezíti, hogy a nagykereskedők sok esetben nem rendelkeznek megfelelő tárolási/szállítási kapacitással, és az ezek optimális szervezéséhez szükséges know-how sem áll rendelkezésükre. Sok esetben a nagykereskedők e tevékenységeket maguktól idegennek érzik, ezért kiszervezésük nemcsak hogy szükséges, hanem igény is van rá. Mindemellett számottevő előnyt jelent, hogy a nagykereskedők kiterjedt kapcsolatrendszerrel rendelkeznek a hozzájuk tartozó földrajzi térségben elhelyezkedő kiskereskedők körében. A hagyományos ellátási lánc

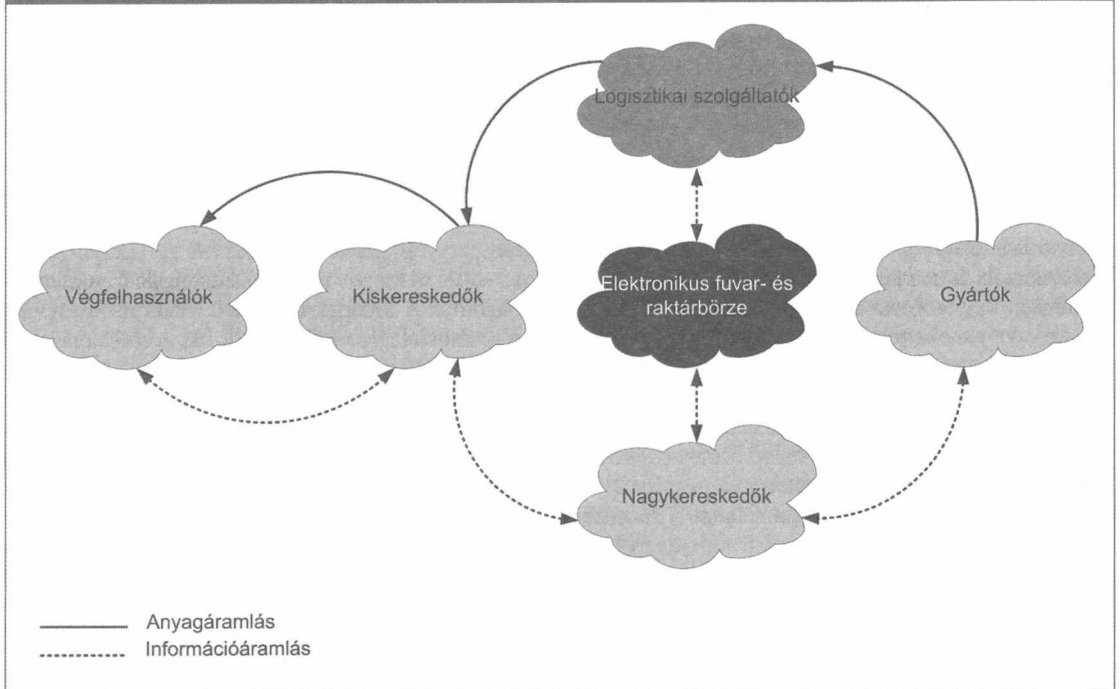
az egyedileg szervezett tárolási és szállítási anyagi, valamint információáramlási folyamatok miatt az adott termék/árucsoport ellátási láncán belül rendszerszinten sem lehet optimálisan „üzemeltethető”.

Az említett komplex probléma miatt összetett megoldásra van szükség, amely röviden a következő sorokban olvasható. Az információáramlási kapcsolatok menedzselésére és a logisztikai folyamatok szervezésére elektronikus fuvar- és raktárbörze használható, a kapcsolódó anyagáramlási folyamatok megvalósítására logisztikai szolgáltatók (fuvarozók, raktározók, szállítmányozók, logisztikai központok) alkalmazhatók. A rendszerben fellépő igényeket leíró információkat kapcsolatrendszerük által a nagykereskedők gyűjtik a hozzájuk tartozó kiskereskedőktől, valamint ők tartják a kapcsolatot a gyártókkal is. A gyártó vállalatok és a kiskereskedők közti anyagáramlás fizikailag nem érinti a nagykereskedőket, azok kizárólag a szakmai kompetenciájukba tartozó ügyfélkapcsolati, értékesítési funkciókat látják el. A tényleges anyagáramlási/tárolási feladatokat az erre szakosodott logisztikai szolgáltatók végzik. Mindez nem megvalósítható egy jól működő, a nagykereskedők által rögzített szállítási/raktározási feladatok, valamint a logisztikai szolgáltatók által biztosított szállítási/raktározási kapacitások kapcsolatát megteremtő elektronikus fuvar- és raktárbörze nélkül. A megfelelő logisztikai szolgáltató kiválasztása, a szállítási/raktározási folyamatok szervezése, optimalizálása a börze feladata. Ebben a megoldásban az ellátási lánc egyes anyagi és információáramlási folyamatai egy közösen kezelt információs rendszer segítségével, az erre szakosodott, kompetens szereplők által valósulnak meg, ezért bátran kijelenthető, hogy a

2. ábra: Hagományos ellátási lánc leegyszerűsített modellje



3. ábra: Elektronikus fuvar- és raktárbörzével kiegészített ellátási lánc leegyszerűsített modellje



lác folyamatának rendszerszintű optimalizálása is lehetővé válik. Az említett megoldás gyakorlatilag minden résztvevő számára egyedileg is előnyös, továbbá a zöld logisztikai elveket elősegítő áruszállítási módok bevonásával nemzetgazdaságilag is kedvező hatások realizálhatóak.

Az ellátási lánc említett érdeklődő szereplőinek (nagykereskedők, logisztikai szolgáltatók, elektronikus fuvar- és raktárbörze) bevonásával a következő fontos mérföldkő egy mintarendszer megalakítása, tesztelése lehetne.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Dorigo M., Stützle T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press, ISBN 0-262-04219-3  
 [2] Dorigo M., Gambardella L. M. (1997). *Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1997, 1, pp. 53–66.  
 [3] Duin J.H.R., Kneyber J.C. (2003). *Towards a matching system for the auction of transport orders. Logistics systems for sustainable cities proceedings of the 3rd International conference on city logistics*, Madeira, Portugal, 25-27 June, 2003, pp. 163.-177.

[4] Kovács G., Grzybowska K. (2012a). *Developing Agile Supply Chains – System Model, Algorithms, Applications*. *Lecture Notes in Computer Science*, 7327/2012, pp. 576-585.  
 [5] Kovács G. (2012b). *Freight and warehouse exchanges: modern logistic information systems*. *Research in Logistics & Production*, Vol. 2, No. 1, pp. 43-54.  
 [6] Kovács G. (2011a). *Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék lehetséges jövőbeli szerepköre a kombinált áruszállítás támogatásában*. *Közlekedéstudományi Szemle*, 2011, 61. évf. 2. sz., pp. 31-38.  
 [7] Kovács G., Grzybowska K. (2011b). *Logistics processes supported by freight and warehouse exchanges*. 6th Scientific Conference Economy and Efficiency - contemporary solutions in logistics and production, 16-18. November 2011, Poznan (In: *Selected logistics problems and solutions*, Poznan, pp. 80-95., ISBN: 9788377750681).  
 [8] Kovács G. (2011c). *The ant colony algorithm supported optimum search in the electronic freight and warehouse exchanges*. *Periodica Polytechnica*, 2011, 39/1, pp. 17-21.  
 [9] Kovács G. (2010a). *Possible methods of application of electronic freight and warehouse exchanges in solving the city logistics problems*. *Periodica Polytechnica*, 38. évfolyam, 1 szám, 2010, pp. 25.-28.



- [10] Kovács G. (2010b). Az elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható optimumkeresési eljárások, algoritmusok. *Logisztikai Évkönyv 2011*, Budapest, 2011, pp. 28-35.
- [11] Kovács G. (2009a). The structure, modules, services and operational process of modern electronic freight and warehouse exchanges. *Periodica Polytechnica*, 37. évfolyam, 1-2 szám, 2009, pp. 33.-38.
- [12] Kovács G., Bóna K. (2009b). Applying a multi-criteria decision methodology in the implementation of tenders for the acquisition of the infrastructure of logistics systems. *Periodica Polytechnica*, 37. évfolyam, 1-2 szám, 2009, pp. 39.-44.
- [13] Kovács G. (2009c). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék által nyújtott lehetőségek a city logisztikai problémák megoldásában. *Logisztikai Évkönyv 2010*, pp. 130.-133.
- [14] Kovács G. (2009d). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék tenderein alkalmazható multikritériumos döntésegítő algoritmus (MDA) kiegészítő moduljai: érzékenységvizsgálat, csoportos döntéshozatal. *Közlekedéstudományi Szemle*, 59. évf., 3. szám, 2009. június, pp. 30.-36.
- [15] Kovács G., Bóna K., Duma L. (2008a). Methodology and managerial lessons of tendering logistics hardwares. *Acta Technica Jaurinesis Series Logistica*. Vol. 1., No. 2., November 2008., pp. 237.-246.
- [16] Kovács G. (2008b). Elektronikus fuvar- és raktárbörzék, mint korszerű logisztikai eszközök. *Logisztikai Évkönyv 2007-08*, pp. 211.-215.
- [17] Kovács G. (2008c). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék tenderei esetén alkalmazható multikritériumos döntésegítő algoritmus. *Közlekedéstudományi Szemle*, 58. évf., 2. szám, 2008. szeptember, pp. 44.-51.
- [18] Markovits-Somogyi R., Bokor Z. (2012). The effect of data structure on the DEA-based efficiency ranking in logistics. *Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences*, 7:1 pp. 123-134.
- [19] Winston, Wayne L. (2003). Operációkutatás I-II. Aula kiadó, Budapest.
- [20] Péter T. (1997). Gépjármű lengőrendszerek felfüggesztés-paramétereinek optimalása. MTA, Kandidátusi értekezés
- [21] Rapcsák T. (2007). Többszemponú döntési problémák. Elektronikus egyetemi oktatási segédanyag, MTA SZTAKI
- [22] Saaty T. L. (1990). The analytic hierarchy process, University of Pittsburgh



## The place and role of electronic freight and warehouse exchange in the supply chain

With the increasingly widespread existence of electronic commerce (e.g. webshops, online tenders and auctions, electronic marketplaces), exchanges offering to connect logistics suppliers and customers interested in their services online have appeared on the Internet. The oldest and most widespread is the electronic transport exchange, displaying available transportation capacities and transportation tasks. The electronic storage exchange, offering searches for available storage capacities and storage tasks according to demand is less widespread. The currently known and used electronic transport and storage exchanges do not possess sophisticated e-commerce tools, internal decision-making or optimisation algorithms; generally, they display their offers as simple advertisements, with limited search/selection options. Their usage is also limited to a narrow field.

## Die Stelle und Rolle der elektronischen Fracht und Lagerbörse in der Versorgungskette

Mit der Verbreitung des elektronischem Handels (z.B. Webshops, Online-Tenders und -Auktionen, elektronische Märkte) erschienen auf dem Internet auch die Börsen, die der Online-Kontaktaufnahme zwischen Logistik-Dienstleistungsgeber und ihren Verbraucher dienen. Die allererste und meist verbreitete elektronische Frachtbörse war es, wo die freien Fuhrkapazitäten und Aufgaben erschienen sind. Die elektronische Lagerbörse, wo man zwischen den zweckmäßigsten von den Lagerkapazitäten und Lagerungsaufgaben suchen kann, ist weniger verbreitet. Die derzeit bekannten Fracht- und Lagerbörsen verfügen noch nicht über ausgefeilte E-commerce-Mitteln, interne Algorithmus für die Förderung der Entscheidung und Optimierung, es werden meistens nur die Angebote mit begrenzten Such- und Auswahlmöglichkeiten als einfache Inserate dargestellt. Ihre Verwendung wird auch nur auf einem begrenzten Gebiet realisiert.

# Villamos vontatójárművek hajtás-dinamikai folyamatainak szimulációja

A kutatás a villamos hajtásrendszerű vasúti járművek dinamikai viszonyainak elemzésével foglalkozik. Ezen munka témája azon tézisek meghatározása, amelyek kapcsolatokat állapítanak meg a fogaskerekeket, a hajtómű- és kerékpár-csapágyazásokat és a kerékpártengelyt jellemző szilárdsági és élettartam-paraméterek, valamint az adott terhelési esetsoportot – a vontatási teljesítmény, a szerelvénytömeg és a pályagerjesztés változtatását – jellemző üzemi körülmények között.

**Dr. Boronkai László**

e-mail: laszlo.boronkai@siemens.com

## 1. BEVEZETÉS

A vasúti közlekedés lebonyolításában egyre nagyobb szerepet kapnak a villamosított vonalak és így a villamos vontatómotorral hajtott mozdonyok, motorvonatok. A legtöbb vasúttársaság célja, hogy a nagy forgalmú vonalait villamosítsa. Ennek oka az, hogy a villamos energia „környezetbarát” előállítására, szállíthatósága és jó, illetve elfogadható hatásfokú felhasználása lehetővé teszi, hogy a vasút megfeleljen napjaink legjellemzőbb közlekedési kihívásának: a növekvő tömegű szerelvényeket egyre nagyobb utazási sebességgel és környezetbarát technológiával kell eljuttatni céljaikba. Környezetvédelmi szempontból és nagy teljesítménykoncentráció képessége miatt ez a fajta hajtásrendszer az uralkodó a városok közösségi közlekedésében, továbbá a kéregvasutaknál és a metróknál. Azokon a vasútvonalakon, ahol a villamosítás nem gazdaságos, de a meneteljesítmények nagysága indokolja, ott dízel-villamos vagy dízel-hidraulikus hajtásrendszerű mozdonyokat, motorvonatokat alkalmaznak.

A jövőben várható, hogy az eddigi járműsebességek és vonattömegek tovább növekednek, amely növekedések által generált műszaki feladat jellemzően üzembiztosan villamos vontatómotoros hajtásrendszerrel oldható meg. Amíg a 90-es évek végén egy nagysebességű vonat tengelyterhelése 17 tonna volt, addig a jövő nagysebességű vonatjai 21-22 tonna tengelyterheléssel készülnek. A maximális menetrendi sebesség 15 éve 330 km/h

volt, addig ma már egyes országokban 380 km/h-val közlekednek a vonatok. Kísérletek folynak a 400 km/h bevezetésére is.

Ahhoz, hogy az új járművek üzembiztosan és gazdaságosan közlekedjenek, szükség van többek között a hajtásrendszer mechanikus elemein fellépő, a pálya-jármű rendszerbeli kölcsönhatásokból adódó, fokozott igénybevételek megismerésére, és ezek vizsgálatára az érintett gépelemek élettartama szempontjából.

## 2. A SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

A vasúti jármű futástechnikájával és hajtásrendszerdinamikájával foglalkozó szakemberek előtt régóta ismert, hogy a jármű fő mozgásfolyamatát parazita mozgások kísérik. A jármű összetett mozgása sztochasztikus folyamatként azonosítható. A kutatások kezdeti szakaszában megpróbálták a sztochasztikus folyamatok egyes jellemzőit becsléssel meghatározni, és ezekből a jármű tengelyhajtásában ébredő kvázistatikus terhelési állapotok statisztikus alakulását levezetni. A fogazati igénybevételek kutatása az 1920-as években indult, a hajtott tengelyek igénybevételeit pedig már a 30-as években elemezték. Ma már a számítógépes modellezés segítségével a tervezés alatt álló járművekről is lehet olyan becslést adni, amely megmutatja, hogy a konstrukciót milyen fő igénybevételek érik „élete” során. Valós, illetve a valódihoz közel álló terhelési állapot birtokában optimalizálható a konstrukció, elkerülhető a túl- vagy alulméretezés, költségtakarékos megoldás születhet. Ugyanakkor belső parametrikus gerjesztések is működnek a járműben. Ilyenek például a fogazati hibák (osztáshiba, irányhiba, profilhiba stb.), vagy a gumielemelek merevségének változásai. Ezeknek a je-

lenségeknek a költségkímélő és gyors kutatása csak számítógéppel támogatott matematikai módszerek segítségével történhet.

### 3. A KUTATÁS CÉLJA

Kutatásom alapvető célja az [1] értekezésbeli tézisek meghatározása volt, amelyek kapcsolatokat állapítanak meg a fogaskerekeket, a csapágyazásokat és a kerékpártengelyt jellemző szilárdsági és élettartam-paraméterek, valamint az adott terhelési esetscsoportot (lásd később) jellemző üzemi körülmények között. Meghatároztam, hogy jelleget tekintve milyen matematikai függvénykapcsolat van az eredmények és független változók között az adott esetscsoporton belül. Figyeltem arra, hogy az általam választott üzemi körülmények hatására nyert eredmények megengedhetőek-e, vagy bizonyos munkapontokat már nem képes üzemszerűen elviselni a vizsgált jármű tengelyhajtásának valamely eleme. Célom a járműdi-

namika és a vasútspecifikus gépelemek méretezési elveinek és elméleteinek összekapcsolása volt, ami a korábbi kutatásokhoz képest új eredményeket szolgáltatott. A jelzett kutatótevékenység rész-eredményeit a [2]...[8] publikációk ismertetik.

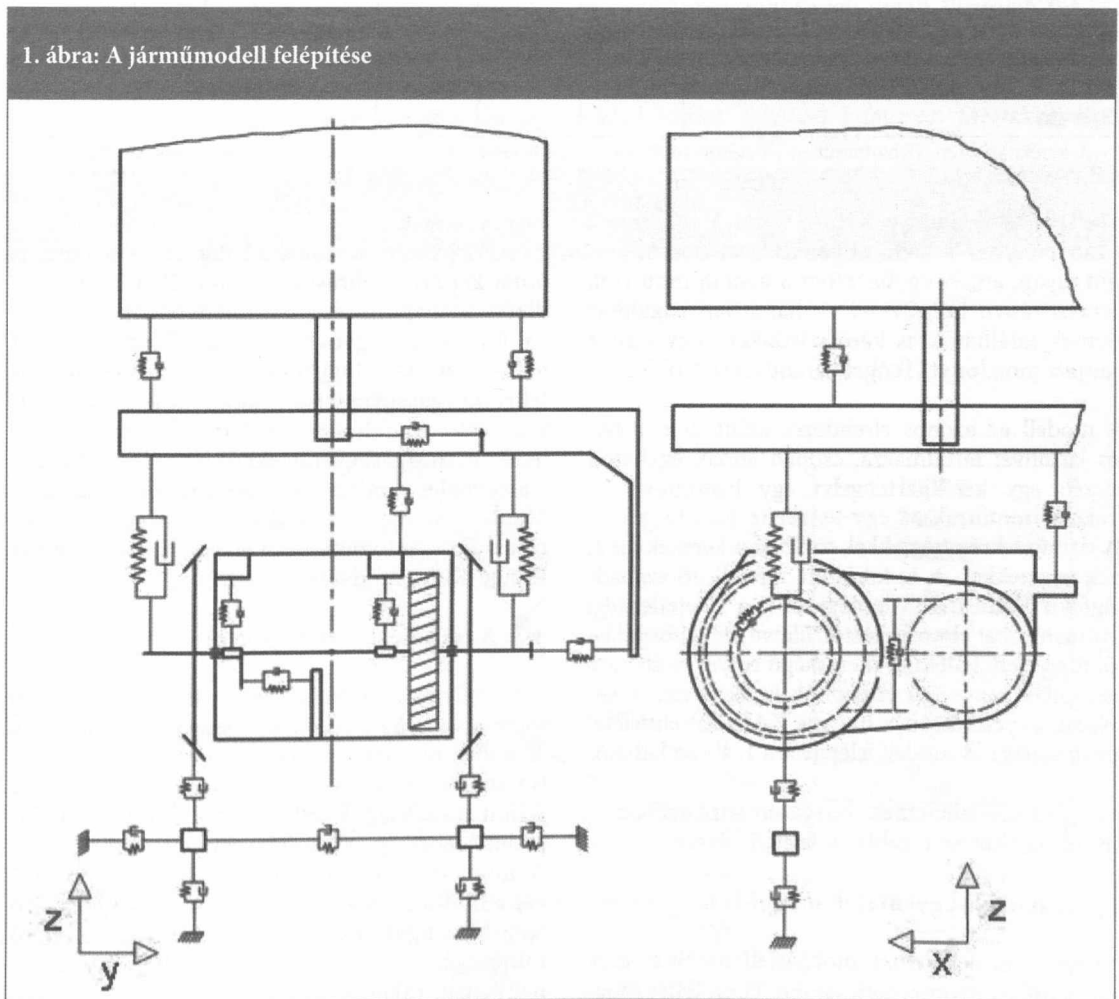
A kutatás fenti célját egészítette ki egy paramé-tervizsgálat, illetve érzékenységi vizsgálat, amely a keresztirányú parazita mozgások hatását tárta fel az adott gépelemek üzemi jellemzőinek szempontjából. A kiválasztott gépelemek analízise mellett további cél volt egy számítási, számítógépi algoritmus felépítése is, ami lehetővé tette a számítások automatizálását, valamint egy parametrikus járműmodell alkalmazását.

