

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

2012
112

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

FENNTARTHATÓ
JÁRMŰHAJTÁS

TRIBOLÓGIAI
VIZSGÁLATOK

JÁRMŰKERÉK-
MODELLEZÉS

BIODÍZEL
TÜZELŐANYAG



Villamos hajtásrendszerek fejlesztése a Széchenyi István Egyetemen

autodiga

20. Autófenntartó Ipari Szakkiállítás



Terítéken a szakma!

Helyszín: ETO Park, Győr

Időpont: 2012. október 12–14.

www.autodiga.hu



IRODA 9023 Győr, Csaba u. 21. T 06 96 618 066

Köszöntő

DR. DINNYÉS ÁLMOS

Széchenyi István Egyetem, Stratégia és Fejlesztési Igazgatóság, projektmenedzser

A győri székhelyű Széchenyi István Egyetem és a veszprémi Pannon Egyetem 2010-ben „Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-dunántúli Régióban” címmel, TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 azonosító számmal indított egy alapkutatói projektet, amelyet az Európai Unió és a Magyar Állam 3,2 milliárd forinttal támogatott. A projekt keretében a magyar felsőoktatásban egyedülálló módon a két felsőoktatási intézmény olyan professzionális kutatóbázist épített ki, amelynek járműipari, energetikai és környezeti kutatásai elengedhetetlenek ahhoz, hogy a közép- és nyugat-dunántúli régiók járműipara növelje versenyképességét, fokozza tökevonzó és munkahelyteremtő képességét.

A projekt legfontosabb eredményeit a 2012 elején a Magyar Tudományos Akadémián „Mobilitás és Környezet” címmel megrendezett tudományos konferencián mutatták be a kutatók.

A két egyetem kutatói a környezetkímélő és energiahatékony közlekedés feltételeinek megteremtésére, járműipari termékek, technológiák és üzemanyagok fejlesztésére irányuló alapkutatókat végeztek. A komplex szemléletű járműipari kutatások olyan korszerű anyagok, gyártási technológiák és innovatív műszaki megoldások fejlesztésére irányultak, amelyek növelik a járműipar eredményességét, a járművek hatékonyságát, csökkentik károsanyag-kibocsátásukat, mechatronikai és járműinformatikai újításokkal javítják a közlekedés biztonságát. A projekt során vizsgálták az alternatív hajtások, a hajtásrendszerek, a kenő- és üzemanyagok továbbfejlesztésének lehetőségeit.

A kutatók vizsgálták, hogyan lehet a hagyományos belső égésű motorok hatékonyságát tovább növelni a belső súrlódás csökkentésével, továbbá foglalkoztak azzal, hogyan lehet a motor üzemét befolyásoló fogyasztókat – a különböző szivattyúkat, pumpákat – leválasztani a motorról, és azokat önálló villanymotorokkal meghajtani. A szakemberek olyan kenő- és üzemanyagokat állítottak elő, amik kisebb mértékben terhelik a környezetet, és elemezték, hogy miként viselkednek különféle közlekedési szituációkban.

A Jövő Járműve jelen száma néhány színvonalas cikken keresztül ad ízelítőt a projektben elvégzett kutatások eredményeiről.

A projekt keretében a Széchenyi István Egyetem korszerű motortesztelő fékpadot szerzett be, a Pannon Egyetem üzemanyagok vizsgálatára szolgáló berendezéseket vásárolt. Ezek által képessé váltak a legkorszerűbb eszközök használatának oktatására és versenyképes K+F szolgáltatások nyújtására.

A projektnek köszönhetően a magyar felsőoktatásban egyedülálló együttműködés alakult ki. Ennek keretében mind a kutatói infrastruktúra, mind pedig az emberi erőforrás/szellemi potenciál fejlesztéseit összehangolva használta ki a szinergiákat a két intézmény.

A két egyetem jelen kutatói együttműködésének stratégiai célja, hogy a járműipart érintő alap- és alkalmazott kutatások területén a közép-európai régióban is meghatározóvá váljanak, egyenrangú partnerei legyenek a velük együttműködni kívánó hazai és külföldi iparvállalatoknak, egyetemeknek és kutatóintézeteknek. ●

DR. CZINEGE IMRE

Széchenyi István Egyetem, JRET IT-elnök

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontja és vállalati partnerei, a Rába Futómű Kft., a Borsodi Műhely Kft. és a HNS Műszaki Fejlesztő Kft. 2012 márciusában zárta le a Nemzeti Innovációs Hivatal jogelődje által indított „Integrált Járműipari Termék és Technológiafejlesztő Rendszer” című kutatói projektet. Ez a munka szerves folytatása volt a 2005–2007 között megvalósult első Tudásközpont programnak, amelyet a partnerek 2008-tól vittek tovább az elmúlt négy évben. A projekt legfontosabb eredményeit a 2012 tavaszán megrendezett Tech4Auto Konferencián mutatták be a kutatók.

A kutatások legfontosabb eredményei a következőkben foglalhatók össze: A számítógéppel támogatott tervezés kutatása és termékfejlesztés legfontosabb hosszú távú hatása az, hogy mindegyik partnervállalatnál a napi munka részévé vált a korszerű CAD- és VEM-rendszerek alkalmazása. Erre az eszközkészletre támaszkodva különösen kiemelkedő eredmények születtek a Rába Futómű Kft.-nél a közúti és mezőgazdasági járművek konstrukciós fejlesztése területén. A számítógépes technológiai fejlesztések során mindhárom partnernél jelentősen emelkedett a technológiai színvonal. E témában igen eredményesek voltak a Borsodi Műhely Kft. és a Széchenyi István Egyetem által közösen művelt hőkezelési és forgácsolástechnológiai fejlesztések. A számítógéppel támogatott minőségirányítás és mérés-technika fejlesztése területén a Rába Futómű Kft. és a HNS Kft. által közösen végzett kutatások szinergikus hatása emelendő ki. Ennek eredményeként a fejlesztési programban szereplő, moduláris elven felépített mérőberendezések már üzemi alkalmazásban vannak. A Borsodi Műhely Kft. mérés-technikai kutatásai a minőségirányítási rendszer és a kalibráló mérések fejlesztésére irányultak, az itt kialakított új eljárások a vállalati munka részeivé váltak.

A bemutatott fejlesztések az egyes vállalkozásoknál nemcsak piacaik megtartását jelentették, hanem jelentős árbevétel-növekedést is eredményeztek, a Széchenyi István Egyetem pedig ismét nagy lépést tett a gazdasággal folytatott alkotó együttműködés bővítésében. Mindezek eredményeit mutatják be A Jövő Járműve színvonalas cikkei. ●

Tartalom

- 03** **KÖSZÖNTŐ**
dr. Czinege Imre, dr. Dinnyés Álmos
- 05** **KUTATÁS A FENNTARTHATÓ JÁRMŰHAJTÁSÉRT – CÉL A JÖVŐ VILLAMOS ENERGIÁN ALAPULÓ KÖZLEKEDÉSE**
dr. Varga Zoltán
- 17** **MOLEKULÁRISAN VÁLTOZTATHATÓ NANOTECHNOLÓGIÁS KARCÁLLÓ BEVONAT POLIMEREKHEZ**
dr. Dogossy Gábor, Nagy Viktor, Sági Erik
- 18** **BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK HENGERFELÜLETÉNEK MIKROGEOMETRIAI VIZSGÁLATA**
dr. Solecki Levente
- 22** **JÁRMŰKERÉK-MODELLEZÉS**
Fodor Dénes, Weisz Róbert
- 29** **MELEGALAKÍTÓ KOVÁCSSZERSZÁMOK KOPÁSVIZSGÁLATA**
Halbritter Ernő, Tancsics Ferenc
- 36** **KÖZÚTI BIZTONSÁGI VILÁGTRENDEK ÁTFOGÓ ÉRTÉKELÉSE**
dr. Borsos Attila, dr. Koren Csaba
- 41** **TRIBOLÓGIAI VIZSGÁLATOK BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROKON**
dr. Mathias Roman Dreyer, Gergye Tamás
- 58** **KLASSZIKUS JÁRMŰFELÉPÍTMÉNY-TERVEZÉSI MÓDSZEREK**
dr. Fülepi Tímea, Harth Péter
- 66** **VEVŐSZOLGÁLATI DOKUMENTÁCIÓK KÉSZÍTÉSE KORSZERŰ MÓDSZEREKKEL**
Mészáros Zoltán, Ács Miklós
- 70** **TÉLI AUTÓPÁLYA-KARBANTARTÁSI MUNKAFOLYAMATOK MONITOROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI MERCEDES-BENZ UNIMOG ESZKÖZHORDOZÓK ESETÉBEN**
dr. Szalay Zsolt, Limp András
- 75** **ORACLE J. D. EDWARDS BEVEZETÉSE A BORSODI MŰHELY KFT. VÁLLALKOZÁSÁNÁL**
Horváth Szabolcs, Koch Zoltán
- 76** **MENTŐAUTÓK TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁSA NEHEZÍTETT VÁROSI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT**
dr. Szalay Zsolt, Gere Tamás, Kánya Zoltán
- 82** **MAGYAR TALÁLTMÁNY – A TBK-BIODIESEL TÜZELŐANYAG**
dr. Merétei Tamás, Szabados György

IMPRESSZUM

A JÖVŐ járműve

A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA

A JÖVŐ JÁRMŰVE JÁRMŰIPARI INNOVÁCIÓ

V. évfolyam, 2012/1–2. szám

Alapítva: 2006

Megjelenés: negyedévente

HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK:

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

1111 Budapest, Stoczek u. 6., J épület 516.

Tel.: 1/463-1753. Fax: 1/463-3255.

E-mail: info@ejtt.bme.hu

Széchenyi István Egyetem – Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont (JRET)

9026 Győr, Egyetem tér 1.

Tel.: 96/613-680. Fax: 96/613-681.

E-mail: jret@sze.hu

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft.

9023 Győr, Csaba u. 21.

Levelezési cím: 9002 Győr, Pf. 156

Tel.: 96/618-062. Fax: 96/618-063.

E-mail: ajj@xmeditor.hu

KIADÓ:

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft.

Felelős kiadó: Pintér-Péntek Imre

SZERKESZTŐSÉG:

X-Meditor Kft., Autó üzletág

Felelős szerkesztő: dr. Nagyszokolai Iván

Lapmenedzser: Dudás Alexander

Lapkoordinátor: dr. Komócsin Zoltán,

Nagy Viktor

Szerkesztő: Sándorné Tamási Rita

Tel.: 96/618-074. E-mail: auto@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

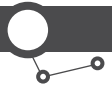
dr. Bercsey Tibor, dr. Bokor József,
dr. Czigány Tibor, dr. Czinege Imre,
dr. Kardos Károly, dr. Keviczky László,
Lepsényi István, dr. Michelberger Pál,
dr. Nádaí László, dr. Palkovics László,
dr. Réti Tamás, dr. Stukovszky Zsolt,
Szilasi Péter Tamás, dr. Tisza Miklós

NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:

Palatia Nyomda és Kiadó Kft.

9026 Győr, Viza utca 4.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



Kutatás a fenntartható járműhajtásért – cél a jövő villamos energián alapuló közlekedése

DR. VARGA ZOLTÁN
egyetemi tanár

A fenntartható járműhajtás ismérvei, eszközei és megvalósítási lehetőségei. A hibrid hajtás jelentősége és szerepe a jövő közlekedésében. Villamos hajtásrendszerek fejlesztése hibrid haszonjárművek számára. A minimális hajtásenergia-igényű járművek villamos hajtórendszerének fejlesztése. Kommunikációs és járművezérlő rendszer fejlesztése villamos járművek részére.

Research for the sustainable vehicle propulsion – object is electromobility in the future Characteristics, tools and realising of the sustainable vehicle driving. Importance of HE driving and its role in the future transportation. Research of electric driving systems for HEVs. Development of electric driving for minimum driving energy vehicles. Research and development of communication and control system for EVs.

Lassan kezdjük az új korszakot, főleg a türelmetlen várakozás és életünk kedvezőtlen folyamatai miatt. Zsúfolttá vált a Föld, sok embert kell eltartania egyre növekvő igényekkel. A mobilitásnak mint a korunkban felvetett általános emberi jognak a világ egész lakosságára való kiterjesztése az egyik aktuális folyamat. A konzervatív érdekvérvényesítők szerint van elegendő energiaforrás és a szennyezés a technika fejlesztésével kordában tartható. A növekedés eddigi logikája alapján a most motorizált világ nagyobb, gyorsabb, kényelmesebb és több járművet igényel, az eddigi gyalogosok pedig legalább a mostani jólétet szeretnék elérni. Szép és nemes célok hatalmas ipari, technikai, tudományos kapacitás kiépítését, kiterjesztését igénylik, eddig szegénységben élő népcsoportok emelkednek az idealizált szintekre. Vannak bizonyos korlátok: a jelenleg használt energiaforrások beszűkülnek, az igényelt mennyiségben nehezebben hozzáférhetők, a nyersanyagok egyes fajtái átalakulnak, és újrahaznosításuk nagy ráfordítást igényel, az életfeltételek alapjait biztosító alaprendszerek: víz, levegő, termőföld szennyeződik, felhasználható mennyisége csökken, a közlekedés számára igényelt hely egyre nő, és ezzel csökken az élethez szükséges tér. A korlátok kiterjesztése is nagyrészt tudományos technikai feladat, de természetesen a politika is jelentős szerepet játszik alakulásukban.

Kutatásaink a jövő lehetséges irányainak számbavételén alapulnak és a fenti globális problémák egy vékony szeletével: a villamos hajtások közlekedésben való alkalmazásával foglalkoznak.

A VILLAMOS ENERGIA LEHETŐSÉGEI A KÖZLEKEDÉSBEN, TRENDEK, ELEKTROMOS KÖZLEKEDÉSI ESZKÖZÖK

A villamosság mint energiahordozó a kőolajkorszak kezdetén együtt indult a fosszilis anyagokkal. Az első jármű, amelyik túllépte a 100 km/h sebességet egy elektromos versenyautó volt. A kőolajszármazékok nagyobb energiasűrűsége azonban a villamos hajtás közúti közlekedésben történő felhasználását szinte teljesen eltűntette, és győzött a belső égésű motor. Erre alapozottan alakult ki a mai közúti közlekedés modern rendszere, amelyben jelenleg több mint 1 milliárd autó közlekedik. A növekedés pedig folytatódik, Kínában egy év alatt 27%-kal nőtt az autók száma, 2010-ben 27 millió darabra. Az autók átlagos tömege 800 kg körülire becsülhető, tehát a közlekedő autókban felhalmozott értékes anyag mennyisége a gyártásukhoz szükséges anyagmennyiséggel

együtt kb. 1 milliárd tonna. Az igények és az előrejelzések alapján amennyiben a kínai, indiai ember is szeretné elérni az észak-amerikai motorizáltságot, akkor ez a szám hamarosan duplázódik. Ehhez természetesen gyártókapacitás épül ki, az előállítás energiát igényel és szennyezést okoz.

A jelenlegi közlekedés autós szektorának energiaigénye Magyarországon a benzin tüzelőanyag vásárlása alapján közelíthető. 2010-ben 1,368 milliárd liter benzin és 1,591 milliárd liter gázolaj fogyott a közlekedésben, amelyből 82% jutott a közúti közlekedésre MÁSZ/hvg 2010. Az áruszállítás ebből 12%, a tömegközlekedés (autóbusz) pedig 6%. A személygépkocsi-közlekedés éves energiaigénye tehát 2010-ben 22559,15 GWh volt, amelynek kb. fele fogyott el napi 40 km-nél rövidebb távolság megtételére. A paksi erőmű 2011-ben 15685 GWh energiát termelt, amely a Magyarországon előállított villamos energia 43,25%-a (<http://www.narancsjuice.hu/cikk/paks-siker-es-et-zart-az-atomeromu>) volt.

A belső égésű motoros autókvaló közlekedés energetikai hatékonysága rosszabb, mint a villamos járművéké. Két Citroënt, a dízel C3-ast és a villamos hajtású C-Zerót (mindkettőnek van személy- és haszonjármű változata is) összehasonlítva: 3,6 liter gázolajból, azaz 137 MJ-ból képes megtenni 100 km-t a C3-as, erre a feladatra a C-Zero mindössze 45 MJ felhasználását igényli. <http://tudastar.255.hu/2011/01/villanyauto-lepesrol-lepesre.html>. A villamos energia eljuttatása a fogyasztóhoz viszont hatékonyság-rontó a villanyautóknál, a veszteség kb. 10%.

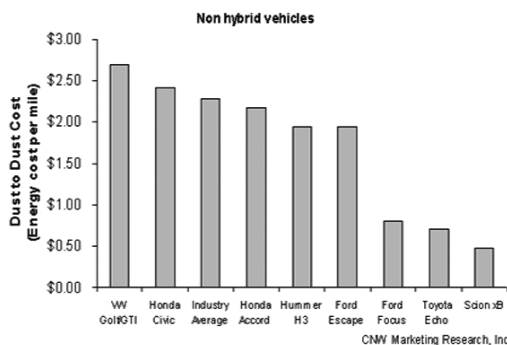
A fentiek alapján, ha a teljes autós közlekedést villamossá szeretnénk tenni a maihoz hasonló közlekedési viszonyok mellett, akkor az autózásra fordított energia a paksi erőmű csaknem fél évi működtetésével lenne megtermelhető, illetve a teljes magyar villamosenergia-fogyasztás 25%-át kellene erre fordítani. Természetesen ekkora villamosenergia-kapacitás nem áll rendelkezésre, és a közeljövőben sem számíthatunk erre, legfeljebb fokozatos kiépítésre. Tehát a leghatékonyabb, úgynevezett „plug in”, konnektorból táplálkozó közlekedés a mai járművek szintjén nehezen vagy inkább egyáltalán nem megvalósítható. Kitérés lehetőség azonban van: a minimális energiaigényű járművek fokozottabb felhasználása és villamosítása. Amennyiben a városi közlekedést szeretnénk kiváltani villamos járművekkel, amelynél a megtett napi kilométer viszonylag kevés, sokkal reménytelibb megoldás kínálkozik. Ezeknél az utazásoknál nem a lassan hár- ci járművé fajuló városi terepjárókat kellene használni, hanem a kis helyigényű, kis tömegű és nagyon energiahatékony villamos kerékpárokat, robogókat vagy az ezekből származtatható egysze-

rű, de mindenki számára elérhető és használható járműveket. Egy ilyen jármű külső villamosenergia-felhasználása napi átlagosan 20 km-es utakra 200 és 4000 Wh között van. Ha az év 270 munkanapján használjuk, akkor a teljes energiamennyiség egy járműre 54–1080 kWh között van. 3 millió jármű esetén 154–3240 GWh lenne az évi villamosenergia-szükséglet, ami a jelenlegi hazai villamosenergia-termelés 0,4–8,9%-a között van. Az energetikai hatékonyság szempontjából elfogadható villamos jármű nem az eddig megszokott autó, hanem egy kisebb tömegű, kisebb sebességű, kisebb helyigényű, kevesebb komforttal rendelkező egy- vagy kétszemélyes közlekedési eszköz.

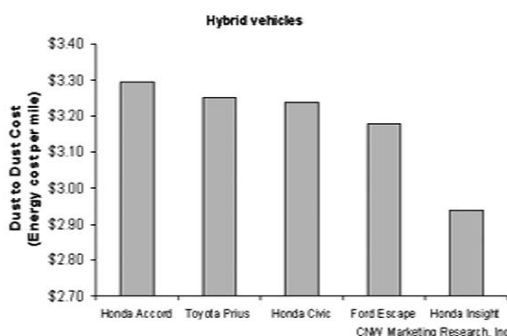
A fentebb vázolt, második járműként használható eszközök akkumulátorainak a töltése a jelenlegi hálózatról, akár a lakóházak, lakások saját vagy erre a célra létesített, egyedileg is mérhető töltőcsatlakozóról is megoldható, különösen nagy beruházások nélkül.

Az ilyen járművek természetesen számos egyéb kedvező tulajdonsággal is rendelkeznek, amelyek mindegyike a fenntartható emberi élet irányába mutat.

A jelenlegi autóformák fenntartására törekvő járműfajták a tisztán villamos hajtású hagyományos felépítésű és a hibrid személygépkocsik, illetve haszonjárművek. Ezek közül a nem plug in üzemmódban használt hibridek elterjesztése nagyobb jelentőségű, mivel ezek a belső égésű motorok nagyon rossz hatékonyságú üzemszakaszait helyettesítik rövid ideig tartó villamos hajtással. Viszonylag egyszerű építésmód, kevés tömegnövekedés és kis villamos hatótávolság jellemzi ezeket a járműveket. Az ilyen járművek növelik a belső égésű motoros hajtás energiahatékonyságát, de nagy áttörést a villamos motorizáció irányában nem jelentenek. A plug in hibridekről mindez nem mondható el. A használatban lévő nagy villamos hatótávolságú hibridek ráfordításai hosszú távon nem tarthatók, a hagyományos autóknál jóval nagyobbak. Erre utal az alábbi két ábrán látható felmérés eredménye, amelyekben a legnagyobb energiárfordítású, hagyományos belső égésű motorral ellátott jármű teljes energiaigénye kisebb, mint a legjobb hibrid autóé.



Energiaköltségek a jármű születésétől haláláig nem hibrid járműveknél



Energiaköltségek a jármű születésétől haláláig hibrid járműveknél

A haszonjárművek nagy kihívást jelentenek a villamos motorizáció szempontjából, mivel mind beruházás-, mind pedig üzemeltetési tőkeigényük magas. Az áru fuvarozás profitorientált ágazat, és nem rendelkezik azokkal az emocionális vonásokkal, mint a személygépkocsi-közlekedés, ezért politikai ráhatás nélkül a haszonjármű energetikai és járműstruktúra csak nagyon lassan fog változni. Részterületeken lehet megoldásokat keresni, bizonyos helyi, főleg környezetvédelmi megfontolásokból, amelyek főként hibrid rendszereket jelenthetnek kisebb méretű autóbuszoknál és tehergépkocsiknál. Mivel a járművek megtérülési idejének kicsinek kell lenni, csak nagy hatótávolságú, állandóan üzemeltethető járművekről lehet szó, amelyek nagyon nagy villamosenergia-tároló kapacitást igényelnek. Mind a nagy tömegű akkumulátorok, mind pedig a hibrid rendszer további villamos elemei a hasznos tömeg csökkentését eredményezik, tehát a felhasználást erősen korlátozzák. Ilyen járműveket csak adott célra, adott forgalmi, szállítási és domborzati viszonyokra szabad szinte egyedileg tervezni, ami az egyébként is jelentős költségeket tovább növeli.

Jelentős beruházást igényel a nagy járművek töltési hálózatának a kiépítése és az adott területen rendszertelenül jelentkező nagy áramú villamosenergia-igény is.

A villamos energián alapuló közlekedés egyik hozadéka lehet a hatékonyabb villamosenergia-menedzsment, amit a rendszerbe állított akkumulátorok jótékony hatása eredményezhet. A kis energiájú járművek tárolókapacitása járművenként 800–4000 kWh, amelynek tárolóját 2–3 naponta kell tölteni, leginkább az éjszakai órákban. Ez a kis teljesítményű járművek tömeges elterjedése esetén jelent olyan kapacitást, amely a rugalmatlan erőműszerkezet egyenlőtlen terhelési problémáit ellensúlyozhatja.

Összefoglalásként tehát a fenntartható közlekedésre való átváltáshoz nem a mai járművekhez hasonló villamos közlekedési eszközökre, hanem rövid távolságra használható, kis méretű és tömegű villamos hajtású járműparkra volna szükség, amelyet a jelenlegi villamos rendszer kis ráfordítással is ki tudna szolgálni. A plug-in hibridek csak korlátozott számban létjogosultak és speciális esetekben lehet autóbuszok, illetve teherautók villamos hibrid változatait a mindennapi közlekedésben felhasználni.

A MINIMÁLIS HAJTÁSI ENERGIÁ-IGÉNYŰ JÁRMŰVEK LÉTJOGOSULTSÁGA

Az energetikai fejezetben található számok alapján levont következtetés: ha a Föld minden lakosára szeretnénk kiterjeszteni a mai fejlett országok polgáraihoz hasonló egyéni mobilitás jogát, lehetőségét, akkor ez a jelenlegi járművekkel sem energetikai, sem pedig a nyersanyagok szempontjából nem valósítható meg. Még inkább nyilvánvalóvá válik ez, ha a világ fejlődésének további trendjeit is figyelembe vesszük. A mostani járművek gyártása is jelentős energiát, nyersanyagmennyiséget és szellemi, fizikai munkát köt le. Mind a gyártás, mind a járművek használata hatalmas területet foglal el, ami által csökken az élőlények által belakható terület, az élelmiszer- és ivóvízbázis. A nagyvárosok száma, mérete egyre nő, az itteni helyszükségletet nagymértékben a járművek méretei, fajtái, sebessége határozza meg. A Föld szennyezése olyan méreteket ölt, amely az életet fenntartó egyensúlyi állapot összeomlásához vezet. Ezek az irányzatok annyiban érintik a felvetett tématerületet, amennyiben hatással vannak a jelenlegi és a jövőben használatos járművek konstrukciós, energetikai és egyéb járműtechnikai vonatkozásaira. Tehát járműveinknek tekintettel kell lenni a helyszükére és a környezet terhelésére is.

A nagyvárosi forgalom átlagsebessége 10–20 km/ó között mozog, a legnagyobb sebességcsúcsok 50 vagy 70 km/ó nagyságúak. Ehhez a sebességhez szükséges teljesítmény egy jó alaktényezővel és kis homlokfelülettel rendelkező, de még kényelmesen



	SZÉLESSÉG	MAGASSÁG	HOSSZ	ALAPTERÜLET	TÉRFOGAT	TÖMEG	FÉRŐHELY	TERÜLET/ FÉRŐHELY
összecsukható kerékpár	0,250	0,680	0,750	0,1700	0,030	15	1	0,17
kerékpár	0,5	1,000	2,000	1,000	2,000	17	1	1
fekvő kerékpár	0,6	0,850	2,300	1,380	2,698	35	1	1,38
pedelec kerékpár	0,5	1,000	2,000	1,000	2,000	28	1	1
kétszemélyes kerékpár	0,55	1,000	3,000	1,650	4,950	30	2	0,825
robogó	0,700	1,100	1,900	1,330	2,779	90	1	1,33
fedett robogó	0,700	1,770	2,000	1,400	4,956	160	1	1,4
motorkerékpár	1,000	1,200	2,800	2,800	9,408	210	2	1,4
zárt motorkerékpár	1,000	1,650	3,000	3,000	14,850	260	2	1,5
kis szgk.	1,500	1,420	3,370	5,055	24,190	735	5	1,011
átlag szgk.	1,759	1,621	4,204	7,394	50,393	1280	5	1,478
pickup	1,800	1,770	5,530	9,954	97,4305	1097	5	1,990
városi autóbusz	2,500	2,760	11,00	27,5	834,9	9800	100	0,275
csuklós autóbusz	2,500	2,760	17,270	43,175	2057,94	11900	150	0,287
távolsági autóbusz	2,500	2,760	11,00	27,5	834,9	10800	45	0,610

Tipikus járműméretek üresen, tárolás- és parkolás-helyszükséglet

 Helyszükséglet tárolásnál, parkolásnál, más járművel való szállításnál és a közlekedésben

	SZÉLESSÉG M	HOSSZ M	TERÜLET M	FÉRŐHELY M ²	TERÜLET/ FÉRŐHELY M ²	ÁTLAGOS FÉRŐHELY	TERÜLET/ÁTL. FÉRŐHELY M ²
összecsukható kerékpár	0,900	3,000	2,7	1	2,700	1	2,700
kerékpár	0,900	3,000	2,7	1	2,700	1	2,700
fekvő kerékpár	1,00	3,3	3,3	1	3,300	1	3,300
pedelec kerékpár	0,900	3,000	2,7	1	2,700	1	2,700
kétszemélyes kerékpár	1,00	3,100	3,100	2	1,550	2	0,852
robogó	1,200	3,800	4,56	1	4,560	1	4,560
fedett robogó	1,300	4,000	5,2	1	5,200	1	5,200
motorkerékpár	1,400	4,300	6,02	2	3,010	1,05	5,700
zárt motorkerékpár	1,500	4,900	7,35	2	3,675	1,01	7,270
kis szgk.	1,900	5,500	10,45	5	2,090	1,2	8,708
átlag szgk.	2,000	6,400	12,8	5	2,560	1,2	10,666
pickup	2,500	7,700	19,25	5	3,850	1,2	16,041
városi autóbusz	3,000	13,00	39	100	0,390	64	0,609
csuklós autóbusz	2,500	19,10	47,75	150	0,318	89	0,536
távolsági autóbusz	3,00	13,00	39	45	0,870	39	1

 Helyszükséglet a forgalomban átlagos 15 km/ó áteresztő sebességnél

használható járműnél 200–4000 W közötti. A városi közlekedés dinamikájához szükséges gyorsulás a járművek tömegének minimalizálásával érhető el, és versenyképesnek kell lennie a jelenlegi átlagos személygépkocsi gyorsító képességével. A tömeg csökkentése nemcsak a jármű kisebb méretei miatt lehetséges, hanem a rövid távú közlekedés alacsonyabb komfortigényei, valamint a kisebb sebességgel járó kisebb passzív biztonsági tömeg igény miatt is. A kisebb járművek aktív biztonsági mutatói (fékezhetőség, kormányozhatóság, manőverező képesség) eredendően jobbak, mint nagyobb tömegű társaiké, passzív biztonságuk csökkenő-

se az aktív biztonság további növelésével ellensúlyozható. Nagy lehetőség és kihívás a kutatás-fejlesztés számára a kis járművek intelligenciájának kiépítése, növelése, a járművek közötti kommunikáció és egymásra hatás megteremtésével növelni ezek aktív biztonságát.