### 4. A KUTATÁS MÓDSZEREI

#### 4.1. A vizsgált járműtípus és a modell

A matematikai modell alapja a MÁV V63 (Ganz-MÁVAG VM15) sorozatú hattengelyes, univerzál-

1. ábra: A járműmodell felépítése



1. táblázat: A modellelemek szabad koordinátái

Modellelem	Szabad koordináták					
	x	y	z	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$
Járműszekrény		$Y_s$	$Z_s$	$\varphi_{sx}$		
Forgóváz		$Y_f$	$Z_f$	$\varphi_{fx}$		
Kerékpár	$X_{kp}$	$Y_{kp}$	$Z_{kp}$	$\varphi_{kpx}$	*	$\varphi_{kpz}$
Hajtómű	$X_h$	$Y_h$	$Z_h$	$\varphi_{hx}$	$\varphi_{hy}$	$\varphi_{hz}$
A tengelyhajtás torziós elemei						
Motor armatúra					$\varphi_{ay}$	
Fogaskerék-koszorú					$\varphi_{fky}$	
Fogaskerékagy					$\varphi_{fay}$	
1-es kerék					$\varphi_{1ky}$	
2-es kerék					$\varphi_{2ky}$	
A vasúti pálya						
1-es sín		$Y_{1p}$	$Z_{1p}$			
2-es sín		$Y_{2p}$	$Z_{2p}$			

\* - A kerékpár a tengelyhajtóműben torziósan több részre van bontva az y-tengely mentén. Lásd a tengelyhajtás torziós elemei között.

lis villamos mozdonya, Krupp-forgóvázal. Ennek a mozdonynak a hajtóműve rendszerezésem szerint olyan, amely egybeépített a vontatómotorral, keresztirányú beépítéssel. A hajtásban rugalmas elemek találhatóak és kerékpáronként egy motor hajtja a mozdonyt. Tengelyelrendezése Co'Co'.

A modell az azonos elrendezés miatt nem a teljes járművet tartalmazza, csupán annak egyhatod részét: egy kerékpártengelyt egy hajtóművel és trakciós motorral, az egy tengelyre jutó forgóváz- és járműszekrényrészekkel, továbbá a kerekek alatti pályaelemekkel. A kidolgozott modell 26 szabadságfokú és lineáris. A tömegeket és a tehetlenségi nyomatékokat elmozdulástól, illetve szögelfordulástól függetlenül állandó merevségű rugók és állandó csillapítási tényezőjű csillapítók kötik össze. A kerék-sín kapcsolatban a lineáris KALKER-elméletet alkalmaztam. A modell felépítése a 1. ábrán látható.

Az egyes modellelemek mozgásait leíró szabad koordinátákat az 1. táblázat foglalja össze.

## 4.2. A mozgásegyenletek megoldása

Az egyes modellelemek mozgásjellemzőit a rájuk ható erők és nyomatékok ismeretében felírt moz-

gásegyenletek megoldásával határoztam meg. A mozgásegyenletek elméleti alapját Newton axiómái képezik, felírásuk Newton II. törvényével, illetve a súlypont- és a perdülettétel alkalmazásával történt. Az egyes szabad koordinátákat, mint változókat az időtartományban vizsgáltam. A felírt mozgásegyenletek másodrendű, lineáris, inhomogén, állandó együtthatós differenciálegyenletek. A mozgásegyenletekből összeálló differenciálegyenlet-rendszer numerikus megoldását a Maple – az egyenletrendszer jellegének felismerése után – automatikusan elvégzi a negyedrendű Runge-Kutta módszer szerint.

## 4.3. A terhelési esetcsoportok

A járműveket érő külső hatásoknak két alapvető forrása van. Az első, külső igénybevételi forrás a járművel mindenkor szerves egységet alkotó pálya minősége. A második igénybevételi forrás a jármű mozgásának jellemzőiből adódik: menetciklus, sebesség, gyorsítás, fékezés, terhelés stb. A munkám során olyan terhelési esetcsoportokat állítottam össze, amelyek a tengelyhajtást érő hatásként figyelembe veszik a vasúti pálya eltérő minőségét, a vontatott vasúti szerelvény eltérő nagyságát, valamint azt, hogy a jármű különböző



vontatási teljesítménnyel haladhat. A kivezérelt vontatási teljesítmény a menetdinamika alapvető meghatározója, amelyben az ember is fontos szerepet kap; a különböző szerelvénytömegek pedig a forgalmi igények nagyságát hivatottak tükrözni.

Ennek alapján háromféle terhelési esetcsoportot állítottam fel és vizsgáltam meg:

- állandó pályaminőség (jó) és állandó szerelvénytömeg (1000 t) mellett eltérő kivezérelt vonóerő (100%, 60%, 20%),
- állandó pályaminőség (jó) és állandó kivezérelt vonóerő (100%) mellett eltérő szerelvénytömeg (1000 t, 2000 t, 3000 t)
- változás a pályaminőségben (jó, közepes, rossz minőség) állandó szerelvénytömeg (1000 t) és maximális kivezérelt vonóerő (100%) mellett.

A 2. ábra a felsorolt terhelési esetcsoportokat a vonóerő-sebesség és a menetellenállás-sebesség jellegzőrűk segítségével ábrázolja.

Ezen terhelési, illetve gerjesztési esetekből nyert eredmények megmutatják, hogyan változnak a tengelyhajtásba épített gépészeti elemek igénybevételei, milyen hatásai vannak az egyes körül-

mények megváltozásának ezen elemekre. Minden terhelési esetcsoportot analízise egyenes vonalvezetésű pályaszakasz figyelembevétele mellett történt.

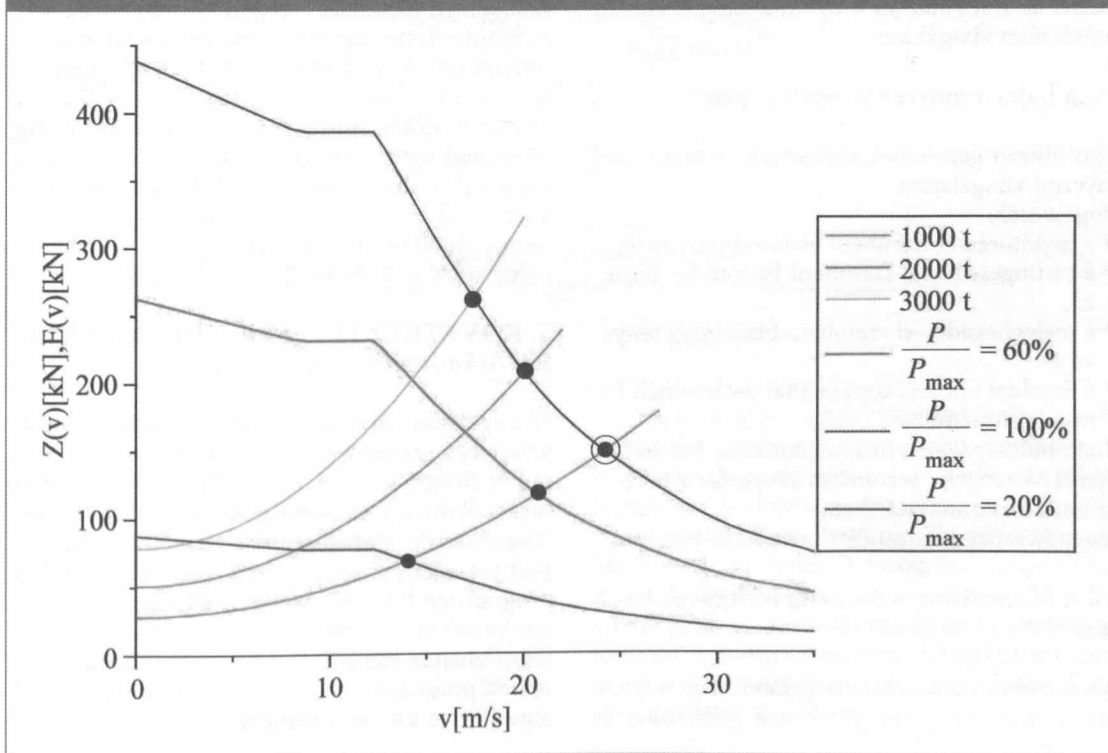
## 4.4. A pályagerjesztés

A pályagerjesztés alatt a pálya geometriai hibáit, egyenetlenségeit értjük, ami külső gerjesztő tényezője a vizsgált modellnek. A pályagerjesztést gyengén stacionárius sztochasztikus folyamatnak tekintjük. A különböző minőségű vasútvonalak eltérő geometriai hibáit matematikai módszerekkel jellemezhetjük. A pályahibák jellemzésére igen jól felhasználható a spektrális sűrűségfüggvény. A vasúti pályán négyféle geometriai hibát szokás értelmezni:

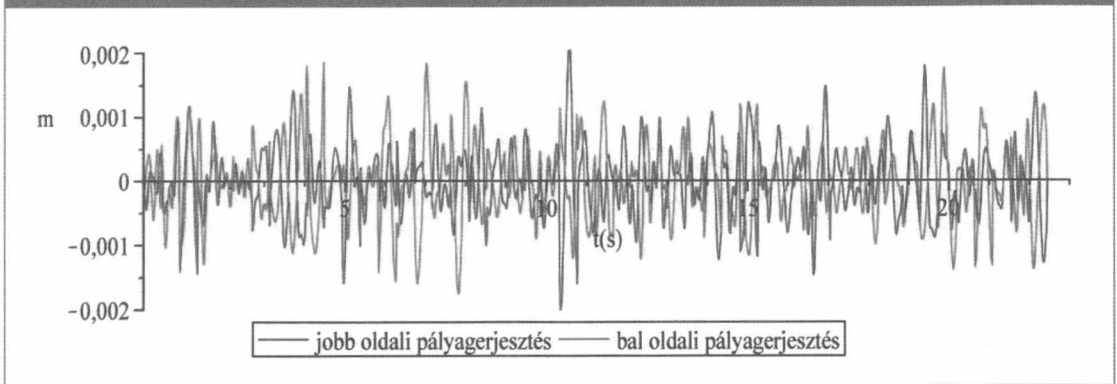
1. süppedés,
2. keresztüspedés,
3. irányhiba,
4. nyomtávhiba.

A süppedés a jobb és bal oldali sínszálak függőleges deformációja; a keresztüspedés pedig a jobb és bal oldali sínszálak függőleges helyzetének különbsége, a pálya járósíkjának az ideális síkkal bezárt szögével kifejezve. Mértékegysége

2. ábra: A vizsgált munkapontok a vonóerő-sebesség és menetellenállás-sebesség mezőn



3. ábra: A sínekről átadódó függőleges pályagerjesztés időfüggvényei



radián. Az irányhiba a két sínszál középvonalának a pálya elméleti középvonalától való eltérését jelenti, hosszirányban tekintve. A nyomtávhiba pedig a két sínszál közötti nyomtávolságnak a névleges értéktől való eltérése. A modell gerjesztéseként alkalmazott függőleges hibát a süppedés és a keresztüppedés összegeként állítottam elő úgy, hogy a különböző minőségű pályákhoz tartozó és az időtartományon generált sztochasztikus hibafüggvényeket a nyomtáv ismeretében előjelesen összeadtam. Így sínszálanként eltérő gerjesztőfüggvényeket kaptam. Egy realizáció időfüggvényét mutatja be a 3. ábra. A jelen vizsgálatba az irányhiba és a nyomtávhiba gerjesztő hatását nem vizsgáltam.

#### 4.5. A hajtásrendszer vizsgált gépelemei

A következő gépelemek élettartam és biztonsági tényezőit vizsgáltam:

- fogaskerék:
  - a fogtöréssel szembeni biztonsági tényező,
  - a pittingesedéssel szembeni biztonsági tényező,
  - a melegheggedéssel szembeni biztonsági tényező és
  - a fogoldal lineáris kopása által determinált futásteljesítmény,
- hajtóműcsapágyak: futásteljesítmény km-ben,
- kerékpártengely: biztonsági tényezők a tengely adott keresztmetszeteiben,
- ágytokcsapágy: futásteljesítmény km-ben.

#### 4.6. A keresztirányú parazita mozgások hatásai

Ebben a témakörben azt vizsgáltam meg, hogyan befolyásolják az egyes gépelemek szilárdsági és

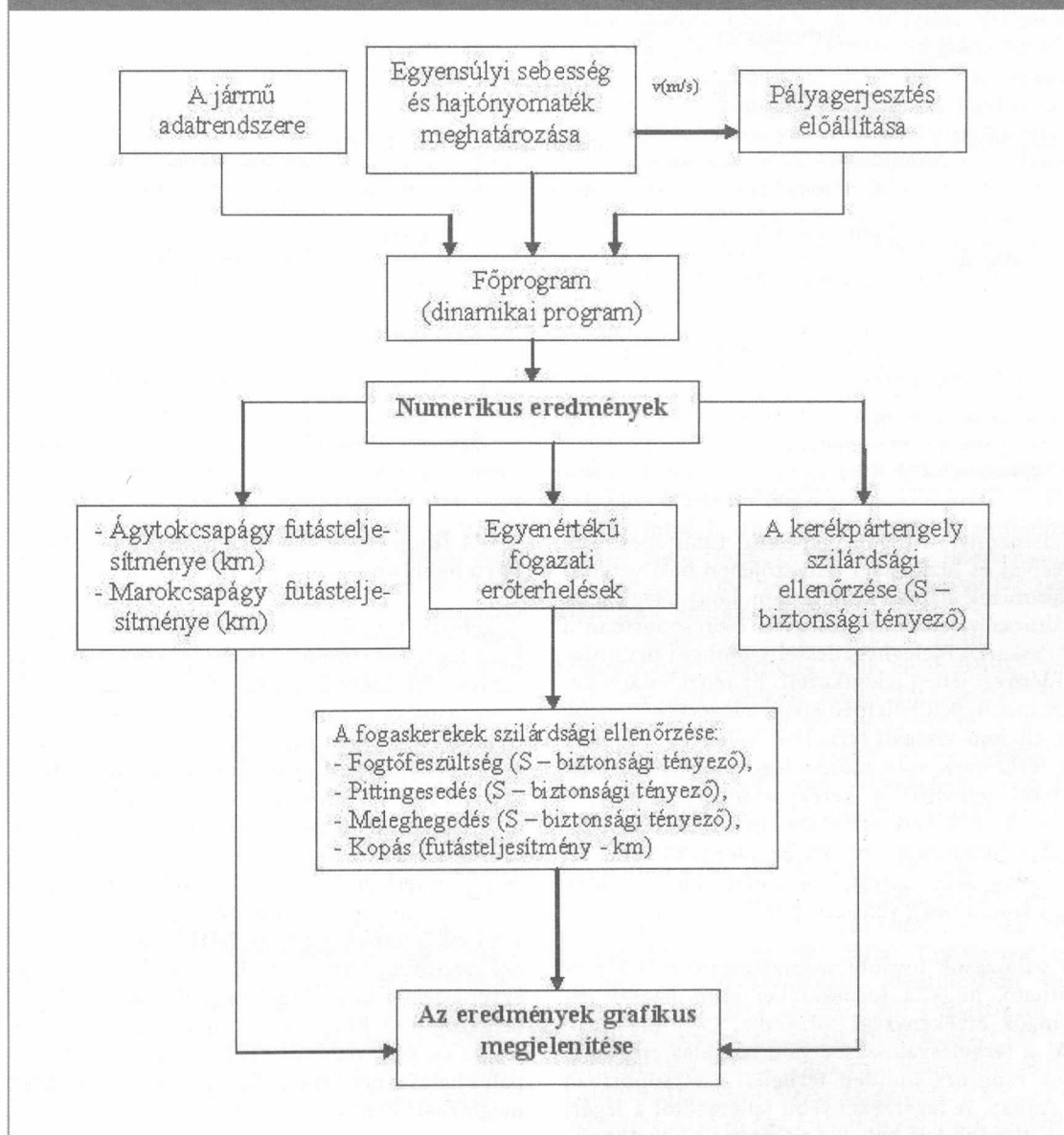
élettartam-jellemzőit a modellt alkotó elemek függőleges gerjesztő hatások okozta keresztirányú elmozdulásai, a függőleges tengely körüli elfordulásai és e két szabad koordináta együttesen. A vizsgálat célja annak megállapítása, hogy milyen hatással vannak az egyes keresztirányú mozgással kapcsolatos szabad koordináták az adott modellelemekre; mekkora hibát vétünk, ha egyes mozgáskoordinátákat elhagyunk; valamint, hogy meghatározó-e ez a hiba az adott gépelem esetén. A vizsgálatot úgy hajtottam végre, hogy először „kikapcsoltam” a 26 szabadságfokú teljes modell valamennyi keresztirányú elmozdulását, utána valamennyi függőleges tengely körüli elfordulását és végül e kettőt együtt. A modellnek tehát a keresztirányú elmozdulások nélkül 20, a függőleges tengely körüli szögelfordulás lehetősége nélkül 24, az összes előbbi mozgáskoordináta nélkül pedig 18 szabadságfoka marad. Ezt a vizsgálatot egyetlen munkapontban végeztem el. Ebben az esetben a jármű sebessége 24 m/s, a vontatott szerelvény tömege 1000 tonna, a kivezérelt vontatási teljesítmény 100% volt, és a pálya jó minőségű volt.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, EREDMÉNYEK

### 5.1. Számítógépes algoritmus

Kidolgoztam egy olyan számítási algoritmust, amely egy számítógépes programrendszeren alapul és elvégzi a tengelyhajtást alkotó főbb gépelemek szilárdsági és élettartam-számítását az egytengelyes, 26 szabadságfokú járműmodellel kapott eredmények segítségével. A modell és a teljes programrendszer paraméteres. Bármely más vontatójármű és bármely más hasonló elven működő tengelyhajtás modellezhető és vizsgálható a felépített programcsoporttal. A kialakított számítási algoritmust a 4. ábra mutatja.

4. ábra: Az algoritmus felépítése



## 5.2. A kiválasztott gépelemek jellemzése

Megállapítottam, hogy az adott mozdony kiválasztott gépelemeinek üzembiztonsága és futásteljesítménye az egyes terhelési esetszoportok független változóinak függvényében az alábbi jelleg szerint változik (lásd 2. táblázat).

A független változókhöz kapott eredményekre lineáris és nemlineáris görbéket illesztettem. Amennyiben a lineáris és nemlineáris görbék azo-

nos abszcisszához tartozó függvényértékei közötti maximális eltérés és a legnagyobb függvényérték hányadosa 5% alatt volt, akkor a változás jellegét lineárisnak tekintettem. Ellenkező esetben azt a megállapítást tettem, hogy a görbe változása nemlineáris jelleget mutat. A vastag kerettel jelölt esetekben a biztonsági tényezők a megengedett legkisebb érték alá kerültek, vagyis az a terhelési eset tartósan nem engedhető meg. A \*-gal jelölt esetekben bizonyos mértékű konkáv jelleg figyelhető meg a jelleggörbe lefutásában.

2. táblázat: A méretezési jellemzők változási jellege

Terhelési eset- csoportok		1	2	3
		Vontatási teljesítmény	Vonattömeg	Pályahiba
Fogaskerék	fogtőtörés (S)	nemlineáris	lineáris	nemlineáris
	pittingesedés (S)	lineáris	lineáris	lineáris *
	meleghegedés (S)	lineáris	lineáris	lineáris *
	kopás (km)	nemlineáris	lineáris	lineáris *
Hajtóműcsapágy (km)		nemlineáris	lineáris	lineáris * + nemlineáris
Kerékpártengely (S)		nemlineáris	lineáris	független
Ágytokcsapágy (km)		lineáris	lineáris	nemlineáris *

Valamennyi vizsgált gépelem futásteljesítményében és biztonsági tényezőjében bekövetkező változások alapján kimutattam, hogy a legkisebb változás valamennyi terhelési esetcsoportban a fogaskerék meleghegedéssel szembeni biztonsági tényezőjében jelentkezett. Ez tehát valamennyi megfigyelt jellemző közül a legérzékenyebb az általam vizsgált terhelési esetekkel szemben. A terhelések változásától legerősebben érintett üzemi jellemző a kerékpártengely leginkább igénybe vett keresztmetszetében uralkodó kifáradási biztonsági tényező. Ez a tényező változott a legnagyobb mértékben a vontatási teljesítmény és a vonattömeg változásakor.

A változások további számszerűsítésével kimutatható, hogy a fogaskereket leíró üzemi jellemzők érzékenységi sorrendje, vagy más szóval a terhelésváltozásra való reagálás erősségének rangsora minden terhelési esetcsoportban ugyanaz. A legérzékenyebb jellemzőtől a legérzékenyebb felé haladva a sorrend a következő:

1. a biztonsági tényező a fogtőtörés ellen,
2. a kopásból származó élettartam,
3. a biztonsági tényező a pittingesedéssel szemben és
4. a biztonsági tényező a meleghegedéssel szemben.

A csapágyak élettartamainak változásait vizsgálva látható, hogy a siklócsapágyakból álló marokcsapágyak ebben a járműben sokkal érzékenyebbek a változásokkal szemben, mint a görgős csapágyakból felépített ágytokcsapágyak.

### 5.3. A függőleges sínhibák hatása a kerékpártengelyre

A kerékpártengelyen az erők egyszerű statisztikai átlagából számított biztonsági tényezők közel állandó értékeket mutatva gyakorlatilag függetlenek a pályaminőségtől, vagyis nem tükrözik a rosszabb minőségű pálya okozta többletterhelést. A kerékpárt terhelő erők súlyozás nélküli átlagértékeivel történő számítás tehát nem alkalmazható a kerékpártengelyre, éppen úgy, mint ahogy a csapágyakra és a fogaskerekre sem használatos az azokat terhelő erők esetén. A sebesség, a pályagerjesztés stb. egyedi és kombinált hatásai helyesen csak a terheléseggyüttes felállításával és az ebből származó, a károsodáshalmozódáson alapuló egyenértékű feszültséggel vizsgálhatók. Ezzel az is beigazolódt, hogy a rossz minőségű pályák esetén az európai méretezési eljárások, – amelyek a pálya hatását nem veszik figyelembe – nem adnak megbízható eredményt.

### 5.4. A keresztirányú szabad mozgáskoordináták hatása

Az adott jármű és üzemi állapot esetében a modellemek keresztirányú elmozdulásának, függőleges tengely körüli szögelfordulásának és e kettőnek az együttes korlátozása a következő hatással van a vizsgált gépelemek élettartamára és biztonsági tényezőire:

– az ágytokcsapágy, a marokcsapágy és a kerékpártengely élettartama, illetve biztonsági tényezője a teljes modell esetén a legkisebb, de a sza-



bad koordináták blokkolása függőleges síngerjesztés esetén nem befolyásolja érdemlegesen ezen gépelemek élettartamát,

– a fogaskeréket meghatározó szilárdsági és élettartam jellemzőkben semmilyen kimutatható változás nem történt. Ennek oka abban keresendő, hogy a vizsgált mozdony egyenesfogú homlokfogas-kerékpárral rendelkezik, amely emiatt a függőleges síngerjesztések által kiváltott keresztirányú mozgások erőhatásaira érzéketlen.

## 6. A TOVÁBLÉPÉS LEHETŐSÉGEI

A további tengelyhajtás-dinamikai kutatások alapja lehet egyrészt a bővített modell, másrészt a menetdinamikai körülmények kiterjesztése. Az eddigi modell ugyanis nem vette figyelembe a kerékpártengely forgóvázon belüli helyzetét. Ezért elkészítettem egy olyan kibővített járműmodellt, ahol a kerékpár forgócsaphoz viszonyított helyzete paraméteres. Ezzel az válik vizsgálhatóvá, hogy hogyan befolyásolja a tengelyhajtást érő igénybevétel az, ha a kerékpártengely a forgóvázon más-más helyen van. A modell további fejlesztési lehetőségét jelenti a teljes, két- vagy háromtengelyes forgóváz felépítése, illetve ennek alapján az egész jármű hajtástechnikai modelljének parametrikus kialakítása.

A kutatásban bemutatott programcsoport olyan menetdinamikai feltételek mellett szolgáltat eredményeket, amelyeket a vonat állandó sebessége és konstans trakciós nyomatóka jellemez. Elkészítettem egy olyan programcsaládot, amely a sebesség változásával, tehát a gyorsítási és lassítási folyamatokkal is számol. Ezen kívül lehetőség kínálkozik arra, hogy a különböző vontatási teljesítményszintek közötti – egy gyorsítási vagy egy lassítási folyamaton belül létrejövő – átlépés dinamikai hatását is megvizsgáljuk. További bővítési lehetőséget jelent az ívben haladás beépítése a modellbe, hiszen a jelenlegi programcsalád csak az egyenes pályán való haladással számol.

A jelenlegi modell lineáris. A merevségek és csillapítási tényezők állandó értékek. A kerék-sín kapcsolat is a lineáris Kalker-elmélet szerint került beépítésre. A valóság jobb megközelítése válik lehetővé, ha az eddigi lineáris kapcsolatokat felváltják a nemlineáris, hibával terhelt, esetleg kotyogós kapcsolatok a járműszerkezetek között éppúgy, mint a fogkapcsolatokon, ugyanis a fogazati merevség a pillanatnyi kapcsolószám függvényében fluktuálva változik. Ezek újabb inhereus, belső parametrikus gerjesztési forrásai a

modellnek. A kerék-sín kapcsolat is valósabb képet mutathat a nemlineáris Kalker-elmélet alkalmazásával. A jelenlegi számítások ideális geometriával készült fogazattal kalkulálnak. Valójában a fogazat geometriája gyártási hibákkal terhelt. Ennek figyelembevétele újabb belső gerjesztési forrást jelent. A modell jelenlegi gerjesztése csupán függőleges irányú. A továbbfejlesztés egyik – talán legfontosabb – lépése lehet a kerekekre a sínekről átadódó keresztirányú sztochasztikus gerjesztés összetevők figyelembevétele, amelyre a kidolgozott program a kerék/sín érintkezés geometriai és gördülésdinamikai részeinek fejlesztésével lehetőséget ad.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Boronkai László: Villamos vontatójárművek hajtásdinamikai folyamatainak szimulációja a jármű keresztirányú mozgásának figyelembevételével, PhD értekezés, 2011.
- [2] Boronkai, L.: The Simulation and Examination of the Axle-Hung Drive System. International Conference Ship Propulsion and Railway Traction Systems – Bologna, 2005.
- [3] Boronkai, L. – Roth, Zs.: Zahnfußbeanspruchung und Grübchenbildung auf den Zahnflanken eines Tatzlagerantriebs, ZEV Glasers Annalen, 2006/9.
- [4] Boronkai, L. – Weber, F.-J.: Vergleich der europäischen und russischen Berechnungsmethoden für Treibradsatzwellen, ZEVrail, 2008/11-12.
- [5] Boronkai, L.: The Numerical Simulation of the Equivalent Bending Stress Amplitude of a Railway Wheelset Axle in the Function of Velocity. Proceedings of the 10<sup>th</sup> MINI Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies (VSDIA 2006), BME Department of Railway Vehicles, Budapest, 2006, p.191-198.
- [6] Boronkai, L.: The Numerical Simulation of the Equivalent Bending Stress Amplitude of a Railway Wheelset Axle in the Function of Track Quality. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Railway Bogies and Running Gears (BOGIE '07), BME Department of Railway Vehicles, Budapest, 2007, p.317-324.
- [7] Boronkai, L. – Kämpfer, B. – Weber, F.-J.: Application of multi-body simulation for optimal wheelset design. 15<sup>th</sup> Wheelset Congress, Prague, 2007.
- [8] Boronkai László: A Bz motorvonat hajtott kerékpártengelyének szilárdsági ellenőrzése. Vasútgépészet, 2003/4.



## Simulation of the driving dynamic processes of electric power units

The research deals with the analysis of the dynamic conditions of the railway vehicles equipped with an electric driving system. The theme of this work is the determination of those theses that ascertain connections between the strength and lifetime parameters characterizing gearwheels, drive unit- and wheelset bearings and wheelset axle, and the service conditions characterizing the given load-case group, such as changing the traction power, the train-set mass and the track excitation.

## Die Simulation antriebsdynamischer Vorgänge von elektrischen Triebfahrzeugen

Die Untersuchung beschäftigt sich mit der Analyse dynamischer Verhältnisse von Schienenfahrzeugen, die mit einem elektrischen Antriebssystem ausgerüstet sind. Das Thema dieser Arbeit ist die Festlegung der Thesen, welche Verbindungen zwischen den charakteristischen Festigkeits- und Lebensdauereigenschaften von Zahnradern, Antriebs- und Radsatzlagern sowie Radsatzwelle und den Betriebsbedingungen der gegebenen Belastungsgruppen bestehen. Die Belastungsgruppen decken die Änderung der Traktionsleistung, des Zuggewichtes und der Gleisanregung ab.

### E SZÁMUNK LEKTORAI:

Dr. Tánczos Lászlóné

Dr. Zobory István

## Megrendelőszelvény<sup>1</sup>

Alulírott.....

megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint:

A megrendelő neve:

.....

címe:.....

.....

(ahová a lapot kéri)

telefonszám:.....

fax: .....

e-mail: .....

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be\*:

Rózsaszín postai átutalási csekken az alábbi címre:

Közlekedéstudományi Egyesület, 1055 Budapest,  
Kossuth Lajos tér 6-8.

Banki átutalással (név és cím feltüntetésével)  
az alábbi bankszámlaszámra.

Számlaszám: 10200823-22212474

A megrendelés időtartama:\*

2013. évre előfizetési díj: 8280 Ft  példányban

egyéni KTE tagoknak: 4140 Ft  példányban

Az előfizetési díjról számlát kérek\*:

Igen  Nem

\*A megfelelőt kérjük beikszelni!

Számlázási név:

.....

Számlázási cím:

.....

.....

Tudomásul veszem, hogy az első lapszám kézbesítésére az előfizetési díj befizetését követően kerül sor.

.....  
aláírás

<sup>1</sup> Visszaküldhető e-mailben a szemle@ktenet.hu címre, faxon a 06-1-353-2005 számra vagy a 1055 Budapest Kossuth Lajos tér 6-8. IV. 416. postacímre

## Alternatív motorhajtóanyagok alkalmazása belső égésű motorban

A publikációban az alternatív tüzelőanyagok közül a szerző az E85 tüzelőanyaggal és hidrogénnel végzett kutatásait és az ezekből levezetett új tudományos eredményeit mutatja be. Ezek az eredmények a doktori értekezés összefoglalásaként jelennek meg.

**Dr. Budik György, Ph.D.**  
e-mail:gyorgy.budik@gea.com

### 1. BEVEZETÉS

A kőolaj és a földgáz, mint energiahordozók rendelkezésre állásának elemzésekor több tényezőt kell figyelembe venni: az igény folyamatosan nő, a kitermelhető készletek növekedése ezzel nem tart lépést, és a kitermelés költségei növekednek. Ennek eredményeképp feltételezhető, hogy hosszú távon a kőolaj és földgáz ára tovább emelkedik. Ez a feltételezés vezette az autógyártókat és kutatóintézeteket az alternatív motorhajtóanyagokkal történő kutatásokhoz.

A technikátörténet motorgyártással összefüggő kezdetein Nikolaus August Otto szintetikus gázzal kísérletezett, amelynek 50%-a hidrogén volt, majd metanollal és etanollal működő motort fejlesztett ki. Rudolf Diesel az 1900-as vilákiállításán motorolajjal működő motort mutatott be. A kutatók ezekben az időkben a könnyű elérhetőség miatt bioüzemanyagokkal kísérleteztek. A kőolaj népszerűsége, kezdetben alacsony ára és különböző lepárlási termékeinek alkalmazása azonban kiszorította a bioüzemanyagokat a járművek és mobilgépek nagyobb mértékű elterjedésének időszakában.

A történelem azonban a világháborúk alatt és az 1973-as első olajválság idején megmutatta, hogy a gazdaságot nem tanácsos egyetlen energiahordozóra alapozni. Újra felmerült a bioüzemanyagok használata, azonban a Föld népességének növekedése és a jelenleg elterjedt bioüzemanyag előállítás formák miatt emberiességi aggályok merültek fel. A mezőgazdasági hulladékból készített bioüzemanyagok elterjedése még várat magára, elterjedésük hosszú távon megoldást jelenthet a megújuló energiahordozók belső égésű motorokban történő alkalmazásában.

A különböző gáznemű motorhajtóanyagok közül egyedül a nagy mennyiségben előforduló hidrogén jelent hosszú távú, környezetbarát és megújuló megoldást. Tulajdonságai alkalmassá teszik energiahordozóként történő alkalmazásra. Előállítására villamos energiával vízbontással lehetséges; kémiai úton, tüzelőanyag cellában oxigénnel egyesülve vízgőzt alkot, miközben villamos energia szabadul fel. A folyamat környezetbarát és megújuló. A tüzelőanyag cellák közötti közlekedésben való elterjedését a mai napig magas árak akadályozza.

A hidrogént tüzelőanyagként elégethetjük belső égésű motorban. Jelenleg ez a legolcsóbb megoldás arra, hogy a hidrogén kémiai energiájából mozgási energiát nyerjünk. A megoldás előnyös a belső égésű motorok fejlesztésére, gyártására és üzemben tartására szolgáló kapacitások további felhasználásának szempontjából. A hidrogén alkalmazása a fosszilis tüzelőanyagokhoz viszonyítva környezetbarát, és mivel az égéstermék vízgőz, a folyamat megújuló. A hidrogén fedélzeti tárolása azonban a jelenleg elterjedt megoldásokkal nem gazdaságos, és sok probléma vár megoldásra a belső égésű motorban történő alkalmazásakor.

Irodalomkutatási munkám eredményeképp arra a következtetésre jutottam, hogy az alternatív, megújuló energiahordozók közül a bioetanol és a hidrogén kiemelkednek, mivel hosszú távon ezek az energiahordozók azok, amelyek versenyképessé válhatnak a szénhidrogénekkal szemben. A mobilitás fejlődésének érdekében szükséges ezen tüzelőanyagok belső égésű motorban történő vizsgálatát.

### 2. CÉLKITŰZÉS ÉS A TÉMA KUTATÁSÁNAK INDOKLÁSA

Doktori munkám célja az E85 és hidrogén tüzelőanyag alkalmazása benzinüzemű belső égésű motorban.

Célkitűzésem a következő volt:

- Ugyanannak a benzinüzemű motornak az átalakítása E85 és hidrogénüzeműre, az eredeti benzinüzemre való képesség megtartása mellett, az eredeti kompresszió viszony alkalmazásával.
- A motor optimális beállításainak meghatározása E85 tüzelőanyagra.
- A motor optimális beállításainak meghatározása hidrogén tüzelőanyagra.
- Olyan motorparaméterek meghatározása, amelyek mellett a motor minimális változtatásokkal üzemeltethető benzin, E85 és hidrogén tüzelőanyagokkal.
- A motor üzemének vizsgálata benzin, E85 és hidrogén tüzelőanyag alkalmazásával, a motor üzemi jellemzőinek meghatározása.
- A témával kapcsolatos új tudományos eredmények megfogalmazása.

Doktori disszertációm kereteit a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal Jedlik Ányos program „Alternatív energiával működő hidrogéntermelő és -tároló rendszer kifejlesztése” projektje határozta meg. A BME Gépjárművek Tanszék a projektet egy négy tagból álló konzorcium tagjaként valósította meg. A konzorcium egyik tagja az Accusealed Kft., amely világszabadalmat jegyeztetett be egy új típusú hidrogéntermelő és -tároló egységre (továbbiakban HTTE). Ezzel a szabadalommal lehetővé válik a hidrogén normál állapotban való biztonságos fedélzeti tárolása. Tanszékünk kapta azt a feladatot, hogy Dr. Emőd István docens úr vezetésével demonstrációs

járművet hozzon létre, amely a HTTE-ben termelt és tárolt hidrogént belső égésű motorban égeti el.

A demonstrációs járművet (1. ábra) soros hibrid hajtással készítettük. Egy Otto motor-generátor egység tölt akkumulátorokat és ultrakapacitású kondenzátorokat, és villamos kerékagymotorok biztosítják a hajtóerőt.

A demonstrációs járműben alkalmazott, kísérletimhez használt Otto motor eredeti állapotában benzinüzemű. Feladatom volt megvizsgálni különböző kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyagok (E85 és hidrogén) viselkedését ugyanabban a motorban. Követelmény volt, hogy ugyanazt a kísérleti motort jelentősen különböző tüzelőanyagokra alkalmazzam szerkezeti átalakítások nélkül, és meghatározzam a motor paramétereit, amelyekkel lehetséges a motor leállás nélküli átkapcsolása a vizsgált folyékony tüzelőanyagok és a gáznemű tüzelőanyag között.

Változó fordulatszámmal, három jelentősen eltérő tulajdonságú tüzelőanyaggal üzemelő motor létrehozása jelentősen meghaladta volna a projekt kereteit, ezért választásom az állandó fordulatszámon üzemelő motorra esett, amelyhez szinkrongenerátor kapcsolódik. Ezáltal a terhelés változtatható, míg a fordulatszám közel állandó, így a feladat egyszerűsödött.

Kísérleteimmel remélhetően sikerült demonstrálnom, hogy a gépjármű-közlekedés jövője túlmutat a kőolaj dominanciájának korszakán.

1. ábra: A hidrogén és E85 üzemű demonstrációs jármű (Fotó: Koszticsák Szilárd, MTI)



## 3. A KÍSÉRLETEKHEZ HASZNÁLT TÜZELŐANYAGOK

### 3.1. A bioetanol és az E85 üzemanyag

Az etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) megújuló, főként cukor erjesztésével előállított tüzelőanyag. Legjellemzőbb alapanyagai a kukorica, a cukorrépa, a gabona és a mezőgazdasági hulladékok. Bioetanolnak a kizárólag biomasszából, illetve biológiailag lebomló növényi hulladékból előállított etanolt nevezzük. Használata főként az USA-ban és Dél-Amerikában (2. ábra) terjedt el.

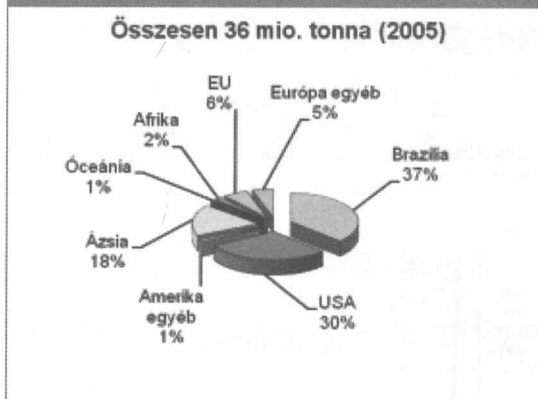


Kémiai összetétele megegyezik a szeszesitalok előállításához használt alkoholokéval, ezért denaturálják, hogy emberi fogyasztásra alkalmatlan legyen. A benzinhez képest az előállítási alapanyagoktól függően 15-70%-kal kisebb az üvegházhatású gázok emissziója [1].