A fenti táblázatok egyszerűsített, statikus felmérés alapján számított adatai alapján mind a parkolás, mind pedig a forgalmi helykihasználás szempontjából legelőnyösebbek az autóbuszok, és a jelenleg marginális kétszemélyes (tandem vagy gyermekét szállító szülő) kerékpár. Dinamizált vizsgálat (amely nem volt ezen

kutatás célja) esetén az autóbuszok rugalmatlansága és nagy át-eresztőképessége, míg a kerékpár és egynyomú járművek nagymértékű rugalmassága, szervezhetősége és alacsony beruházási, valamint üzemeltetési költsége domborodik ki.

A nyertesek tábora tehát a motorizált közúti közlekedésben: az autóbuszok és a villamos hajtású/rásegítésű kerékpár jellegű kétszemélyes járművek. Vesztes pedig a jelenlegi közlekedési eszközpark, ami annyit jelent, hogy nagy ráfordítással (beruházás, energia, útfelület, parkoló és tárolóhely), illetve környezetrombolás árán tartjuk fenn jelenlegi mobilitásunkat.

Az energetikai, anyagigény és helyfoglalás előnyös tulajdonságai mellett a minimális hajtásigényű járművek életciklus-problémái sem annyira súlyosak, mint a jelenlegi autóknál lehet tapasztalni. A kisebb tömeg egyértelműen kisebb újrafeldolgozási problémákat jelent, de a felhasznált anyagok fajtáinak száma is jóval kevesebb egy ilyen járműnél. A villamos hajtáshoz szükséges akkumulátorok és elektronikus rendszerek újrahasznosítása egyébként is megoldandó feladat, hiszen más rendszerek is használnak ilyeneket.

Mivel a minimális energiaigény mellett a járművek alapterület-igénye kb. 2 m² van értelme fedélzeti napelem használatára a jármű hajtásához. Egy ekkora napelem várható napi energia-termelése hazánkban 980 Wh, amely egy pedelec jármű 3–4 órás rásegítő energiája (győri besugárzás 1200 kWh/ m² /év, napelemes töltés-kisütés hatásfoka 15%).

Amennyiben gyors megoldást akarunk találni a jelenlegi motorizáció problémáinak a megoldására, akkor a minimális hajtásigényű járművek tömeges elterjesztése ezt lehetővé teszi, mert egy ilyen jármű:

- a városi közlekedés igényeit kielégíti
- energia- és anyagfelhasználása kicsi
- értelmes lehetőséget ad napelem használatára
- kevés helyet igényel a közlekedésben, parkolásnál, tárolásnál
- veszélyessége az idegen járművekre kicsi, aktív biztonsága növelhető,
- környezetbarát az üzemeltetése és újrafeldolgozhatósága

A fenti előnyökkel szembe állítható hátrányai:

- felhasználhatósága korlátozott,
- sebessége kisebb,
- kevesebb komforttal rendelkezik.

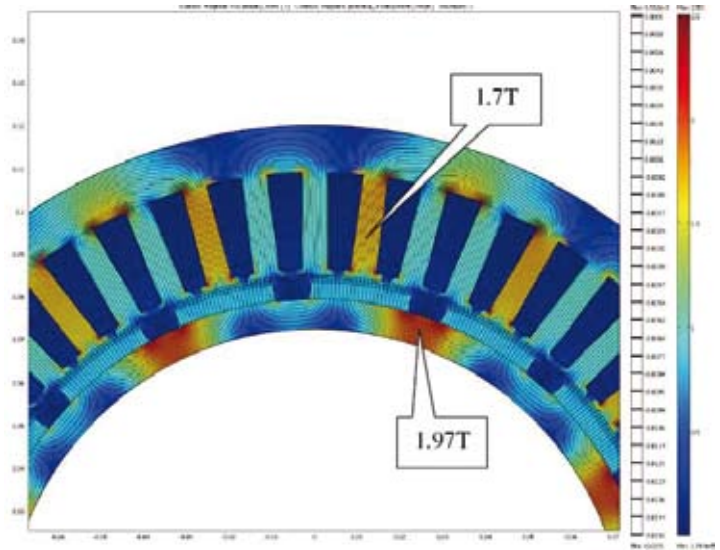
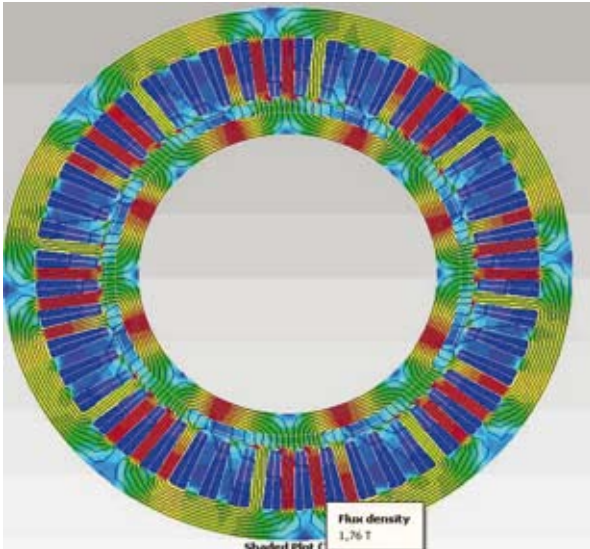
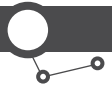
A minimális hajtási energiájú járművek, mint a jelenlegi járműpark kiegészítő állományaként is létjogosultak, hiszen csak egy bizonyos körben, a városi, illetve az elővárosi közlekedésben lehetne ezeket tömegesen felhasználni. Tárolásuk megoldható, beruházásuk az üzemeltetési költségekből gyorsan megtérül. A gyártók számára jelentős kapacitásbővítést és fejlesztést jelentenének, amennyiben tömeges igény mutatkozik irántuk. A jelenlegi individuális eszközök mellett nevezhetjük őket második járműnek.

A MINIMÁLIS HAJTÁSI ENERGIÁIGÉNYŰ JÁRMŰVEK JELLEMZŐI

Az eddigiekben ezeknek a járműveknek a környezeti követelményeit vettük sorba, amelyek alapján a jármű alapjellemzői kialakíthatóak. A járművet jellemző mennyiségek egy általánosított típusra a már sorozatban készült, nagy tömegben használt eszközökből származtathatók. A legegyszerűbb motorizált közúti közlekedési eszköz a pedelec szabványt kielégítő kerékpár. Ez a jármű a jelenlegi közlekedésdinamikában egyre inkább csak mint elkülönített eszköz jön szóba, igyekeznek a gyorsabb, nagyobb gyorsulású járművek forgalmából kizárni. Tehát univerzális gépkocsi-helyettesítőként csak zárt vagy félig zárt rendszerekben terjedhet el tömegesen.

A jelenleg gyártottak közül a városi közlekedés mai dinamikájához optimálisnak tekinthető jármű egy fedett robogó, illetve motorkerékpár, 4 kW teljesítményű, villamos hajtással, legalább 50 km hatótávolsággal. Az egynyomú jármű saját tömege 120 kg, végsebessége 70 km/h. Ez a jármű a fenti megfontolások mindegyikét pozitívan teljesíti, de az alkalmazási célterület

	SAJÁT TÖMEG	FÉRŐHELY	MAX. TELJESÍTMÉNY	MAX. SEBESSÉG	MAX. TELJESÍTMÉNY/TÖMEG	HATÓ-TÁVOLSÁG
	kg	fő	W	km/ó	W/kg	km
összecsuható pedelec kerékpár	25	1	200	20	2,15	50
pedelec kerékpár	30	1	200	25	2,04	80
fekvő pedelec kerékpár	42	1	200	25	1,82	100
kétszemélyes pedelec kerékpár	50	2	200	25	1,08	150
fedett kétszemélyes pedelec kerékpár	80	2	200	25	0,93	150
villamos hajtású segédmotoros kerékpár	45	1	4000	45	24,54	50
villamos hajtású fedett segédmotoros kerékpár	110	1	4000	45	22,47	50
villamos hajtású zárt segédmotoros kerékpár	210	1	4000	45	14,39	50
villamos h. motorkerékpár	220	2	>15 000	210	42,13	60
villamos h. fedett motorkerékpár	180	2	11 000	110	34,81	60
villamos h. zárt motorkerékpár 4 kerekű	300	2	15 000	130	34,40	100
villamos h. zárt motorkerékpár 2 kerekű	260	2	>15 000	260	37,88	100
kis szgk.	735	5	40 000	145	37,21	600
átlag szgk.	1280	5	65 000	155	40,12	600
pickup	1097	5	95 000	140	66,11	800
városi autóbusz	9800	100	2 400 000	70	14,46	200
csuklós autóbusz	11900	150	2 600 000	70	11,76	170
távolsági autóbusz	10800	45	2 800 000	100	20,20	800



Fluxeloszlás párhuzamos vizsgálata két szoftver segítségével (Infolytica: dr. Szénásy I., Comsol: Licskó Gábor).

változtatásával az elektromos kerékpár, illetve nagyobb teljesítményű villamos hajtású motorkerékpár-kategóriák irányába fejleszthető.

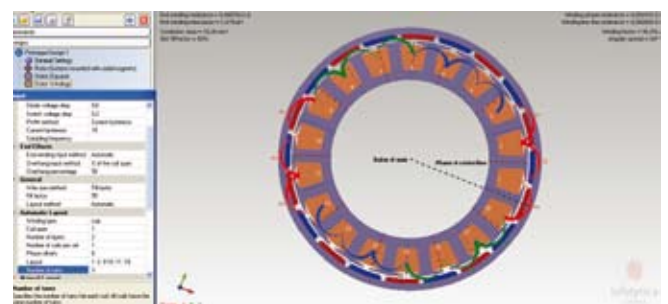
Az összehasonlító táblázatban a fajlagos, egységnyi tömegre jutó teljesítmény, a motorizáltság foka mutatja a városi közlekedésben használható járművek közötti értelmetlen nagy különbségeket. A lomhának érzett csuklós autóbusz és a fürge segédmotoros kerékpár között az eltérés kétszeres. A motorkerékpárok csaknem négyszeres dinamikussága, mint azt a gyakorlat is mutatja, már veszélyt jelent. Egy erre irányuló kutatás célja lehet a motorizáltság értelmes határának megadása egy városi közlekedési környezetben.

A MINIMÁLIS HAJTÁSI ENERGIÁIGÉNYŰ JÁRMŰVEK LÉTEZŐ MEGJELENÉSI FORMÁI

A legkisebb, már közlekedési célra felhasználható motorizált jármű a pedelec szabványt kielégítő villamos rásegítésű kerékpár. Ez a jármű egy kényelmes kerékpár, amely legfeljebb 200 W teljesítményű rásegítéssel rendelkezik. A rásegítés vagy a pedál forgatás hatására vagy pedig a pedálynomaték-növekedés miatt következik be, és csak bizonyos sebességig (ált. 25 km/ó) marad fenn. A villamos rendszer általánosan elterjedt elemei: állandó mágneses 3 fázisú szinkron motor, motormeghajtó szabályzó



A lüktető nyomaték vizsgálata célszoftverrel (dr. Szénásy István, Infolytica)



Tekercselési jellemzők egy 11 kW teljesítményű motornál (dr. Szénásy István, Infolytica).

erősítő, pedálforgás-, illetve nyomatékjeladó, kezelőszervek: rásegítés fokozatkapcsoló és fékkarok mikrokapcsolóval. A pedálforgatást, illetve nyomatékot érzékelő rendszer irányítás-technikai szempontból különbözik: a pedálforgatást érzékelő berendezéseknél 1–2 folytonos pedálfordulás hatására a rásegítés megkezdődhet, és a beállított fokozatnak megfelelő sebességig az erősítő áramkorlátjának megfelelő áramerősséggel forgatja a rásegítő villamos motort. A sebességhatáron belül a kerékpáros a pedál forgatásával növeli a sebességet, segíti a határsebesség elérését. A határsebességen túl a rendszer nem segít rá, a nagyobb sebességet csak a kerékpáros energiájával lehet növelni és megtartani. A pedálynomatékot érzékelő rendszerrel a fokozatkapcsolóval a kerékpáros az általa kifejtett nyomatékszükséglet mértékét állítja be és a rásegítő nyomaték követi a kerékpáros hajtónyomatékát egészen a beállított értékig. Amennyiben a beállított értéknél nagyobb nyomatékra van szükség, akkor azt a kerékpárosnak kell kifejteni.

A forgalomban lévő pedelec rendszerek motorelrendezése három változatban terjedt el: a hátsó vagy az első kerékgagyban, illetve a pedálnál. A kerékgagymotorok lehetnek közvetlen meghajtásúak, illetve hajtóműves megoldásúak. A pedálrásegítők (PAS) minden esetben hajtóművel rendelkeznek.

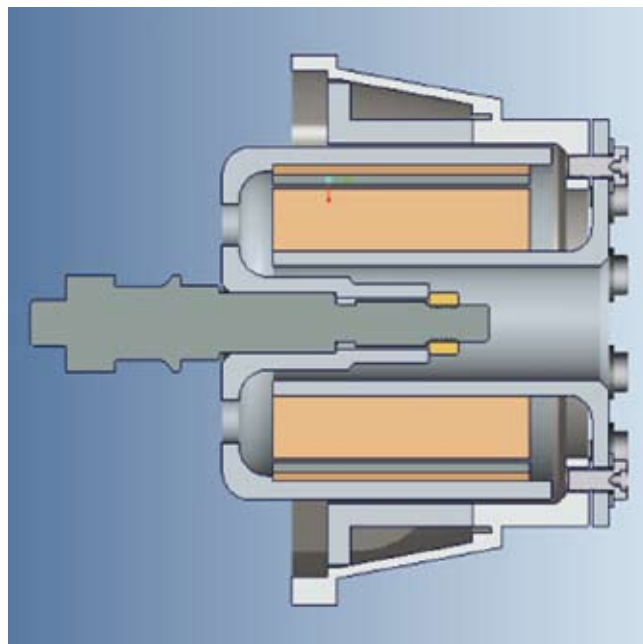
A közvetlen meghajtású motorok jobb hatásfokúak, de tömegük általában nagyobb, mint a hajtóműves kiviteleké. Nagy különbség a hajtóműves és hajtómű nélküli változatoknál, hogy az előbbieknél villamos fékezésre jelenleg nincs még elvi lehetőség sem.

A motorok szabályzó meghajtóegysége vagy PWM (négyzög-impulzus) vagy szinuszos jelformával dolgozó háromfázisú inverter, amely viszonylag kis fordulatszám-tartományban tudja a motort működtető háromfázisú forgó mágneses teret létrehozó periodikus áramot az akkumulátor egyenfeszültségű tápegysége segítségével előállítani. A szabályzóegységgel integrált elektronikus erősítő (teljesítményfokozat) hozza létre azt a hajtáshoz szükséges nagy áramerősséget, amely a motornyomatékot eredményezi. A szabályzóegység jeladói: a motorban elhelyezett HAL-szenzorok, amelyek a motortengely szöghelyzetét mérik, a pedálforgás-, illetve nyomatékszenzor, a fékkarok mikrokapcsolói.

A rásegítéshez szükséges villamos energiát akkumulátorokban tároljuk a kerékpárokon. Az alkalmazott akkumulátorok ólom, lítium alapanyagúak. Mindkét alapanyag jelentős mértékben elterjedt és alapvetően beszerzési árak határozza meg, melyik járműbe kerülnek. Kapacitásuk és feszültségük határozza meg energiatároló képességüket. Az elterjedt rendszerek általában 24–48 V-os névleges feszültséggel és 6–18 Ah kapacitással rendelkeznek, ami egy pedelec kerékpár számára 20–120 km rásegítéssel rendelkező hatótávolságot jelent kényelemtől, domborzati viszonyoktól, forgalomtól függően.

Az üzemelő minimális hajtásienergia-igényű villamos járművek a legnagyobb példányszámban a segédmotoros kerékpárok kategóriájában terjedtek el. Ezeknél a nagyobb hajtóteljesítmény (4 kW), nagyobb sebesség (45 km/ó), a motoros és pedálhajtás függetlensége a jellemző. Ez a járműtípus belső égésű motoros változataival integráns része a közúti forgalomnak, nagy dinamikája és jó manőverező képessége, kis tároló, parkoló és forgalmi helyszükséglete ideális városi járművé teszi. Hátránya a kisebb komfort és a szükséges vezetési képességek, veszélyérzet.

Elvi felépítésükben különböznek a pedelec járművektől. Mivel elmarad a pedálozás szükségessége, a szabályzás már nem rásegítés célú. A villamos motor általában hajtómű nélküli, közvetlen meghajtású állandó mágneses szinkron motor, szinte kizárólag a hátsó tengelyre építve. A motorszabályzás a meghajtó erősítőn keresztül a szabályzás áramkorlátjának változtatásával történik, amelyet a hagyományos gázforgattyúval vezérelt jeladó (HAL- vagy potenciométer) vezérel. Annak ellenére, hogy a motorok közvetlen



Robogó villamos motorjának CAD-rajza

meghajtásúak, a segédmotoros kerékpároknál is csak nagyon ritka esetekben alkalmaznak rekuperációs fékezési lehetőséget.

Energiatároló egységeik alapvetően megegyeznek a kerékpároknál használtakkal, a nagyobb teljesítményigény azonban növelt kapacitásigényt és ezzel nagyobb tömeget is jelent.

Bár a segédmotoros kerékpárok a gyakorlatban nem akadályozzák a gépkocsikra alapozott közlekedést, ez csak annak köszönhető, hogy valós paramétereik már nem ebbe a járműkategóriába tartoznak. Járműdinamikailag valóban a személygépkocsival versenyképes járműkategória a motorkerékpár, amelynek kisebb változata (L7e) is teljesen megfelelő a városi, elővárosi közlekedésre. Ez a járműfajta kevésbé elterjedt, mert a jogi szabályzás nem tette lehetővé ennek a járműnek a vezetését személygépkocsi-vezetői engedéllyel (ez hamarosan feloldódik). Ez a jármű kialakítható 2, 3 és négy kerékkal, szállítható vele 2 személy és hasznójármű formában is építhető. Tehát ideális kiindulási alap lehet a jövő kis energiaigényű közlekedése számára.

Létező jármű ezekből kis számban üzemel, ami annyit jelent, hogy a piac ezeket nem fogadja el, tehát fejleszteni kell őket. A fejlesztés igényét már nem a divat, illetve a fogyasztásgerjesztés, hanem a szükségszerűség teremti meg.

A KUTATÁS-FEJLESZTÉS SZÜKSÉGES IRÁNYAI

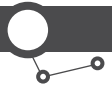
A közlekedésienergia-, nyersanyag- és helyfelhasználás, valamint a környezeti igények által kijelölt szükségszerűségek alapján a kutatás-fejlesztési irányok meghatározhatók. A kutatási területeket itt nagy vonalakban vázoljuk fel, mert egyes fő elemeivel a továbbiakban részletesen foglalkozunk.

AZ OPTIMÁLIS JÁRMŰTÍPUS ÉS MÉRET MEGHATÁROZÁSA, AMELY ILLESZKEDIK A JELENLEGI IGÉNYEKHEZ

A kutatások során külön lehet foglalkozni a közlekedés emocionális viszonyaival. Bizonyára olyan közlekedés sosem lesz, amelyből teljesen kiszűrhető az emberi érzelmek befolyása, de



Tárcsa alakú motor alumíniumházának CAD-rajza



Fejlesztett külső forgórészes PMS-motor álló- és forgórésze

jobb volna a közúti közlekedést kivenni a küzdőtér kategóriából és más közlekedési ágakhoz hasonlóan A helyről B helyre való helyváltoztatásra használni. Egy ilyen hangulati rendszerben már nincs akkora jelentősége a jármű jelenleg nagyra értékelt tulajdonságainak, amelyek nagymértékben hozzájárulnak a jelenlegi rossz állapot fenntartásához. Ha csupán szikár használati szempontból közelítjük az optimális (a tárgyalt esetekben városi) járművet, akkor egy nagyon egyszerű, viszonylag kis helyigényű és sebességű, a mai gépkocsira kevésbé emlékeztető járműig jutunk. Ez egy 2 személyes, legfeljebb 7 kW teljesítményű, kettő- vagy négykerekű, villamos hajtású, fedett, félig zárt jármű, amely a parkolóhelyen és a forgalomban egy jelenlegi autó fele helyével beéri. Az optimális jármű kialakítása természetesen a felhasználás helyétől, a forgalmi körülményektől, a felhasználóktól, éghajlattól függ.

A HAJTÁSRENDSZER: MOTOR, ELEKTRONIKA, INFORMATIKAI RENDSZER

A mai járművek hajtásrendszerétől jelentősen eltérő motorral és hajtóművel rendelkezik a második jármű. A technika mai szintjén a villamos hajtás a leginkább elterjeszthető, ezen belül pedig ugyan jelentős korlátokkal, de egy bizonyos hajtásrendszer: az állandó mágneses szinkron motoros hajtómű a legmegfelelőbb. Ennek a motornak jelentős elektronikai háttérigénye van, amely jelentős ráfordítást igényel mind hardver, mind pedig szoftver szempontjából. A motorok helyszükséglete és tömege csökkentésének az



Kismotor próbapadterhelő egység: fékező, hajtó villamos gép, mechanikus fékek, nyomatékmérő tengely, tesztelt motor (Titrik Ádám)

igénye teremti meg a kutatások szükséges alapjait, amelyhez járul a hatások növelésére való törekvés.

A motormeghajtó elektronika már önmagában önálló informatikai rendszert képez, amely kapcsolódik a jármű kommunikációs és külső irányításához. Az informatikai rendszer hivatott a motorok hajtó- és fékező- (generátoros) üzemének szabályzására, a fékezési energia tárolásának biztosítására.

AZ ENERGIATÁROLÓ RENDSZER

A járműhajtás második nagy egysége az akkumulátorok alkotta energiatároló egység. Szintén korláatosan terjedő lítium alapanyagú akkumulátorok jelentik a korszerűséget ezen a területen. Az akkumulátoroknak a járműves alkalmazás tekintetében főbb mutatói: a rendszerfeszültség (12-48 V, a kisebb

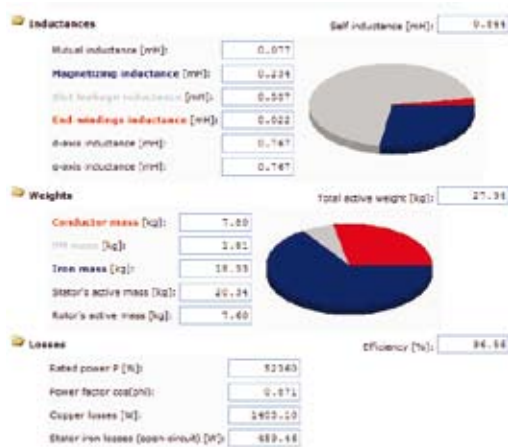


PMS-motor meghajtó fejlesztő rendszer mérése és programozása (Ladányi János)

és akár 400 V a nagyobb járműveknél), a fajlagos és abszolút kapacitás. Az akkumulátorfejlesztés a nagy gyártóknál folyik, járműves felhasználásra azonban az energiatároló egységek még szükségszerűen fejlesztendők, lassan alakulnak ki egységes, szabvány rendszerek. Nagy probléma a sorba kötött cellák töltéskiegyenlítése (400 V-os rendszernél 128 db cella) és az akkumulátorok töltési-kisütési felügyelete, amely védi a telepeket a kigyulladásától és a túlmerítéstől. Mechanikai rendszernek kell gondoskodni az akkumulátorok gyors és biztonságos cserélhetőségéről és az üzembiztos érintkezésről. A töltőrendszer a kiegészítő töltő feszültségforrásokból (hálózat, másik jármű, saját töltés, napelem) tölti az akkumulátortelepet a névleges feszültségen és megengedett áramerősséggel.

AKTÍV ÉS PASSZÍV BIZTONSÁG, JÁRMŰ-INTELLIGENCIA

A jármű irányítása teheti leginkább modernné a második járművet. A jelenlegi autóhoz képest egyszerűbb, jobb hatásfokú, kisebb eszköz mint rendszertechnikai egység sokkal kevésbé bonyolult, és ezért irányítása is egyszerűbb. A mai autókban egy mindenre kiterjedő központi informatikai egység egyelőre nem tudott megvalósulni, az egyszerűbb járműnél azonban erre van lehetőség. Alapjait a legkisebb egységeknél: kerékpárnál és robogónál célszerű megteremteni. A jármű-intelligencia a hajtás szintjén valósítható meg a legegyszerűbben. Bármilyen főegységszintű intelligenciával rendelkező jármű aktív biztonsága megnő, és ez lehetővé teszi a passzív biztonság csökkentését, illetve eleve kisebb passzív biztonságu járművek fejlesztését.



Szimulációs eredmények MotorSolve szoftverrel: a motor geometriai, tömeg-, veszteség- és hatásfokadatai (dr. Szénásy István)

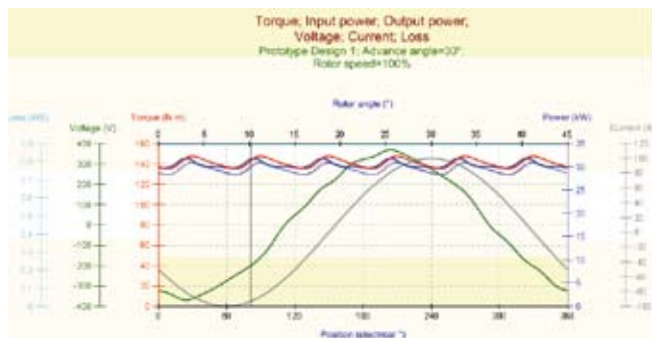
VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÓ ÉS -TÖLTŐ HÁLÓZAT

Ez a rendszer nem a járművek része, de nélküle nincs villamosított közlekedés. Minél nagyobb egyedi fogyasztású járműveket használunk, annál nagyobb problémát jelent a hálózat számára a töltés. A töltőhálózat kiépítése energetikai stratégiai feladat, és bár elszigetelten foglalkoznak töltőállomások létesítésével, ezek főleg inkább a figyelem felkeltésére, a villamos mobilitás, illetve az áramszolgáltatók népszerűsítésére hivatottak. A korábban kifejtett számok alapján a villamosenergia-szolgáltatók számára egyelőre jelentéktelennek látszó minimális energiaigényű járművek tömeges elterjedése a villamosenergia-fogyasztás 0,4–8,9%-os bővülését jelentené az éjszakai időszakban, amikor a villamos energia elhelyezése problematikus. A kis energiájú járművek által igényelt töltés kis teljesítményű egyedekből álló szórt rendszer, amelynek a beruházási igénye alacsony, gyorsan megtérül, a jelenlegi hálózatra ráépülhet.

Bár egyelőre a napelemes rendszerek megtérülési ideje és hatásfoka nagyon kedvezőtlen, de a kutatásokat érdemes erre a szektorra is kiterjeszteni, mivel a nap az egyetlen tiszta energiaforrás a Föld számára.

JÁRMŰKOMFORT

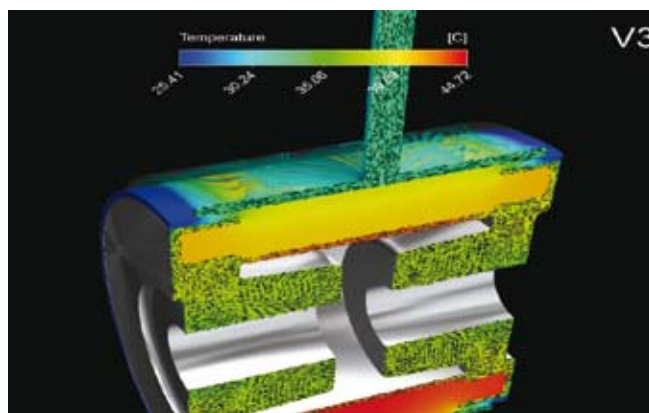
A villamos hajtás bevezetése mindenképpen a járműkomfort csökkenésével jár. Még a rendkívül drága full hibridek sem használhatók a korábbi járművekhez hasonló gondtalansággal. Ameny-



Motorszimuláció eredményei: a motor jellemző villamos és fizikai mennyiségei (Infolytica, dr. Szénásy István)

nyben elfogadjuk a kisebb energiaigény létjogosultságát, akkor jelentős komfortcsökkenéssel kell számolni az új járműveknél. A közép-európai éghajlaton használt járművek legnagyobb problémája a fűtés, amit eddig a belső égésű motorok hulladékhője látott el energiával. Közvetlen követője a jármű hűtése, amely az egyik legnagyobb energiapazarló rendszere a jelenlegi fogyasztásnak. A tömegcsökkenés további komfortvesztéssel jár, amely várhatóan csak a rövid távú utazásoknál fogadtatható el.

A fenti legfontosabbnak ítélt témákon kívül természetesen számos terület van, amely igényelheti a kutatás-fejlesztés ráfordításait és foglalkoztatja a közlekedés tervezőit. A továbbiakban azokkal a témákkal foglalkozunk, amelyek a fentiek alapján a „Mobilitás és környezet: járműipari, energetikai és környezeti kutatások a közép- és nyugat-dunántúli régióban” projekt Jármű-informatikai és mechatronikai kutatások főirány munkásságába tartoztak.



A Fluent számítógépes szoftver segítségével végzett hőtani szimuláció eredménye (dr. Veress Árpád)

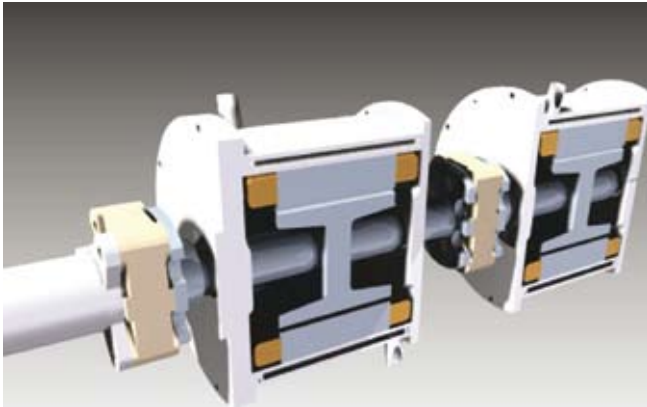
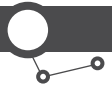
A MÁSODIK JÁRMŰ HAJTÁSKUTATÁSA

Ennek a tématerületnek a pontos címe a kutatásban Minimális hajtásienergia-igényű jármű villamoshajtás- és energiaforrás-rendszerének kutatása volt. A kutatás kiterjedt a legkorszerűbb állandó mágneses motorok mágneses tér, nyomaték, hatásfok és tömeg optimalizációval való megközelítésére, a motorok korszerű elektronikus hajtásrendszerének fejlesztésére, a járművek villamos tápegységeinek, azok töltési rendszereinek fejlesztésére, a fejlesztett rendszerek próbapadi vizsgálatára.

PMS MOTOROK KUTATÁSA A KIS JÁRMŰ-TELJESÍTMÉNY-TARTOMÁNYBAN

A motorok fejlesztésének megalapozása a mágneses tér elméleti kutatása és a már létező eredmények összegző felmérése és kiterjesztése során történt meg. Az elméleti megfontolások mellett természetesen gyakorlati, alkalmazástechnikai szempontokat is figyelembe kellett venni, amelyek lehetővé tették egyes szerkezetek tesztelésre alkalmas példányainak a megvalósítását. Az alapozó kutatás eredményei alapján a járműhajtásoknál egyetlen motortípus felé koncentráltak a további munkálatok, és ez pedig az állandó mágneses háromfázisú szinkron (PMS) gép.

- A PMS motorok járműhajtás szempontjából kedvező jellemzői:
- Rendkívül jó fajlagos (egységnyi tömegre jutó) nyomaték és hatásfok



 A sorba kötött PMS-motorok CAD-rajza (Titrik Ádám)

- Elterjedt alkalmazások
- Beszerezhető anyagok, kivitelezhető alkatrészek
- Kellő tapasztalatok és rendelkezésre álló elemző, kutató informatikai szoftverek

A kutatások szempontjából kedvező, hogy a terület irányítás- és szabályáselméleti szempontból nem teljesen lefedett, és számos elméleti és gyakorlati probléma még megoldatlan.

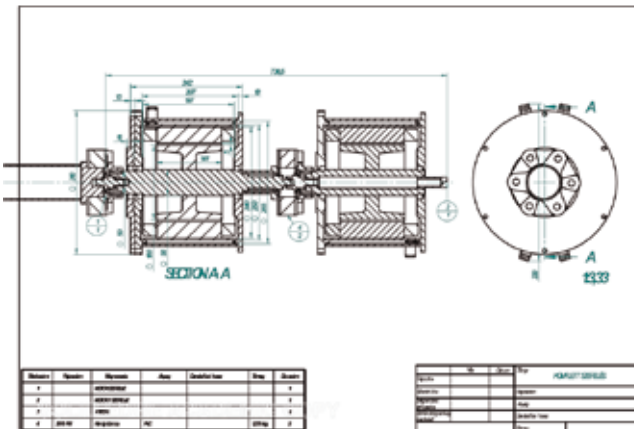
Kedvezőtlen jellemzők:

- A szükséges anyagok drágák és egyre kevésbé hozzáférhetők (lesznek).
- Az egyedi motorgyártás technológiai kiforratlanok, számos kivitelezési problémával kell számolni.
- A szabályzóelektronika bonyolult és egyedi gyártásban drága.

KIS TELJESÍTMÉNYŰ MOTOROK SZIMULÁCIÓJA, HATÁSFOK ÉS TÖMEG OPTIMALIZÁCIÓJA

A motorok kutató megközelítése általános elektrondinamikai vizsgálatokra is alkalmas, illetve speciálisan csak a célzott motorokhoz használható szoftverekkel történhet. Mindegyik eljárás alkalmas volt a motorok elemzésére, gyakorlati, gyors eredményeket azonban csak a speciális szoftverektől lehet várni. A kutatások során párhuzamos elemzésekre került sor, amelyek a motorok geometriai, nyomaték-, hatásfokviszonyain túl azok villamos és mágneses jellemzőire, hőtani folyamataira is kiterjedtek.

A motorok prototípusgyártás előtti teljes adatrendszerét egyedi függvényválogatással vizsgáltuk, amelynél nyomaték, illetve hatásfokmaximumra törekedve a tömegminimum volt a cél.



 A hibrid hajtás villamos gépeinek összeállítási rajza (Titrik Ádám)

Az Infolytica PMS-motor-elemző szoftver segítségével különböző geometriájú villamos gépeket lehet elemezni. Az elemzés során szimulált nyomaték-, veszteség-, feszültség-, áramfüggvényeket generál a program idő- és szöghelyzet-tartományban, amelyekből meghatározza a réz- és vasvesztés, a hatásfok maximális értékét. Lehetőséget ad az áramvektor forgatáshatásainak vizsgálatára, a hatásfokra és a fordulatszám-tartományra. A szimuláció eredménye egy akár gyártható motor minden lényeges paramétere: álló- és forgórész geometriai méretek, mágnes alak és osztás, pólusszám, tekercselési jellemzők.

A motorok prototípusainak gyártását gépészeti tervezés előzte meg, amelynek során a motorok egy alumíniumházat kapnak.

A motorok gyártása az állórészlemez kivágásából, azok zsugorító összesítéséből, tekercselésből, a mágnesek gyártásából, a forgórész vasmag gyártásából, mágnesragasztásból, a tengely és ház gyártásából, valamint a rendszer összeszereléséből áll. Az összeszerelés főleg nagy motoroknál okoz problémát, ezért ott összeszerelt állapotú motormágnesezéssel is lehet foglalkozni, amely egy új kutatási területet jelent.

A prototípusmotorok tesztelése a kutatási program során kifejlesztett próbapadon történik. A próbapad egy villamos fékgéppel rendelkező terhelőberendezés, amellyel mérhetők a motorok villamos mennyiségei, nyomatéka és fordulatszáma. A próbapad LabView programmal készített mérési adatgyűjtő és kiértékelő rendszere lehetővé teszi a motorok előre definiált ciklusfüggvények alapján történő programozott tesztelését, amely biztosítja a különböző motorfajták összehasonlítását.

A PMS-motorok legdrágább alkotórészei a mágnesek és a ritkaföldfémek fogyasztásával egy idő után szinte elérhetetlenek lesznek. Minden lehetőséget meg kell ragadni tehát, hogy olyan villamos motoros hajtások szülessenek, amelyek a hasznos fizikai mutatókat teljesítve kis tömegűek és lehetőleg kevés mágnes(anyagot) és rezet tartalmaznak. A jelenlegi kutatások ezt a feladatot alapozzák, amit a jövőben kell kiteljesíteni. Ebben a kutatásban nagy szerepet kapnak a hatásfokra optimalizált mechanikus hajtóművek.



 A két fejlesztett hibrid tehergépkocsi PMS-motor, egyenként 30 kW névleges teljesítménnyel

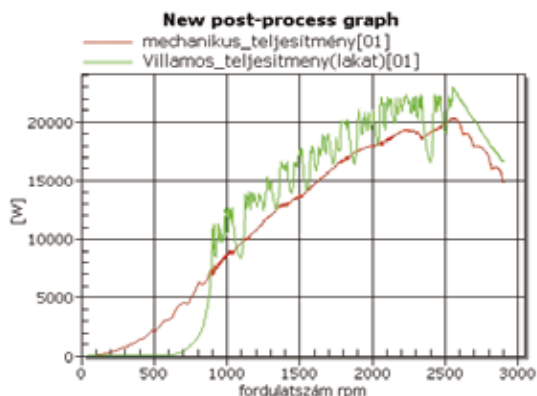
A motorok fejlesztése összekapcsolódik a szükséges elektronikus szabályzó erősítő kutatásával. A PMS-motorok háromfázisú forgó mágneses terét a korszerű gépeknél szinuszos jelformájú feszültséggel hozzák létre, amelyet a meghajtó nagy frekvenciás négyzögimpulzus jelekkel közelít. Amennyiben a szinkron motorok fordulatszám függvényében növekvő indukált feszültsége eléri a tápfeszültség pillanatnyi értékét, a motor fordulatszáma tovább nem növelhető. Ezért a motoroknak a járműhajtáshoz szükséges tág fordulatszámát csak úgy lehet biztosítani, ha az indukciót a fordulatszám növekedésével valamiképpen csökkentjük, a mágneses mezőt valamiképpen gyengítjük. Bevált eljárás



Referenciamotor mérése a nagymotorpróbpadon

az indukciót létrehozó áramvektor elforgatása, amely a nyomaték és egyúttal az indukált feszültség csökkenésével is együtt jár, a teljesítmény állandósága mellett. Az áramvektorforgatásnak egyéb kedvező járműüzemi hatásai is vannak: ezzel a módszerrel érhető el a motor elméleti legnagyobb hatásfoka, és lehetőséget ad a reluktancianyomaték hasznosítására, amely azonos geometriai feltételek mellett nagyobb motornyomaték előállítására ad lehetőséget. A járműhajtásra optimalizált meghajtó kutatása a kezdeti stádiumban van: jelenleg egy Microchip processzorral rendelkező fejlesztőpanelen sikerült modellmotort áramvektor-forgatással meghajtani.

A kutatások által megalapozott és felvetett további célok egyik legfontosabb eleme az optimális jármű hozzárendelése a hajtásrendszerekhez és ezen a jármű az intelligens hajtás irányításának a megteremtése központi járműinformatikai rendszer segítségével.



Villamos és mechanikai teljesítmény összehasonlítás a nagymotorpadon egy fejlesztett motornál (Lőrinc Illés)

HIBRID JÁRMŰ HAJTÁSKUTATÁSA

A fentebb ismertetett kutatások eszköz- és feltételrendszeréhez hasonlóan a járműdinamika, szimuláció és optimalizáció, mágneses-tér-kutatás, irányítás és kommunikációkutatás eszközei jelennek meg a hibrid járművek hajtásainak fejlesztésénél is. A kutatások a nagyobb teljesítményű, haszonjárműben is alkalmazható hajtásrendszerek motorja, meghajtó elektronikus rendszere, tápegysége és kommunikációs-járművezérlő rendszere körében folytak. A cél egy adott feladat elvégzésére képes, korszerű kishaszonjármű villamos hajtásrendszere volt, amely együttműködik a jármű eredeti vezérlő-, hajtás- és kommunikációs rendszerével.

A városi üzemre, sík területen való állandó használatra szánt villamos hajtás főbb paramétereit az alábbiak szerint, járműszimulációk eredményeként határozta meg a kutatás előkészítése.

BELSŐ FORGÓRÉSZES, ÍVES PALÁSTRA RAGASZTOTT NEODIMIUM MÁGNESEKKEL RENDELKEZŐ FOLYADÉK HŰTÉSES PMS-MOTOR

Névleges teljesítmény	$P_{\max} = 60 \text{ kW}$,
Névleges motornyomaték	$M_{\max} = 500 \text{ Nm}$
Névleges fordulatszám-tartomány	$n = 2000 \text{ f/p}$ mindkét irányban
Névleges feszültség	$U_{\max} = 400 \text{ V DC}$
Névleges áram	$I_{\max} = 200 \text{ A}$

A motorok kezelhetősége, beépíthetősége, gyártása és későbbi felhasználása szempontjait mérlegelve a hajtás két, egymással sorba kötött motor alkalmazásával valósult meg.

A motorszimulációt két szoftverrel is el lehetett végezni, amelynek eredményei alapján történt meg a végleges motorok kialakítása.



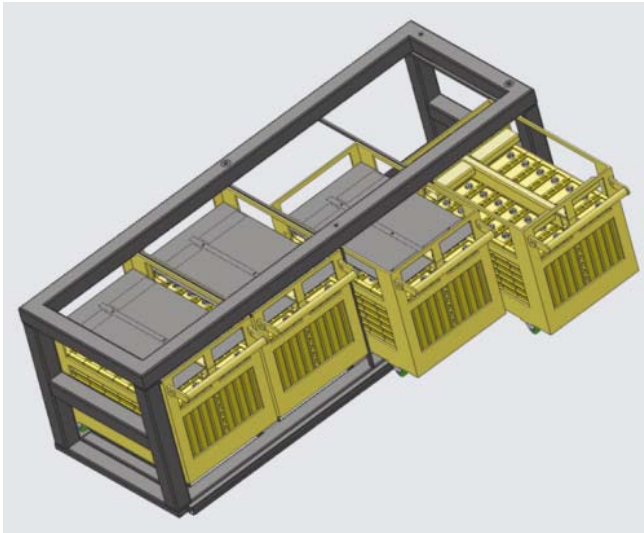
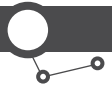
A fejlesztett motorok beépítése járműbe, a hűtőrendszer bekötése

A villamos motoroknál fontos megoldandó feladat a megfelelő hűtés volt. A hajtásrendszer kísérleti jellegére tekintettel egy nagy hatékonyságú folyadékűtés alkalmazása volt célszerű, amelyen a későbbiekben a teljes motor termodinamikai folyamat mérhető, illetve hő- és áramlástechnikai szimulációk előkészítésére megfelelő validációs objektum keletkezik. A hőtani szimulációk eredménye a folyadék-hűtőkörny és bevezetőcsonkok optimális kialakítása.

A villamos motorok prototípusainak a gyártása a többszörös szimulációk eredményei alapján készített gépészeti tervek szerint készültek.

A tervek alapján készült el a két darab prototípus motor. Mindkét motor önállóan szabályozható és szükség esetén külön-külön is használható.

A kész motorokat a projekt során fejlesztett terhelőpadon lehetett tesztelni. A mérőberendezés egy egyenáramú aszinkron motorból (terhelő villamos gép) és egy erőmérő cellán átkötött toldatból áll. A fordulatszámot a motor inkrementális szögjeladó segítségével méri. A tesztelés során a mechanikai és villamos mennyiségek mérésére került sor az idő függvényében. A tesztek



☐ A 400 V DC tápegység egy keretének 50 V-os blokkjai (Polák József)

során egy kísérleti elektronikus szabályzó meghajtó került alkalmazásra 400 V névleges feszültség és 100 A áramerősség mellett.

A hibrid hajtás elektronikus szabályzóegységeként egy az Advanced Motion Control Europe Kft. által fejlesztett nagy teljesítményű meghajtó erősítő került alkalmazásra.

Az összekapcsolt teljes rendszer járműben való tesztelésére is sor került, és jelenleg is folyik.

NAGYFESZÜLTSGŰ TÁPEGYSÉG KUTATÁS-FEJLESZTÉSE

A motorok fejlesztésével párhuzamosan a tesztrendszerhez szükséges volt egy nagy teljesítményű, akár járműben is használható egyenfeszültségű akkumulátoros táprendszer kifejlesztése. A tápegység egy mozgatható állványon helyezkedik el, és 8 db, egyenként 50 V névleges feszültségű akkumulátorcsomagból áll, amelyek egy a keretben mozgatható kocsira kötegelt 14 db 40 Ah-s lítiumion (LiFePO₄) akkumulátort tartalmaznak. A sorba kötött akkumulátorok cellák közötti elektronikus töltéskiegyenlí-



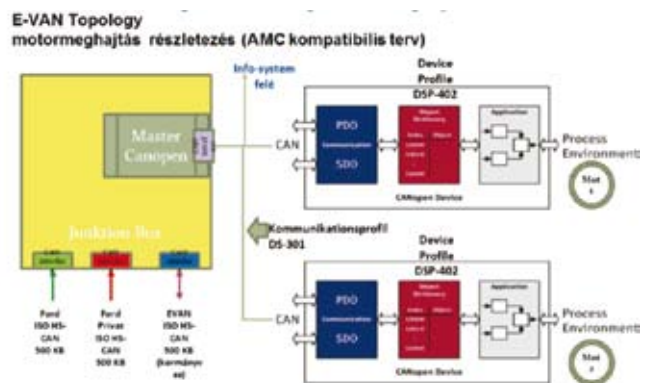
☐ 50 V névleges feszültségű lítium-akkumulátoros tápegység cserélhető kocsija

tővel és önálló hibadiagnosztikával, valamint kocsinkénti biztonsági töltésfelügyelettel rendelkeznek. A kocsik egyenként 26 kg tömegűek, és így a felhasználó maga is kicserélheti a hibás vagy lemerült akkumulátorcsomagot.

A nagyfeszültségű tápegység saját fejlesztésű illesztő, csúszó érintkezői automatikus összekapcsolást biztosítanak a keretrendszer dugaszolóaljához és megbízható kötést adnak a blokkok közötti, akár 200 A áramerősségű kapcsolathoz.

HIBRID JÁRMŰ KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZERÉNEK FEJLESZTÉSE

A tesztelésre választott jármű elektronikus vezérlőrendszerének kommunikációs rendszere CAN-BUS-ra épül. A fejlesztett hajtásrendszernek illeszkednie kell a jármű eredeti elektronikus és vezérlőrendszeréhez, ezért szükséges volt a hajtásrendszer járműben való tesztelése érdekében egy saját kommunikációs rendszert kifejleszteni, amely együttműködésre képes a jármű eredeti rendszerével. A CAN-rendszerű architektúra egy gate-way-en keresztül kapcsolódik a jármű BUS-hoz, és saját központi egységének I/O moduljain keresztül vezérli a járműhajtás, valamint az egyes kiegészítő elemek elektronikáját. A BUS-rendszer kifejlesztéséhez szükséges volt a rendszerkommunikációs követelmények, működési stratégiák meghatározása, amelyben súlyponti téma a biztonságos üzemmódváltás, jelfeldolgozás



☐ A villamos motor meghajtás CAN-kommunikációs rendszere, amely próbapadi körülmények között és a járműbe építve működött

és továbbítás, regeneratív töltésmenedzsmet, elektronikus fékerőszabályozás, kormányrásegítés-vezérlés, hűtésvezérlés, tempomat, E-gáz, diagnosztika. A funkciók összefogására szolgáló vezérlőegység a Junktion Box, amelynek fejlesztési aktivitásai az alábbiak voltak:

- A JB vezérlőegységgel szemben támasztott követelmények írásos összefoglalása, dokumentációja, egyeztetések a vezérlőegységet tervező/gyártó cég képviselőjével
- Informatikai Topológia elkészítése (követelményfüzet)
- Az alapáramkörök feltérképezése, a szükséges csatlakozópontok kialakítása.

A CAN BUS rendszer kutatásával párhuzamosan sor került egy biztonságkritikus kommunikációs kísérletre, amelynek során egy FlexRay kommunikáción keresztül vezérelt fékrendszer analízise történt meg. Ennek során egy olyan tesztmodell keletkezett szoftver- és hardveroldalon egyaránt, ami képes demonstrálni a biztonságkritikus rendszer működését. Bővíthető, konfigurálható tesztpad valósult meg úgy, hogy az informatikai rendszer működése „látható” lett. A szoftveres megvalósítás Vector CANoe 7.5 fejlesztőkörnyezet és Fibex Explorer FlexRay adatbázis-szerkesztő,



- Párhuzamos kommunikáció elemzésére alkalmas tesztberendezés,
- A férendszer új fejlesztőkörnyezetbe való beleillesztése,
- Adatbázis konfigurálása az új szabvány szerint,
- Működő FlexRay hálózat,
- Valós idejű vezérlés.

A Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-dunántúli Régióban című pályázat Járműinformatikai és mechatronikai kutatások főirány villamos hajtáshoz kapcsolódó kutatás-fejlesztési projektjei teljesítették a kitűzött célokat, és magas szinten járultak hozzá a fenntartható közlekedés fejlődéséhez. A kutatások során elkészült és járműbe építésre került egy állandó mágneses szinkron motor és annak elektronikus meghajtása, amely villamos és hibrid tehergépkocsik, autóbuszok hajtárendszerének villamos gépe lehet. A kutatások eredményeként mind a hajtárendszer, mind pedig a többi elektro-

16 **A JÖVŐ JÁRMŰVE** | 2012 01/02



Molekulárisan változtatható nanotechnológiás karcálló bevonat polimerekhez

DR. DOGOSSY GÁBOR

egyetemi docens
Széchenyi István Egyetem

NAGY VIKTOR

tanszéki mérnök
Széchenyi István Egyetem

SÁGI ERIK

tanszéki mérnök
Széchenyi István Egyetem

A polimerek nagyrésze a karcállósága korlátozott, és elmarad olyan más anyagokétól, mint például kerámia, üveg és különböző fémek. Ez a negatív, esztétikai tulajdonságaira kiható sajátossága korlátozza a polimerek széles körű alkalmazását és piaci elterjedését. A NANOSCRATCH projekt célja volt egy új, jó hatásfokú, gazdaságosan, környezetbarát módon és igényekre szabottan alkalmazható karcálló bevonatolási technológia kifejlesztése műanyag darabok számára. Az új bevonat a magától épülő (ún. self-assembly) nanotechnológiás eljárás alapján.

The majority of plastic materials have a limited scratch resistance when compared to other materials, for instance ceramics, glass and metals. These negative aesthetic properties limit the polymers from being used in a broad range of applications and market sectors. NANOSCRATCH project aimed to develop a novel high performance scratch resistant coating technology for plastic pieces at a low cost using an environmental friendly and tailor-made process. The new coating technology to be developed is based on self assembly nanotechnology.

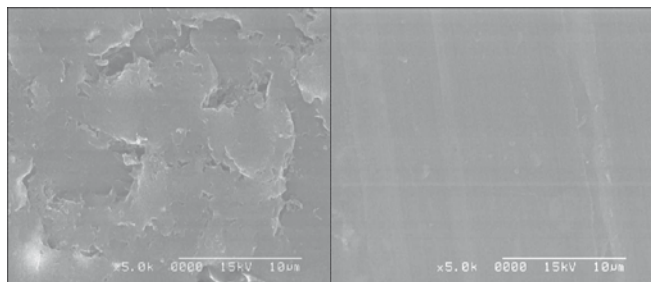
A FEJLESZTÉS CÉLJA

A NANOSCRATCH kutatás-fejlesztési projekt fő célja egy olyan, újdonságnak számító technológia fejlesztése, mely az egyes műanyagok felületét képes módosítani enyhe oxidációs eljárással, mely egy kémiai funkcionálizáló, azaz önépítő molekuláris folyamat (SAM: self-assembly molecules). Az új technológia vízbázisú kémiai rendszere épül. A felületbevonatolási eljárás során olyan kémiai kötések építése volt a cél, mely képes a kopásálló nanorészecskéket a polimerhez térhálós szerkezetű, magas adhéziójú kötással rögzíteni.

A részletes fejlesztési feladatok a következők voltak:

- Gazdaságosan alkalmazható és környezetbarát felületbevonatolási technológia fejlesztése.
- A bevonat erősebb adhéziós kötással kapcsolódik az alapanyaghoz, a darab használati tulajdonságait nem módosítja, a réteg vastagsága szabályozható, az egyes, igényelt kémiai reakciókkal szemben ellenálló, széles körben, több polimer-típusra is alkalmazható, csökkentett a porozitása.
- A gyártástechnológia kevés melléktermékkel jár, környezetbarát a technológia, kis energiaigényű a folyamat, kis befektetés- és eszközigényű a gyártási rendszer.

A műszaki-technológiai fejlesztés és tudományos feladatok mellett a projekt célja, hogy az EU polimer ipari versenyképességét növelje és a tartós fogyasztási cikkeket és járműveket gyártó európai ipari partnerek piaci térnyerését, érvényesülését segítse.



 PMMA felületéről szkennelési elektronmikroszkóppal (SEM) készült kép az enyhe oxidációs folyamat után és a bevonatolás előtt (bal oldal) és bevonatolási folyamat után (jobb oldali kép)

A projektbe bevont, illetve az eredményeket hosszú távon hasznosító vállalatok köre a következő:

- Kémiai reagens-gyártók és -beszállítók
- Sajtolólemezt- és extrudálást alkalmazó gyártók
- Fröccsöntéssel foglalkozó gyártók
- Járműipari végfelhasználók
- Háztartásgép-gyártók.

A PROJEKT EREDMÉNYE

Az egy korábbi projektben kifejlesztett SAM kémiai kötés alkalmazása a karcálló bevonat elkészítésére sikeresen megvalósult. ABS, PP, PMMA és PP/EPDM polimerek kerültek bevonatolásra a technológizálás eredményeként merítéses és szórásos módszerrel. A Széchenyi István Egyetem mint konzorciumi partner a laborvizsgálatok során több száz mintadarabot vizsgált meg. A tesztek Taber lináris koptatógéppel és ún. cross-cut réteg tapadás (kohéziós) vizsgálati módszerrel, valamint abrazív koptatással végeztük. Az eredményeket optikai mikroszkóppal, szkennelési elektronmikroszkóppal (SEM) és tömegméréssel gyűjtöttük, illetve szemrevételezéssel állapítottuk meg az esztétikai tulajdonságok változását. Az értékelés során a bevonat vastagságára, minőségére és adhéziós tulajdonságaira derült fény, és minden vizsgálat azt bizonyította, hogy az új nanorészecskével operáló felületkezelés, bevonatolási eljárás növeli az anyagok karcállóságát.

A kémiai felépített bevonatolási technológia pilotprojektként, kisüzemi körülmények között is kifejlesztésre került, melynek során egyes alkatrészek, termékdarabok lettek a speciális bevonattal ellátva. Az ipari projektpartnerek így a közvetlen hasznosítás lehetőségeit is felmérhették, tehát megalapozott az ipari alkalmazása, a gyártósori integráció következő lépésben történő megvalósítása után.

A NANOSCRATCH projekt (FP7-SME-2008-1-232100) az Európai Unió FP7 keretprogramja támogatásával valósult meg.

nanoSCRATCH



Belső égésű motorok hengerfelületének mikrogeometriai vizsgálata

MICROGEOMETRIC INVESTIGATION OF THE CYLINDER SURFACE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

DR. SOLECKI LEVENTE

Széchenyi István Egyetem,
Járműgyártási Tanszék

A belső égésű motorok hengerfelülete a motor működése, üzemanyag- és kenőolaj-fogyasztása, valamint károsanyag-kibocsátása szempontjából meghatározó fontosságú. A hengerfelületet vizsgálni kell a gyártás során, valamint a kész állapotban, illetve a felület üzem közbeni változása is érdekes. A hengerfelület közvetlenül nehezen érzékelhető, közvetett érzékelésre lehetőség van a felületről készített szilikonlenyomatok alkalmazásával.