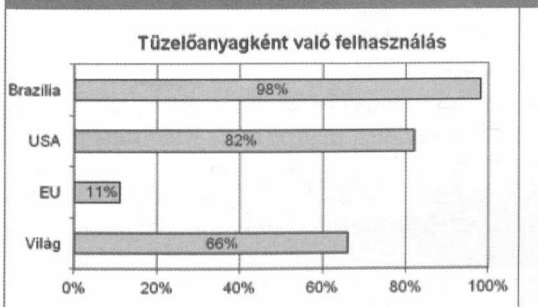
Az etanol a járművek tüzelőanyagaként benzinnel keverve alkalmazzák (3. ábra). Hazánkban 1927 és 1942 között volt forgalomban a „Motalko” elnevezésű

tüzelőanyag, amely 1:4 arányú benzin/alkohol keverék. Az E85 jelzésű tüzelőanyag 85% etanol, valamint 15% benzint tartalmaz. Hagyományos benzinüzemű motorokban átalakítás nélkül nem alkalmazható. A benzin-etanol vegyes üzemű járműveket FFV-nek (Flexible Fuel Vehicle) nevezik, amelyek 0-85% között tetszőleges keverési arányú etanol-benzin keverékkel is üzemképesek [8].

2. ábra: A világ bioetanol gyártásának megoszlása [5]



3. ábra: Az etanol tüzelőanyagként való hasznosítása [5]



Az etanol a benzinnél nagyobb sűrűségű, így karburátoros motoroknál az üzszószint módosítása szükséges. A benzinüzemhez képest kisebb levegő-tüzelőanyag arány miatt a fúvóka átmérőjét növelni, a szívótorok átmérőt csökkenteni kell. Párolgáshője többszöröse a benzinének (benzin: 293-418 kJ/kg; Esz-95: 335kJ/kg; etanol: 904 kJ/kg; E85: 825kJ/kg) ami hidegindítási problémákhoz vezethet, viszont az alkohol párolgása a tüzelőanyag keveréket hűti, a fajlagos teljesítményt növeli és a nitrogén-oxid képződést csökkenti. A benzin hozzákeverésének célja elsősorban a hidegindítási problémák kiküszöbölése. Gyulladás határa széles (3,5-19 V/V %), ezáltal igen szegény keverék is alkalmazható, csökkentve a szénhidrogén és CO, CO<sub>2</sub> kibocsátást [1].

A benzin-etanol keverék göznyomásbeli sajátossága szintén hidegindítási problémákhoz, magasabb hőmérsékleten pedig gözdugó képződéshez vezethet.

Az etanol oktánszáma a benzinénél nagyobb, a hozzáadott szénhidrogénektől függően. Vízűrő képessége rossz, ezért a vízzel való érintkezést meg kell akadályozni, mivel a benzin különválhat a víz-etanol keveréktől, ami az égésfolyamat romlásán kívül korróziót is okoz. Fentiek különböző adalékok hozzáadásával megelőzhetők.

A tiszta etanol a levegőben 3,5-19 V/V % között gyulladóképes, öngyulladás hőmérséklete 423°C. A korrózió veszélyét növeli, hogy vezetőképessége nagyobb a benzinénél, ezáltal zárlat keletkezhet a tüzelőanyag-ellátó rendszer elektromos alkatrészeiben. A

1. táblázat: Az E85 keverék főbb jellemzői [2]

Jellemző	E85
Benzintartalom m/m %	15
Etanoltartalom m/m %	85
Oktánszám	105
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	0,784
Alsó fűtőérték, MJ/kg	28,8

2. táblázat: Hidrogén, metán és benzin sűrűségének összehasonlítása folyékony- és gázhalmazállapotban [4]

Tüzelőanyag	Gőz/gáz sűrűség	Folyadék sűrűség
	(20°C, 1atm)	(forráspont, 1atm)
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Hidrogén	0,08376	70,8
Metán	0,65	422,8
Benzin	4,4	700

sztoichiometrikus tüzelőanyag-levegő arány a benzinnél kisebb, ezért azt vegyes üzemű járművek esetén mindig az aktuális etanol tartalomhoz kell igazítani [8].

Az etanol káros hatása a gumi és műanyag alkatrészek, tömítések, tömlők, szűrők anyagára, ezeket alkoholálló anyagból készült alkatrészekkel kell helyettesíteni. Kenőképessége hasonló a benzinéhez, azonban kis viszkozitása miatt az adagoló elemek, dugattyúgyűrűk és a henger kenése rosszabb.

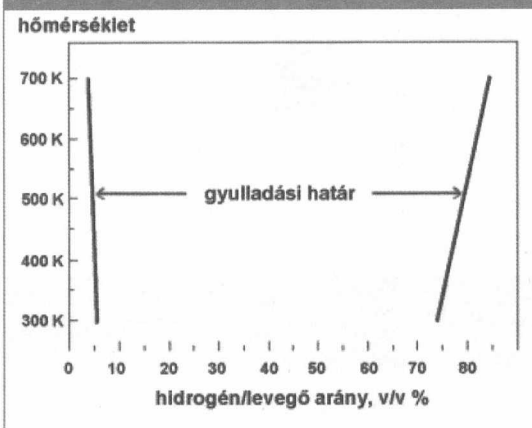
Az E85 etanol-benzin keverék főbb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

### 3.2. A hidrogén, mint tüzelőanyag

A hidrogén a periódusos rendszer első eleme, rendszáma 1, vegyjele H. Normálállapotban színtelen, szagtalan, egy vegyértékű, igen gyúlékony kétatomos gáz. Nagyon jó hővezető. A hidrogén a legkönnyebb és egyben a világegyetemben leggyakrabban előforduló elem, megközelítőleg a világegyetem tömegének 75%-át, atomszám tekintetében pedig 90%-át alkotja. Földi körülmények között kétatomos formában van jelen, mint H<sub>2</sub> gáz a légkörben ritka, mert a levegőhöz képest alacsony sűrűségének köszönhetően könnyen az űrbe szökik (2. táblázat). Ennek ellenére a földfelszín harmadik leggyakoribb eleme, leginkább vegyületeivel találkozhatunk: jelen van a vízben, minden szerves vegyületben és minden élőlényben. A természetben néhány baktérium és alga állít elő hidrogéngázt.

A hidrogéngáz sűrűsége 20°C-on és légköri nyomáson 0,08376 kg/m<sup>3</sup>, folyékony állapotban forráspontján és légköri nyomáson 70,8 kg/m<sup>3</sup>. A folyékony és a gáz állapot közötti tágulási arány 1/848-hoz, azaz egységnyi tömegű hidrogén térfogata elpárolgás után 848-szorosára növekszik. A kis sűrűségből következik, hogy azonos hatótávolsághoz, a később tárgyalt alacsony energiasűrűség miatt még folyadék fázisban is nagyobb térfogatú hidrogén szállítására van szükség, mint hagyományos üzemanyagok használatakor.

4. ábra: A gyulladóképes hidrogén-levegő keverék koncentráció határának változása a hőmérséklet függvényében [4]



A hidrogén fémekben könnyen elnyelhető, valamint fémfelületen megkőthető. Ezen tulajdonsága rendkívül fontos a fémkohászat számára, valamint ez a legbiztonságosabb módja jelenleg a hidrogén fedélzeti tárolásának is.

A hidrogéngáz rendkívül gyúlékony, jelenléte levegőben már 4 V/V %-ban is elégethető és meggyullad egészen 75 V/V %-ig. Ez a határ a hőmérséklet növekedésével jelentősen kitágul, ahogy a 4. ábra is mutatja.

Ennek megfelelően zárt térben már nagyon kis szivárgás is rendkívül veszélyes lehet. Reakciója oxigénnel nagyon kis aktivációs energia hatására beindul, az égés során víz képződik az alábbi kémiai egyenlet szerint:



A keveréket nagyon kis energiájú gyújtóforrás is meggyújthatja, minimális gyújtási energiája 0,019 mJ, ami egy tizede a propánénak. Egy csővezetékben akár egy

áramló rozsdarészecske elektrosztatikus energiája is gyújtóképes szikrát tud eredményezni [6].

Égése egy nagyságrenddel gyorsabb a benzinénél, romboló hatású. 585°C-on öngyulladás lép fel. Öngyulladási hőmérséklete a többi tüzelőanyaghoz képest a legmagasabb, ezért kompresszió gyújtású motorokban nehezen vagy adalék tüzelőanyagként alkalmazható. A kompressziótűrésre jellemző mérőszám, az oktánszám a hidrogén esetében igen magas, kísérleti úton meghatározva 130 feletti, szegény keveréket alkalmazva [4].

Az égés során kinyerhető energiára jellemző érték az alsó és felső fűtőérték, a kettő különbsége a párolgáshőt adja. Mivel a gázhalmazállapotú hidrogént nem kell elpárologtatni, valamint a végtermék is gőz formájában van jelen, ezért a kinyerhető munkát az alsó fűtőérték reprezentálja (3. táblázat). Mivel a hidrogén a legkönnyebb elem, ezért tömegre vetített energia-

tartalma a legnagyobb. Ez magyarázza űrrepülőgépekben történő felhasználását is.

Hátránya, hogy térfogatra vetített energiasűrűsége nagyon alacsony köszönhetően alacsony sűrűségének (4. táblázat). Ez szintén fontos, hiszen megmutatja, hogy egy adott térfogatú tartályban mennyi energiát tudunk magunkkal vinni. Például egy 500 literes tartály körülbelül 400 kilogrammnyi dízelolajjal egyenértékű hidrogéngáz mennyiség körülbelül egy 8000 literes tartályban férne el 250 bar nyomáson. Folyékony hidrogént használva ehhez körülbelül egy 2100 literes tartály kellene. Fém-hidrid tárolás esetén a fő probléma a tömegnövekedés, a 400 kg dízelolaj energiájának tárolására szolgáló hidrogéntartály tömege körülbelül 1725 kg lenne [4]. Hiába tehát a kis tömegre eső magas energiamennyiség, a fedélzeti felhasználásnak korlátokat szabnak a tárolási lehetőségek.

A hidrogénüzemi mérésekhez felhasznált hidrogén főbb jellemzőit az 5. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat: Hidrogén, metán, propán, benzin, gázolaj és metanol felső (FFÉ) és alsó (AFÉ) fűtőértékének összehasonlítása [4]

Tüzelőanyag	FFÉ (25°C, 1atm), kJ/g	AFÉ (25°C, 1atm), kJ/g
Hidrogén	141,86	119,93
Metán	55,53	50,02
Propán	50,36	45,6
Benzin	47,5	44,5
Gázolaj	44,8	42,5
Metanol	19,96	18,05

4. táblázat: Hidrogén, metán, propán, benzin, gázolaj és metanol energiasűrűségének összehasonlítása [4]

Tüzelőanyag	Térfogatra vetített energiasűrűség, MJ/m <sup>3</sup>
Hidrogén	10,05 (gáznemű, 1atm, 15°C)
	1825,00 (gáznemű, 200bar, 15°C)
	4500,00 (gáznemű, 690bar, 15°C)
	8491,00 (folyékony)
	11000,00 (fém-hidrid)
Metán	32,56 (gáznemű, 1atm, 15°C)
	6860,30 (gáznemű, 200bar, 15°C)
	20920,40 (folyékony)
Propán	86,67 (gáznemű, 1atm, 15°C)
	23488,80 (folyékony)
Benzin	31150,00 (folyékony)
Gázolaj	31435,80 (folyékony)
Metanol	15800,10 (folyékony)

5. táblázat: A mérésekhez használt hidrogén főbb jellemzői

A forgalmazó neve	Linde Gáz Magyarország Zrt.
Hidrogén tartalom, V/V %	~99,999
O <sub>2</sub> , V/V ppm	~ 2
N <sub>2</sub> , V/V ppm	~ 3
H <sub>2</sub> O, V/V ppm	~ 5
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> , ppm	~ 0,5
Fűtőérték, MJ/kg	120

## 4. A MÉRŐBERENDEZÉS KIALAKÍTÁSA

### 4.1. A kísérleti motor

A mérésekhez használt motor Honda GX 390, amely a TR-7E típusú áramfejlesztő egységgel van egybeépítve. A 389 cm<sup>3</sup>-es motor négyütemű, egyhengeres, léghűtéses, kétszelepes felülvezérelt kivitelű, főbb adatai a 6. táblázatban láthatók.

### 4.2. A mérési berendezés

A motor-generátor egység vizsgálatához és továbbfejlesztéséhez különböző mérési elrendezésekre volt szükség. A motor terhelése egy ellenállászek-

rény segítségével villamos úton történt, a generátoron keresztül. A motor közel állandó fordulatszámokon üzemel, mivel szinkrongenerátorhoz van kapcsolva. A terhelés értéke lépcsőzetesen állítható, eközben mértem a motor által elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségét (benzin és E85 esetén térfogatméréssel, hidrogén esetén tömegméréssel), a generátor leadott teljesítményét és a fordulatszámot. A mérések benzin és E85 üzemben azonos módon történtek. Az 5. ábrán a fékpad felépítése látható folyékony tüzelőanyagok vizsgálatához.

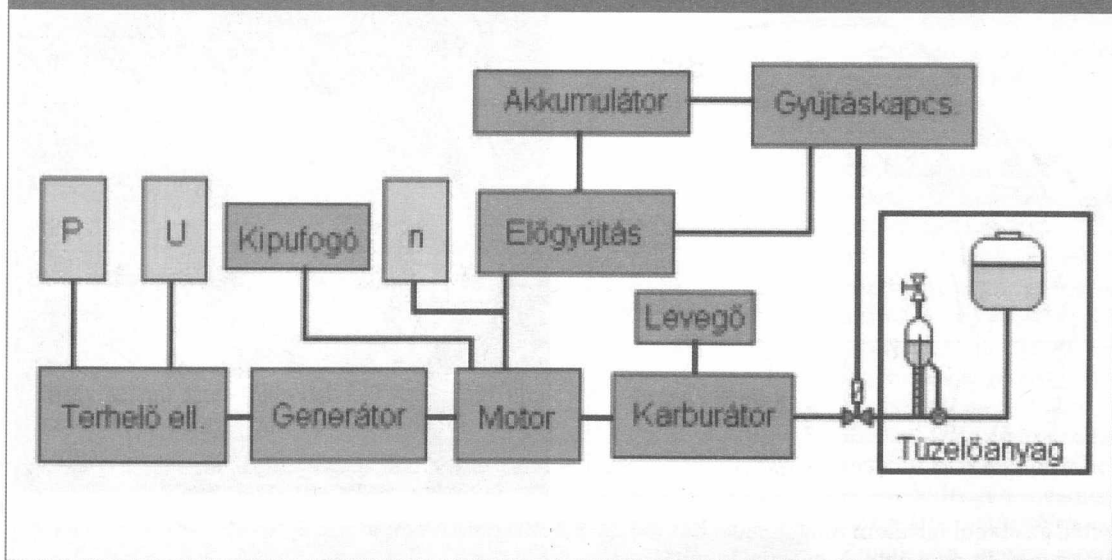
A hidrogénüzemű mérésekhez a fékpadot a 6. ábra szerint módosítottam.

6. táblázat: A Honda GX 390 motor adatai [7]

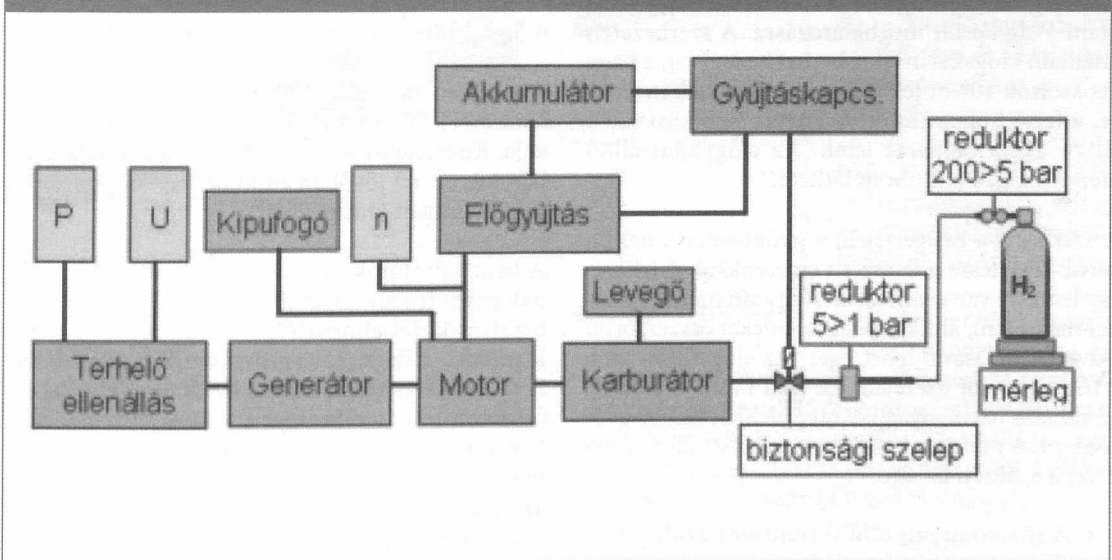
Modell	Honda GX 390
Motor típusa	Léghűtéses négyütemű egyhengeres OHV benzinmotor, 25°-ban fekvő henger vízszintes forgattyústengely
Furat x löket	88 x 64 mm
Lökettérfogat	389 cm <sup>3</sup>
Kompresszió	8,0 : 1
Nettó teljesítmény	8,2 kW (11,2 LE) / 3 600 1/perc
Tartós teljesítmény	6,0 kW (8,2 LE) / 3 000 1/perc 6,6 kW (9,0 LE) / 3 600 1/perc
Max. nettó nyomaték	25,1 Nm / 2 500 1/perc
Gyújtásrendszer	Tranzisztoros
Indítás	Indítózsínór Opcionális önindító
Tüzelőanyag tank	6,1 l
Tü.a. fogyasztás	3,7 l/óra - 3 600 1/perc
Olajmennyiség	1,1 l
Méreték (L x W x H)	405 x 450 x 443 mm
Száraz tömeg	31 kg



5. ábra: A fékpad felépítése folyékony tüzelőanyag vizsgálatához



6. ábra: A fékpad felépítése hidrogén tüzelőanyag vizsgálatához



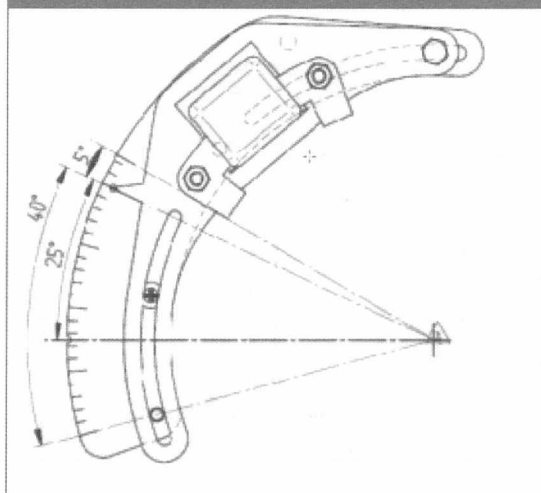
### 4.3. A motor gyújtásrendszerének átalakítása

Az előgyújtási szög értéke a gyújtótekercs kerület mentén való elmozdításával állítható. Az elmozdítás következtében a lendkerékre rögzített állandó mágnes a felső holtponthoz (FHP) képest más helyzetben éri el a tekercset. Ezért a tekercsben a feszültség felfutása, ezzel pedig a gyújtás időpontja az elmozdítás szögértékének megfelelően változik. A motor jobbforgású, tehát a tekercset az

óramutató járásával megegyezően elfordítva az előgyújtási szög csökken, azzal ellentétesen elfordítva pedig növekszik.

Olyan előgyújtás-állító berendezés tervezésére volt szükség, amely kielégíti mind a benzines, az E85 és a hidrogénüzem kívánalmait. Hidrogén használatakor a nagy égési sebességnek köszönhetően az optimális előgyújtási szögértéknek kisebbnek kell lennie, mint benzines üzemben, E85

7. ábra: Az előgyújtás állító szerkezet



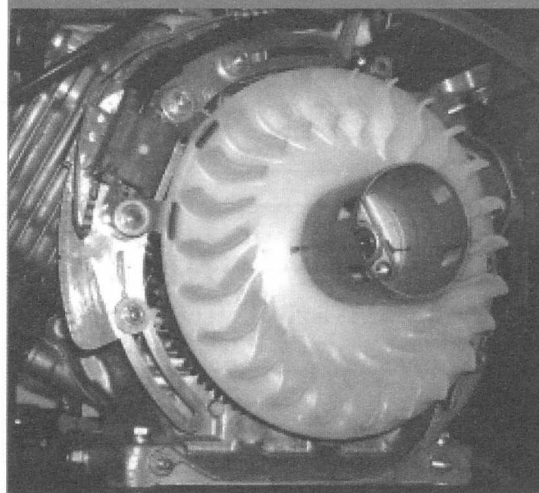
esetén az etanol tartalom miatt az ideális előgyújtási szögérték nagyobb. A gyári előgyújtás-érték benzinüzemre: 25° FHP előtt. A tüzelőanyagtól és az üzemviszonyoktól függően felső holtpont utáni gyújtási időpont is szóba jöhet, ezért az előgyújtási szög állíthatósága a FHP előtti 40°-tól a FHP utáni 5°-ig került meghatározásra. A szerkezeten található szögskálán a kis beosztások 2°-ot, a nagy beosztások 10°-ot jelölnek főtengegy fokban mérve, a felső holtpontot kör, a gyári beállítást (25°) félkör alakú bemarás jelöli. Az előgyújtás-állító szerkezetrajza a 7. ábrán látható.

A szerkezet a hengerfejen, a gyújtótekerccs helyén került rögzítésre süllyesztett csavarokkal. A tekerccs egy lemezre van erősítve, ahol egy sín mentén el lehet mozdítani, állítása pedig a síneket összeszorító csavarok oldásával lehetséges. Az előgyújtási szög értékét a motor üzemeltetése előtt minden esetben az aktuális üzemanyagnak megfelelően kell megválasztani. A motorra felszerelt előgyújtás-állító szerkezet a 8. ábrán látható.

#### 4.4. A tüzelőanyag-ellátó rendszer átalakítása E85 üzemre

E85 üzemben a tüzelőanyag-ellátó rendszer fűvókájának átalakítása szükséges, mivel az etanol fűtőértéke csak mintegy kétharmada a benzinének. Emiatt azonos teljesítmény eléréséhez nagyobb mennyiségű tüzelőanyagra van szükség. A fűvóka egy kalibrált furatú cső, amely a tüzelőanyagot adagolja. A fűvókán átáramló tüzelőanyag sebessége a légterekben uralkodó nyomástól függ, minél nagyobb a depresszió, annál nagyobb a sebesség.

8. ábra: Az előgyújtás állító szerkezet a motorra felszerelve



A motorparaméterek optimális beállításaihoz készítettem több karburátorfűvókát, amelyek szegény, sztöchiometrikus és dús keveréket biztosítottak. A karburátorfűvókák mérését CarbuTest átfolyásmérő berendezéssel végeztem.

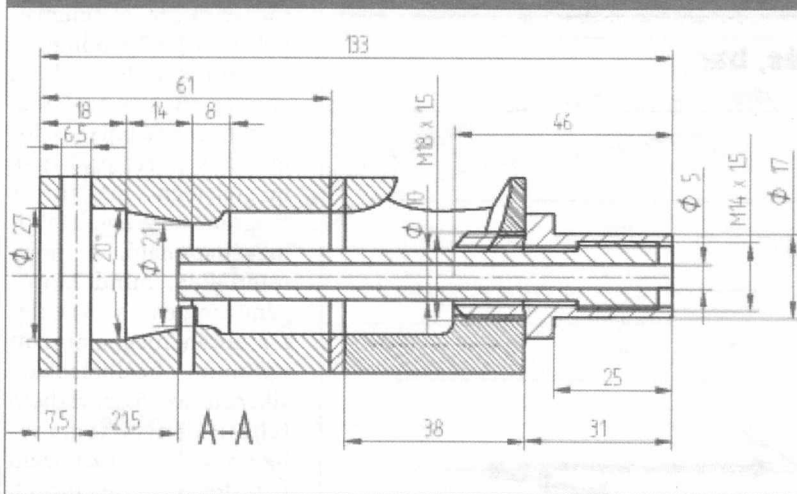
#### 4.5. A hidrogén ellátó rendszer kialakítása

A kísérleti motor a demonstrációs jármű részeként a HTTE egységből nyert hidrogént használja. Kísérleteim során szimuláltam a majdani állapotot, azaz a jövőben a motort tápláló hidrogén tulajdonságait (1atm, 20°C).

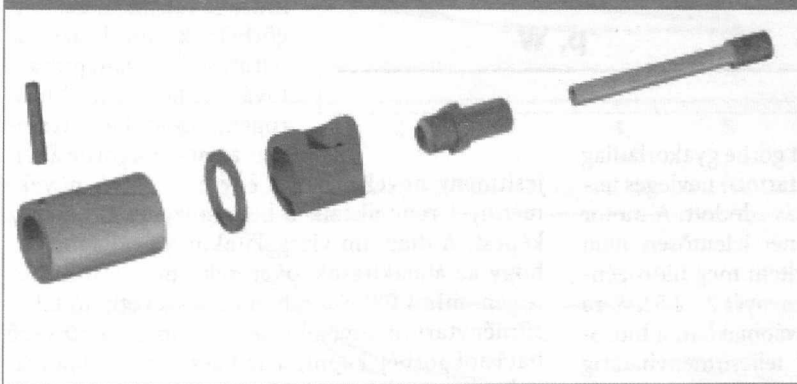
A benzinmotorok gázüzemre történő átalakításának egyik legegyszerűbb módja a folyamatos gázbeszívás közel atmoszférikus nyomásról. A tüzelőanyagot a szívócsőbe atmoszférikus nyomáson, fűvókán keresztül vezettem be (9. és 10. ábra). A beszívott levegő sebessége a szűk keresztmetszetben megnő, nyomása lecsökken, így a beszívott tüzelőanyag mennyisége a szívócső depresszió és az áramló levegő sebességének függvénye. A fűvókát a pillangószelep elé kell beépíteni, hiszen mögötte a nyomás a pillangószelep zárásával csökken, így pont alacsonyabb terhelésnél jutna többlet tüzelőanyag a motorba.

A konstrukció hátránya, hogy a motor szabályozásához továbbra is szükség van a pillangószelepre a beszívott levegő fojtásához, így a hidrogénüzem egyik nagy előnye, a motor minőségi szabályozásának lehetősége nem használható ki (a volumetrikus hatások nem növelhető).

9. ábra: A hidrogénfúvóka beépítése a szívócsőbe



10. ábra: A szívócső és a fúvóka robbantott ábrája



## 5. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK BENZIN, E85 ÉS HIDROGÉN TÜZELŐANYAGOK-KAL

### 5.1. Az elvégzett kísérletek értékelése

A kísérleti motor gyári benzinüzemű paramétereit a következők: előgyújtás 25° FHP előtt, a karburátor fúvóka hidraulikai átmérője 0,92 mm. E85 üzemben az optimalizálási folyamat végeredményeképp a motor optimális paramétereit: előgyújtás 40° FHP előtt, a karburátor fúvóka hidraulikai átmérője 1,08 mm. A motor égésproblémáktól mentesen üzemel, könnyen indítható, olajhőmérséklete a megengedett tartományon belül marad.

Hidrogénüzemben az optimalizálási folyamat végeredményeképp a motor optimális paramétereit: előgyújtás 20° FHP előtt, a hidrogén fúvó-

ka átmérője: 4,8 mm. A motor égésproblémáktól mentesen üzemel, könnyen indítható, olajhőmérséklete a megengedett tartományon belül marad.

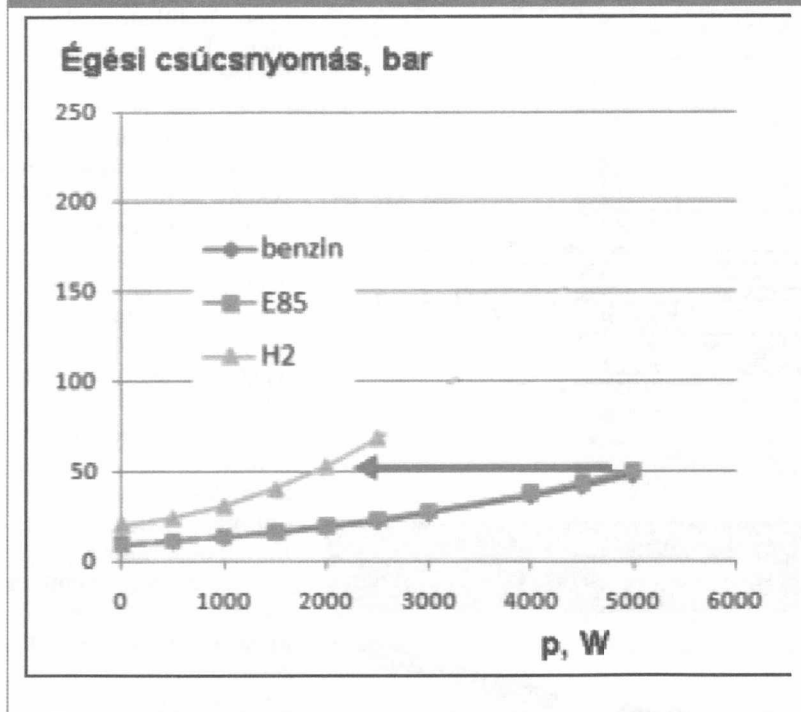
Mivel a motor hidrogénüzemben nagyon érzékeny a megfelelő előgyújtásra, megvizsgáltam a motort benzin és E85 üzemben is a hidrogén számára optimális előgyújtással. A kapott jelleggörbék arra engednek következtetni, hogy a motor kielégítően üzemel benzin és E85 üzemben is a hidrogén számára optimális előgyújtással. Ennek oka, hogy a motor benzin és E85 üzemben kevésbé érzékeny az előgyújtás optimális voltára, mint hidrogénüzemben. Ez a tüzelőanyagok közötti fizikai és kémiai különbözőségekkal magyarázható.

### 5.2. A vizsgálati teljesítménytartomány meghatározása nyomásindikálással

A motor eredeti benzinüzemének megtartása érdekében a motor kompresszióviszonyát nem módosíthattam. Ez az E85 és a hidrogénüzemanyagban rejlő lehetőségek kihasználását korlátozta, nem állt módomban kihasználni az E85 nagy (105) és a hidrogén igen nagy (130) oktánszámát.

A vizsgálati teljesítménytartomány meghatározásához azt a feltételt szabtam, hogy az égéstér csúcsnyomása – a motor károsodását megelőzendő – ne haladja meg jelentősen a benzin, illetve E85 üzemben mért csúcsnyomásokat. Az égéstér csúcsnyomását nyomásindikálással határoztam meg. A gyújtógyertya furatába Kistler 6118B, piezokvarc-kristály betétes gyújtógyertyát helyeztem jeladóként. A csúcsnyomásokat különböző motorhajtóanyagokkal a 11. ábra szerint alakultak.

11. ábra: Az égési csúcsnyomás alakulása, hidrogén-, E85 és benzinüzemben, optimális beállításokkal



Benzin és E85 keverékkel (a két görbe gyakorlatilag egybeesik) a 3000 fordulathoz tartozó névleges terhelésnél kb. 50 bar csúcsnyomás adódott. A motor károsodását megelőzendő ennél jelentősen nem magasabb csúcsnyomást engedtem meg hidrogénüzemre is, ami a motor teljesítményét 2 - 2,5 kW-ra korlátozta. Ennek alapján a továbbiakban a hidrogénüzemű méréseket 2,5 kW teljesítményhatárig végeztem.

### 5.3. A motor optimum üzemeinek összehasonlítása hidrogén, benzin és E85 tüzelőanyagok esetén

A következő diagramok lehetővé teszik a különböző tüzelőanyagokkal üzemelő motor optimum üzemeinek összehasonlítását (12. ábra). A diagramokon a benzinüzemben kapott eredményeket piros színnel, az E85 üzemben kapott eredményeket (utalva a tüzelőanyag környezetkímélő mivoltára) zöld színnel, míg a hidrogénüzemben kapott eredményeket kék színnel ábrázoltam.

A diagramok a motor hatásfokát, fajlagos energiafogyasztását, fajlagos tüzelőanyag-fogyasztását és óránkénti fogyasztását ábrázolják a korigált teljesítmény függvényében, hidrogén, E85

és benzinüzemben, optimális beállításokkal. A hatásfokgörbe a generátor leadott teljesítményének és a bevitt hőmennyiségnek a hányadosa, azaz az effektív hatásfok. A hatásfok a fajlagos fogyasztás reciprokának megfelelően alakul. A diagram vizsgálatok megállapítható, hogy mind E85, mind hidrogénüzemben a kísérletek során meghatározott optimum beállításokkal sikerült az összevethető teljesítménytartományban a gyári benzinüzem hatásfokát jelentősen meghaladni. Azonban ennél is kiemelkedőbb eredmény az E85 és a hidrogénüzem hatásfokgörbéinek közel azonos felfutása. Megállapítható továbbá, hogy mind hidrogén, mind E85 üzemben a hatásfokgörbe a

teljesítmény növekedésével egyre nagyobb növekménnyel rendelkezik a benzinüzem görbéjéhez képest. A diagram vizsgálatok megállapítható, hogy az átalakítások sikeresek, mert mind hidrogén, mind E85 üzemben az összevethető teljesítménytartományban sikerült szinte megegyező hatásfokgörbét kapni, a felhasznált tüzelőanyagok teljesen eltérő tulajdonságai ellenére.

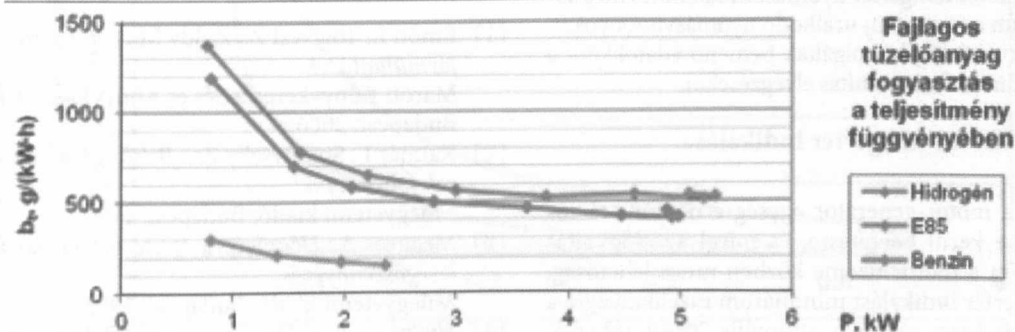
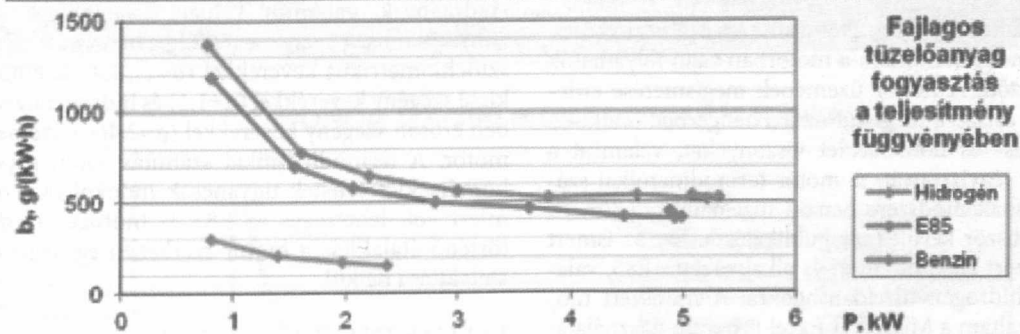
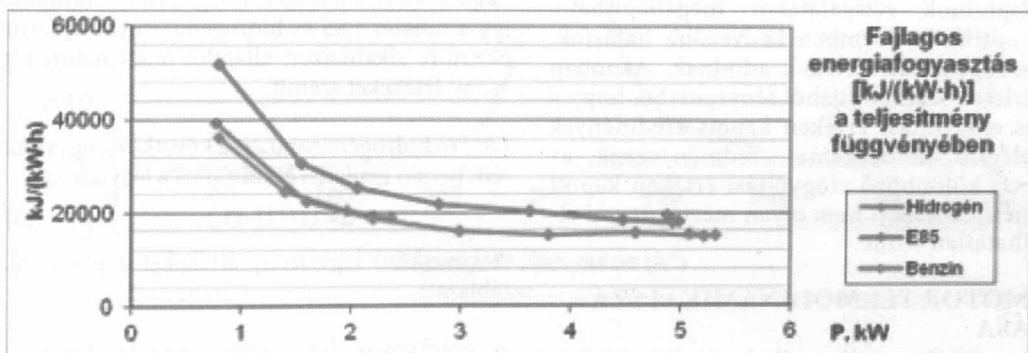
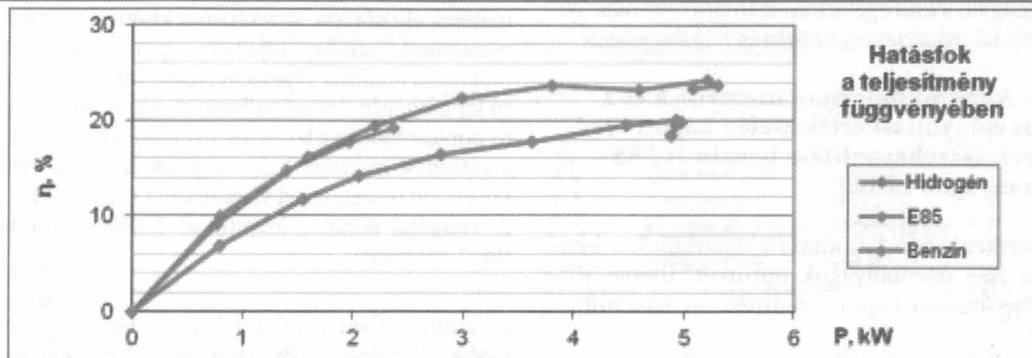
#### 5.3.1. A 20°-os felső holtpont előtti előgyújtás értékkel kapott kísérleti eredmények összehasonlítása hidrogén, benzin és E85 tüzelőanyagok esetén

A kísérleti motor a korábban bemutatott demonstrációs járműben történő üzemelésre készült. Tervezési feltétel volt, hogy a motor leállása nélkül legyen lehetőségünk a folyékony (benzin, vagy E85), illetve a hidrogénüzem közötti átkapcsolásra.

A benzinüzem gyári előgyújtás értéke 25°, míg E85 üzemben az optimális előgyújtási szögérték 40°. Mivel a hidrogénüzem a legérzékenyebb a beállításokra és a motorra felszerelt előgyújtás állító szerkezet működés közbeni állítása nem lehetséges, szükségessé vált megvizsgálni a motor tulajdonságait a folyékony



12. ábra: A motor jelleggörbéi hidrogén, E85 és benzin üzemben, a tüzelőanyagok optimális beállításaival



üzemanyagokkal a hidrogénüzem számára optimális 20° előgyújtási értéken. A korábban bemutatott mérések során megvizsgáltam a kísérleti motor tulajdonságait, a hidrogénüzem számára optimális 20° előgyújtási szögértéken, benzin és E85 üzemben.

### 5.3.2. A motor optimum üzeleinek és a 20°-os előgyújtási érték esetén kapott eredmények összehasonlítása benzin és E85 üzemanyagok esetén

A következőkben bemutatott diagramok a benzin és E85 üzemanyagok optimált, illetve 20°-os előgyújtással kapott eredményeit hasonlítják össze.

A diagramok vizsgálatakor megállapítható, hogy optimum üzemben kedvezőbb hatásfok, illetve fogyasztási értékek adódnak. Azonban a kísérletek szempontjából lényegesebb, hogy a 20°-os előgyújtási értéken kapott eredmények is kielégítő motorüzemet eredményeznek, az eltérés a különböző előgyújtási értéken kapott eredmények között nem olyan mértékű, ami elfogadhatatlan lenne.

## 6. A MOTOR TERMODINAMIKAI SZÁMÍTÁSA

### 6.1. A motor termodinamikai számítása

A motor termodinamikai számítása azért szükséges, hogy meghatározzam a motorban zajló folyamatok jellemzőit. A motor üzemének megismerése érdekében célszerű meghatározni a hengerben uralkodó nyomás- és hőmérséklet viszonyokat, valamint a motor légviszonyát. A motor termodinamikai számításának módszere benzin tüzelőanyagra ismert, és többször került már publikálásra. Ezt az ismert módszert alakítottam át és alkalmaztam E85, valamint hidrogén tüzelőanyagokra. A módszert modernizáltam a Microsoft Excel program használatával. A motor hengertér nyomásindikálásával meghatároztam a motorban uralkodó nyomásviszonyokat, és ezek az értékek szolgáltattak bemenő adatokként a termodinamikai számítás elvégzésékor.