The cylinder liner of internal combustion engines is very important because of the operation of the fuel and lubricant consumption and emissions of the combustion engine. The cylinders must tread during manufacturing, then they are measured at the finished state, but also the change of running surface during operation is interesting. The cylinder surface is difficult to measure directly, but indirect measurement of the surface is possible through the use of silicone replicas.

1. BEVEZETÉS

Belső égésű motorok hajtják jelenleg a közúti járművek túlnyomó részét, bár az alternatív hajtások egyre nagyobb mértékben, de egyelőre inkább csak jelzésértékű teret nyernek. A belső égésű motorokban az üzemanyag energiájának mozgási energiává alakítása a hengerben történik. A henger határolja le az égésteret és vezeti meg a dugattyúgyűrűkön keresztül a dugattyút. A hengerfal és a dugattyú/dugattyúgyűrűk kapcsolata meghatározó fontosságú a belső égésű motor működése szempontjából. A jelenleg elterjedt hengerfal-kialakítások hosszú fejlődés eredményeként alakultak ki, és ez a fejlődés jelenleg is folytatódik. A cél, hogy minél kisebb kopás és súrlódás mellett jó tömítést lehessen elérni és hosszú élettartamot. Ez a dolgozat azokat a vizsgálatokat mutatja be, amelyekkel hengerfelületek üzemi kopását lehet meghatározni.

2. A HENGER KIALAKÍTÁSÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A hengerfelület mikrogeometriai struktúráját – mintázatát – a rendelkezésre álló gyártástechnológiai lehetőségek figyelembevételével úgy kell kialakítani, hogy két egymásnak ellentmondó követelménynek egyszerre eleget tegyen: a kis ellenállás és kopás érdekében minél kisebb legyen a felületi egyenetlensége (éressége), de a mintázata olyan legyen, hogy a kenőanyag meg tudjon tapadni rajta és biztosítson helyet az esetleges szennyeződéseknek (szilárd égéstermék-részecskék, kopadékok).



1. ábra: szilikonlenyomat készítése a hengerfelületről



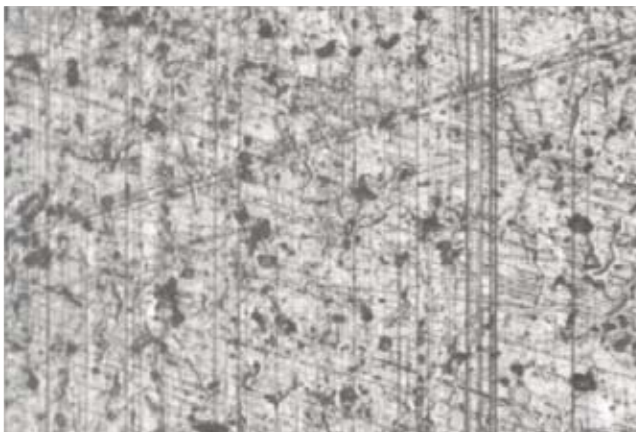
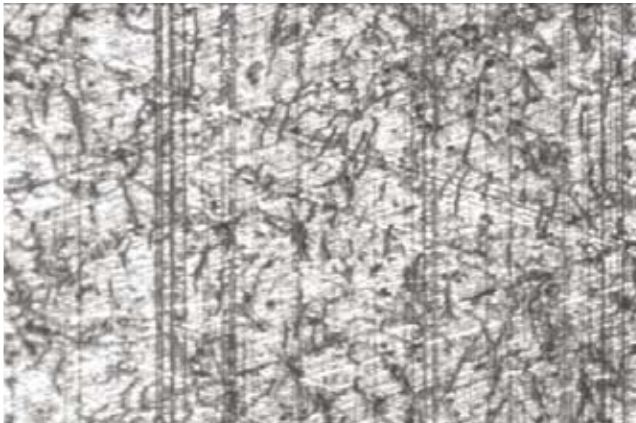
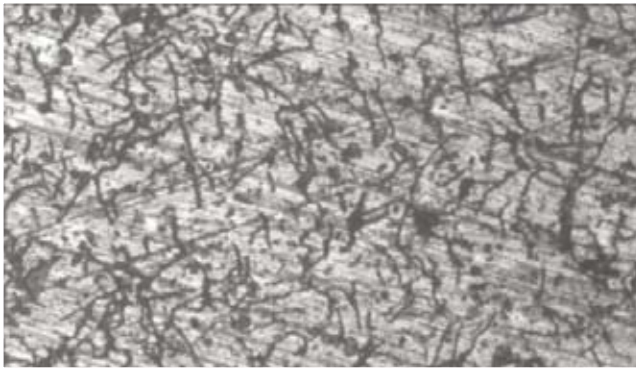
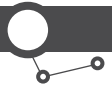
2. ábra: a kopott hengerfelületen a dugattyúgyűrűk alsó és felső holtpontjainak kopásnyomai

A hengerfelületek méretét és makrogeometriai alakját a finomfúrás és a hónolás biztosítja, a mikrogeometriai mintázat kialakítására többféle eljárást használnak. A hagyományos hengermintázatot a hengerfelület többfokozatú ún. platóhónolásával hozzák létre.

Csökkenthető a hónolási mintázat olyan lézertáskák beégetésével, amelyek a kenőolaj megtapadását biztosítják. Ezen kívül lehetőség van arra, hogy lézerkezeléssel feltárják a felületközeleki karbonzárványokat, hogy azok üregei biztosítsák a szükséges felületi egyenetlenséget. A felület lézerkezelése két okból is javítja a viselkedését: egyrészt simább (kisebb egyenetlenségű) felületet lehet létrehozni, ami kisebb ellenállást és kopást eredményez, másrészt a lézerezés keményebbé, ezáltal kopásállóbbá teszi a henger futófelületi rétegét.

3. HENGERFELÜLETEK MIKROGEOMETRIAI MÉRÉSI MÓDSZEREI

A hengerfelületek közvetlenül nehezen mérhetők, mert belső felületeknek rossz a hozzáférhetőségük [2]. A mérendő felületeknek a mikrogeometriai vizsgálatokhoz nagy a kiterjedésük – egy átlagos személygépkocsiba épített belső égésű motor hengerfuratának 80 mm körüli az átmérője és 100 mm körüli a hossza. Az érdekeségmérés hagyományos tűs letapogatása csak hosszirányban és legfeljebb néhány metszetben, és nem teljes hosszban használható. Többféle optikai eljárás (hagyományos mikroszkóp, fényinterferométer, szórófény-érzékelés ...) is alkalmazható hengerfelületek vizsgálatára, de ezeket egyedi kialakítással kell ehhez alkalmassá tenni. A felületek mikrogeometriáját mérő általános rendeltetésű berendezésekkel úgy lehet hengerfelületek részeit mérni, hogy roncsolással a méréshez metszeteket készítsünk a hengerfelületből.



3-4-5. ábra: az 500 órát járatott motor kiindulási hengerfelületéről készített lenyomat, a kopott hengerfelület és a kopott hengerfelületről készített lenyomat képe

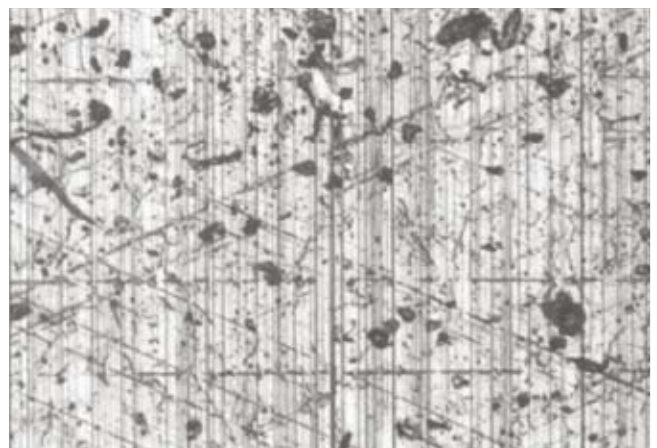
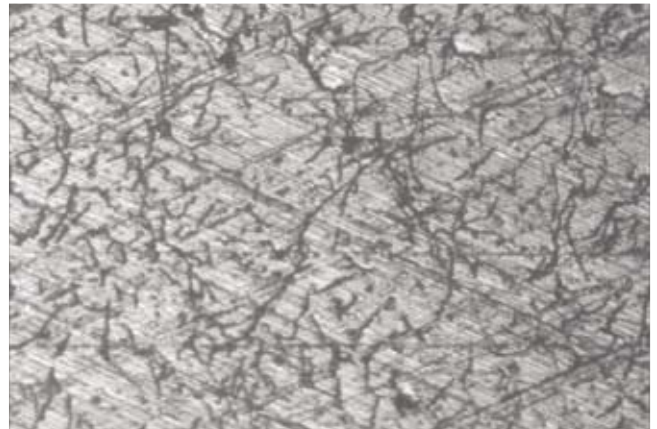
Ennek viszont az a következménye, hogy a felület mikrogeometriai mérése után már nem tudjuk üzemeltetni a motort.

Ha a hengerfelületről szilikonlenyomatot készítünk (1. ábra) [1], akkor ez a lenyomat az $1\text{ }\mu\text{m}$ -nél nagyobb felületi egyenetlenségeket viszonylag kis veszteséggel átviszi, és elég sokat átvisz az $1\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebb egyenetlenségekből is. A teljes hengerfelületről bonyolult lenne lenyomatot venni, de mivel a szívó- és a kipufogóoldalon nagyobb a hengerfal igénybevétele a dugattyú mozgásából, ezért ezeknek a sávoknak a vizsgálata különösen érdekes a felület kopását illetően. A lenyomattechnika előnye, hogy archiválja a felület kiindulási állapotát, így lehetőség van az üzemeltetés után ugyanannak a felületrésznek a kiindulási és későbbi állapotának összehasonlítására. A lenyomatok rugalmas anyagúak, ezért tapintós – tűs – érzékelővel nem, csak optikai úton mérhetők.

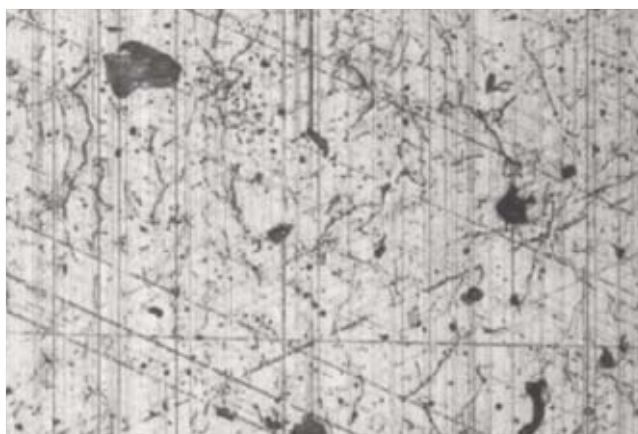
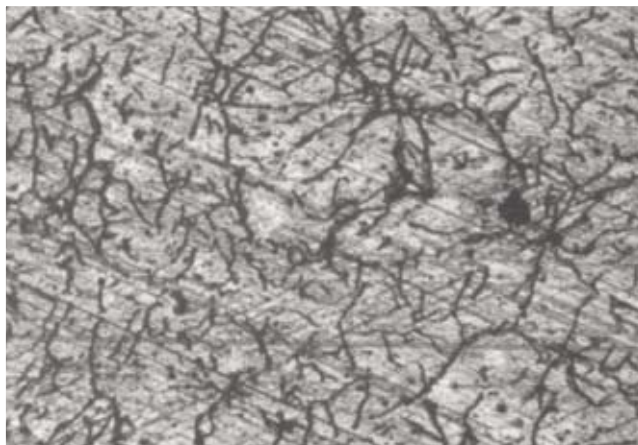
Ahhoz, hogy ugyanazokat a felületrészeket meg lehessen találni, a felületről korábbi és későbbi állapotában készített lenyomatokon találni kell legalább 3 nem egy egyenesbe eső olyan bázispontot

mindkét lenyomaton, amelyek egymásnak megfelelői és minden olyan mérőberendezéssel egyértelműen megtalálhatók, amit a mérések során alkalmazni fogunk. Mivel a dugattyúgyűrűk, illetve a dugattyú nem érintkeznek a hengerfelülettel a teljes hosszon, hanem felül és alul marad egy-egy nem érintkező sáv, ezekben lehet ilyen egymásnak megfeleltethető 4 pontot találni. Bázispontnak célszerűen választható a lenyomat 4 sarokpontja is. Meg kell ezután határozni mind a bázispontoknak, mind a vizsgálandó pontoknak a térbeli koordinátáit. Amilyen pontosan megfeleltethetők – fedésbe hozhatók egymással a bázispontok, olyan pontossággal feltételezhető, hogy a keresett pontok megközelítik egymást. A bázispontok egymásra illesztéséhez szükséges koordinátatranszformáció Helmert-transzformációval [3] határozható meg, vagy egyszerűsítve síkban kezelve a problémát két lépcsőben: először a bázispontok súlypontjának egymásra tolásával (transzláció), majd a pontoknak a bázispontok súlypontja körüli elforgatásával, amíg a koordináták eltéréseinek négyzetösszege minimális nem lesz (rotáció).

A mérések optikai koordináta-mérőgépen (MAHR PMC800) kezdődnek a kopott felület vagy az arról készített lenyomat vizsgálatával. Ki kell választani mind a bázispontokat, mind azokat a pontokat, amelyeket a továbbiakban vizsgálni fogunk. Ezekről a pontokról képfelvételeket kell készíteni, és meg kell mérni ezeknek a pontoknak a koordinátáit. Ezután meg kell mérni az ennek megfeleltethető lenyomaton a bázispontok koordinátáit, és ki kell számolni a két koordináta-rendszer egymásra illesztéséhez szükséges eltolást és elforgatást. Az ismeretlen pontokra ugyanezt az eltolást és elforgatást alkalmazva megkapjuk ezeknek a koordinátáit. Ugyanígy a bázispontokból kiindulva lehet érdességmérő berendezésen (Taylor Hobson TALYSURF CLI2000) ugyanazokat a pontokat megtalálni, mint amelyeket a koordináta-mérőgépen bemértünk.



6-7. ábra: az 1000 órát járatott motor kiindulási és kopott hengerfelületéről készített lenyomat képe



8-9. ábra: az 1500 órát teljes terheléssel járatott motor kiindulási és kopott hengerfelületéről készített lenyomat képe

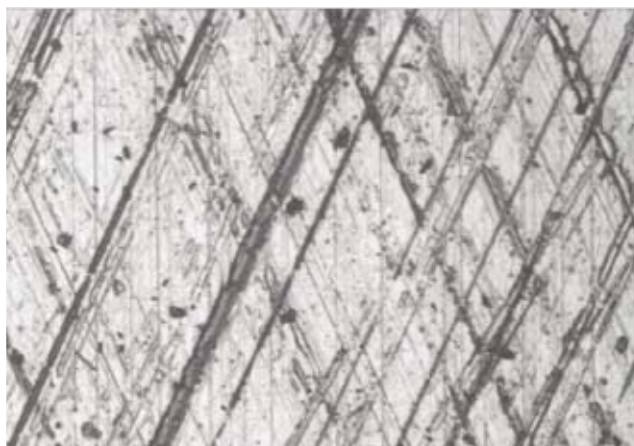
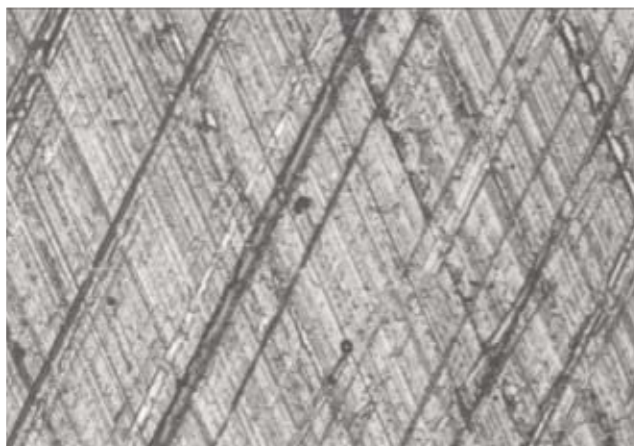
A módszert úgy ellenőriztük, hogy összehasonlítottuk, hogy mennyire feleltethetők meg egymásnak ugyanannak a felületrésznek a közvetlen érzékeléssel készített képi és 3D-s letapogatással készített felvételei a lenyomat megfelelő pontjának képi és 3D-s letapogatással érzékelhető felvételeivel. Azon kívül, hogy a lenyomat a térbeli struktúra tükörképe, el is vesz információt, és az érzékeléseknek is van egy bizonyos bizonytalanságuk, a lenyomaton érzékelhető pontok az eredeti felület pontjaival mind képileg, mind a térbeli struktúrát illetően jó egyezést mutatnak. A lenyomattechnikát összehasonlítottuk a felület közvetlen érzékelésével fehérfény-interferométerrel, és ezzel is megfelelő egyezést kaptunk.

4. KOPÁSVIZSGÁLATOK A HENGERFELÜLETEKEN

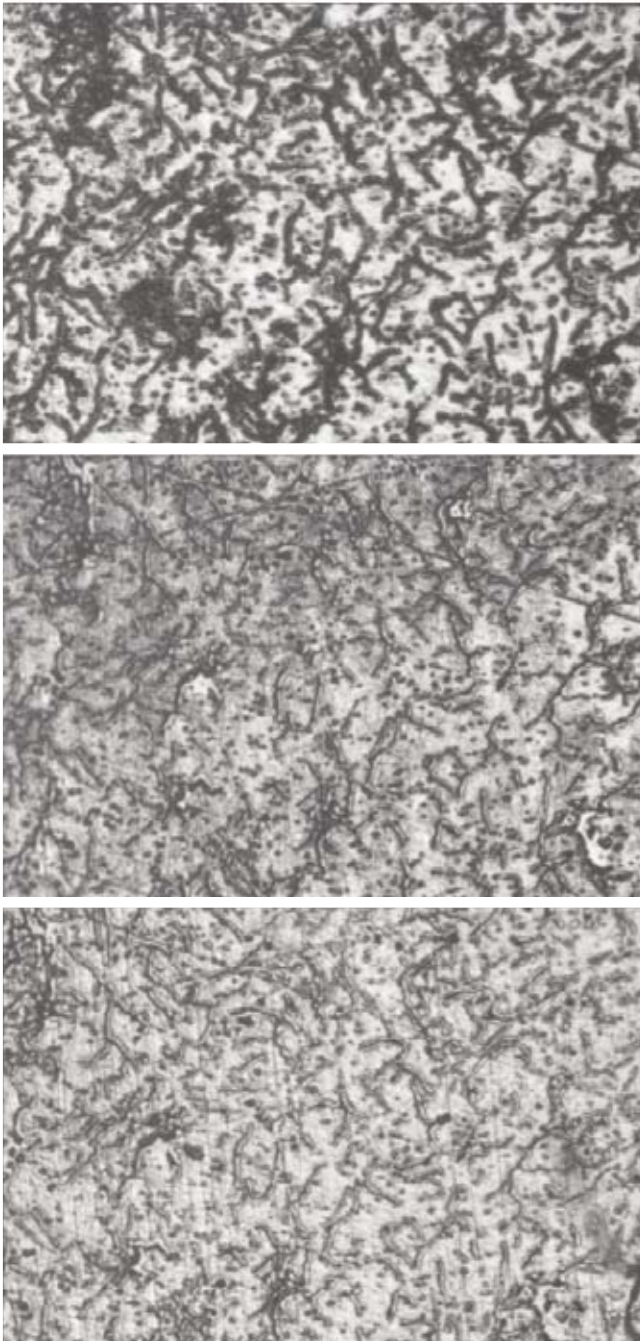
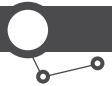
Két vizsgálati sorozatot végeztünk. Az egyik sorozat 3 ugyanolyannak tekinthető – típus, gyártás – lézerkezelt hengerfelületű motornak hasonlítottuk össze a gyártás utáni hengerfelületét az 500, illetve 1000 órás kevert programú és 1500 órás teljes terhelésű próbapadi gyártás utánival. A vizuális vizsgálatot a négyhengeres motorok minden hengerének szívó- és kipufogóoldalának teljes lökethosszára és még a dugattyúgyűrű alsó holtpontja alatti területre is elvégeztük. A vizsgálatból megállapítottuk, hogy egy motoron belül az egyes hengerek kiindulás állapotában és kopásában feltűnő eltérés nem mutatkozott, és a szívó- és a kipufogóoldal között sem lehetett nagy különbséget tapasztalni. Mindegyik hengerfelületről készített lenyomatról meg lehetett állapítani mindhárom dugattyúgyűrű (2 kompressziógyűrű és az olajlehúzó-gyűrű) alsó és felső holtpontját. **(2. ábra)** A holtpontnál egyrészt kifényesedik a felület, másrészt itt több hosszirányú karc is kezdődik vagy végződik. A

holtpontok helyzetét kimérve és összehasonlítva meg lehetett állapítani, hogy egy motoron belül a 4 hengernél összesítve a forgattyús tengely egyes hajtókarcsapjainak a távolsága a forgástengelytől, a hajtókarhosszak és a dugattyú-csapszegfurat tengelytávolsága a gyűrűhoronytól mennyire voltak különbözőek.

A holtponti sáv szélességéből a hajtókarcsap/hajtókarfurat, hajtókar/dugattyúcsapszeg/dugattyú és a gyűrűhorony/gyűrű illesztésre lehet következtetni. Egy henger szívó- és kipufogóoldalánál a holtpontmagasságok különbségéből a holtpontokban a dugattyú helyzetének ferdeségére (billegésére) lehet következtetni. A kopás a hengerfelületen olyan formában jelentkezik, hogy a felület gyártási mintázatának magassága csökken, a finom mintázat el is tűnhet, másrészt a felületen olyan hosszirányú karcok keletkeznek, melyek gyártáskor egyáltalán nem voltak. A kopásnyomokból arra lehetett kö-



10-11-12. ábra: a spirálhónolt hengerfelület kiindulási, 40 és 140 órás kopott állapotáról készített lenyomat képe



13-14-15. ábra: a lézerkezelt hengerfelület kiindulási, 40 és 140 órás kopott állapotáról készített lenyomat képe

vetkeztetni, hogy az elvárásoknak megfelelően a legnagyobb kopás a löket mentén a löket felső harmadában van, ahol egyrészt az égésből a legnagyobb nyomások hatnak a dugattyúra, és ahol már mind a 3 gyűrű érintkezik a hengerfelülettel. A legkevesebbet – 500 órát – já-

ratott motor **(3-4-5. ábra)** hengerfelületén voltak olyan területek, ahol nem volt kopásnyom, és abból, hogy a felület az égéstermékektől kokszosodott, arra következtettünk, hogy ilyen terhelés mellett nem is érintkezett azon a részen a gyűrű a hengerfelülettel. Mivel a gyűrűk alsó holtpontja alatt is voltak hosszirányú karcok, ez arra utalt, hogy itt a dugattyú palástfelülete érintkezett a hengerfelülettel.

Az 1000 órát járatott motornál **(6-7. ábra)** sokkal több kopásnyom keletkezett, mint az 500 órát járatottnál, és a teljes lökethosszon jelentkeztek a kopások, de még maradt mintázat az eredeti felületből is.

Az 1500 órás teljes terheléssel járatott motor **(8-9. ábra)** hengerfelületén a kopás hatására keletkezett hosszirányú karcok szinte teljesen eltüntették az eredeti mintázatot, a mintázat szempontjából ez a hengerfelület megközelíti ezzel az élettartamának végét.

A másik vizsgálati sorozatot egy spirálhónolt **(10-11-12. ábra)** és egy lézerkezelt hengerfelületű **(13-14-15. ábra)**, de egyébként ugyanolyan felépítésű négyhengeres Otto-motoron végeztük. A motorok hengerfelületeinek szívó- és kipufogóoldalairól vettünk a kiindulási állapotban szilikonlenyomatot. Ezután a motorokat 40 órát járaták fékpadon könnyű terheléssel. A járatás után a motorokat szétszerelték, és a kopott hengerfelületekről lenyomatot vettünk. Ezután a motorokat ugyanúgy, mint legelőször összeszerelték, és megint 100 órát járatták könnyű terheléssel. A járatás után megint szétszerelés és a hengerfelületekről lenyomatvétel következett. Így össze lehet hasonlítani, hogy ugyanannak a motornak a hengerfelülete a bejáratás első 40, majd az azt követő 100 óra alatt, ami a további működés szempontjából nagyon fontos, hogyan változik. A vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy az első 40 órás járatás mindkét hengerfelületen nagy nem jelentős kopásnyomokat. A különbség a következő 100 órás járatásnál jelentkezik: míg a spirálhónolt hengerfelületű motornál további kopásnyomok keletkeznek, addig a lézerkezelt hengerfelületű motornál nem keletkezik további észrevehető kopásnyom ez alatt a 100 óra futás alatt. Tehát a lézerkezelt hengerfelület viselkedése kedvezőbb, mint a spirálhónolté, mivel a rövid bejáratás után a kopás lecsökken. A mérési módszer alkalmasnak mutatkozik ilyen többlépcsős – a motor ismételt szét- és összeszerelésével járó – kopásvizsgálatok elvégzésére.

5. ÖSSZEFOGLALÓ

A hengerfelületek közvetett vizsgálata szilikonlenyomatokkal alkalmas a felület mikrogeometriájának ellenőrzésére, abból a szempontból is, hogy a kiindulási állapot megfelel-e a követelményeknek, valamint a kiindulási állapotot össze lehet hasonlítani a hengerfelület későbbi kopott állapotával. A kopás vizsgálatából következtetéseket lehet levonni mind a hengerfelület üzemi tulajdonságaira, mind az üzemeltetésre.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a „Mobilitás és környezet, Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban” projekt keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. ●

IRODALOM

- [1] Gara L, Zou Q, Sangeorzan BP, Barber GC, McCormick HE, Mekari MH: Wear measurement of the cylinder liner of a single cylinder diesel engine using a replication method, *Wear*, 268 (2010) pp. 558-564
- [2] Grabon W, Pawlus P, Sep J: Tribological characteristics of one-process and two-process cylinder liner honed surfaces under reciprocating sliding conditions, *Tribology International*, 43 (2010) pp. 1882-1892
- [3] Luhmann T: Nahbereichs-photogrammetrie, Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH. & Co. KG, Heidelberg, 2003. pp. 35-45

Járműkerék-modellezés

FODOR DÉNES

egyetemi docens
Pannon Egyetem,
Mérnöki Kar,
Gépészmérnöki Intézet,
Járműrendszer-technikai
Laboratórium

WEISZ RÓBERT

mechatronika MSC-hallgató
Pannon Egyetem,
Mérnöki Kar,
Gépészmérnöki Intézet,
Járműrendszer-technikai
Laboratórium

A járművek menetstabilitását nagymértékben befolyásolják az aktív biztonsági rendszerek elektronikus vezérlő-egységeiben (ECU's) futó valós idejű szabályozóalgoritmusok, melyek többsége előzetes tesztszervezések mérési eredményeiből meghatározott (modell) paramétereket használ. A csak oldalirányú dinamikát figyelembe vevő egyik leggyakrabban alkalmazott járműdinamikai modell az ún. „Single Track Modell” (egynyomú vagy ún. bicikli-modell), mely komoly pontatlanságokat tartalmaz, ha a mért eredményekhez paramétereiben nem illeszthető. A cikk a kerék dinamikai viselkedésének részletes vizsgálatával a járműmodell hiányosságait kívánja kompenzálni, és a legegyszerűbb, csak radiálisan deformálódó, síkbeli kerékmodell vizsgálatából kiindulva jut el a kerék dinamikai viselkedésének a tárgyalásához. A részletesebb deformációk és pontos erőviszonyok meghatározása érdekében a felni és a gumibroncs rugós és csillapító tagokkal lett modellezve, mely egy rácsos tartóhoz hasonló szerkezetet eredményezett. A felállított kerékmodell a kialakuló erőket és deformációkat képes leírni, valamint a kerék hajtása során fellépő gördülési ellenállás értékét a csillapító tagok által elnyelt energiával közelíteni. A négy keréken lezajló folyamatok teljes leírása következtében a talaj és gumibroncs között ható erők ismertekké válnak, és így a járműre ható eredő erő és nyomaték is meghatározható, pontosabb becslést eredményezve a jármű mozgásállapotára.