### 6.2. A motor hengertér indikálása

Mivel a motor-generátor egység a demonstrációs járműbe kerül beépítésre, és mivel az előgyújtás állítására a motor üzeme közben nincs lehetőség, a hengertér indikálást mindhárom tüzelőanyagra a hidrogénüzem számára optimális 20°-os előgyújtás értéken, az ilyen beállítással elérhető maximális teljesítményen végeztem el (13-18. ábra).

## 7. ELLENŐRZÉS ÉS ÉRTÉKELÉS

Az indikátor diagram alapján számított motorparaméterek ellenőrzése érdekében a kísérleti motor fent bemutatott munkapontjaiban kipufogógáz elemző műszerrel analízist végeztem Saxon Infralyt CL típusú kipufogógáz elemző műszerrel, amely szerviz szintű pontosságot tesz lehetővé. Ezt elegendőnek tartom a számítási módszer helyességének ellenőrzésére. A következő összetevőket vizsgáltam:  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ . A vizsgálat során a következő értékeket mértem (ld. 7. táblázat).

Benzinüzemben a műszer képes a légviszony mérésére. A műszer a Brettschneider formulát használja a mért adatokból a légviszony számítására, így a műszer E85 és hidrogénüzemben a formula benzinre alkalmazott állandói miatt hamis légviszony értékeket számít.

E85, és hidrogénüzemben a következő, egyszerűsített, becslő képlettel kiszámolva a légviszonyt:

$$\alpha = 21 / (21 - O_2) \quad [3]$$

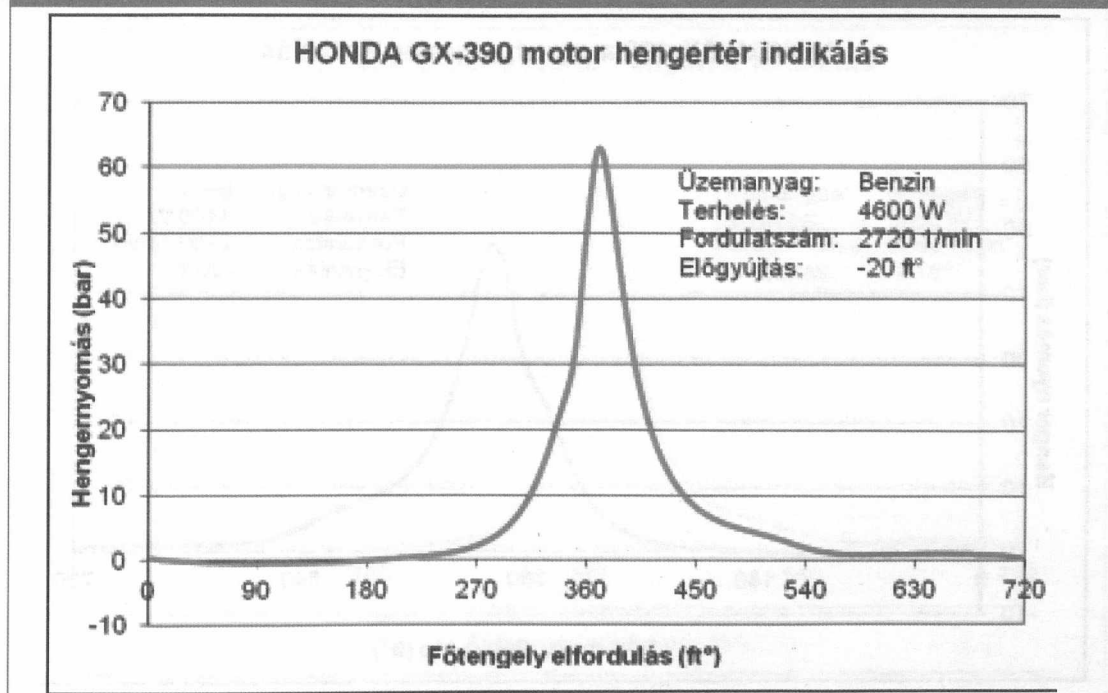
A következő légviszony értékeket kaptam (ld. 8. táblázat).

A számítások helyességét igazolja, hogy benzin, E85 és hidrogénüzem esetén is a számított eredmények, valamint a mért eredmények közötti különbség igen csekély. Így benzinüzemben sztöchiometrikus keverékkel ( $\alpha=1$ ), E85 üzemben kissé szegény keverékkel ( $\alpha=1,1$ ) és hidrogénüzemben erősen szegény keverékkel ( $\alpha=2,466$ ) üzemel a motor. A termodinamikai számítás során kapott hőmérséklet értékek ugyancsak indokolják, hogy miért volt lehetséges az E85 és hidrogénüzemre történő átalakítás a motor szerkezeti egységeinek átalakítása nélkül.

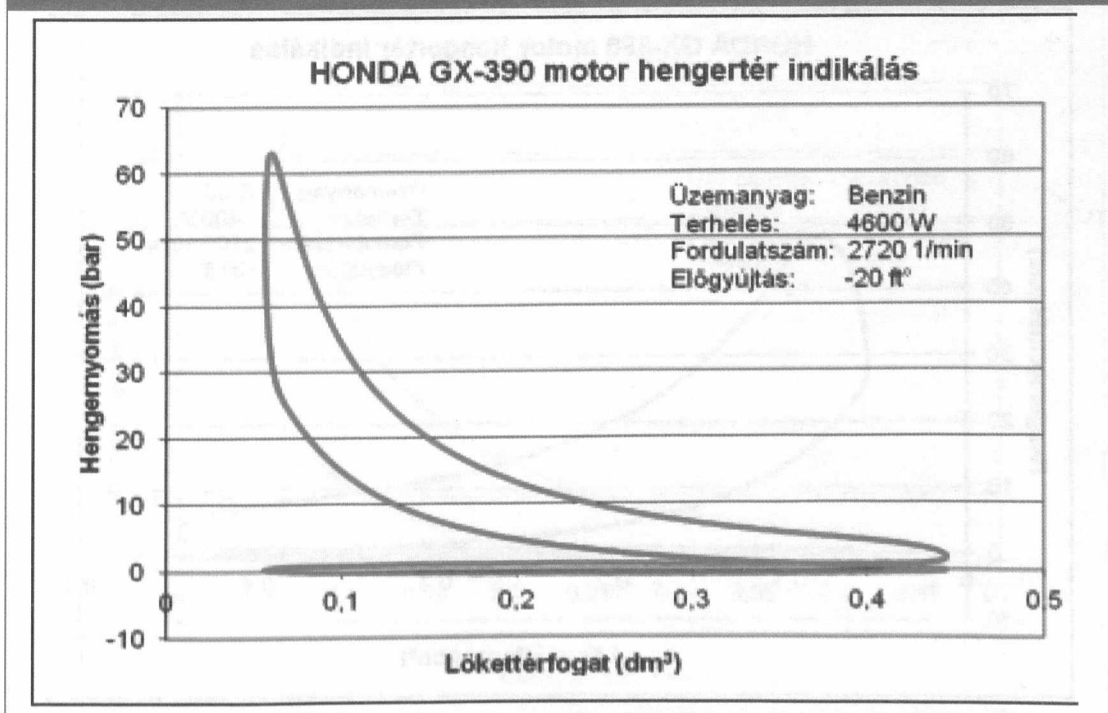
## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Emőd I., Tölgyesi Z., Zöldy M.: *Alternatív járműhajtások*  
Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006.
- [2] Kalmár I., Stukovszky Zs.: *Belső égésű motorok folyamatai*  
Műegyetemi kiadó, Budapest, 1998.
- [3] Meggyes A.: *Hőerőgépek égéstermékei okozta levegőszennyezés*  
Műegyetemi kiadó, Budapest, 1993.
- [4] *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies* – College of the Desert,  
Palm Desert, CA, USA, 2001.

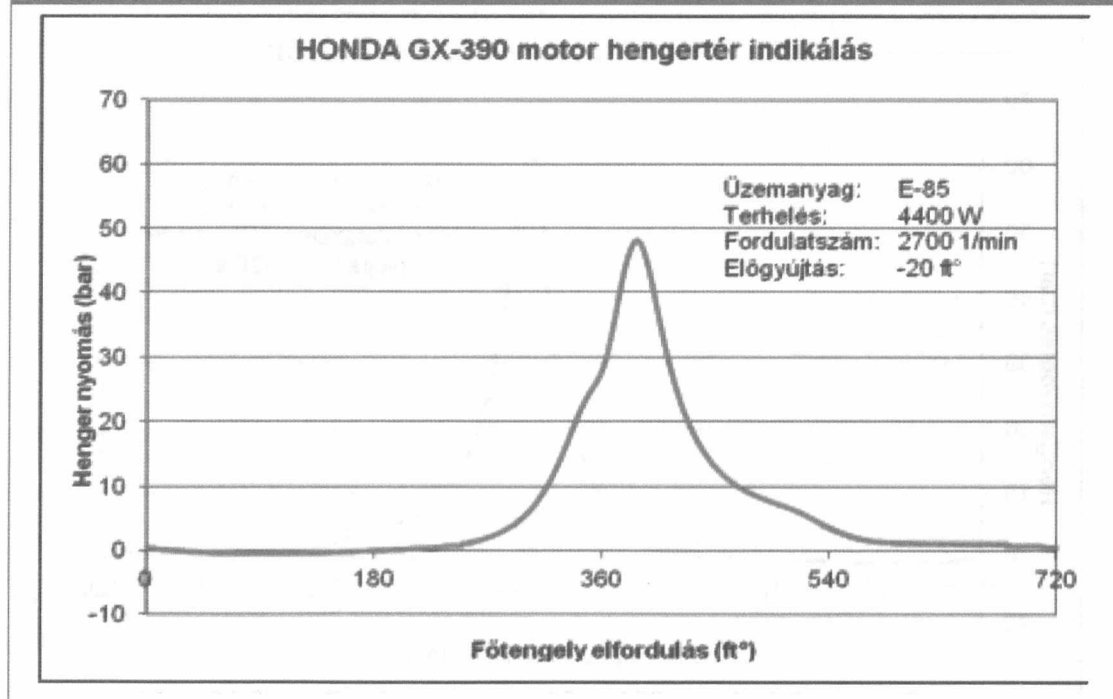
13. ábra: A motor hengertér indikálás p-φ diagramja benzinüzemben



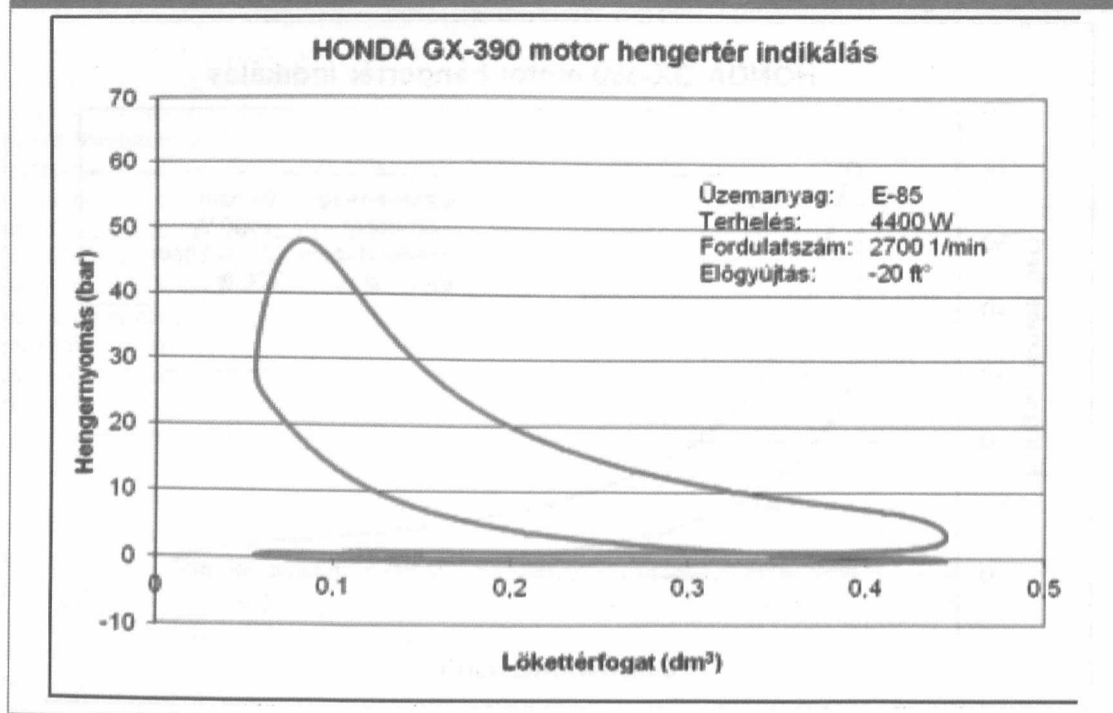
14. ábra: A motor hengertér indikálás p-V diagramja benzinüzemben



15. ábra: A motor hengertér indikálás p-φ diagramja E85 üzemben

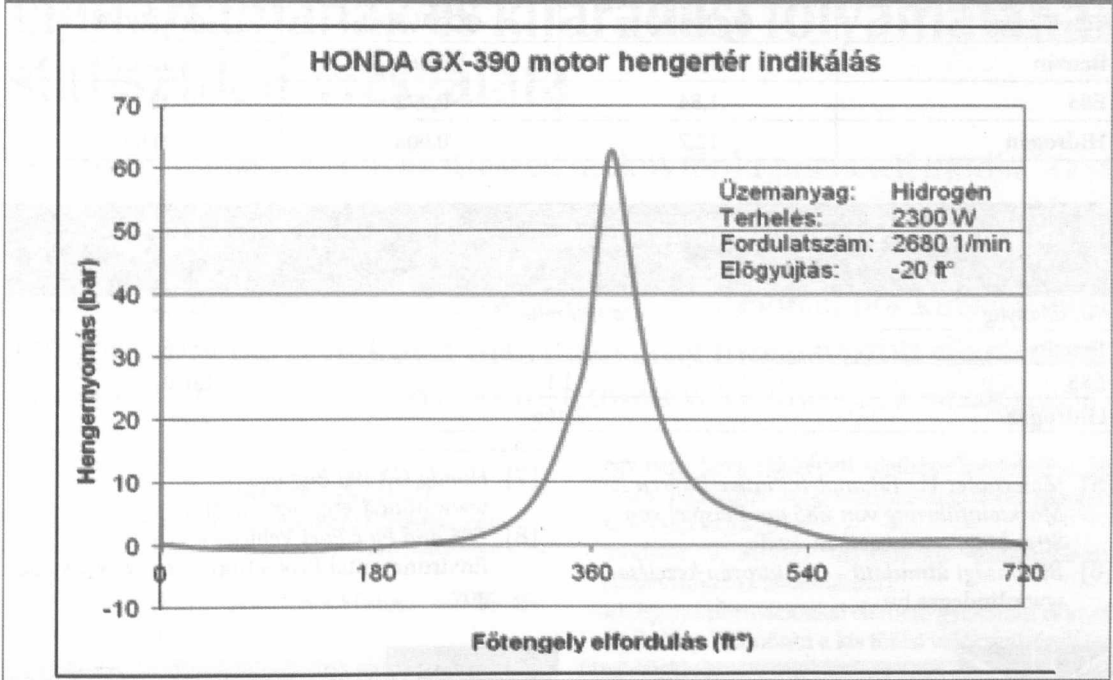


16. ábra: A motor hengertér indikálás p-V diagramja E85 üzemben

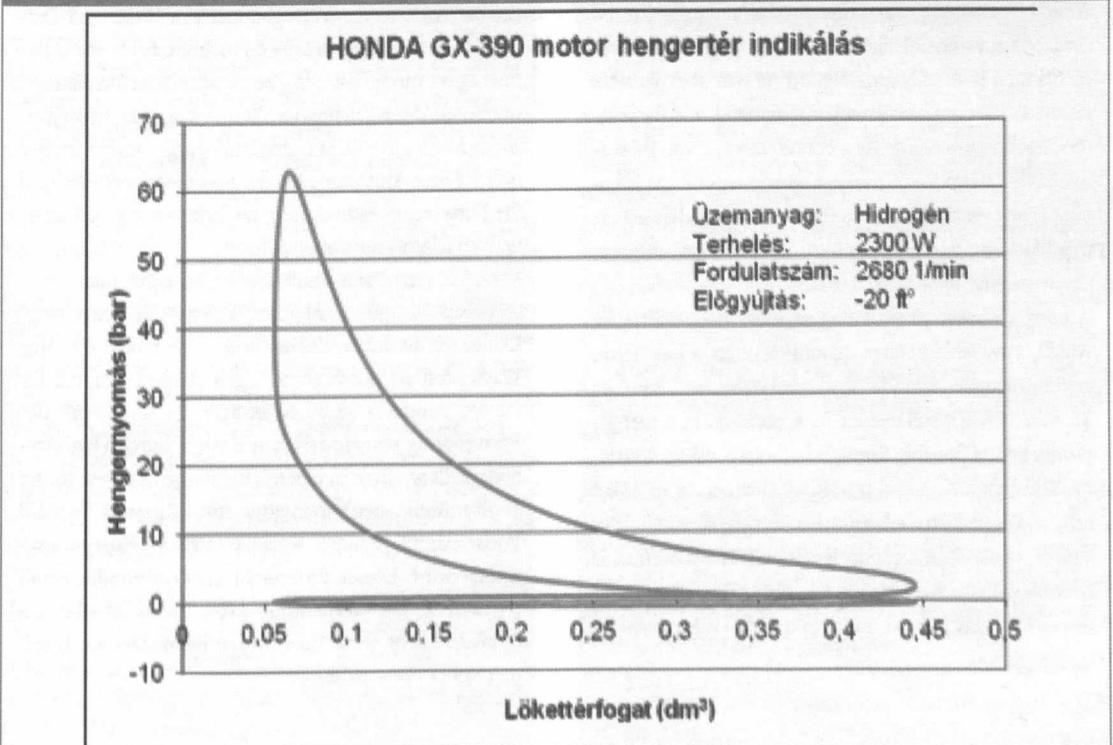




17. ábra: A motor hengertér indikálás p-φ diagramja hidrogénüzemben



18. ábra: A motor hengertér indikálás p-V diagramja hidrogénüzemben 2 hasáb



7. táblázat: A kipufogógáz összetétele

Tüzelőanyag	O <sub>2</sub> (V/V%)	CO (V/V%)	CO <sub>2</sub> (V/V%)
Benzin	1,08	0,865	18,19
E85	1,84	0,372	11,07
Hidrogén	12,7	0,008	0,09

8. táblázat: A mért és számított légfelesleg tényezők

Tüzelőanyag	$\alpha$ (számított)	$\alpha$ (mért)
Benzin	1	0,986
E85	1,1	1,096
Hidrogén	2,466	2,53

- [5] Maierhofer H.: *Ethanol-Initiative Bayern – Markteinführung von E85 am Beispiel von Straubing*, [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)
- [6] *Biztonsági útmutató – A hidrogén kezelése*, [www.lindegas.hu](http://www.lindegas.hu)

- [7] *Honda GX390 Engine*, [www.honda-engines-eu.com](http://www.honda-engines-eu.com)
- [8] *E85 and Flex Fuel Vehicles – U.S.* Environmental Protection Agency, [www.epa.gov](http://www.epa.gov)



## The application of alternative engine fuels in internal-combustion engines

Several factors have to be considered when analyzing the availability of mineral oil and natural gas as energy sources: demand is steadily growing, the growth of exploitable resources cannot keep up with this demand, and the costs of extraction are rising. As a consequence, it can be surmised that the price of mineral oil and natural gas is going to rise over the long term. This assumption has led car manufacturers and research institutes to the investigation of alternative engine fuels.

Among different gaseous engine fuels, only hydrogen, which is available in large quantities, offers a long-term, environmentally friendly and renewable solution. Its qualities make it suitable for its application as a fuel. Its production is possible through hydrolysis using electricity. Through a chemical procedure that occurs in a fuel cell, hydrogen forms a bond with oxygen, creating water vapour, while electric energy is released. The procedure is environmentally friendly and renewable. The widespread use of fuel cells in road traffic to this day is hindered by their high cost.