The right functionality of active safety systems depends intensively on the accuracy of the vehicle model employed by the real-time control algorithms running on ECU's (Electronic Control Units). One of the most used vehicle model is the single-track model also called the bicycle model which contains only the lateral dynamics of the vehicle and introduce parameter uncertainties in many driving situations.

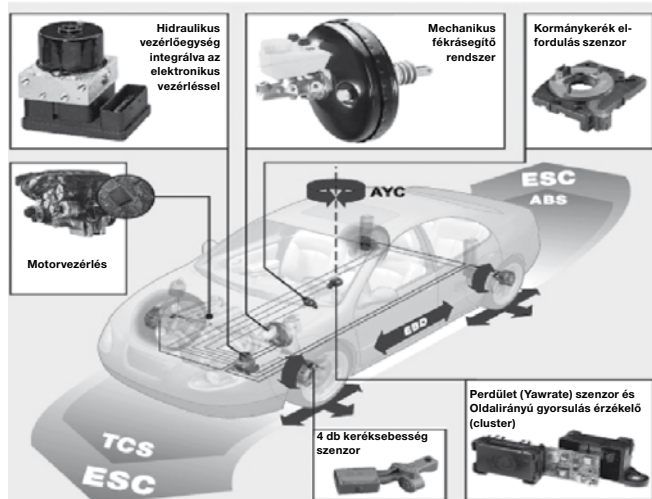
The purpose of the work is to improve the vehicle model by analyzing in detail the wheel/tire dynamics using spring and damping elements and finite element calculations. Starting from the simplest wheel model considering only radial deformations a more complex dynamic model has been created which is able to give the deformation, steady state tire forces, tensions and the wheel contact patch. As the full deformation process will be known the resultant forces and torques can be calculated contributing to an accurate state estimation of the vehicle.

BEVEZETÉS

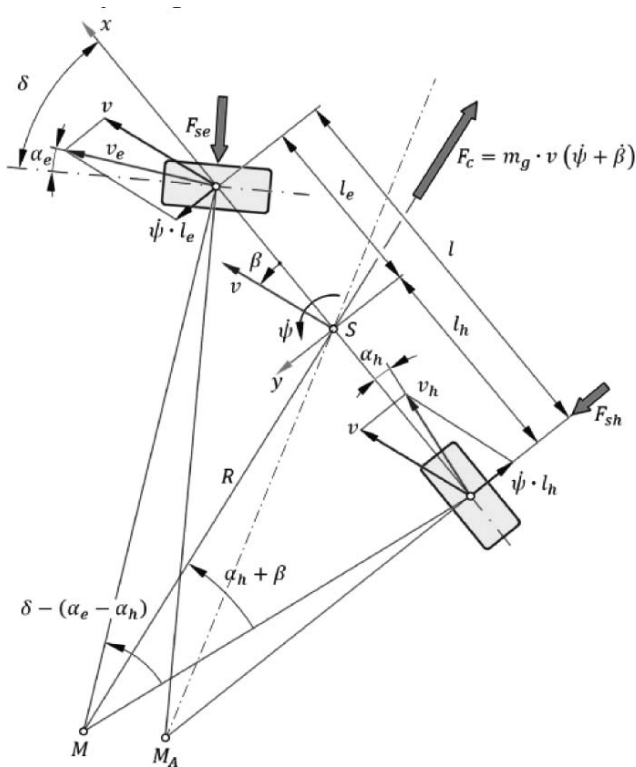
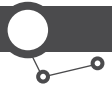
Napjainkban a gépjármű modellezésére mint egy összetett rendszer leírására, számos modellt és modellegyüttest használnak a mérnökök. A modellek szerepe igen sokrétű lehet, némelyeket egyszerűségük, könnyen kezelhetőségük miatt előszeretettel alkalmaznak valós időben futó szabályozások algoritmusaihoz belső modellként, míg mások kimondottan szimulációkra, előzetes tesztszervezésekre vagy egy-egy alkatrész modellezésére lettek kifejlesztve. A környezetünk leírására megalkotott modellek két nagy csoportba sorolhatók: folytonos vagy diszkrét – elektronikai példával élve analóg vagy digitális. Általánosságban e szemlélet alapján megkülönböztethető időbeli és-vagy távolságkoordináta szerinti folytonosság vagy nem folytonosság. A folytonos modellek az anyagot folytonos közegként (kontinuumként) kezelik, azt a végtelenségig nagyítva is anyagi jel-

lemzőkkel ruházzák fel. Ezzel szemben a diszkrét megoldás, melyet bizonyos szemszögből lehet végeselemmésszernek is nevezni, az anyagot kicsi részekre bontja, melyek már tovább nem bonthatók. A valóságban folytonos modellek a számíthatóság miatt általában csak erőteljes megkötéssel alkalmazhatók, például tömegpontként tekinthető testek mozgása, vagy egyenes csővezetékben történő homogén közeg áramlása (ilyen lehet például a hűtési folyamat előtt lévő hűtővíz áramlása). Ha azonban a mozgást végző test deformálódásra képes, vagy az áramló anyag összetétele térben-időben változó, esetleg a csővezeték alakja nem írható le folytonos függvényekkel (szabályozószelep), célravezetőbb a végeselemmésszern alkalmazása. Hasonlóképpen az aerodinamikában, például autók karosszériájának szélcsatornás tesztelésénél a közeg felfogható kontinuumként vagy ütköző levegőrészecskékként („gömbökként”), és így a newtoni fizikából ismeretes lendületmegmaradással is megalkotható egy modell, amely az eredő légellenállásra próbál becslést adni. Azonban a diszkrétizálásnál legtöbbször nem érdemes az atomi méretekig lemenni, hiszen ilyen nagyszámú elem külön kezelése hihetetlen mértékben megnövelné a számítási igényeket, sőt a mai eszközökkel kezelhetetlenné válna e modellek számítása. Így a mozgó test anyagának összetételétől, alakjától vagy az áramlás milyenségétől függően a vizsgált teret különböző nagyságú térrészekre érdemes osztani, és egy-egy ilyen belül homogén viszonyokat feltételezve vizsgálni az adott fizikai problémát.

Az időben folytonos, síkbeli és egyszerű járműmodellek csoportjába tartozik az ún. Biciklimodell [1], más néven Egynyomvonalú járműmodell (STM – Single Track Model), amely az adott járműre történő paraméterillesztés után a jármű függőleges tengelye körül végzett forgómozgására (perdülés, legyezés) ad becslést. A Biciklimodell [2] állapotváltozó: a perdülési szögsebesség és az úszási szög, melyek szabályozási célú felhasználásával a jármű menetdinamikai tulajdonságai jelentősen javíthatók; például túlkormányzás (belső ív felé sodródás) vagy alulkormányzás (külső ív felé sodródás) esetén a jármű kanyarmenetben az ideális íven tartható. E folyamatot a magyar szakirodalom Aktív Perdület Szabályozásnak (angol megfelelője: AYC – Active Yaw Control) hívja, mely az **1. ábrán** látható módon a jármű kitörését hivatott megakadályozni.



1. ábra: az ESP (Electronic Stability Program): szenzorok és eszközeik a járművön belül, illetve a Biciklimodell alkalmazása (AYC)



2. ábra: a Biciklimodell szerkezete és fontosabb mennyiségei

A 2. ábrán a Biciklimodell struktúrája és a modell felállításához figyelembe vett fizikai mennyiségek láthatók.

A modell hat paraméterrel állítható: a tömegközéppont távolsága az első keréktengelytől (l_e), valamint a hátsótól (l_h), a jármű tömege (m), tehetetlenségi nyomatéka (J) és a két-két összevont kerékre egy-egy kúszási merevségnek (C_e és C_h) nevezett mennyiség.

Az első két geometriai paraméter, valamint a tömeg és (eltekintve a bólintás és dőlés jelenségektől) a tehetetlenségi nyomaték is a járműre jellemző közel állandó értékű fizikai tulajdonságot írnak le. Ezen paraméterek értékei csupán kis mértékben változhatnak meg, például az utasszám vagy a csomagtartó terhelésének, a benzintank telítettségének függvényében (eltekintve a vontatmányoktól). Belátható, hogy a hatból utolsóként említett két paraméter, azaz a kúszási merevségek egyesítik magukban mindazon jellemzőket, amelyek az útfelület-kerék és a kerék-felfüggesztés közötti kapcsolatokat írják le. Tehát a kúszási merevségek egyesítik a felfüggesztésből, a gumi anyagminőségéből, a keréknyomás értékéből és az útburkolat minőségéből adódó összefüggéseket. A Biciklimodell számtalan egyszerűsítést használ, és így megbízhatósága, pontossága korlátok közé szorult: kis kúszási szögek ($\sim 6-8^\circ$, az 1. ábrán alával jelölve), limitált oldalgyorsulás ($3-4 \text{ m/s}^2$) és nem léphet fel hosszirányú eredő erők (közel állandó hosszirányú sebesség). Emellett a jármű mozgása során a kúszási merevségek értékei nem állandók, ami nehezíti a modell paraméterillesztését, azaz a mérési eredményekre támaszkodva a paraméterek meghatározását optimalizálással.

A négy kerék meghagyásával a Biciklimodellhez hasonló paraméterekkel rendelkező, ám egy fokkal bonyolultabb járműmodell származtatható, ahol a négy kerék mindegyikéhez tartozik egy-egy kúszási merevség. A négykerékű kétdimenziós járműmodell már jobban kezeli a hosszirányú tengelyre nem szimmetrikus hatásokat, dinamikáját tekintve azonban hasonló a Biciklimodellhez. Bővítve a járműmodellt, egyre több hatás vehető figyelembe. A fő kérdés, hogy mennyire érdemes részleteibe menően egy hatást figyelembe venni.

Könnyen belátható, hogy ha a jármű mozgásának szabályozása az elvárás, akkor elsőként a kerekek vizsgálata, megismerése

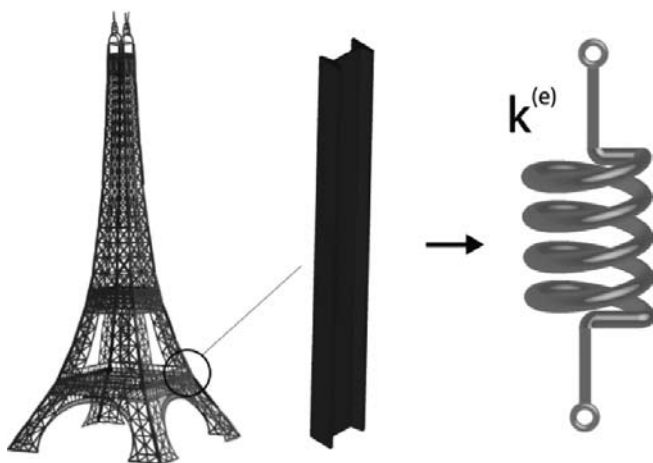
és modellezése a sarkalatos pont, hiszen a járműre ható külső erők zöme itt, a kerék és a talaj érintkezési felülete között ébred. Két példán szemléletesen bemutatható e folyamatok fontossága. Ahogy egy jármű halad az útfelületen, a különböző kormányzási, gyorsítási és fékezési műveleteknél mind a négy kerék alakja és a rájuk ható külső erők nagysága, iránya folyamatosan változik. Mivel a tapadás során létrejövő oldalerők kanyarmenetben a kanyar középpontja felé mutatnak, és ezen erők a talaj síkjában ébrednek, így eredőjük a jármű tömegközéppontjára forgatónyomatékokat fejt ki, méghozzá azt a kanyarból kifelé döntve. Ekkor a külső íven lévő kerekek terhelése jelentősen megnövekedhet, míg a belső íven lévőké jelentősen lecsökken, például fokozatosan élesedő kanyar esetén. Intenzív fékezésnél a járműre ható hosszirányú erők szintén a talaj síkjában ébrednek, és eredőjük olyan forgatónyomatékokat fejt ki, mintha a jármű orra akarna bukni, az első tengelyen elhelyezkedő kerekek terhelése megnövekszik, és akár a hátsó kerekek tapadása teljesen meg is szűnhet. A két példa során a megcsúszást követően egy kellő rutinnal nem rendelkező, de akár egy gyakorlott vezető is elvesztheti a jármű feletti irányítást, ha a jármű nem tartalmaz olyan elektronikus vezérlőegységeket (ECU – Electronical Control Unit), amelyek ilyen esetekben be tudnak avatkozni.

A jelen cikkben ismertetett kerékmodell célja, hogy végső formájában képes legyen visszaadni a kerekek és a talaj között ébredő külső erőket bármilyen kormányzási, hajtási-fékezési művelet esetén. Miért olyan fontos ez? Ha e négy erő ismeretes – a légellenállástól eltekintve – a jármű menetdinamikai viselkedése a Biciklimodellnél pontosabban leírható, és e mennyiségekre támaszkodva megfelelő algoritmussal szabályozhatóvá válik. A végső cél egy olyan járműmodell megalkotása, melynek segítségével a járművekben alkalmazott menetdinamikai stabilitásért felelős elektronikus vezérlőegységek (ECU) hatékonysága jelentősen növelhető.

A KERÉKMODELL SZERKEZETE

A járműre ható külső erők a deformálódott kerekek és a talaj közös érintkezési felületein ébrednek, ha eltekintünk a haladási sebességgel egyre erőteljesebben növekvő légellenállásból származó „fékező” és a különféle karosszérialakítástól függő talajra leszorító vagy emelő erőktől. Ha egy kerék terhelése növekszik, a talajérintési felülete, és ezáltal a tapadás is fokozódik, ha a terhelése csökken, a felület és a tapadás is csökken. Forgó kerék esetén a gumibroncs és a talaj alkotórészeinek egymáshoz viszonyított sebességétől is függ a tapadás. Tehát a kerék alakváltozásánál fontos szerepet kap a talajérintési felület meghatározása, és hogy e felületen hogyan oszlanak meg a külső erők, azaz milyen a felületre merőleges normál- és a felülettel párhuzamos érintőirányú feszültségek ébrednek. Mivel ezen erők nem egyenletesen elosztva terhelik az említett felületet, és a talajt érintő pontok sebességei egymástól különbözőek, így a kerék kerületi pontjai eltérően tapadnak vagy csúsznak attól függően, hogy milyen lesz a talajjal párhuzamos (tangenciális) feszültségek eloszlása. Így a jármű aktuális menetdinamikai viselkedésétől függően a kerék talajérintési felületén megkülönböztethetők tapadó, csúszó és átmeneti felületrészek [3]. A gumianyagok érintkezési felületén fellépő súrlódási erőket – a szennyezőanyagoktól és folyadék-filmrétegektől eltekintve – a szakirodalom [4] többnyire két részre bontja: adhéziós és deformációs (hiszterézis) komponensre. Az adhéziós komponens a két felület molekulái között kialakuló kötésekkel fakad, míg a deformációs komponens a felületi érdességtől, a keményebb anyag a puhábbba való benyomódásából és ezen érdességcsúcsok között fellépő nyírásból származik.

A fentiek alapján a kerék és az útburkolat között lejátszódó fizikai jelenségek megértéséhez és matematikai leírásához a



3. ábra: példa rácsos tartóra (Eiffel-torony), egy elem kiragadva, és helyettesítő képe

végeselemmódszert érdemes alkalmazni, mely által a teljes kerék felépíthető a modellben definiált építőkövekből. Az alapelemek meghatározásánál a kiinduló gondolat a mechanika egyik ágából, a statikából ismeretes rácsos tartós szerkezetek kialakításából eredt. Ezen szerkezetek eredetileg olyan építmények általános és kritikus terhelésének meghatározását, modellezését hivatottak megvalósítani, amelyek rúdelemekből épülnek fel, például vasúti hidak, épületek belső acélváza vagy távvezeték tartó villanyoszlopok. A **3. ábrán** bal oldalt az Eiffel-torony látható, középen kiemelve egyetlen tartó rúdelem, illetve a helyettesítő képe. A rugó szimbolizálja a csak rugalmas alakváltozásokat. A módszer segítségével a mérnökök egy jó közelítést kapnak a különféle terhelések során kialakuló állandósult (stacioner) alakra, illetve az elemekben ébredő belső erőkre. A rendelkezésre álló rúdelemek keresztmetszetei a tervezésnél ismeretesek, így az elemekben ébredő mechanikai feszültségekre méretezhető ezen eljárással a megépítendő szerkezet.

A kerékmodell alapötlete, hogy a rácsos tartóknál ismeretes rúdszerkezetek anyagi tulajdonságát – amely összefoglalóan rugalmas tagként ismeretes – egy csillapítási taggal kibővítve a szerkezet időbeli változása is megfigyelhető, nem csupán az állandósult, alakváltozás lezajlása utáni állapot.

Erre azért van szükség, mert különböző terheléseknél nem evidens, hogy a kerék kerületének egyes pontjai mikor és hol érintik a talajt, hiszen a kerületi pontok az alakváltozások során nem állandó távolságra vannak egymástól. A rácsos tartókhoz hasonlóan tehát a kerékmodell építőelemei között szerepelnek rúdelemek, kapcsolódási pontok (idealizált csuklók) és megtámasztások (kényszerek), valamint bizonyos csomópontokhoz rendelt külső erők ismerete szükséges. Ez utóbbira példa egy kerékre jutó terhelés (a jármű tömegének bizonyos hányada), vagy a motor által leadott és a keréktengelyre átszármaztatott nyomaték (erőpároként kezelve). A csomópontok (kapcsolódási) pontok idealizált csuklók, azaz nem képesek nyomatékot átadni, csupán erőket. A rugós vagy rugalmas tag egy olyan tényezőt jelent, amely egy elem alakváltozása és a benne ébredő belső erő között teremt lineáris kapcsolatot, azaz egy konstans szorzó. E rugalmassági tényezőt szokás rugómerevségnek is hívni, hiszen elsőként a rugóknál alkalmazták e fogalmat, és ilyen elven működnek a rugós erőmérők is, ahol (bizonyos határok között) a megnyúlással arányos lesz a mérendő erő. Jelképi jelölése egy rugó, ahogy ez a **3. és 4. ábrákon** is látható; betűjele: „ k ”, egyes szakirodalmakban jelölésük „ s ” (spring constant).

A rugalmassági tényező fizikai jelentése és számítása a szerkezeti anyagoknál:

$$k(e) = A^{(e)} \cdot E_{\text{anyag}} \cdot \frac{1}{L(e)} \quad [\text{Nm}] \quad (1)$$

ahol $A^{(e)}$ az (e) elem keresztmetszet, E a Young-modulus, L az (e) elem hossza. Ebből a tagból eredően egy belső erő ébred a rugalmas tényezővel rendelkező elemekben (Hooke-törvény):

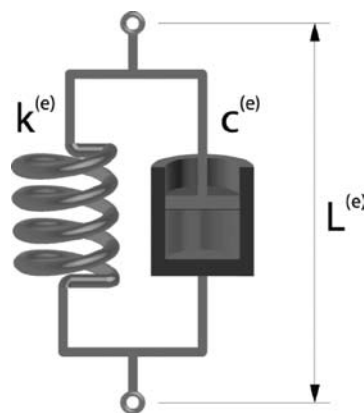
$$P_k(e) = k(e) \cdot \delta^{(e)} \quad [\text{N}] \quad (2)$$

ahol az $\delta^{(e)}$ az elem hosszváltozását, a megnyúlás mértékét jelenti (méter), $P_k^{(e)}$ pedig rugalmas tagból eredő belső erőt, melynek iránya a terhelő külső erővel ellentétes.

A csillapítási vagy csillapító tag ennél kis mértékben összetettebb, hiszen az elem alakváltozási sebessége, annak időbeli lezajlása (az elmozdulás idő szerinti deriváltja) és az elemekben ébredő belső erő között teremt kapcsolatot. A jelképi jelölése egy dugattyú, mely a **4. ábrán** már a rugós taggal összevonva látható; betűjele: „ c ” (damping factor). A csillapító tag megakadályozza a végtelen gyors alakváltozás kialakulását. Minél gyorsabb, minél intenzívebb az alakváltozás, azaz minél gyorsabb a terhelő külső erő változása, annál nagyobb belső erő ébred a csillapítási tagból eredően:

$$P_c^{(e)} = c^{(e)} \cdot \dot{\delta}^{(e)} \quad [\text{N}] \quad (3)$$

ahol $\dot{\delta}^{(e)}$ a rúdelem hosszváltozásának sebességét jelöli. A csillapítási tag kifejezése anyagi jellemzőkkel nem olyan evidens, mint a rugalmas tagnál. Ami azonban megállapítható, hogy különböző hosszúságú, de azonos anyagú elemeknél hasonló viselkedést feltételezve (arányos megnyúlás) a csillapítási tagnak is fordítottan arányosnak kell lennie az elem hosszával.



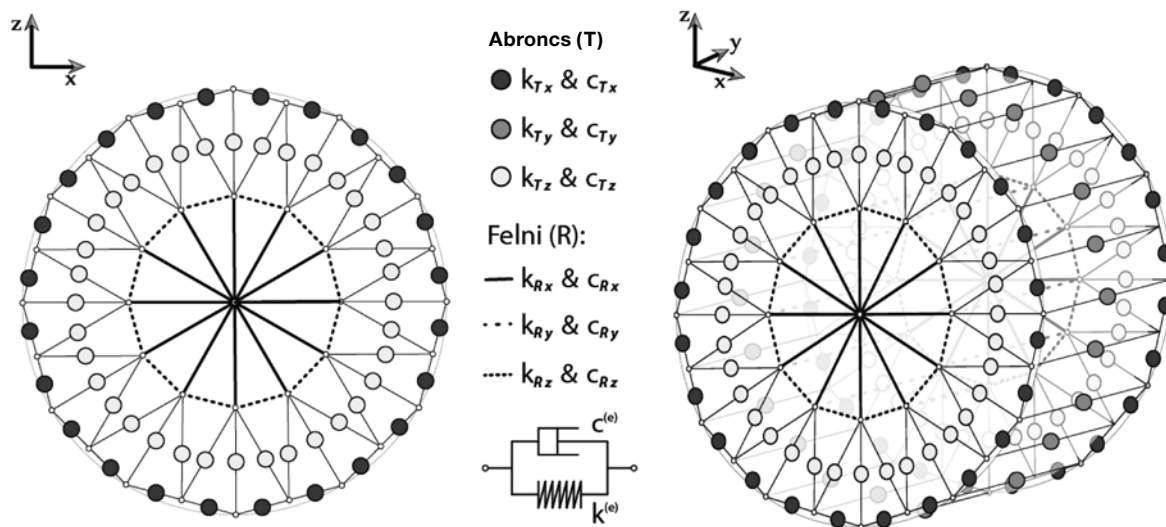
4. ábra: párhuzamosan kapcsolt rugalmas és csillapító tag

A **4. ábrán** látható egy tetszőleges rúdelem jelképi jelölése, amelyekből az **5. ábra** kerékmodellje felépül. A rugalmas és csillapító tagot azért érdemes párhuzamosan kapcsolni, mert így hosszuk és megnyúlásuk is azonos lesz, és így egy változóval felírható a rúdelem differenciálegyenlete, a (4.) egyenlet szerint (az alakváltozásnál a megnyúlás sebessége a megnyúlás mértékének idő szerinti deriváltja).

A síkbeli kerékmodell jelenlegi formája az **5. ábra** bal oldalán látható, a jobb oldali részlet pedig a tervezett térbeli modell kialakítását szemlélteti. E cikk csak a sík kerékmodellre részletezi.

A rácsos tartókra igaz még – ahogy a kerékmodellre is –, hogy minden elemekben csupán rúdirányú és a rudak szimmetriatengelye-

[†] Ezáltal rúdelemekben csak húzó-, illetve nyomóerők ébredhetnek a szerkezeten belül, azaz nincs nyíró, csavaró és hajlító igénybevétel, valamint a kerékmodell eltekint a kihajlás jelenségétől.



5. ábra: a síkbeli és a kiterjesztés után tervezett térbeli kerékmodell képe. Különböző árnyalattal a különböző tulajdonságú tagok. R: felni (rim), T: abroncs (tire)

lyén áthaladó hatásvonal¹ belső erő ébredhet. E belső erők az alakváltozásból (δ), és az alakváltozás sebességéből ($\dot{\delta}$) erednek, és e két hatás összege adja a vizsgált elemben ébredő teljes belső erőt ($P^{(e)}$) (felső index: egy elemre vonatkoztatva). Így a (2.) és (3.) egyenlet összegéből következik:

$$P^{(e)} = k^{(e)} \cdot \delta^{(e)} + c^{(e)} \cdot \dot{\delta}^{(e)} \quad (4)$$

A modellt alkotó rúdelemeknek nem szükséges ismert vastagsággal rendelkezniük, azonban az (1.) egyenlet alapján minden rúd rendelkezik keresztmetszettel és Young-modulussal (húzó rugalmassági modulus). Ezek pontos ismerete a modell számára nem lényeges, ugyanis a k és c paraméterek illeszthetők. A tényezők szempontjából lényeges tulajdonságok egy adott méretű kerékre ismertek, melyek geometriai jellemzők (felni és abroncs sugara) és a modell finomságától (N szögosztástól) függő $L^{(e)}$ elemek hosszai.

A dinamikai viselkedés szempontjából elengedhetetlen, hogy a rendszer rendelkezzen tömeggel. Terhelésnél értelem szerűen a keréktengelyre helyezett tömeg a domináns, azonban a csomópontokba helyezett kis tömegekkel a kerék súlya is figyelembe vehető. A jármű súlyához viszonyítva e kicsi tömegek a rendszer dinamikáját gyakorlatilag nem befolyásolják, így akár el is hanyagolhatók.

Belátható, hogy egy eredetileg terheletlen, majd a 0. időpillanatban terhelő erővel rendelkező szerkezet esetén a kezdeti időpontban minden erő a szerkezet tömegének gyorsítására fordítódik. A folyamat kezdetekor az elemekben ébredő belső erők lényeges része az alakváltozás sebességéből ered, hiszen ekkor még az elemek nem rendelkeznek számottevő megnyúlással. Ezt követően fokozatosan az alakváltozásból eredő belső erő veszi át a meghatározó szerepet, és a folyamat egészen addig tart, amíg az alakváltozás megáll, a kerék felveszi végső alakját, amikor is a csomópontok gyorsulása és elmozdulási sebessége nulla lesz. Ez az eset természetesen akkor áll fenn, ha a kerék állandósult állapotában álló helyzetben marad, például sík talajon az álló jármű súlyának negyede terheli az egyik kereket, vagy gyorsítás után fékezés hatására a kerék megáll. Ha az állandósult állapotban a kerék egyenletes szögsebességű forgómozgást végez, a modellt alkotó elemekben periodikus folyamatok zajlanak le.

A korábbi gondolatmenetet folytatva, a kerék szerkezete teljes egészében modellezhető ilyen rugalmas és csillapítási tagokkal felruházott elemekkel. Az 5. ábrán a különböző árnyalatú pöttyök

és vonaltípusok különböző rugalmas és csillapítási tagokat jelölnek. Az ábrabeli jelölés megválasztása csupán a szemléltetést szolgálja. Fontos megjegyezni, hogy a felni és a gumiabroncs eltérő szilárdsága is kezelhető ilyen elemekkel úgy, hogy 2-3 nagyságrenddel merevebb jellemzőkkel rendelkeznek a felnit alkotó elemek. A rugalmas és csillapítási tagok segítségével a gumiabroncs és a felni anyagának eltérő viselkedése szintén leírható; például ha a két anyag rugalmas és csillapító tagjainak arányai eltérnek, más dinamikájúak lesznek: gyors és minimális deformáció, vagy lassú, de jelentős alakváltozás. Ha az abroncs kerületi (az 5. ábrán sötét pöttyök) és sugár irányú (világosabb pöttyök) elemeinek anyaga azonos, a hosszúságuk eltérősege miatt – akárcsak a különböző hosszúságú, de azonos anyagú rugóknál, az (1.) egyenlet alapján – a rugalmas és csillapítási tényezőjük különbözni fog (az ábrán más árnyalattal vagy vonaltípussal jelölve). Emellett egyes abroncskerületi pontokhoz nem egy, hanem két darab abroncs-sugárirányú elem (későbbiekben: belső elem) csatlakozik (5. ábra). A duplázott elemek rugalmas és csillapítási tulajdonsága nagy N szögosztás értékekre megközelítően a fele a szimpla elemek rugalmas és csillapítási tényezőinek, amivel a kerékmodell számol, de az 5. ábrán az átláthatóság érdekében ez nincs külön megjelölve.