## Verwendung von Alternativkraftstoffen in Verbrennungsmotoren

Bei der Analyse der Verfügbarkeit von Erdöl und Erdgas als Energieträger es müssen mehrere Faktoren in Betracht genommen werden. Der Anspruch ist fortdauernd wachsend, die erreichbaren Vorräte steigen nicht im gleichem Masse, die Kosten der Förderung werden immer höher. Diese Annutung hat die Automobilhersteller und die Forschungsinstitutionen zur Erforschung von alternativen Motorkraftstoffen geführt.

Von den gasartigen Treibstoffen bedeutet nur der in größeren Mengen verfügbare Wasserstoff eine langfristige, umweltfreundliche und erneuerbare Lösung. Wasserstoff ist durch seine Eigenschaften geeignet für die Verwendung als Energieträger. Es kann mit der Verwendung von elektrischen Energie durch Hydrolyse hergestellt werden; in einem chemischen Prozess in der Treibstoffzelle, bei Vereinigung mit Sauerstoff es wird Wasserdampf gebildet, wobei elektrische Energie freigesetzt wird. Dieser Prozess ist umweltfreundlich und erneuerbar. Die Verbreitung von Treibstoffzellen im Straßenverkehr wird durch ihren heutzutage noch immer hoher Preis verhindert.

## Járműalkatrészek és szerkezetek élettartamának és kifáradási folyamatának statisztikai vizsgálata

Az anyagfáradás a járműalkatrészek tipikus tönkremeneteli módja. Az elmúlt 150 évben nagyszámú fárasztókísérletet végeztek már el, de a műszaki fejlesztésekhez folyamatosan újabbakra van szükség. Az eredmények statisztikai bizonytalansága csökkenthető a korábbiakból kinyert információkkal. A Bayes módszer matematikailag megalapozott eljárást kínál az előzetes információk bevonására a törési valószínűségek becslésekor.

**Dr. Kovács Krisztián**

e-mail: krisztian.kovacs@knorr-bremse.com

### 1. BEVEZETÉS – AZ ANYAGFÁRADÁS JELENTŐSÉGE

Sok gépalkatrész, különösen a járműalkatrészek jelentős körének az anyagfáradás a mértékadó tönkremeneteli módja. Ezért a kifáradás, a probléma fölismerése óta (Wöhler, ≈1860.) folyamatosan intenzíven vizsgált terület. A folyamatos kutatások ellenére a műszaki fejlesztés újra meg újra olyan szerkezetek létrehozásához vezet, amelyek ismét ráirányítják a közvélemény figyelmét is a kifáradásra, pl. a sugárhajtású utaszállító repülőgépek túlnyomós törzse (1950. Comet), gumibetétes nagysebességű vasúti kerékpárok (1998. Eschede)...

Az utóbbi 150 évben hatalmas mennyiségben végeztek különféle fárasztókísérleteket. Ennek ellenére még a számítási módszerek fejlődése sem teszi nélkülözhetővé a fárasztókísérleteket a modern járműtervezésben. Mivel a fárasztókísérletek erőforrásigényesek, igéretes törekvés, hogy az eddig összegyűlt tapasztalatokat figyelembe vevő, matematikailag jól megalapozott módszerekkel végezzük az új kísérletek kiértékelését. A fárasztókísérleti élettartamok jelentős szóródása miatt jellemzően statisztikai kiértékelésre van szükség, így a korábbi kísérletek eredményeinek hasznosítása is statisztikai módszereket igényel.

### 2. A KUTATÁS CÉLJAI ÉS MÓDSZEREI

A kutatási munka fő célkitűzései az alábbiak:

- módszer újrahaznosítható információk kinyerésére korábbi fárasztókísérletből;

- egy nagy fárasztókísérleti adatbázis kiértékelése, különös tekintettel az élettartam-eloszlások szórásviszonyaira és alakjára;
  - módszer a kinyert információk felhasználására (Bayes módszer alkalmazása);
  - a kinyert információkkal elérhető gyakorlati előnyök értékelése, különösen a kis törési valószínűségek tartományán.
- A kutatási munka során az alábbi módszerek alkalmazására nyílt lehetőségem:
- a publikált laboratóriumi fárasztókísérletek kiértékelése;
  - modellalkotás, elméleti következtetések;
  - numerikus eljárások (pl. paraméterillesztés);
  - sztochasztikus szimulációk.

A feldolgozott adatbázis „DaBeF” (Datensammlung-Betriebsfestigkeit) néven szabadon hozzáférhető, amelyben a német egyetemek és kutatóintézetek által 1960-tól 1992-ig elvégzett laboratóriumi kísérletek adatai szerepelnek, mintegy 63 forrásból kutatási jelentések, doktori értekezések stb. A próbatest rajzok, a vizsgált anyagok, a fárasztógép típusok is jól dokumentáltak.

### 3. AZ ELEMZETT FÁRADÁSI ADATOK ÉS AZ EREDMÉNYEK FELHASZNÁLHATÓSÁGA

A cikkben bemutatott eredmények állandó terhelés-amplitúdóval végzett laboratóriumi próbatest fárasztások elemzésén alapulnak. Ezekben a kísérletekben a koptatás, az extrém hőmérséklet és a korrózió szerepe nem lényeges. Ezek a feltételek járművázszerkezetek esetében jellemzően teljesülnek.

A repedésterjedés szempontjából az alkatrészek lehetnek tömörszerűek és lemezszerűek. A tömörszerű alkat-

1. táblázat: Élettartamminták néhány várható érték és szórás jellegű statisztikai jellemzője

A mennyiség jellege	Közvetlen várható érték és szórás	Lognormális eloszlás paraméterei	Weibull eloszlás paraméterei
Várható érték	$\lg M(T)$	$M(\lg T)$	$\lg B$ skálaparaméter
szórás	$S(T) / M(T)$	$S(\lg T)$	$1/A$ alakparaméter

részek a fáradásos repedés megjelenése után gyorsan tönkremennek (az élettartam <10%-a repedésterjedés). A lemezszerű alkatrészek esetében viszont az élettartam nagy részében jellemző a repedésterjedés. A bemutatott vizsgálatok tömörszerű alkatrészekre vonatkoznak.

A különböző fárasztóterhelés-amplitúdók mellett elért kifáradási élettartamokat (Wöhler görbe) három jellegzetes tartományra szokás osztani:

- kisciklusú fáradás (kb.  $10^4$  ciklusszámig);
- tartamszilárdság (kb.  $10^4 - 10^6$  ciklusszám tartományban);
- kifáradási határ (pl.  $10^6$  ciklusszám fölött).

A vizsgált adatok a kisciklusú rész felső tartományából és a tartamszilárdság tartományából származnak, a nyert eredmények is ebben a szakaszban alkalmazhatók. A kifáradási határt nem vizsgáltam.

Mivel a bemutatott vizsgálatokhoz nagyszámú korábbi fárasztókísérletre van szükség, ezért olyan esetekre kellett szorítkoznom, amelyekben nagy számban állt rendelkezésemre kísérleti adat. Bár ez egybeesik a leggyakoribb igényekkel, a nyert eredményeim közvetlen alkalmazhatósága behatárolt. A vizsgálatok alapelve és a nyert összefüggések jellege azonban iránymutató lehet más esetekben is.

#### 4. AZ ÉLETTARTAMMINTÁK NÉHÁNY STATISZTIKAI JELLEMZŐJE

Az élettartamminták alapján jellemezni kell az átlagos élettartamot és az élettartamok szóródását. E két célra különböző várható érték jellegű és szórás jellegű mennyiségek alkalmazhatók. Az élettartamok egyszerű várható értéke és szórása akkor volna igazán hasznos mennyiség, ha a kifáradási élettartamokat leíró  $T$  valószínűségi változó

eloszlása közelíthető lenne normális eloszlással. Mivel  $T$  eloszlása inkább lognormális vagy Weibull eloszlással közelíthető, ezért hasznosabb ezekhez az eloszlásokhoz kapcsolni a várható érték és a szóródás jellemzésére alkalmazott mennyiségeket. Néhány szóba jövő, célszerű mennyiséget mutat be az 1. táblázat.

A várható érték jellegű és szórás jellegű mennyiségek közötti összefüggéseket vizsgáljuk, ezért érdemes megfontolni, hogy a többféle lehetséges mennyiség közül, amelyeket használjuk.

#### 5. ÖSSZEFÜGGÉS AZ AZONOS JELLEGŰ STATISZTIKAI JELLEMZŐK KÖZÖTT

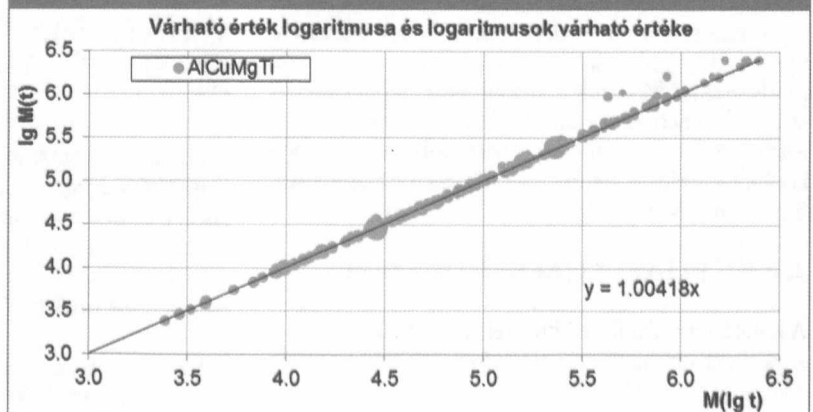
A szóba jövő mennyiségek becslésére számos módszer ismert. A várható értékek becslésére az átlag, a szórás becslésére a korrigált tapasztalati szórás, a Weibull paraméterek becslésére a maximum likelihood módszer megfelelő. A jellemzők becslött értékei között közelítő elméleti összefüggések vezethetők le [2]:

$$S_x^* \approx \frac{S_T^*}{M_T^*} \cdot \frac{1}{\ln 10} \approx \frac{1}{A^*} \quad (1)$$

várható érték jellegű mennyiségekre:

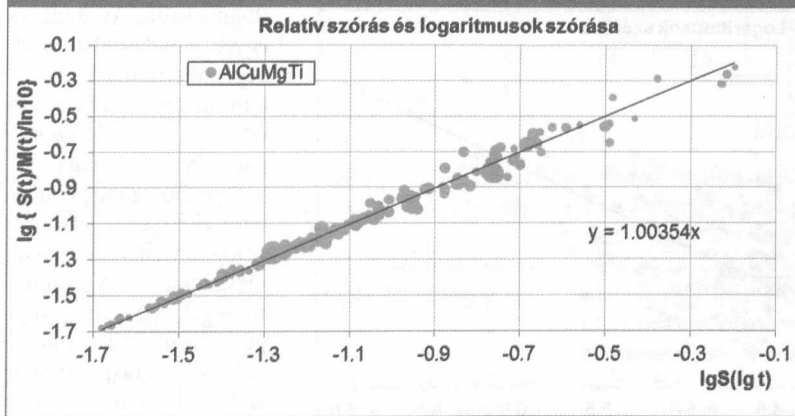
$$M_x^* \approx \lg M_T^* \approx \lg B^*$$

1. ábra: Különböző várható érték jellegű mennyiségek összefüggése





2. ábra: Különböző szórás jellegű mennyiségek összefüggése



ahol:

$S_T^*$  és  $M_T^*$  a  $T$  valószínűségi változó becsült szórása és várható értéke

$S_X^*$  és  $M_X^*$  az  $X = \lg T$  valószínűségi változó becsült szórása és várható értéke

$A^*$  és  $B^*$  a becsült Weibull alak- és skálaparaméterek

A rendelkezésre álló nagyszámú élettartammintára kiszámíthatók a  $S_X^*$ ,  $S_T^*$ ,  $A^*$  valamint a  $M_X^*$ ,  $M_T^*$ ,  $B^*$  mennyiségek tapasztalati értékei. A könnyűfém anyagú próbatestekkel mért élettartamminták alapján nyert összefüggéseket mutatja az 1. és 2. ábra. A buborékméret a mintaméretre utal. Kis mintáknál a statisztikai paraméterek ingadozása jelentős, ezért a kisméretű buborékok szabálytalanabb elhelyezkedése nem kritikus a vizsgált összefüggések szempontjából.

Más anyagok és más azonos jellegű mennyiségek vizsgálata is a fentiekhez hasonló eredményekre vezet. Az eredmények igazolták az (1) összefüggések által leírt elméleti várakozást. Gyakorlatilag bármelyik várható érték és bármelyik szórás jellegű mennyiség kapcsolatát vizsgálhatjuk, a három-három mennyiség lényegében egyenértékű. A további vizsgálatokhoz az  $S_X^*$  és  $M_X^*$  mennyiségeket használtam.

## 6. A VÁRHATÓ ÉRTÉK ÉS SZÓRÁS JELLEGŰ JELLEMZŐK ÖSSZEFÜGGÉSE

A várható érték jellegű és szórás jellegű mennyiségek közötti összefüggések jelentősége az, hogy figyelembevételükkel csökkenthető az élettartamminták kiértékeléskor jelen levő statisztikai bizonytalanság. Jelentősége miatt a kérdéskört több kutató is vizsgálta már.

Matolcsy több száz, különböző körülmények között végzett fárasztókísérleti élettartammintát elemzett, és

az élettartamszórás monoton növekedését állapította meg [3]. Márialigeti egy Wöhler kísérleten belül determinisztikus kapcsolatot tételezett föl várható érték jellegű és szórás jellegű mennyiségek között [4]. Saunders és Butler arra a megállapításra jutott, hogy a szórás jellegű mennyiség az általuk vizsgált könnyűfém próbatestekre nézve viszonylag nagy élettartam tartományban konstansnak tekinthető [5].

Az említett kutatók különböző statisztikai jellemzőket használtak, különböző mód-

szereket alkalmaztak, és részben ellentmondó eredményekre jutottak. Cél volt az említett eredmények egységes képbe illesztése, és a nyert összefüggések megadása a későbbi kiértékeléseknél jól felhasználható alakban.

Az  $S_X^*$  és  $M_X^*$  mennyiségek közötti tapasztalati összefüggésre mutat példát a 3. ábra ötvöztött acélok esetére. Más anyagfeleségekre is hasonló jellegű tapasztalati összefüggés adódik.

Erre a diagramra is igaz, hogy a nagyobb buborékok nagyobb mintamérethez tartoznak, ezért a nagyobb buborékok mértékadóak a keresett összefüggés jellege szempontjából. A 3. ábrán látható a  $S_X^*$  és  $M_X^*$  mennyiségek összefüggésének leírására alkalmazott kettős lineáris függvénykapcsolat képe is. A töréspont közelítőleg a kisciklusú tartomány határán van. A tapasztalati adatok nagy szórása miatt a keresett összefüggés nem jelenik meg élesen, de a választott függvénynek van két fontos tulajdonsága, amelyek alátámasztják az elfogadhatóságát:

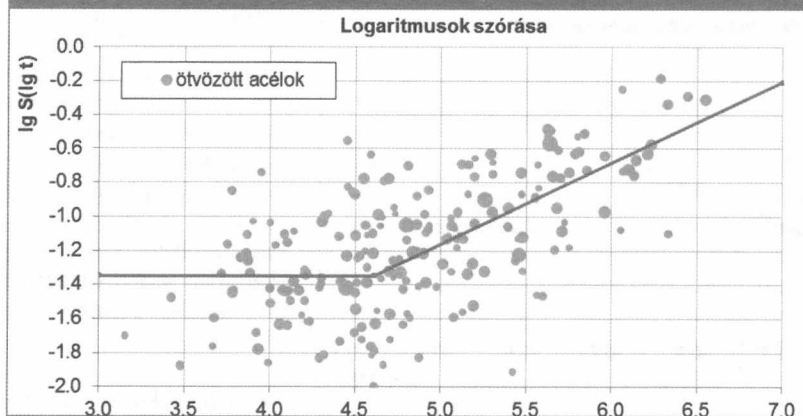
- összefér Saunders és Butler, Márialigeti és Matolcsy eredményeivel;
- a „kisciklusú” tartományban nem csökken a tapasztalati szórás.

Megi.: A kisciklusú tartományban a Wöhler görbék meredeksége kisebb, ezért az élettartam érzékenyebb a feszültség szint kis ingadozásaira, így a szórás nehezen tud tovább csökkenni.

## 7. VÉGES MINTAMÉRETEK HATÁSÁNAK LEVÁLÁSTÁSA

A véges mintaméret miatt a becsült  $S_X^*$  szórásparaméterek még akkor is jelentősen szóródnak, ha az élettart-

3. ábra: Élettartam logaritmusok becsült várható értékének és szórásának összefüggése



tamminták  $S_x$  elméleti szórásai minden esetben azonosak lennének. Továbbá okunk van feltételezni, hogy az egyes kísérletekben a szórás elméleti értéke is változik, függ a kísérleti körülményektől. A tapasztalati szórás megfigyelhető szóródása tehát két forrásból származik:

- a véges mintaméretnek miatt (mintamérettől függ, nagy mintáknál csökken);
- az egyes minták elméleti szórása eltérő (kísérleti körülményektől és a próbatest tulajdonságaitól függően).

A fenti két forrás közül az elméleti szórás eltérései adják azt a hasznos információt, amely az elkövetkező fárasztókísérletek kiértékelésébe előzetes információként bevonható. A mintamérettől függő statisztikai bizonytalanság nem hordoz használható információt, ezért ezt a véges mintaméretből eredő szóródást le kell választani.

A véges mintaméret hatásának leválasztása sztochasztikus szimulációkon alapul. A módszer lényege, hogy nagyszámú mesterséges minta generálásával és kiértékelésével vizsgáljuk a mintaméret és az elméleti szórás eltéréseinek hatásait. A generált és a valós minták kiértékelése (az  $S_x^*$  és  $M_x^*$  mennyiségek kiszámítása) azonos módon történik. A módszer főbb tulajdonságai:

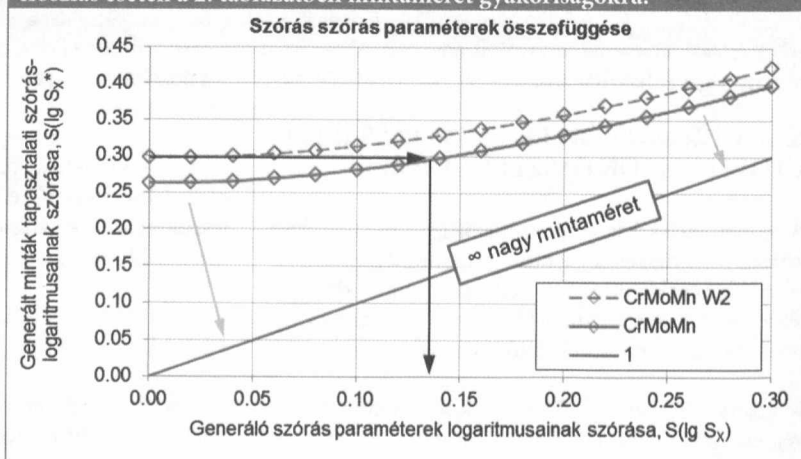
- a rendelkezésre álló mintákkal azonos méretű minták generálása ( $\approx 10^6$  minta);

- a mintageneráláshoz az élettartam eloszlásalakról feltételezéssel kell élni (lognormális, Weibull, és egyéb eloszlásokkal is elvégezett szimulációk);
- a minták generálása eltérő értékű  $S_x$  generáló szórásparaméterrel történik;
- a generáló szórásparaméterek eltéréseinek jellemzése lognormális eloszlással;
- vizsgálható az  $S_x^*$  mennyiségek szórásának függése a generáláshoz használt  $S_x$  szórásparaméter eltéréseit leíró eloszlás szórásától.

Két szimulációsorozat eredményét mutatja a 4. ábra. A két sorozat a feltételezett élettartam-eloszlás típusában különbözik, a folytonos vonal lognormális élettartam-eloszlással, a szaggatott pedig Weibull eloszlással készült. A különböző anyagfélésekre rendelkezésemre álló mintákban a különböző mintaméretnek eltérő gyakorisággal fordultak elő. A 4. ábrán bemutatott eredményeik az ötvözött acél minták mintaméret gyakoriságainak felel meg, amelyekről a 2. táblázat ad tájékoztatást.