A kerékmodellt alkotó szerkezeti elemek nem rendelkeznek önsúllyal, mert a kerületi elemek dinamikai tulajdonságának megőrzése érdekében, ahogy a rugalmas tag is fordítottan arányosan nő a hossz csökkenésével, úgy a tömeg is ezt tenné. A rúdelemek önsúlyának elhanyagolásából származó számolási hiba elhanyagolhatóan kicsi – a kerék és a jármű tömege közti nagyságrendbeli eltérése miatt –, azonban magasabb haladási sebességeken valószínű, hogy a felni tömegének, tömegeloszlásának szerepe jelentőssé fog válni. Ebben az esetben a korábban említett módon a tömeg nélküli csomópontokhoz – őket átalakítva tömegközéppontokká – rendelhető tömeg.

MEGVALÓSÍTÁS

A kerékmodell tárolja az elemek és csomópontok kapcsolódási viszonyait, a kerék kezdeti geometriáját (5. ábra), illetve az aktuális megtámasztásokat (kényszereket), azaz hogy mely csomópontok érintik a talajt, és e pontoknál milyen deformációk jöttek létre a talaj anyagában. Ezek alapján minden időpillanatban számolja

a kerékmodell a csomópontok gyorsulásait, sebességeit és elmozdulásait, majd ezekből az elemekben ébredő belső erőket, valamint a talaj és gumiabroncsrészek között létrejövő érintő és merőleges irányú erőket.

A számítási algoritmus maga a kerékmodell lelke, lényegében az elmozdulásmódszer van átszabva és kibővíve az aktuális mechanikai problémára. Minden egyes csomópontra egyenletet ír fel a kerékmodell, amelyeket „összegezve” megkapja a teljes szerkezet differenciál-egyenletrendszerét. Ehhez szükség van a rúdelemek lokális koordináta-rendszeréből (minden rúdelemnél egyéni, és időben változó) való áttérésre a kerékmodell globális koordináta-rendszerébe (5. ábra és 6. ábra koordináta-rendszere). Az elemek lokális koordináta-rendszerében a megnyúlás egy dimenzióban történik, mindig a rúd hatásvonalán. E hatásvonal θ állásszöge azonban változhat, így célszerű a rúdelemet közrefogó csomópontok elmozdulását tekinteni, és ezeket függőleges és vízszintes irányú komponensekre bontani. Így bármely rúd megnyúlása felírható a közrefogó csomópont 4 elmozduláskomponensével. Az (5.) egyenletben a két tetszőleges i és j csomópontok által közrefogott elem megnyúlása látható.

$$\delta^{(e)} = -u_{ix}c\theta - u_{iz}s\theta + u_{jx}c\theta + u_{jz}s\theta \quad (5)$$

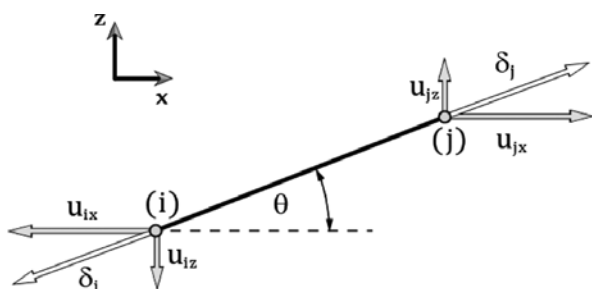
ahol $c\theta$ a koszinusza, $s\theta$ pedig a szinusza a θ állásszöggel rendelkező rúdelemnek (6. ábra). Az (5.) egyenletet deriválva a megnyúlás sebessége is megkapható, majd ezeket a (4.) egyenletbe beírva, és a szögfüggvényeket az elem anyagi tulajdonságaival együtt két mátrixba foglalva:

$$\underline{\dot{f}}^{(e)} = \underline{K}^{(e)} \cdot \underline{u}^{(e)} + \underline{C}^{(e)} \cdot \underline{\dot{u}}^{(e)} \quad (6)$$

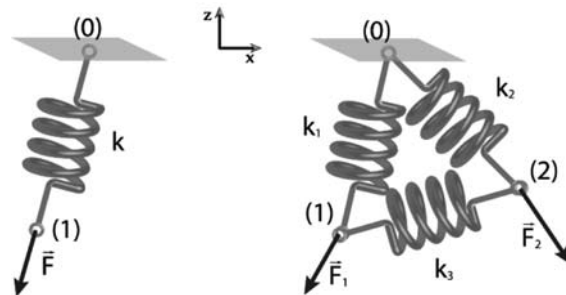
Az összes elemre felírható ezen egyenletrendszer, majd ezeket csomópontonként összegezve a csomóponti egyensúlyi egyenletrendszerek, melyeket egységes formába rendezve a teljes rendszer egyenletrendszere is megalkotható.

Erre egy egyszerű példa (7. ábra bal oldali részlete), ha egy rugót felfüggesztve, majd F erővel terelve a rugóban csupán rugóirányú erők ébredhetnek, így a rugó szimmetriatengelye egybe fog esni a terhelő erővel. Ekkor nem szükséges a lokális-globális koordináta-rendszerek használata, elég ha az erő hatásvonalának egyenese van csupán figyelembe véve, és az ébredő belső erő nagysága megegyező a terhelő erővel.

Ha azonban három rugót a végeiknél összekapcsolva (7. ábra jobb oldali részlete), e kapcsolódási pontokból egyet felfüggesztve és így terelve a másik két kapcsolódási pontot, már nem lehetséges a problémát az előző esetben tapasztalt evidens módon megoldani, csak részekre bontással, csomóponti egyensúlyi egyenletekkel. Eszerint minden – a példában a (0), (1) és (2) – csomópontra fel kell írni a vektoriális erőegyensúlyt, ahol a belső erők tovább bonthatók a (2.) egyenlet szerint. Ezután (síkbeli esetet feltételezve) minden erő felbontható függőleges,



6. ábra: i és j tetszőleges csomópontok által közrefogott rúdelem



7. ábra: egyetlen rugó és háromszögbe kapcsolt rugók terhelése

z -irányú és vízszintes, x -irányú komponensekre – a (6.) egyenlet szerint, csak a csillapító tagot elhagyva –, így minden csomópont esetén két egyensúlyi egyenlet lesz, a két komponensnek megfelelően. Az összes csomópont mindkét irányú komponensét tartalmazza az $\underline{f}$ külső erők vektora és az $\underline{u}$ csomóponti elmozdulások vektora az (7.) egyenlet szerint.

$$\underline{f} = \underline{K} \cdot \underline{u} \quad (7)$$

A 7. ábra jobb oldali példáját tekintve a vektorok hossza 6, a K mátrix mérete pedig 6×6 , amely nem csak az elemek rugalmas tényezőjét, hanem az elemek helyzetét is magába foglalja. Tehát globálisan szemlélve a problémát nem csak az elemek merevségétől (rugós tag), azaz az anyagi jellemzőiktől függ, hanem az elemek helyzetétől, a globális koordináta-rendszerben vett állásszögeiktől is.

A folyamatot nem részletezve, a kerékmodell elemeire nézve, kiegészítve a (6.) egyenletet a csomópontokban elhelyezkedő tömegekkel, a csomóponti erők szerint az alábbi mátrixos formába rendezhető a teljes rendszer egyensúlyi egyenletrendszere.

$$\underline{f} = \underline{K} \cdot \underline{u} + \underline{C} \cdot \underline{\dot{u}} + \underline{M} \cdot \underline{\ddot{u}} \quad (8)$$

ahol $\underline{f}$, $\underline{u}$ és deriváltjainak vektorai már a rendszer összes csomópontjának függőleges és vízszintes komponenseit magukba foglalják. Theát a (7.) és (8.) egyenletekben már nincs (e) felsőindex, hiszen ezek nem egy-egy elemre, hanem a teljes szerkezetre vonatkoznak. Természetesen, ha egyedül a kerékközéppontjába helyezett terhelés (mint tömeg) van figyelembe véve, akkor az M tömegmátrix csupán két elemet tartalmaz (x és z irányú komponense a kerékközépponthoz kapcsolódóan).

Egy másik példában két rugót párhuzamosan felfüggesztve, végpontjaikat egy elemmel összekötve és így erővel terelve a rugók azonos megnyúlást szenvednek. E két rugót függőlegesen szimmetrikusan, a kapcsolódási pontnál hegyes szöget bezárva és így felfüggesztve, valamint az előző esetnél használt erővel terelve, az előző esethez képest a megnyúlás eltérő, nagyobb lesz, mert a két elemben így nagyobb belső erő ébred.

A modell finomságát kifejező, részben szabadon állítható paraméter (csupán 4-nél nagyobb páros szám) a szögosztás, amely a felni belső elemeinek számát jelenti. Ezt N -nel jelölve a modell

$$3N + 1 \quad (9)$$

csomópontot, és

$$7N \quad (10)$$

darab elemet tartalmaz. Természetesen az N érték növelésével egy iteráció futási ideje fokozatosan növekszik, amely néhány



szögosztásnál az 1. táblázatban olvasható.

N SZÖGOSZTÁS (DB)	EGY ITERÁCIÓ FUTÁSI IDEJE (MS)
4	5,1
10	13
20	20,7
50	56
100	135
200	460

1. táblázat

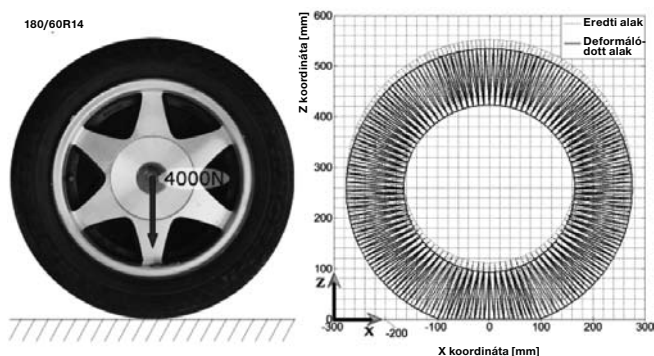
A kerékmodell a Matlab forráskód (M-code) felületén került implementálásra, mely a C programozási nyelvhez hasonló programnyelvet használ. A Matlab használatának fő oka a vektor és mátrixműveletek széles körű és gyors kezelése. A kerékmodell forráskódja számos olyan programozástechnikai megoldást tartalmaz, amellyel a futási idő még tovább csökkenthető. Ilyen például az egyes rúdelemek lokális koordináta-rendszeréből a teljes modell globális koordináta-rendszerébe történő váltás során használatos – az (5.) egyenletben látható – szögfüggvények kiküszöbölése. Ugyanis elméletben ismertnek kell lennie minden egyes rúdelem szögének, majd ezek megfelelő szögfüggvényeinek kombinációjából egy „átkonvertáló” mátrixot kell képezni minden rúdelemre (e mátrix már összevonva látható az anyagi jellemzőkkel a (6.), (7.) és (8.) egyenletekben). Itt a köztes lépések helyett a kerékmodell egy egyszerűbb és gyorsabb módszert alkalmaz.

Az idő szerepe kiemelten fontos a diszkrét idejű kerékmodell számításában. A numerikus számítások elvégzéséhez szükséges megfelelő futási idő és pontosság biztosításához az algoritmus változó lépésközzel dolgozik. A talajérintési pontok minél pontosabb meghatározását a mintavételezési idő növelésével, míg a megfelelő futás-időt az állandósult állapot körüli mintavételezési idő csökkentésével biztosítja.

A modell tehát megszámlálhatóan sok elemre bontja a kereket, és ezen elemek alakváltozásait képes számolni a kerékmodell, majd ezeket összegezve meghatározni a kerék alakját és a keletkező erőket a kerék anyagán belül, valamint a talaj és kerék érintkezési felületén ébredőeket.

PONTOK TALAJÉRINTÉSE

A kényszerek vagy más néven megtámasztások a kerékmodell egyik leglényegesebb pontját képezik. A kezdeti időpillanat egy idealizált eset, amikor is a deformálódástól mentes kerék egyet-



8. ábra: 180/60R14-es kerék valóságbeli alakja, 4000 N-os terheléssel modellbeli képe a deformálódás előtt és utáni alakkal

len pontban érinti a talajt – hiszen a kerék önsúlya zérusnak van véve –, ilyen formában látható az 5. ábrán a modell. A modell jelen állapotában a forgómozgást végző kereket még nem képes megfelelően leírni, így az álló helyzetben terhelt kerék alakváltozásának bemutatására kerül a fő hangsúly. A külső és belső erőktől mentes kerékmodellnél a jármű súlyának megközelítően a negyedét a keréktengelyre helyezve egy csak függőleges irányú erőkomponens terheli a modellt, megindul az alakváltozás. E folyamat a függőleges tengelyre ideális esetben szimmetrikus, és az első érintkezési ponttól a kerületen két irányban haladva az abroncs kerületi pontjai párosával érkeznek le a talajra. A deformálódás során a kerületi pontok lefelé és a z tengelytől távolodva haladnak. A leérkezés pillanatában a kerületi pontok „hozzáragadnak” a talajhoz, új függőleges (talaj anyagának összenyomása) és vízszintes (csúszás-tapadás) kényszerek jelennek meg. A kerékmodell a talaj anyagát is a kerék anyagához hasonlóan paraméterezi, melyek a talaj szilárdságát reprezentálják. Az értékeket a felni anyagát megközelítő nagyságrendűre választva, a talaj deformációja μm nagyságrendbe esik. Ennél lágyabb anyagú talaj esetén a talajrészecskék deformációja egyre látványosabb, akár összemérhetővé is tehető az abroncsnál tapasztaltakkal (például homok vagy hó esetén). A kerékmodell tehát képes a talaj anyagában létrejövő alakváltozásokat is kezelni.

ÁLLÓ KERÉK ALAKVÁLTOZÁSA

A kerék középpontját terhelő nehézségi erő hatására, a kerékmodell alkotó elemekben belső erők ébrednek, a helyzetük, a hozzájuk tartozó anyagi jellemzők és a külső erő(k) függvényében. Forgómozgást nem végző kerék esetén az alakváltozás a függőleges tengelyre szimmetrikus alakot eredményez.

ρ_{KT}	ρ_{CT}	ρ_{KR}	ρ_{CR}
10^3	10^2	10^6	10^2

2. táblázat: a példában használt paraméterek

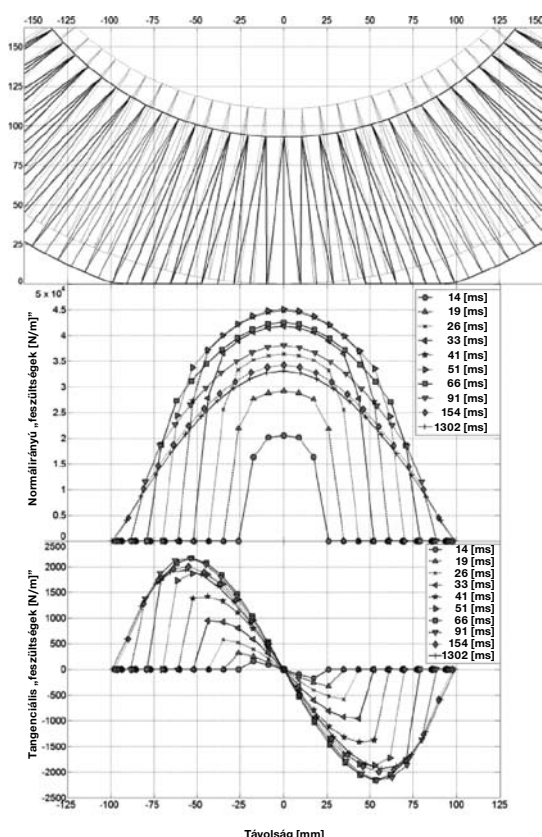
A 8. ábrán jobb oldalon egy 180/60R14-es kerék síkbeli modell szerinti képe látható (kerék nyugalmi sugara: 276.1 mm, a felnié pedig 165.1 mm), a kiindulási és a deformálódott alakjával. A példában használt szögosztás: $N = 100$. Az origó a deformálódástól mentes kerék talajérintési pontja.

A 9. ábrán legfelül a talajjal való érintkezési szakaszra közelítve látható a deformálódott alak. Térbeli kerékmodell esetén minden talajt érintő ponthoz rendelhető egy kis felületrész, amelyen a pontot terhelő erő megoszlik, amelyet a két anyag határán ébredő feszültségnek nevezünk. Síkbeli modell esetén a keréknek nincs vastagsága, ezáltal csupán kis szakaszok rendelhetők a pontokhoz, így mennyiségileg nem feszültséget ad a modell, hanem vonal mentén megoszló terhelés (N/m), ezért van a 9. ábrán időzőjelben az elnevezés, illetve továbbiakban feszültségként van említve a mennyiség. A 9. ábrán közepén távolsághelyesen a felületre merőleges, és alul a felületre nézve érintő irányú „feszültségek” időbeli alakulása látható, amelyek a kerékre visszahatnak.

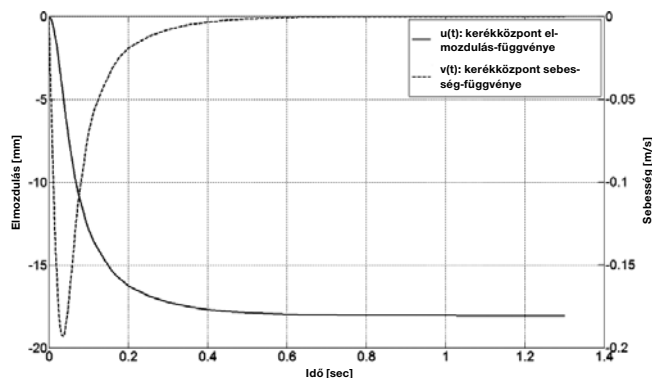
A negatív tartományban lévő feszültségek a koordinátatengellyel ellentétes irányba mutatnak, így a tangenciális feszültségek az origó felé irányulnak, a kerék csomópontjai a talajon az origótól távolodni „próbálnak”. A teljes talajérintési hossza integrálva a normálirányú feszültségeket megkapható a talajon ébredő erők eredője, melynek hatásvonala a szimmetrikusság miatt az origón áthalad – a kerék középpontjára nem fejt ki forgatónyomatékot –, nagysága pedig állandósult helyzetben a nehézségi erővel egyezik meg. A tangenciális feszültségek függvénye szintén szimmetrikus, így a talajon ébredő oldalirányú erők eredője zérus, a kerék álló helyzetben marad. A

9 db különböző időpontban felvett – a kerékmodell a köztes időpontokban is számolta a feszültségeket – görbéből látható, hogy a vizsgált 1.3 másodperces időintervallum első tizedében (154 ms) zajlik le a változás zöme; a két utolsó időpontbeli görbe csupán abban tér el, hogy a talajt érintő pontok enyhén kifelé csúsztak.

A 10. ábrán látható a kerék középpontjának elmozdulás-idő és sebesség-idő függvénye, melyről felismerhető, hogy a megadott paraméterekkel ebben a példában egy túlcillapított másodfokú rendszert ad a kerékmodell. A kerék középpontjába helyezett tömeg miatt a rendszernek van tehetetlensége, így a talajérintési ponton a normál-feszültségek ~51 ms-ig (pontvonal és jobbra mutató háromszög), a tangenciális feszültségek ~91 ms-ig (szaggatott



9. ábra: (felül) a kerék talajérintési szakasza, (középen) a normál és (alul) tangenciális feszültségek.



10. ábra: a kerék középpont elmozdulás- és sebességfüggvénye

vonal és lefelé mutató háromszög) fokozatosan növekednek, majd „szétterülve” csökkennek. Az utóbbi 3 ábrát összevetve látható, hogy a kerék 1,8 cm-t mozdult el a ~400 kg-os terhelés (4000 N) hatására, és így a talajérintési szakasz nagysága 20 cm.

A deformációk lezajlásával kapott állandósult állapotra vonatkozó feszültséggörbék jó egyezést mutatnak más síkbeli kerékmodellekkel kapott görbékkel.

FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

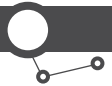
Nyilvánvalóan a következő sarkalatos lépés a kerék megforgatása lesz. Ehhez elkerülhetetlen a pontos meghatározása azoknak az időpontoknak, amikor a talajt érintő pontok elengedik a megtámasztásukat. E számítást már tartalmazza a modell, azonban a talajon való csúszás – a korábban említett adhéziós és deformációs állapotok – folyamatának pontosítása még hátravan.

A kerék megforgatása történhet nem hajtott kerék esetén egy vízszintes erőkomponens segítségével, vagy hajtott kerék esetén a motor által leadott és a keréktengelyre átszármaztatott nyomatékkal ekvivalens erőpárok segítségével. Az előbbi egyetlen erőt a keréktengelyre, míg az utóbbi esetben az erőpárokat a felni kerületi pontjaira érdemes helyezni, hiszen ennek anyaga minimális alakváltozást szenvedhet csak.

A már forgásban lévő keréknél a modell képes lesz a talajon eredő erőket, a 9. ábrához hasonlóan a feszültségeket és eredő gördülési ellenállást számolni, illetve közelítést adni arra, hogy a kerék milyen fokú csúszási állapotban van, mellyel később a jármű mozgásállapotának szabályozásához is hozzá tud majd járulni.

IRODALOM

1. Zomotor, Ádám. Gépjármű-menetdinamika. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2006.
2. Recursive Identification of Cornering Stiffness Parameters for an Enhanced Single Track Model. Lundquist, Christian és Schön, Thomas B. Saint-Malo, France: ismeretlen szerző, 2009.
3. Lacombe, James. Tire model for simulations of vehicle motion on high and low friction road surfaces. Hanover, NH 03755-1290, U.S.A. : Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 2000.
4. Pálfi, László. A súrlódás hiszterézis komponensének végesselemes modellezése gumi-érdes felület csúszó pár esetén (PhD-értekezés). Budapest: ismeretlen szerző, 2010.
5. Ramajani, Rajes. Vehicle Dynamics and Control. University of Minnesota, USA : Springer, 2006. ISBN 0-387-26396-9, e-ISBN 0-387-28823-6.
6. Powers, William F. és Nicastrì, Paul R. Automotive vehicle control challenges in the 21st century. USA: Elsevier, 2000.
7. Yung-Hsiang, Judy Hsu és Gerdes, Christina J. A Feel for the Road : A Method to Estimate Tire Parameters Using Steering Torque. Stanford, California, USA: AVEC '06, 2006.
8. Ray, Laura R. Nonlinear Tire Force Estimation and Road Friction Identification: Simulation and Experiments. Automatica. 33., 1997.
9. Vable, Madhukar. Mechanics of Materials. New York : Oxford University Press (Michigan Technological University), 2002.
10. Royle, David. Trusses. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA 02139, 2000.



Melegalakító kovácsszerszámok kopásvizsgálata

WEAR INSPECTION OF HOT FORGING DIES

HALBRITTER ERNŐ

nyugalmazott egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem,
Anyagtudományi és
Technológiai Tanszék

TANCSICS FERENC

Ph.D. hallgató,
kovácstechnológia-vezető
RÁBA Futómű Kft.,
Gyártásfejlesztés

A melegalakító szerszámok élettartamának új technológiákra alapozott növelése az utóbbi évek jól felismerhető törekvése. Az élettartam növelésének egyre jobban terjedő megoldása a melegalakító szerszámok PVD (Physical Vapour Deposition) bevonatolása. A Rába Futómű Kft. Kovácsgyárában 2008-ban végeztük az első kísérleteket a melegfolyató-tüskék PVD-bevonatolásával kapcsolatban. Akkor az elért eredményt a legvárható munkadarabok számának növekedésével mutattuk ki. A kopás számítására, a számítások kísérleti ellenőrzésére a párhuzamos nyomólapok között végzett zömítést választottuk. Az ilyen jellegű zömítésnél a korábbi kutatási eredményeinket felhasználva meghatároztuk a súrlódási tényező várható értékét, matematikailag modelleztük a szerszám és a munkadarab érintkezésénél az anyagáramlást, majd az Archard-féle kopási modell szerint számoltuk a helyi kopási mélységet. A számításokat mérésekkel is ellenőriztük.

Increasing of life time of the hot forging dies are based on new technologies which is a well identified effort of the last years. A more and more spreading solution for increasing of life time is the PVD (Physical Vapour Deposition) coating of hot forging dies. The first attempt in the forging factory of AXLE Ltd of RABA was in 2008 in connection with PVD coating of hot extrusion spines. Then the achieved result was shown by the increasing number of forged pieces. For calculation of die wear and checking of calculation by testing we have chosen upsetting between parallel plates. At this kind of upsetting we have determined the expected value of friction coefficient, have modeled the material flow by mathematics at the contact area of tool and working piece, which are based on the results of previous researches. The local depth of wear has been calculated with Archard modeling. Calculations have been checked by measuring as well.

1. MELEGALAKÍTÓ KOVÁCSSZERSZÁMOK ÉLETTARTAMÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Napjaink piacképes kovácsüzemeit az értékáram-vezérelt folyamatok (Value Stream Mapping method) mellett a készre munkált geometriát legjobban megközelítő, NNS (Near Net Shape) kovácsdarabok előállítási képessége is jellemzi. Az NNS kovácsdarabok előállításához nagy teljesítményű, hosszú ideig tartós alakadó felülettel rendelkező szerszámok szükségesek (NNS-szerszámok).

Az alakadó felületek tartósságát számos tényező gátolja [1, 2]:

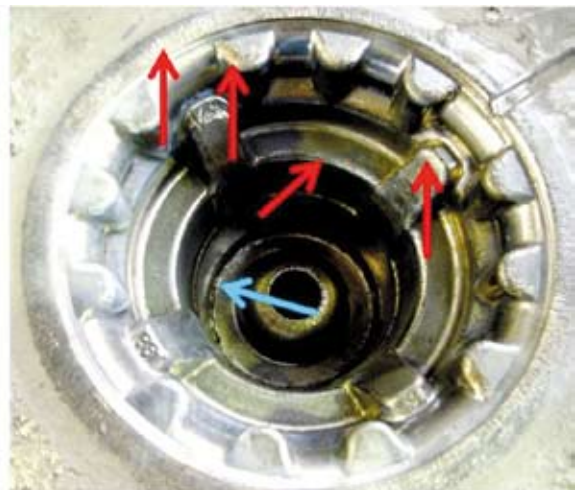
- képlékeny deformáció
- kopások
- hőkifáradás
- mechanikus kifáradás

Stahlberg és Hallstrom szerint az alakadó felületek tönkremenetelét döntően a kopási folyamatok (előfordulási arány: ~70%) okozzák [3]. Ezt a megállapítást a RÁBA kovácsüzemében szerzett tapasztalatok is megerősítették (**1. ábra**).

Munkánk során NNS-szerszámok alakadó felületeinek élettartam-növelési lehetőségeit vizsgáltuk, egyszerűsített fizikai modell segítségével.

Célkitűzéseink:

- a) a kopási folyamatok megismerése,
- b) a kopást jellemző együttható és a legnagyobb kopási mélység meghatározására alkalmas algoritmus létrehozása,
- c) korszerű PVD (Physical Vapour Deposition) bevonatok melegalakító szerszámok élettartamára gyakorolt hatásának vizs-



1. ábra: az ábrán egy készre sajtoló szerszámgarbitúra felső és alsó szerszáma látható. A piros nyilak a kopással, a kék nyilak az egyéb módon tönkrement felületelemeket mutatják

gálata, a PVD-eljárással bevont felületek kopására jellemző együttható meghatározása.

Bonyolult kovácsdarabok egyidejűleg több kopásfajta előfordulását is feltételezik. A kopásfajták vizsgálata során megállapítottuk, hogy a hagyományos megalakító NNS-szerszámok tönkremenetele alapvetően az abrazív kopások miatt következik be [4]. Ennek kiemelt oka a munkadarab revés felülete. A revét nem alakítható, kemény vas-oxid vegyületek alkotják. A Rába kovácsüzemében használatos kovácsszerszámok NK2 (MSz 4352:1984) anyagminőségből készülnek. A működő felületek nemesített keménysége átlagosan 400 HBS, érdessége 1,6 Ra. A kovácsolás során a szerszám alakadó felületelemei a mechanikus igénybevételek mellett erős hőhatásnak is ki vannak téve, melynek a gyártási folyamat során összegződő hatását (felületi és felület közeli rétegekben végbemenő diffúz folyamatok) figyelembe kell venni [5, 6]. A szerszám alakadó felületének kilágyulásra veszélyes hőmérsékleti küszöbértéke 450 °C [7]. A vizsgálatokat ez alatt az érték alatt célszerű végezni a felületi kilágyulás közben bekövetkező szerszámdeformációk elkerülése érdekében, ugyanis a deformáció és kopás, hatásában nehezen különíthető el.

2. A KOVÁCSSZERSZÁM KOPÁSÁNAK ÁLTALÁNOS VIZSGÁLATÁRA ALKALMAZOTT MODELLEK

A kovácsszerszámok hagyományosan kezelt és PVD-eljárással bevont felületeinek általános kopásvizsgálatára alkalmas fizikai modellek a siklapok között végzett zömítést választottuk.

Előnyei:

- nincs felületi kilágyulás a bonyolult geometriai elemek miatt,
- csak a felületek közötti relatív elmozdulás és a felületi kontaktnyomás hat a kopási folyamatokra,
- viszonylag egyszerű vizsgálat, egyszerű elmozdulási viszonyok jellemzik,
- a kapott eredmények könnyen kezelhetők, az egyszerű geometriákon jó közelítést adnak,
- robotkiszolgálású gyártáson elvégezhető (ismételhetőség, reprodukálhatóság),
- a vizsgálat a gyártási folyamat része lehet, így kifejezetten költségkímélő,
- az előzőmített munkadarab geometriája alapján a valós súrlódási tényezőre lehet következtetni [9].

Az abrazív kopási folyamatok szokásos minősítési módszere a kopással leválasztott anyagmennyiség meghatározása, mely matematikailag is kifejezhető [3, 13]. A legismertebb módszerek egyike az Archard-féle kopásmodell, mely a szerszámmra jellemző kopási együttható függvényeként arányosságot tételez fel az érintkező felületek kontaktnyomása és elmozdulása, valamint a kopással levált anyagmennyiség között (1):

$$dV = K(T) \frac{dF_n}{H(T)} dL \quad (1)$$

ahol:

- dV a kopással levált anyag mennyisége (térfogata) [mm³]
 $K(T)$ a szerszám üzemi hőmérsékletétől függő, a szerszámmra jellemző kopási együttható [-],
 dF_n az érintkező felületelemeken működő normál erő [MN],
 $H(T)$ a szerszám üzemi hőmérsékletétől függő Brinell (HBS) felületi keménysége [MPa],
 dL az érintkező felületelemek elmozdulása [mm].

A fizikai modell matematikai megoldására, a vizsgálati módszerünkbe jól illeszkedő Archard-féle kopásmodellt választottuk.

A matematikai modell egyszerűsítő feltételezései:

- a zömítőszerszám hőmérséklete a zömítés folyamán nem lépi át a 450 °C hőmérsékletet, azaz keménysége állandónak tekinthető,
- a zömítendő munkadarab homogén hőmérsékletmezővel rendelkezik,
- a munkadarab hőmérséklete, alakítási szilárdsága az alakítás közben homogén és állandó,
- csak az alsó szerszámot vizsgáljuk a nagyobb hőterhelés miatt,
- a vizsgálat során letapadás nem lép fel,
- a vizsgálat során a súrlódási tényezőt mindkét szerszámfélen a zömítés során állandónak és azonosnak tekintjük.

Az egyszerűsítő feltételezések figyelembevételével, az Archard-féle kopásmodell alapján meghatározható a kopásmélység numerikus összefüggése [3], egyetlen zömítési ciklusra:

$$z = K \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{n(k)} v_{(k)}}{H} \Delta t_{(k)} \quad (2)$$

ahol:

- z a kopás mélysége [mm],
 K a szerszámmra jellemző kopási együttható [-],
 n a magasságcsökkenés diszkrétizált inkrementumainak száma [-],
 σ_n az érintkező felületelemeken működő normál feszültség a k. inkrementumban [MPa],
 v az érintkező felületelemek relatív csúszási sebessége, a k. inkrementumban [mms⁻¹],
 H a szerszám Brinell (HBS) felületi keménysége [MPa],
 Δt az érintkező felületelemek relatív elmozdulásának időtartama, időinkrementuma, k. inkrementumban [sec].

A (2) összefüggés szerinti kopásmélység egyetlen zömítési ciklushoz tartozó meghatározásához a felütelelem-elmozdulások, az érintkező felütelelemeken működő normál feszültségeloszlás és a kopási tényező megismerése szükséges.

3. AZ ELMOZDULÁSOK MODELLEZÉSE EGY KINEMATIKAILAG MEGENGEDETT SEBESSÉG-MEZŐ ALAPJÁN

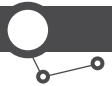
A súrlódó felületek közötti relatív csúszási sebesség megegyezik az ott értelmezett sugárirányú anyagáramlási sebességgel. Az érintkező felületeknél az anyagáramlási sebességet a hengeres próbatestek párhuzamos nyomólapokkal végzett zömítésénél használatos matematikai modell segítségével tárgyaljuk [8, 9]. A hivatkozás szerint, a tengelyirányú és sugárirányú sebességkomponensek, figyelembe véve a súrlódási tényezőt is [9], a (3) és (4) összefüggésekkel írhatók le.

Tengelyirányú sebességkomponens:

$$w_z(z) = \frac{z \left(2z^2(l-m)v_0 + 2z^2v_0 + 3z(l-m)v_0h - 3zv_0h - (l-m)v_0h^2 \right)}{h^3} \quad (3)$$

Sugárirányú sebességkomponens:

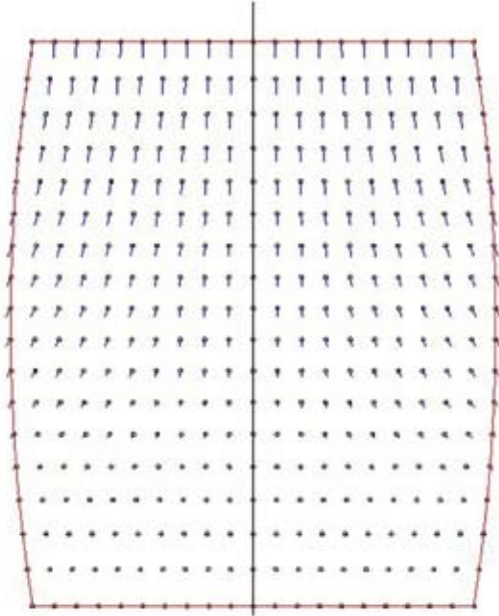
$$w_r(r,z) = -\frac{l}{2} \frac{r \left(6z^2(l-m)v_0 + 6z^2v_0 + 6z(l-m)v_0h - 6zv_0h - (l-m)v_0h^2 \right)}{h^3} \quad (4)$$



ahol:

- $w_z(z)$ magasságirányú sebességkomponens [ms^{-1}],
 $w_r(r,z)$ sugárirányú sebességkomponens [ms^{-1}],
 m Kudo-féle súrlódási tényező [-],
 v_0 a felső nyomólap sebessége [ms^{-1}],
 h a zömített munkadarab pillanatnyi magassága [mm].

A (3, 4) összefüggés segítségével meghatározott sebességmező képét mutatja a **2. ábra**.



2. ábra: a sebességmező képe ($m=0,8$)

Ha a (3, 4) összefüggés használatát a teljes alakítási folyamatra ki akarjuk terjeszteni, akkor az alakítási folyamatot egymásra épülő, n számú lépésre kell osztani. Egy lépésen belül a felső nyomólap $\Delta h = v_0 \Delta t = 0,1$ mm-t mozdul el. Minden lépésnél új h magassággal kell számolni. Az aktuális magasságot megkapjuk, ha a korábbi magasságból levonjuk a Δh értékét.

A nyomólapok és a zömített munkadarab érintkezésénél, a $z=0$ és $z=h$ helyen felírható összefüggések:

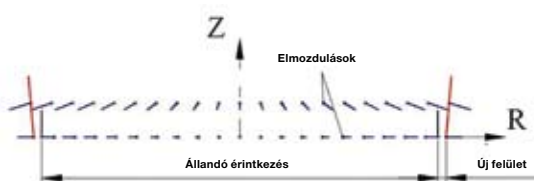
$$w_r(r,0) = w_r(r,h) = \frac{1}{2} \frac{r(l-m)v_0}{h} \quad (5)$$

A kopás vizsgálatánál a sebességmező helyett elmozdulásmezőt is értelmezhetünk. Az (5) összefüggés ennek megfelelően átalakul:

$$u_r(r,0) = u_r(r,h) = \frac{1}{2} \frac{r(l-m)\Delta h}{h} \quad (6)$$

ahol:

Δh a felső nyomólap elmozdulása Δt idő alatt ($\Delta h=0,1$) [mm].



3. ábra: a kontaktfelület felosztása

A (6) összefüggésből jól látszik, hogy az elmozdulás értéke a sugár mentén lineárisan nő, és az $r=0$ helyen az értéke zérus (**3. ábra**). Az $r=0$ helyen nincs elmozdulás, nem kopik a szerszám. Természetes ez elvi megjegyzés, ami csak egy pontszerű, végtelen kicsi felületre igaz, de a gondolatmenetet figyelembe kell venni a várható kopáseloszlásnál.

A sugárirányú elmozdulás értékét és ezzel a kopást befolyásolja a súrlódási tényező értéke is. Ha súrlódás nélküli ($m=0$) lenne a zömítés, akkor a munkadarab nem hordósodna, a relatív elmozdulás értéke pedig a legnagyobb lenne. Teljes letapadás ($m=1$) esetén a munkadarab felülete a szerszám érintkezésénél nem változna. Ilyen megfontolásból adódik, ha zömítés közben a munkadarab nagyobb lenyomatot hagy a nyomólap sík felületén, akkor a súrlódási tényező értéke kisebb. A h folyamatos változása miatt a nyomólap egy adott pontján minden lépésnél más és más lesz a vele érintkező munkadarab elmozdulása. A kopás szempontjából a lépésenkénti elmozdulásokat összesíteni kell. Az összesítésnél külön kell kezelni a kiinduló buga alatti területet, és a zömítés közben keletkező kontaktfelület-részeket. Az állandó érintkezési tartományban (**3. ábra**) az elmozdulások összesített értéke meghatározható integrálszámítással a (6) összefüggés alapján:

$$\sum u_r(r,h,m) = \int_{H_1}^{H_0} \frac{1}{2} \frac{r(l-m)}{h} dh = r \ln \left(\frac{H_0(l-m)}{H_1} \right) \quad (7)$$

ahol:

- H_0 a munkadarab magassága zömítés előtt [mm],
 H_1 a munkadarab magassága zömítés után [mm],
 r a rádiusz értéke az állandó érintkezési tartományban / $0 \leq r \leq R_0$ / [mm],
 m a Kudo-féle súrlódási tényező [-].

Az Archard-féle (2) kopásmodellnél a lépésenkénti elmozdulásokat és az aktuális nyomást együtt kell figyelembe venni. Az elmozdulások és a nyomásértékek együttes figyelembevételére a numerikus módszer egyszerűbben alkalmazható. A numerikus módszer kívánt pontosságát úgy ellenőriztük, hogy az összesített elmozdulások numerikus meghatározására külön egy MathCAD programot írtunk. Az összesített elmozdulások értéke a numerikus módszerrel és a (7) összefüggéssel számolva szinte azonos eredményt adtak. A program egy részletét mutatja a **4. ábra**.

```

RALL(MR) :=
  R ← MR
  SR ← 0
  for j ∈ 0..nz-1
    h ← H0 - j·0.1
    SR ← SR + u(R,h)
  EM<sup>(1)</sup> ← SR
  EM<sup>(0)</sup> ← R
  EM
  M := RALL(R)

```

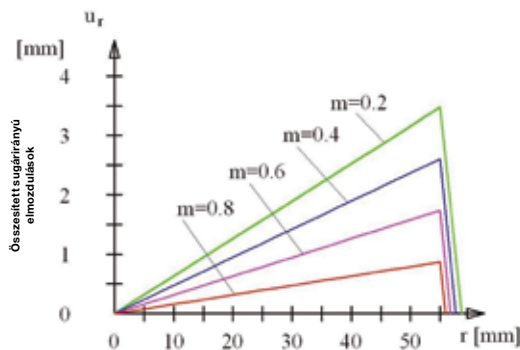
4. ábra: a MathCAD program egy részlete

A program fontosabb adatai:

- H_0 a zömítendő munkadarab magassága [mm],
- R_0 a zömítendő munkadarab rádiusza vagy oldalméretének fele [mm],
- h_n a készre zömített munkadarab magassága [mm],
- m a Kudo-féle súrlódási tényező [-],
- nz a z irányú elmozdulás diszkrétizált inkrementumainak száma [db],

- **MR, R** az állandó érintkezés tartományán belül kiválasztott rádiuszértékek vektorai,
- **SR** a kiválasztott rádiuszok összesített sugárirányú elmozdulásainak mátrixa,
- **EM** eredménymátrix, melynek első oszlopa az összesített elmozdulásokat, a második oszlopa pedig a kiválasztott rádiuszok értékeit tartalmazza.

A program $z=0$ helyen az ciklusszámmal meghatározza a szerszámfelület kijelölt részein az elmozdulások összességét. A ciklus egy inkrementumában a tengelyirányú elmozdulás a $z=h$ helyen $\Delta h = v_z dt = 0,1$ mm, a pillanatnyi h magasság ekkora értékkel csökken minden ciklusnál. A MathCAD programmal meghatározható összesített elmozdulásokat a Kudo-féle súrlódási tényező függvényében az **5. ábra** mutatja. Megállapítható, hogy a súrlódási tényező csökkenésével arányosan növekedett az összegzett sugárirányú elmozdulások értéke.



5. ábra: különböző súrlódási tényezőkhöz rendelhető elmozdulások

4. A NYOMÓLAPOKAT TERHELŐ FELÜLETI NYOMÁS

Zömítésnél a párhuzamos nyomólapok és a munkadarab érintkezésénél fellépő nyomás nem egyenletes. Irodalmi utalások szerint [10] a tömör hengeres testek párhuzamos nyomólapokkal végzett zömítésénél a p felületi nyomás az alakítási szilárdság (k_f), a Coulomb-féle súrlódási tényező (μ) és a geometriai adatok (h , R , r) ismeretében a következő összefüggéssel számítható:

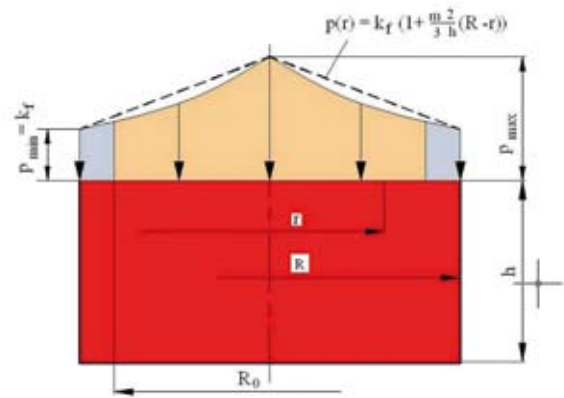
$$p(r) = k_f e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)} \quad (8)$$

A (8) exponenciális kifejezés Taylor-sorfejtéssel, elhanyagolva a magasabb hatványú tagokat, egyszerűbb alakra hozható. A felületi nyomás közelítő, Kudo-féle súrlódási tényezővel figyelembe vett összefüggése:

$$p(r) = k_f \left(1 + \frac{2m}{\sqrt{3}h}(R-r) \right) \quad (9)$$

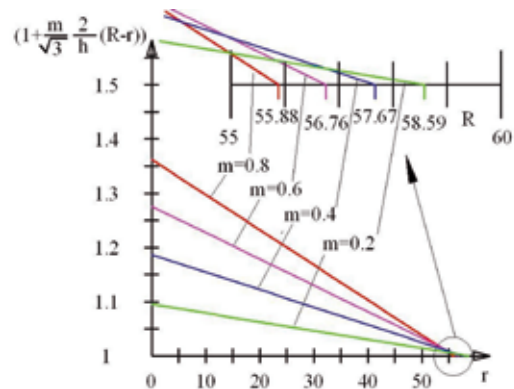
Az összefüggésben szereplő geometriai adatok a 6. ábra alapján értelmezhetők. A **6. ábra** nem szemlélteti a hordósodást, de azt a számolásnál figyelembe vettük. A nyomás értéke jelentősen függ a munkadarab pillanatnyi magasságától.

Egységnyi alakítási szilárdságot feltételezve a zömítés végén – a $h=h_n$ értéknél és a hozzátartozó R sugárnál – különböző súrlódási tényezők mellett ábrázoltuk a sugárirányú nyomáeloszlást (**7. ábra**). A 7. ábrán jól látható, hogy mindig a munkadarab közepén lesz a legnagyobb a nyomás és a legkisebb – az alakítási



6. ábra: a nyomáeloszlás értelmezése síklapok között végzett zömítésnél

szilárdságnak megfelelő – értéket a legnagyobb R rádiusznál veszi fel. A legnagyobb R rádiusz értékét befolyásolja a súrlódási tényező értéke. Ezt a 7. ábra kiemelt része szemlélteti.

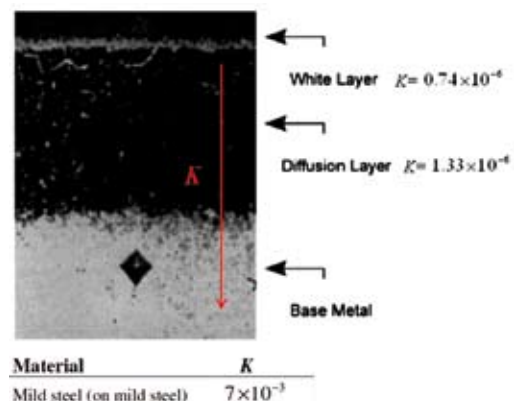


7. ábra: a nyomásviszonyok és elmozdulások kapcsolata különböző súrlódási tényezők esetén

A (2) összefüggésben szereplő (σ_r) normál feszültség helyett a felületi nyomás pillanatnyi értékével (p) számolhatunk.

5. A MATEMATIKAI MODELL NUMERIKUS MEGOLDÁSA

A kopási együttható értéke a kovácszserszámok felületi keménységének növekedésével arányosan csökken.

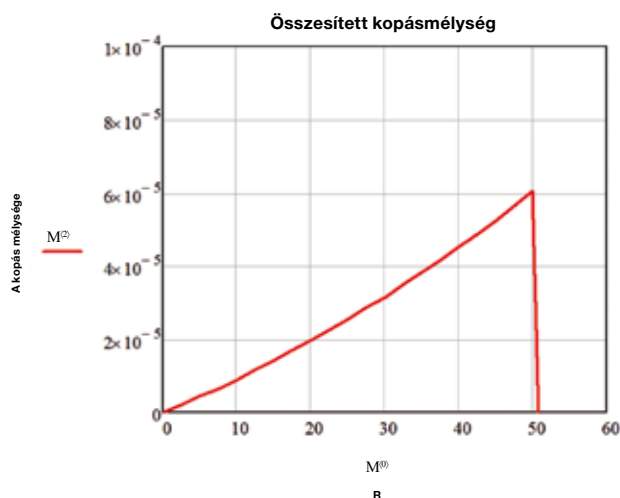


8. ábra: a kopási együttható változása a szerszám felületi és felület közeli rétegeiben [11]



A Rába kovácsüzemében használatos zömítőszerszámok működő felületeinek keménysége 48 ± 2 HRC, amely az ASTM E-140:1997 szabvány szerint jó közelítéssel megfeleltethető 459 HBS értéknek. A [11] irodalom szerinti felületi keménység és kopástényezők közötti kapcsolatokra érvényes összefüggéseket alkalmazva, a kopási együttható értékére a **8. ábra** szerinti $K = 0,74 \times 10^{-6}$ értéket választottuk.

A MathCAD program tesztuttatásaihoz a RÁBA kovácsüzemében sorozatechnológiával gyártott tengelycsonk kovácsdarabok zömített előgyártmányainak valós adatait töltöttük be: $H_0 = 159$ mm; $R_0(a_0) = 100$ mm; $h_n = 135$ mm; $k = 0,2$ ($m = 0,8$); $n_z = 240$ (inkrementumok száma); $k_f = 100$ MPa; $K = 0,74 \times 10^{-6}$. A próba futtatás eredményét a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: a program által meghatározott kopáskép

A **9. ábra** alapján megállapítható, hogy a program szerinti legnagyobb kopás sugárirányban a buga középpontjától 50 mm-re található, mélysége egyszeri zömítés után $z_{ij} = 6 \times 10^{-5}$ mm. A kopás mélysége az $r=0$ helyen zérus, mivel nincs elmozdulás, ugyanakkor ebben a pontban maximális a felületi nyomás értéke.



10. ábra: a kísérleti gyártás során zömített munkadarab képe

6. KÍSÉRLETI GYÁRTÁSOK KÜLÖNBÖZŐ KOPÁSI EGYÜTTHATÓK PONTOS MEGHATÁROZÁSÁRA

A kísérleti gyártás során zömítő alsó szerszámok hagyományosan kezelt és PVD-eljárással bevont felületeinek általános kopásképét vizsgáltuk. A gyártási paraméterek beállítása a MathCAD program adatainak megfelelően történt (**10. ábra**). A zömítőszerszám, működő felületeinek PVD-eljárással történő bevonására nACRo® magas hő- és kopásálló Platiit bevonatot választottunk: *nACRo® = nc-AlCrN/a-Si3N4*. A nACRo® bevonat 5-6 µm vastagságú, az abráziós kopásnak ellenálló fedőréteg. A nano-kompozit szerkezete rendkívül kemény, a szilíciumalapú mátrix nagy hőállóságot biztosít. A 10. ábrán jól érzékelhető az alsó szerszám erőteljes hőelvonó hatása, amely a szerszám magas felületi hőmérsékletét valószínűsíti.

A kísérleti gyártás során műszakonkénti gyakorisággal, optikai pirométerrel ellenőriztük a működő szerszámfelületek hőmérsékleteit és a legnagyobb értékeket rögzítettük (**11. ábra**).

A 11. ábrán látható, hogy korábbi feltételezéseink helyesnek bizonyultak a szerszámok felületi kilágyulására vonatkozóan. A zömítőszerszámok felületén keletkező üreg, tisztán kopással alakul ki. A bevonattal ellátott és bevonat nélküli szerszámfelületet egyaránt 26 000 zömítési ciklussal terheljük.

Alsó szerszám hőmérséklete [°C]		Felső szerszám hőmérséklete [°C]	
zömítés előtt	zömítés után	zömítés előtt	zömítés után
235	302	173	239

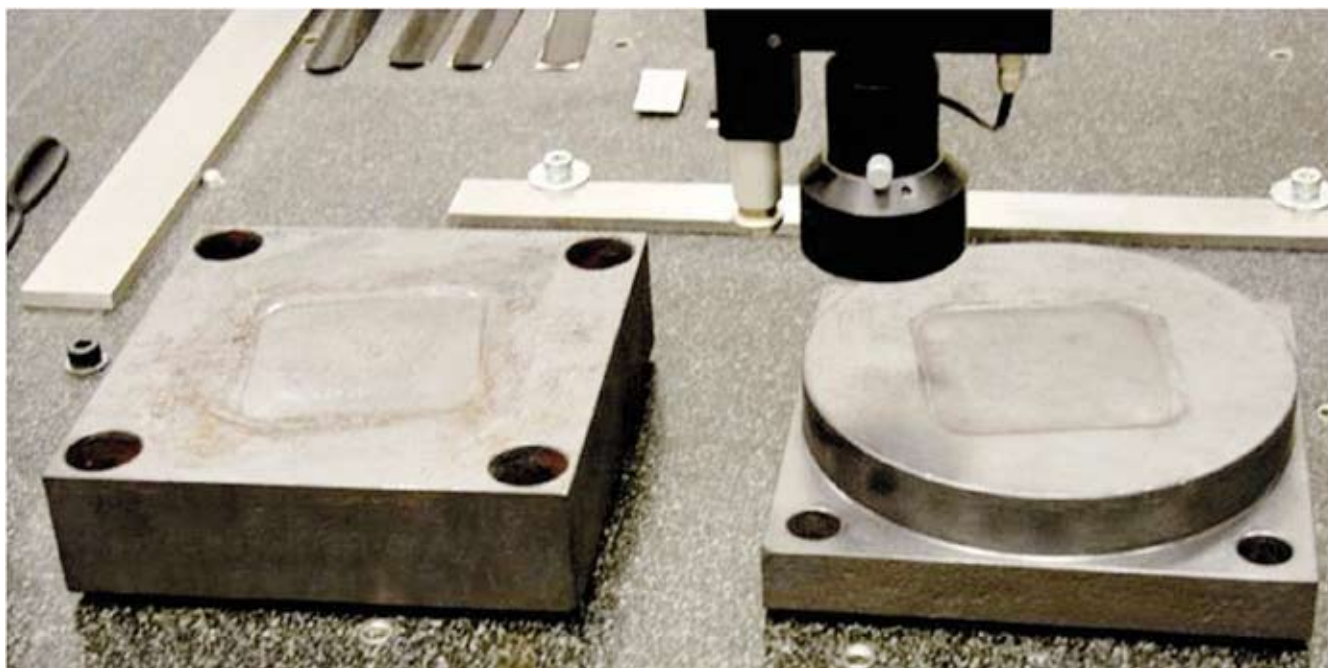
11. ábra: a szerszámfelületek jellemző hőmérsékletadatai

7. A KÍSÉRLETI SZERSZÁMOK KOPÁSKÉPÉNEK VIZSGÁLATA

Az azonos ciklust követően a zömítő alsószerszámfelek kopásképeit a Széchenyi István Egyetem anyagvizsgáló laboratóriumában, Mahr PMC 800, háromkoordinátás mérőgépen vizsgálták az erre a feladatra kidolgozott vizsgálati eljárás szerint [12]. A mérési módszer pontossága kulcsfontosságú volt a kopási tényezők vizsgálata során, ugyanis a kopott szerszámokon utólagosan kellett megállapítani azt, hogy a kopást megelőzően hol helyezkedett el legnagyobb valószínűséggel a munkadarab, azaz hol volt a munkadarab által meghatározott koordináta-rendszer. Az üreg vetületi képén a súlypont helyét a GOM GmbH „ATOS” optikai 3D-s digitalizáló rendszer és a Pro/Engineer szoftver felhasználásával határozták meg [12]. A **12. ábrán** egymás mellett látható a bevonattal ellátott (jobb oldalon) és bevonat nélküli szerszám (bal oldalon).

26 000 ciklus után szabad szemmel összehasonlítva a bevonattal ellátott és a bevonat nélkül készült nyomólapokat, megállapítható volt, hogy a bevonattal ellátott szerszámnál az üreget határoló körvonal nagyobb területet zárt. Ez véleményünk szerint az eltérő sűrűlódási viszonyokra vezethető vissza.

Az első zömítésnél feltételezhetően még nem keletkezik kopási üreg. Ilyen körülmények között a zömített munkadarab és a nyomólap érintkezési felületének nagyságát egyértelműen a sűrűlódási tényező határozza meg. Minél kisebb a sűrűlódási tényező értéke, annál nagyobb lesz az érintkezési felület. A sűrűlódási tényező kezdeti értéke, a kezdeti érintkezési felület nagysága véleményünk szerint meghatározó a kopási üreg alakulására.



12. ábra: a szerszámfelületek kopása 26 000 – 26 000 zömítési ciklus után [12]

A 13. ábra a bevonattal ellátott (sötétkék színű görbe) és bevonat nélküli (lila színű görbe) szerszámfelületek mérésével meghatározott kopásgörbéit mutatja, a buga oldaléleire merőleges irányban.

A gyártás folyamán a munkadarab inhomogén hőmérséklet-eloszlása inhomogén elmozdulási és nyomási viszonyokat idézett elő, ezért nem azonosak, a súlypontra aszimmetrikusak a kopási mélységek. Látható az is, hogy a lágyabb szerszámfelület kevésbé karakteres kopásgörbével rendelkezik, a felületi érdesség csúcsok is nagyobb szórást mutatnak, összhangban korábbi kutatások eredményeivel [13].

8. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

1. A MathCAD programmal meghatározott kopási együttható értéke (K) pontosítható a bevonat nélküli szerszámokra vonatkozóan.

MathCAD program szerint meghatározva:

$$K=0,74 \cdot 10^{-6},$$

$$z(1)=6 \cdot 10^{-5} \text{ mm}; R(a)=50 \text{ mm}$$

$$z(26.000)=6 \cdot 10^{-5} \cdot 26.000 = 1,56 \text{ mm.}$$

Mérés szerint korrigált:

$$Z(26.000)=1,524 \text{ mm}; R(a)=47,625 \text{ mm}$$

$$K=1,524/26.000 = 0,586 \cdot 10^{-6}$$

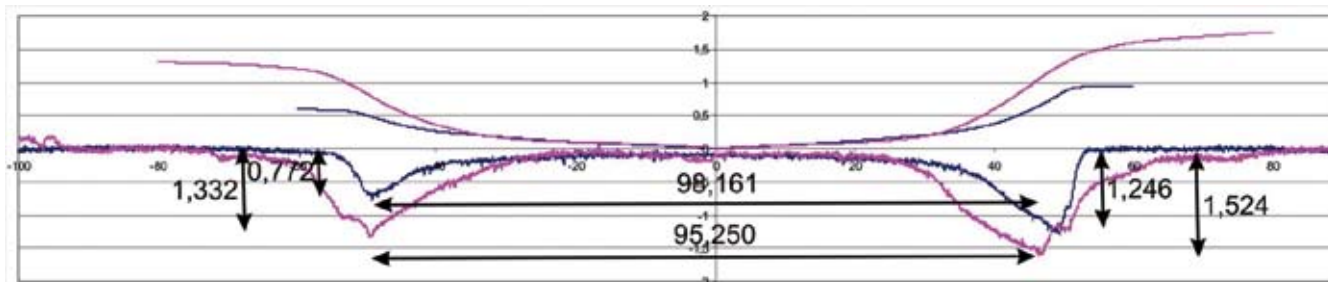
2. A kopási együttható értéke (K) meghatározható a nACRo® bevonattal ellátott szerszámokra vonatkozóan.