Ismerjük a valós kísérleti adatokból meghatározott  $S_x^*$  tapasztalati szórásparaméterek szóródását. Ha ezt a 4. ábra diagramjának függőleges tengelyén bejelöljük, akkor a diagram alapján visszakereshető, hogy az elméleti szórásparaméternek mennyire kell szóródnia, hogy magyarázni tudjuk a tapasztalati szórásokat.

4. ábra: A véges mintaméret és az elméleti szórás szóródásának hatása a tapasztalati szórás szóródására lognormális és Weibull élettartam-eloszlás esetén a 2. táblázatbeli mintaméret gyakoriságokra.



2. táblázat: Különböző mintaméretek gyakoriságai ötvöztött acél próbatestes élettartammintákban. Az utolsó oszlopban az átlagos mintaméret és minták összes száma szerepel

Mintaméret	3	4	5	6	7	8	9	10	11...20	6,44
Gyakoriság	39	23	15	54	14	13	7	32	8	205

Az élettartamminták elméleti szórását is két forrás alakítja ki:

- a kifáradás jelenségét szükségképpen befolyásoló hatások (pl. kristallit konfiguráció) elkerülhetetlen véletlenszerűségei;
- kísérleti körülményekben rejlő bizonytalanságok (próbatest gyártási tűrések, befogás, fásasztógép szabályzási pontossága).

Cél, hogy a körülmények zavaró hatását gondos kísérletezéssel leszorítsuk az elkerülhetetlen anyagszerkezeti véletlenszerűségek hatása alá. Ekkor további kutatások tárgya lehet a mikroszerkezeti paraméterek és az élettartamszórás közötti összefüggések vizsgálata. Ezek ismeretében az egyes kísérletekben megjelenő élettartamszórásra nézve élesebb előzetes becsléseket lehetne adni.

## 8. A BAYES MÓDSZER ALAPEGYENLETE

Az eddigi vizsgálatok alapján előzetes információknak egy élettartamminta  $S_x$  elméleti szórásáról. Ezt az információt matematikailag az  $S_x$  eltéréseit leíró eloszlásfüggvény hordozza (lognormális eloszlás előzetesen becsült paraméterekkel). A Bayes módszer kínál matematikailag teljesen megalapozott eljárást az előzetes várakozásainkat reprezentáló eloszlásfüggvények figyelembevételére statisztikai becslésekben [1]. A Bayes módszer lényege, hogy egy „ $p$ ” paraméterre vonatkozó előzetes tudásunkat és bizonytalanságainkat hordozó a-priori eloszlást egy új minta figyelembevétele módosítja, és a becslés eredményeként megadja az a-posteriori eloszlást. Egy „ $p$ ” paraméterre vonatkozó becslés alap-egyenlete az alábbi:

$$P_{\text{posterior}}(p) = P_{\text{prior}}(p) \cdot L(p, x) \quad (2)$$

ahol:

$p$ : az a paraméter, amelynek értékére becslést adunk (pl. szórás)

$x$ : a mintaelemeket tartalmazó vektor

$L$ : likelihood függvény,  $f(p, x)$  sűrűségfüggvényel:

$$L(p, x) = \prod_{i=1}^n f(p, x_i)$$

A Bayes becslés működését szemlélteti az 5. ábra. Az ábra megfeleltethető egy olyan esetnek is, amikor egy élettartamminta lognormális szórásparaméterét becsüljük az előzőekben megállapított előzetes információk figyelembevételével. A Bayes módszer fontos tulajdonsága, hogy az előzetes és a mintából származó információk közül az hat erősebben az eredményre, amelynek kisebb a bizonytalansága. Nagy szórású a-priori eloszlás vagy nagy minták esetén a Bayes módszer gyakorlatilag a likelihood függvényt adja eredményül.

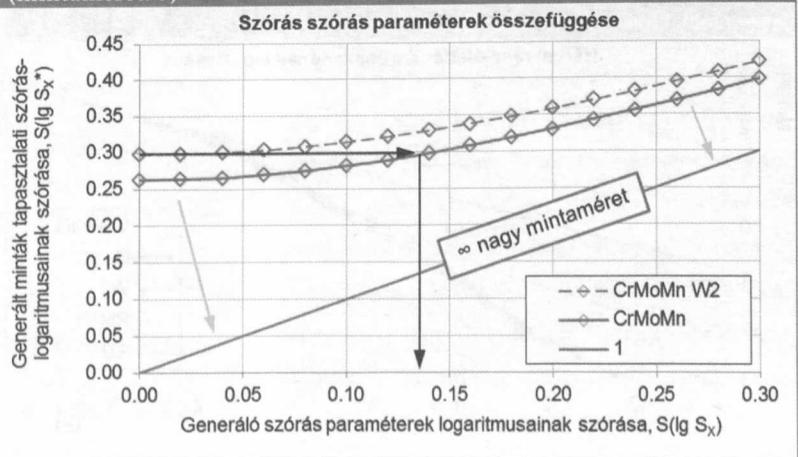
## 9. KIS TÖRÉSI VALÓSZÍNŰSÉGEK BECSLÉSE BAYES MÓDSZERREL

A Bayes módszerrel meghatározott a-priori eloszlás alapján többféle módon is adhatunk becslést egy paraméter értékére. Legfontosabb nevezetes értékek:

- az a-priori eloszlás legvalószínűbb értéke (módusza);
- az a-priori eloszlás várható értéke.

Ha az a-posteriori eloszlás közel van normálishoz, akkor a fenti két érték közel esik egymáshoz. Viszont vannak gyakorlati szempontból fontos esetek, amikor a fenti két érték lényegesen eltér. Ilyen eset például, amikor egy adott üzemi időnél szeretnénk becsülni egy alkatrész törési valószínűségét. Bizonyítható, hogy

5. ábra: A Bayes becslés illusztrálása normális eloszlás szórásparaméterének becslésére lognormális a-priori eloszlásnál (mintaméret: 5).



ha pl. alkatrésztörésből eredő károk várható értékét szeretnénk meghatározni, akkor a törési valószínűség várható értéken alapuló becslésére van szükségünk [2].

A törési valószínűségekre vonatkozó kétféle becslés összehasonlítása figyelemre méltó eredményre vezet. A vizsgálatokban lognormális élettartam-eloszlást illesztettünk, az egyszerűség kedvéért csak a szórásparaméter volt ismeretlen. Az élettartam tengely jelentős tartományán számos pont fölött meghatározható a törési valószínűség kétféle módon becslött értéke. A törési valószínűség leggyakoribb értékeinek meghatározása egyszerűbb, mivel a szórásparaméter legvalószínűbb értéke által meghatározott lognormális eloszlásfüggvény a teljes élettartam tengely fölött megadja a törési valószínűség legvalószínűbb becslését. A törési valószínűség várható értéke csak akkor számítható ki, ha előbb

a szórásparaméter a-posteriori eloszlását leképezzük a becslött törési valószínűség a-posteriori eloszlására. Bár a szórásparaméter eloszlása közelítőleg szimmetrikus, a törési valószínűség eloszlása jelentősen aszimmetrikussá válik a kis törési valószínűségek tartományán (mivel az eloszlásfüggvény által megvalósított leképezés a szórásparaméter és a valószínűség között erősen nemlineáris). A törési valószínűségekre adódó erősen aszimmetrikus a-posteriori eloszlás miatt a kétféle becslés eredménye jelentősen eltér. Az eredményt a 6. ábra mutatja.

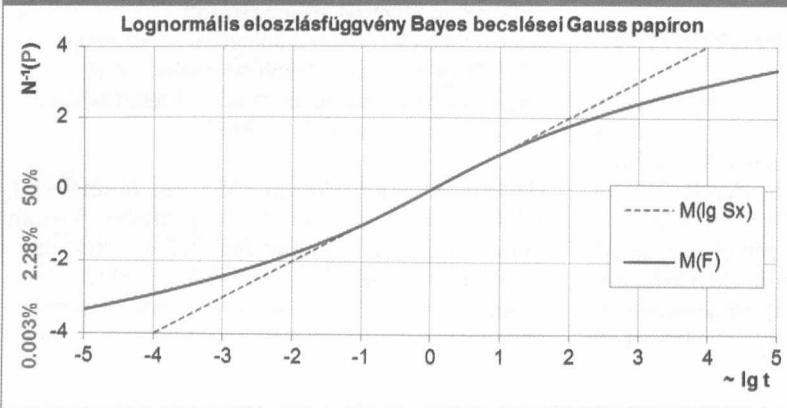
Megállapítható, hogy kis törési valószínűségek tartományán ( $P < 3\%$ ) a várható érték alapú becslés sokkal nagyobb törési valószínűségeket ad. Továbbá a törési valószínűségek várható értékei által kirajzolt eloszlás lényegesen eltér az illesztett lognormális élettartam-eloszlástól, igen jó közelítéssel Weibull eloszlással helyettesíthető.

Minél kisebb valószínűségeket kívánunk becsléni, annál inkább fölerősödik a becsléssel kapcsolatos bizonytalanságok hatása. Fáradásos törésekkel szembeni nagy biztonság csak hibátűrő szerkezetekkel és állapotfigyeléssel érhető el.

10. A RÉSZÉLETTARTAMOKAT LEÍRÓ VALÓSZÍNŰSÉGI VÁLTOZÓK ÖSSZEGÉNT ELŐÁLLÍTOTT ÉLETTARTAM ELOSZLÁSA

A már elvégzett kísérletekből kinyerhető másik újrahasznosítható információ az élettartam-eloszlások alakja. A fáradástókísérleti élettartamminták mérete az esetek döntő többségében 20 alatti. Ekkora minták esetén nincs jelentős különbség a szokásos eloszlástípusok között (pl. lognormális, Weibull), továbbá az eloszlások ismerete nélkül a műszakilag fontos kis törési valószínűségi tartományban (pl.  $P < 1\%$ ) végzett valószínűség becslés

6. ábra: A különböző élettartamokhoz tartozó törési valószínűségek várható értékeinek Bayes becslése alapján kirajzolódó eloszlásfüggvény összevetése a legvalószínűbb paraméterbecslés által meghatározott eloszlásfüggvénnyel, lognormális élettartam-eloszlásra.



7. ábra: Élettartamminták egyesítésével nyert nagy tapasztalati élettartam eloszlás és a hozzá illesztett eloszlás, amely három valószínűségi változó összegének eloszlása, és a tagok eloszlása.





bizonytalan. Viszont együtt tekintve sok mintát, a kis törési valószínűség tartományából származó próbatess- teink is vannak. Saunders írt le egy módszert, mellyel sok kis minta alkalmas transzformációjával egy nagy tapasztalati minta nyerhető. [5] A minták egyesítésé- nek módszere azonban további kutatásokat igényel. A nagy tapasztalati minták lehetővé teszik a szokásosnál bonyolultabb élettartam-eloszlások illesztését is, ame- lyekkel a kis törési valószínűségek becslése megbízha- tóbbá válik. A fáradásos élettartam modellezésének egy lehetséges iránya, hogy a kifáradási élettartamot különböző eloszlású részélettartamok összegének tek- tintjük. Ezen az úton jól illeszthető modellek készíthe- tők. Erre mutat példát a 7. ábra.

## 11. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE

A nagy számú fárasztókísérlet feldolgozásával újra- hasznosítható információk nyerhetők ki. A vizsgált információk:

– élettartamminták szórására előzetes becslés adható: a-priori eloszlás;

– eloszlásalak a kis valószínűség tartományán.

A Bayes módszer alkalmas a kinyert információk ma- tematikailag megalapozott figyelembevételére. A mód- szer lépései:

– meghatározandó a becsült törési valószínűségek a-posteriori eloszlása;

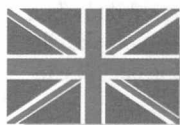
– az a-posteriori eloszlásból várhatóérték számítandó. A bemutatott módszerek alkalmazásával az előzetes in- formációk révén az alábbi előnyök érhetők el:

– csökken a szükséges fárasztó próbatestek száma;

– csökken a kis törési valószínűségek becslését terhelő bizonytalanság.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bernardo, J. M.: Objective Bayesianism, 2008. [www.uv.es/1/publications.html](http://www.uv.es/1/publications.html)
- [2] Kovács K.risztián: Járműalkatrészek és szerkezetek élettartamának és kifáradási folyamatának statisztikai vizsgálata, Ph.D. értekezés, 2011.
- [3] Matolcsy Máttyás: Gépszerkezetek szilárdsági mé- retezésének általános kérdései időben változó ter- helés esetén, Tudományos munkásság tézisszerű összefoglalása a doktori fokozat elnyeréséhez, Bu- dapest, 1992.
- [4] Márialigeti János: Statisztikus fárasztóvizsgálatok kiértékelésének megbízhatósága, Doktori érteke- zés, Budapest, 1973.
- [5] Saunders, S. C.: The Problems of Estimating a Fatigue Service Life with a Low Probability of Fracture, Progress in Fatigue and Fracture, Freudentahl Anniversary Volume, Pergamon Press, 1976, ISBN 0 08 020866 5



### A statistical investigation of the operational life and fatigue process of vehicle components and structures

Material fatigue is a typical failure mode of vehicle compo- nents. Large amount of fatigue test was carried out in the last 150 years and new tests are continuously needed for technical development. Fatigue tests need statistical evalu- ation. The statistical uncertainty of results can be reduced by information gained from historical experiments. The investigated reusable information is the scatter of lifetime samples and shape of lifetime distributions. The Bayes method offers a mathematically based procedure for us- ing priori information in fracture probability estimations.

### Statistische Untersuchung der Lebens- dauer und des Ermüdungsprozesses von Fahrzeugteilen und -Strukturen

Die Materialermüdung ist eine typische Form der Zerstö- rung von Fahrzeugteilen. In den vergangenen 150 Jahren es wurde eine hohe Anzahl von Lebensdauerprüfungen durchgeführt, für die Unterstützung der technischen Ent- wicklung werden aber fortlaufend neue Prüfungen benötigt. Die Lebensdauerprüfungen erfordern eine sta- tistische Auswertung. Die statistische Unsicherheit der Ergebnisse kann durch die Verwendung der Informati- onen aus den früheren Versuchen vermindert werden. Diese wieder verwendbaren Informationen sind: die Streuungen der Lebensdauer-Mustern und die Form der Lebensdauer-Verteilungen. Die Bayes-Methode bietet ein mathematisch begründetes Verfahren für die Ein- beziehung der vorhergehenden Informationen bei der Schätzung von Bruchwahrscheinlichkeiten.

**Prof. Dr.-Ing. habil. Palocz-Andresen Mihály, a Nyugat-magyarországi Egyetem környezet- és klímavédelemmel foglalkozó egyetemi tanára, valamint a BME egyetemi magántanára.**

**Eredeti cím: Decreasing Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions in the Transportation  
Magyar cím: Az üzemanyag-fogyasztás és a füstgáz-emisszió csökkentése a közlekedésben  
Springer Heidelberg, New York, Dordrecht, London 2013  
ISBN print 978-3-642-11975-0 ISBN book 978-3-642-11976-7**

A könyv a Heidelberg, New-York, London, Wien székhelyű német Springer kiadónál jelent meg ISBN 978-3-642-11975-0 jelzéssel 2013-ban, ami a gépjárműveken, hajókon és repülőgépeken szükséges üzemanyag-felhasználással és az abból származó füstgáz-emissziók témakörével foglalkozik.

Az első fejezet az üzemanyag-fogyasztás és a füstgáz-emisszió alapvető összefüggéseit írja le. A második fejezet az közlekedésben használatos üzemanyagokkal foglalkozik. Ezt követően több fejezetben az üzemanyag-fogyasztás és az emisszió mérés technikáját, a motorteknika, a meghajtás, a gépjárműszerkezet, valamint az aero- és a hidrodinamika kérdéseit elemzi. A törvényhozás témakörben a közlekedési eszközök gyártása és üzemvitele során szükséges üzemanyag-fogyasztás, valamint az ennek kapcsán létrejövő füstgáz-emisszió kerül tárgyalásra. Kapcsolódva ehhez a típusengedélyezés, valamint az inspekció és a karbantartás feladatait vizsgálja a szerző. Ezt követően a navigációs technikát és annak hatását tárgyalja az üzemanyag-fogyasztásra és a füstgáz-emisszióra nézve. A könyv

harmadik fő fejezete a gépjárművek, a repülőgépek és a hajók környezetre és klímára gyakorolt hatását mutatja be. Végül az anyag a jövő mobilitásának a szcenárióival zárul.

A könyv külön érdeme, hogy a szerző minden táblázatot és szám adatot SI és angolszász egységben is megad. Ennek megfelelően a tárgyalás az üzemanyag-fogyasztás és a füstgáz-emisszió egységeinek átszámításához szükséges fejezettel fejeződik be.

A műnek külön aktualitást ad az üzemanyag árának világméretű növekedése és az emissziós határértékek nemzetközi mértékű szigorítása. Ennek a fejlődésnek pontos bizonyítéka az Európai Unió EU 6, az Amerikai Egyesült Államok SULEV 20 és Japán JC 08 irányelvének a szinte egy időben történő életbe lépése.

A téma ajánlható mindenkinek, aki a mobilitás és a környezet-, valamint klímavédelemnek az aktuális összefüggéseit szeretné megismerni, információit e témakörökben bővíteni.



The book considers besides technology also a sustainable fuel and emission strategy which requires the increased using renewable energy resources, the world-wide introducing intelligent navigation systems, the creating common international legislation, and the applying voluntary agreements between governments, civil and government organizations limiting fuel consumption and exhaust gas emissions.

The topic of this book is the comprehensive consideration of all aspects of intelligent fuel consumption and exhaust gas emissions in transportation. It can be recommended as a source for the stimulation of further discussions to anyone interested in the fields of sustainable transportation.



Das Buch betrachtet neben der Technologie auch die nachhaltige Kraftstoff- und Emissionsstrategie. Sie bedeutet den erhöhten Einsatz von erneuerbaren Energieressourcen, die weltweite Einführung von intelligenten Navigationssystemen, die Harmonisierung der internationalen Gesetzgebung und die Applikation von freiwilligen Vereinbarungen zwischen Regierungen und zivilen und staatlichen Organisationen.

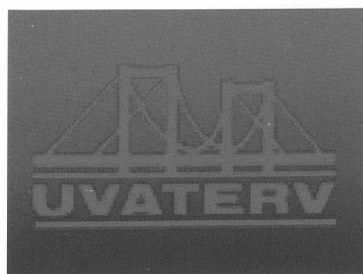
Das Thema des Buches ist die gemeinsame Betrachtung des intelligenten Kraftstoffverbrauches und der Abgasemission im Verkehr. Es kann jedem empfohlen werden, der eine Quelle für die Anregung weiterer Diskussionen auf dem Weg zur nachhaltigen Mobilität sucht.

# Támogatóink

# SIEMENS

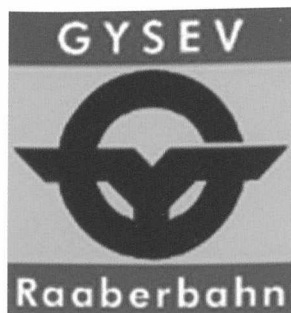
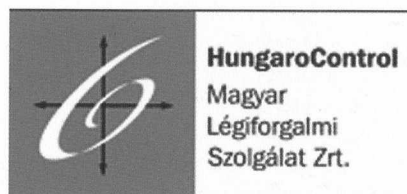
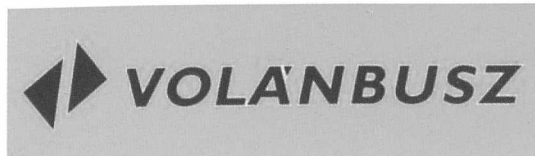


Alapítva - Since 1938



# STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



ÁLLAMI AUTÓPÁLYA KEZELŐ ZRT.

- Bakony Volán Zrt. • Balaton Volán Zrt.
- Borsod Volán Zrt. • Gemenc Volán Zrt. • Hajdú Volán Zrt.
  - Hatvani Volán Zrt. • Kisalföld Volán Zrt.
  - Kőrös Volán Zrt. • Kunság Volán Zrt. • Mátra Volán Zrt.
  - Nógrád Volán Zrt. • Somló Volán Zrt. • Tisza Volán Zrt.
  - Vasi Volán Zrt. • Vértes Volán Zrt. • Zala Volán Zrt.