Mérés szerint meghatározva:

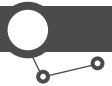
$$Z(26.000)=1,246 \text{ mm}; R(a)=49,0805 \text{ mm}$$

$$K=1,246/26.000 = 0,479 \cdot 10^{-6}$$

3. A nACRo® bevonattal ellátott szerszámok kopási együtthatójának értéke (K) jelentős kopásállóságot mutat.
4. A kopási együttható CMM (Coordinate Measuring Machine) mérésével való pontosításával a hasonló gyártási körülmények között használt zömítőszerszámok várható élettartama meghatározható.
5. A PVD bevonatok kopási együtthatóinak ismeretében a bevonattal gazdaságosan ellátható szerszámok köre meghatározható.
6. A kísérleti gyártást a 7. fejezetben megfogalmazott vélemények alapján célszerű megfelelően kis mintán (kiértékelhetőségi küszöb függvénye) is elvégezni. Ebben az esetben a kopási együtthatók tovább pontosíthatók, valamint lehetőség nyílik a kopási üreg és a súrlódási tényező közötti kapcsolat újszerű, megfelelő pontosságú meghatározására.



13. ábra: az oldalélekre merőleges kopásgörbék összehasonlítása [12]



ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban újszerűen a robotkiszolgálású gyártósoron alkalmazott előzőmitést, mint a súrlóasztékes kovácsolásnál gyakori párhuzamos nyomólapok között végzett zömítést alkalmaztuk kopásvizsgálatra. A kopásvizsgálatnál az Archard-féle modell szerinti helyi elmozdulásokat egy olyan kinematikailag megengedett sebességmező alkalmazásával számoltuk, ami figyelembe veszi a súrlódási tényező értékét, azaz a munkadarab hordósodását is. A súrlódási tényező várható értéke a korábbi kutatási munka eredményeinek fel-

használásával – meghatározható az előzőmitett munkadarab geometriai adatai alapján.

Az Archard-féle modellnél értelmezett helyi nyomásértéket az ismert Siebel formulával határoztuk meg. A szükséges számítások elvégzésére MathCAD programot készítettünk. A nagyszámú előzőmités melletti tényleges kopás igazolta a kidolgozott, könnyen kezelhető analitikus megoldásunk használhatóságát. A javasolt módszer a valós gyártási körülmények között, mondhatni külön költség nélkül alkalmazható a melegalakító szerszámok kopásvizsgálatára, a kopási együttható meghatározására, a különböző PVD-bevonat élettartam-növelő hatásának vizsgálatára. ●

IRODALOM

- [1] M. Farhani, A. Amadeh, H. Kashani, A. Saeed-Akbari: THE STUDY OF WEAR RESISTANCE OF A HOT FORGING DIE, HARDFACED BY A COBALT- BASE SUPERALLOY, Materials Forum j. volume 30 - 2006, pp. 212-218
- [2] O. Barrau, C. Boher, R. Gras, F. Rezai-Aria: Analysis of the friction and wear behaviour of hot work tool steel for forging, 6th international tooling conference 2003, ©2003 Elsevier Science B.V. pp. 95-111
- [3] A. M. Zamani, F. R. Biglari: Finite-element investigation of wear in hot forging, Tehran International Congress on Manufacturing Engineering (TICME2005) December 12-15, 2005, Tehran, Iran, pp. 1-9
- [4] Tancsics F.: Melegalakító kovácsolószerszámok kopáselméleti kutatásainak rendszerezése, Műszaki és informatikai rendszerek és modellek, Győr, 2009, pp. 69–89.
- [5] D. H. Kim, B. M. Kim, C. K. Kang: Die Life Estimation of Hot Forging for Surface Treatment and Lubricants, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Vol. 5, No.4, October 2004, pp. 5-13
- [6] B. A. Behrens, F. Schäfer, A. Hundertmark, A. Bouguecha: Numerical analysis of tool failure in hot forging processes, Obróbka Plastyczna Metali t. XIX nr 4, 2008, pp. 11-17
- [7] E. Doege, B. A. Behrens, F. Schäfer: Simulation Of Phase Transformation In Hot Forging Dies During A Precision Forging Process By Means Of Finite- Element-Analysis, CP712 , Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and application, NUMIFORM 2004, pp. 572-576
- [8] E. Halbritter: Modeling of Material Flow During Upsetting Between Parallel Pressure Plates, HU ISSN 1418-7108: HEJ Manuscript no.: MET-990617-A, pp.1-11
- [9] Tancsics F., Halbritter E.: A súrlódási tényező újszerű meghatározása és felhasználása a Pro/Engineer és MathCAD szoftverek segítségével, GÉP LXI. évfolyam 2010/7, Miskolc, 2010, pp. 34–42.
- [10] E. Siebel: Die Formgebung im bildsamen Zustand, Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 1932
- [11] S. Abachi: Wear analysis of hot forging dies, IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN THE DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING, DECEMBER 2004, 94 ps.
- [12] L. Solecki, E. Halbritter: MACRO- AND MICROGEOMETRICAL COMPARISON OF THE SURFACES OF FORMING DIES, ICT-2012, 13th International Conference on Tools, 2012, Miskolc, Hungary, pp. 245-250
- [13] Balogh T.: Érintkező felületek száraz súrlódáskor lejátszódó folyamatok numerikus és kísérleti vizsgálata, PhD-értekezés, BME Közlekedésmérnöki Kar, 2007, 100 ps.

Közúti biztonsági világtrendek átfogó értékelése

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF ROAD SAFETY TRENDS IN THE WORLD

DR. BORSOS ATTILA

egyetemi adjunktus,
Széchenyi István Egyetem,
Közlekedésépítési és
Településmérnöki Tanszék

DR. KÖRÉN CSABA

egyetemi tanár,
tanszékvezető,
Széchenyi István Egyetem,
Közlekedésépítési és
Településmérnöki Tanszék

Smeed 1949-ben publikálta híres egyenletét a közúti baleseti áldozatok számának becslésére. A későbbiekben friss adatsorok birtokában több kutató próbálta igazolni, valamint felülvizsgálni Smeed törvényét. E publikációk többsége az összefüggés azon előnyös értelmezését emelte ki, mely szerint a járműállomány növekedésével a járműszámra jutó közúti baleseti áldozatok száma csökken. Kevésbé került előtérbe viszont az összefüggés másik – kedvezőtlenebb – értelmezése, miszerint a járműállomány növekedésével a népességre jutó közúti baleseti áldozatok száma, valamint annak abszolút értéke növekszik. Szerencsére a közúti baleseti áldozatok számában tapasztalható növekedés a '60-as években egyes országokban csökkenő tendenciába fordult át. Ez a fordulat később több más országban is bekövetkezett, míg bizonyos országokban továbbra is romló tendencia figyelhető meg. Jelen cikkben 139 ország GDP, járműállomány, népesség és közúti baleseti áldozatok adatait elemezzük és vizsgáljuk a változók közötti összefüggést. Az országokat azok közúti biztonsági teljesítménye szerint klaszterelemzés segítségével csoportosítottuk.

Professor R J Smeed published his famous formula for predicting road deaths in 1949. Later on, other authors tried to validate or update the formula based on newer data. Most of these publications emphasized the encouraging finding that the increase of vehicle ownership leads to a decrease in fatalities per vehicle. Less attention was paid to the other – and less encouraging – interpretation of Smeed's formula, namely that the increase of vehicle ownership leads to an increase in fatalities per population and in the total number of fatalities. Fortunately, the increasing trend of the total number of fatalities started to change towards a decreasing trend in some countries from the 60's. More countries followed this change later, while in other countries the trend is still increasing. The paper analyses GDP, vehicle ownership, population and road fatality data from 139 countries. Relationships between these variables are shown. Using cluster analysis, countries are grouped according to their safety performance trends.

BEVEZETÉS

A közúti közlekedés biztonságának fenntartása és javítása a közlekedéspolitikai alapvető célja. A közlekedésbiztonsági tevékenység rendkívül összetett, szorosan kapcsolódik számos más szakterülethez. A közlekedésbiztonság nagyban összefügg egy ország egészségügyével, gazdaságával, környezetvédelmével, társadalmának magatartásával, ugyanakkor az európai integrációnak köszönhetően az európai politikával is. Így nem kérdés, hogy színvonalának javítása alapvető igény a nemzetek politikájában. (Holló, 1997)

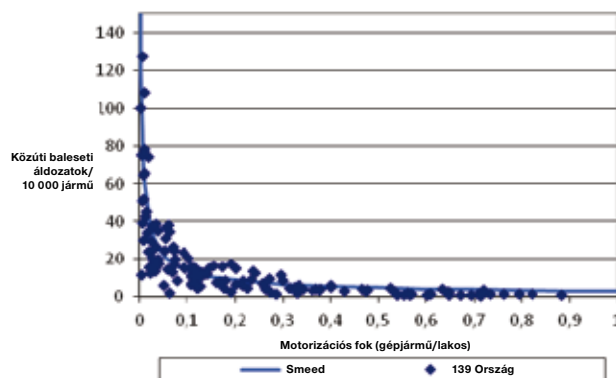
Ez például olyan nemzetek feletti célkitűzésekben testesül meg, mint az Európai Unió azon nagyratörő, ambíciózus elképzelése, hogy a közúti balesetben meghaltak számát 2010-re tíz év alatt 50%-kal kell csökkenteni (EC, 2001), mely célkitűzés a 2011–2020-as időszakra szóló programban is szerepel (EC, 2011). Mindezt úgy, hogy a motorizációs fok, illetve a futásteljesítmény folyamatosan növekszik.

Jelen fejezetben a Smeed-összefüggés felülvizsgálatán keresztül a világtrendek alakulását mutatjuk be. Ezt követően áttekintést kívánunk nyújtani az európai közúti közlekedésbiztonsági trendek fentiekben említett célkitűzéshez képesti alakulásáról. A trendek vizsgálatát abszolút, valamint relatív mutatók segítségével végezzük el.

A SMEED-ÖSSZEFÜGGÉS FELÜLVIZSGÁLATA

Smeed 1949-ben publikálta híres összefüggését, melyben a közúti balesetben meghaltak számát a regisztrált járművek számából, valamint a népességből határozta meg (Smeed, 1949):

$$D = 0,0003 (N \times P^2)^{1/3}$$



1. ábra: a motorizációs fok és a járműszámra vetített közúti baleseti áldozatok száma 2007-ben és a Smeed-görbe

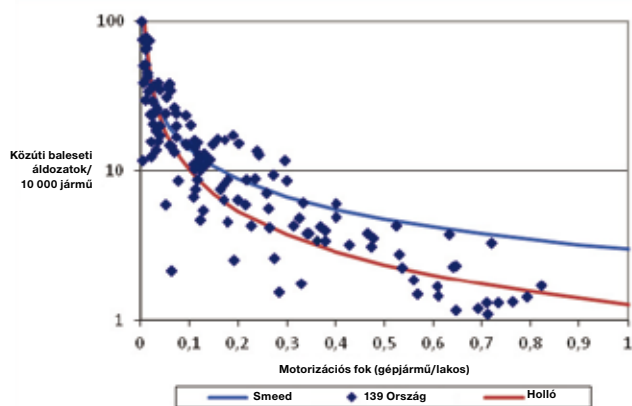
ahol D a közúti balesetben meghaltak száma, N a regisztrált járművek száma és P a népesség.

Egyenlete kétféleképpen értelmezhető, egyrészt a motorizációs fok és a járműszámra jutó meghaltak száma közötti, másrészt a motorizációs fok és a népességre jutó meghaltak száma közötti összefüggéssel.

Előbbi esetben a motorizációs fok növekedése a járműszámra vetített halálozások csökkenéséhez vezet: $D/N = 0,0003 (N/P)^{-2/3}$

Utóbbi esetben, mely a Smeed-összefüggésnek egy kedvezőtlenebb értelmezése, a motorizációs fok növekedésével együtt a lakosságra jutó halálozások száma nő: $D/P = 0,0003 (N/P)^{1/3}$

A későbbiek folyamán friss adatok segítségével több szerző is felülvizsgálta Smeed törvényét, mely kisebb változtatásokkal igaznak bizonyult (Adams, 1987), legalábbis ami a járműszámra vetített halálozások számát illeti.



2. ábra: a motorizációs fok és a járműszáma vetített közúti baleseti áldozatok száma 2007-ben és a Smeed-görbe (logaritmikus skála)

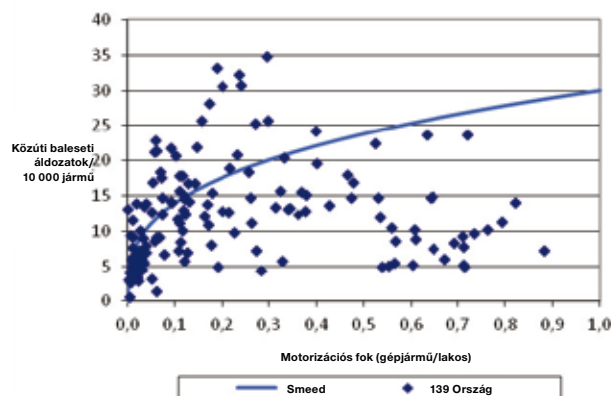
Szerencsére azonban a közúti balesetben meghaltak abszolút számában mutatkozó növekvő trend néhány országban a hatvanas években megfordult. Az Egyesült Királyságban körülbelül 1966-ig Smeed előrejelzésének megfelelően alakultak a trendek. 1966 óta azonban a közúti balesetben meghaltak száma egyértelmű csökkenést mutat, és 2000-re Smeed előrejelzése már négyszerese volt a tényleges értékeknek. (SafeSpeed, 2004)

A közúti balesetben meghaltak számában beállt változást leíró modellek többek között a járműkilométert és a bruttó hazai terméket is figyelembe vették.

Oppe kutatási eredményei szerint (Oppe, 1989, 1991a, 1991b) a közúti baleseti halálozások számának hosszú távú alakulása a nagy motorizációs fokú országokban törvényszerű mintát követ, melyet a motorizáció növekedése és a járműkilométerre jutó halálozási mutató csökkenése határoz meg.

A növekvő trendből a csökkenő felé történő változás számos országban tapasztalható. Kopits és Cropper arra az eredményre jutottak, hogy az a jövedelmi szint, melynél a trend megfordul, 8600 dollárra tehető (1985-ös nemzetközi ár). Ez az a hozzávetőleges jövedelmi szint, melyet olyan országok, mint Belgium, az Egyesült Királyság és Ausztria a 1970-es évek elején ért el, Dél-Korea 1994-ben, Új-Zéland 1968-ban (Kopits és Cropper, 2005).

Elemzéseinkben (Koren és Borsos, 2010a, 2010b, 2009) az alábbi, 2007-es adatokat használtuk fel: közúti balesetben meghaltak száma, népesség, motorizációs fok és GDP. A közúti balesetben meghaltak száma, a népesség, valamint a regisztrált járművek száma a WHO által 2009-ben kiadott jelentésből származik (WHO, 2009). Azon országo-



3. ábra: a motorizációs fok és a lakosságra vetített közúti baleseti áldozatok száma 2007-ben és a Smeed-görbe

kat, melyek esetében a meghaltak száma 100 alatti volt, kihagytuk az elemzésből, így 139 ország adatait vizsgáltuk. Az egy főre jutó bruttó hazai termék vásárlóerő paritáson az IMF online adatbázisából származik (IMF, 2009). Az Európára készült elemzésben használt idősorok adatainak alapjául a CARE adatbázis szolgált (CARE, 2011).

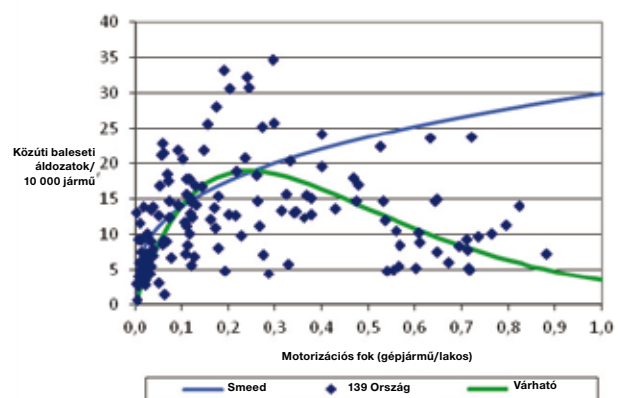
a) Közúti baleseti áldozatok/járműszám

Az 1. ábra és 2. ábra a Smeed-görbét, illetve a 139 ország 2007-es adatait mutatják, a 10 ezer járműre jutó közúti baleseti áldozatok számát, valamint a motorizációs fokot.

Az 1. ábra alapján jól kivehető, hogy a járműszáma vetített baleseti áldozatok számának alakulása jól illeszkedik a Smeed-féle trendvonalba. Ez azért is figyelemre méltó, mivel hatvan évvel ezelőtt a motorizációs fok maximuma körülbelül 0,23 volt, ami ma egyes országokban meghaladja a 0,8-at.

Ugyanakkor, ha közelebbről megvizsgáljuk a tíz baleseti áldozat/10 ezer jármű alatti területet (2. ábra), kivehető, hogy szinte minden adat jóval a Smeed-görbe alatt helyezkedik el. Az ábrán a Smeed-összefüggés ezen értelmezésének pontosabb leírására alkalmas, Holló által felállított képletet is ábrázoltuk (Holló, 1999).

b) Közúti baleseti áldozatok/lakosság



4. ábra: a motorizációs fok és a lakosságra vetített közúti baleseti áldozatok száma 2007-ben, Smeed- és a javasolt görbe

A 3. ábra a Smeed-görbét, illetve a 139 ország 2007-es adatait mutatja, a 100 ezer lakosra jutó közúti baleseti áldozatok számát, valamint a motorizációs fokot. Jól látható, hogy nagyobb motorizációs fok esetén, különösen a 0,4 feletti tartományban az adatok mindegyike a Smeed-görbe alatt helyezkedik el.

A motorizációs fok és a lakosságra jutó közúti baleseti áldozatok száma közötti összefüggés jobb leírására az alábbi függvényt állítottuk fel (4. ábra).

$$D/P = a N/P e^{-b \times N/P}$$

Az egyenletet 139 ország 2007-es adatai alapján határoztuk meg, az a és b paraméterekkel minimálva a tényleges és várható lakosságra jutó baleseti áldozatok számai közötti különbségek négyzetét.

Az egyenlet $a N/P$ tényezője a járműszám növekedésével együtt jár, lakosságra jutó növekvő baleseti áldozatszámot írja le. Amíg N/P , vagyis a motorizációs fok nagyon kicsi, addig az $e^{-b \times N/P}$ értéke körülbelül 1, vagyis az egyenlet első fele, a növekvő járműszám dominál. Az a értéke körülbelül 211-re tehető, ami annyit jelent, hogy 0,1 motorizációs fok (100 jármű/1000 lakos) mellett $0,1 \times 211 = 21$ közúti baleseti áldozat várható 100 ezer lakosra.

Az egyenlet másik fele az $e^{-b \times N/P}$ negatív exponenciális függvény, ami a közúti biztonságnak a motorizációs fok növekedésével

KONTINENS	a	b
Európa	164	3,8
Ázsia	175	3,3
Afrika	258	3,9
Amerika + Ausztrália	204	4,1
Világ	211	4,1

1. táblázat: az együtthatók kontinensenként

együtt járó javulását írja le. Ez a javulás több tényezőből tevődik össze, elkezdve a járművek műszaki fejlődésétől a biztonságosabb infrastruktúrán keresztül egészen a biztonságos közlekedésre nevelésig és a hatékonyabb ellenőrzésig. A kigyűjtött adatokból meghatározott b paraméter értéke körülbelül 4,1, ami annyit jelent, hogy 0,1 motorizációs fok (100 jármű/1000 lakos) mellett a biztonság javulását leíró korrekciós tényező értéke $e^{-4,1 \times 0,1} = 0,66$. 0,3 motorizációs fok mellett $e^{-4,1 \times 0,3} = 0,29$; 0,6 motorizációs fok mellett $e^{-4,1 \times 0,6} = 0,09$. Vagyis nagyobb motorizációs fok mellett az egyenlet másik fele válik dominánssá.

Az egyenlet tehát alkalmas arra, hogy leírja a közúti biztonságban bekövetkező fordulatot. Alacsony motorizációs fok mellett a lakosságra jutó meghaltak száma növekszik, egy bizonyos küszöb elérése után azonban a társadalmi és politikai akaratnak köszönhetően a társadalom képes és tud változtatni a romló trenden. Ez a fordulópont körülbelül 0,2–0,25 körüli motorizációs fokra és húsz baleseti áldozat/100 ezer lakosra tehető.

A kontinenseket külön vizsgálva kivehető, hogy mely országok milyen fejlődési szakaszban tartanak jelenleg.

Európában a legtöbb országban már megtörtént a fordulat, egyes országokban azonban még érezhető a romló trend hatása, 0,1–0,2 motorizációs fok mellett. Néhány országban viszont már csak öt fő a 100 ezer lakosra jutó közúti balesetben meghaltak száma.

A legtöbb ázsiai országban már látható a javuló tendencia, de sok helyen a még romló trend is megfigyelhető. Egyes országokban a 100 ezer lakosra jutó áldozatok száma harminc fölötti. Az országok között tehát nagy különbségek tapasztalhatóak, és a motorizációs fokot illetően is nagy a szórás. Ez utóbbi egyes országokban leginkább a kétkerekűek nagy arányának tudható be.

Afrikában a legtöbb ország adatai a görbe felfelé szálló ágában vannak. Egyes országokban, csakúgy, mint Ázsiában, a 100 ezer lakosra jutó áldozatok száma harminc fölötti. A fordulópont szemmel láthatóan nagyobb motorizációs fok és nagyobb halálzási mutató mellett fog bekövetkezni.

Amerika és Ausztrália országait két csoportra tudjuk osztani. Az egyikbe azok tartoznak, melyeknél alacsony a motorizációs fok és a görbe felfelé szálló ágában vannak az adatok. A másikba pedig azok, amelyeknél nagy a motorizációs fok, és alacsony a halálzási mutató.

Az **1. táblázat** az egyenlet együtthatóit tartalmazza kontinensenként, valamint a vizsgált 139 országra. Afrikában a legmeredekebb a motorizáció növekedése ($a=258$). A b értéke Ázsiában a legalacsonyabb ($b=3,3$), ami gyenge korrekciós tényezőnek számít a lakosságra vetített baleseti áldozatok számának csökkenésében.

A 139 országra kiterjedő 2007-es évre végzett elemzés eredményei is megerősítik azt a korábban már több kutató által tett megállapítást, hogy a közúti biztonság és a motorizációs fok szoros összefüggésben áll egymással. A javasolt függvénnyel leírhatóvá válnak a halálzási mutatóban beállt pozitív és negatív változások egyaránt. A függvény „haranggörbe” jellegéből adódóan leírja egyrészt a motorizációs fok növekedésével együtt járó, a halálzási mutatóban tapasztalható növekedést, másrészt egy adott küszöbérték felett negatív exponenciális jellegéből adódóan ábrázolja a közúti biztonság javulását. A függvény tehát jól szemlélteti a közúti biztonság fejlődésének három szakaszát, a romlást, a fordulatot, valamint a javulást.

Egy adott motorizációs szint mellett az egyes országok halálzási mutatói közötti eltérések meglehetősen nagyok is lehetnek. Ez a szórás többek között az adott országban a közúti biztonság társadalmi és politikai támogatottságának tudható be. Ezek a különbségek jól mutatják, hogy a trend alakulása nem automatizmus alapján történik, mert a közúti biztonság javulása erőfeszítéseket igényel mind a járművek, mind az infrastruktúra, mind a közlekedő ember oldaláról.

KLASZTERELEMZÉS

Az országokat 2007-es adataik alapján klaszterekbe soroltuk. Ehhez három változót használtunk: egy főre jutó GDP, motorizációs fok és a lakosságra jutó közúti baleseti áldozatok száma. Ezen mutatók léptékbeli különbözősége miatt normalizáltuk azokat, vagyis az egyes értékeket rendre elosztottuk az átlagokkal. Ezek után az országokat a három változó alapján az SPSS-szoftverrel, K-Means klaszterelemzéssel csoportokba soroltuk. Több futtatás után a hét klasztert adó eredményt találtuk a legmegfelelőbbnek. Az **2. táblázat** a klaszterek elemszámát és a három változó 139 ország átlagához képesti klaszterenkénti átlagának százalékos arányát mutatja. A különböző színnel jelölt klasztereket az **5. ábra** szemlélteti.

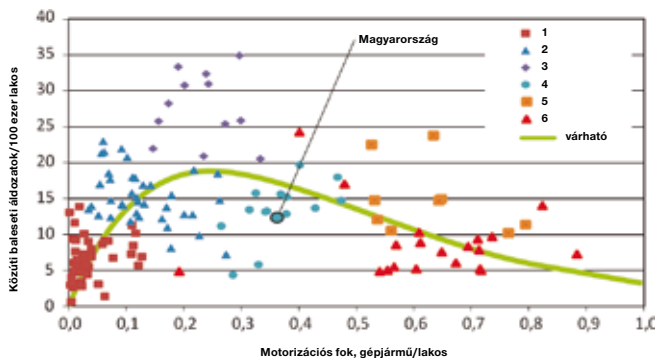
Az 1. klaszterbe a legszegényebb országok kerültek. Ezen országok járműállománya alacsony, a halálzási mutató az összes ország átlagának körülbelül a fele. Többnyire afrikai országok kerültek ebbe a csoportba, valamint olyan országok, mint például Tádzsikisztán és Afganisztán.

A 2. klaszterbe nagyobb GDP-vel rendelkező országok kerültek, GDP-jük azonban még mindig csak körülbelül fele az összes ország átlagának. Alacsony járműállományuk ellenére a halálzási mutatója ennek a klaszternek 1,2-szerese az összes ország átlagának. A klaszterbe mind a négy kontinensről kerültek be országok.

A 3. klaszterbe a biztonság szempontjából legveszélyesebb országok, szám szerint csak tizenkettő tartozik. Ezen országok

KLASZTER SZÁMA	ORSZÁGOK SZÁMA	KLASZTERÁTLAG A 139 ORSZÁG ÁTLAGÁHOZ KÉPEST [%]		
		EGY FŐRE JUTÓ GDP PPP	GÉPJÁRMŰ/LAKOS	BALESETI ÁLDÓZAT/100 EZER LAKOS
1	44	15%	15%	53%
2	38	50%	53%	122%
3	12	104%	96%	221%
4	15	126%	151%	106%
5	9	173%	259%	120%
6	20	299%	258%	70%
(7)	(1)	(666%)	(299%)	(191%)

2. táblázat: a klaszterek főbb adatai



5. ábra: klaszterek a GDP, motorizáció és halálozási mutató szerint

GDP-je és járműállománya az összes ország átlagához közeli, halálozási mutatójuk viszont 2,2-szerese az összes ország átlagának. A csoportba itt is a négy kontinens mindegyikéről kerültek országok, ezek közül számos ország nagy népességgel rendelkezik (Oroszország, Irán, Mexikó, Dél-afrikai Köztársaság, Venezuela).

A 4. klaszterbe a többiekhez képest valamivel nagyobb GDP-vel rendelkező országok kerültek. Járműállományuk valamivel nagyobb a GDP-adatok alapján várthoz képest. A halálozási mutató ezekben az országokban az összes ország átlagához közeli értéket vesz fel. Néhány új EU-tagállam (Bulgária, Magyarország, Lengyelország, Szlovákia) mellett olyan országok kerültek ebbe a csoportba, mint például Argentína, Korea, Thaiföld vagy Uruguay.

Az 5. klaszterben lévő országok GDP-je az átlag körülbelül 1,7-szerese, járműállományuk a GDP-jükhöz képest arányaiban jóval nagyobb. A halálozási mutató az összes ország átlagának körülbelül 1,2-szerese. Ebben a csoportba a régi EU-tagállamok közül kisebb jövedelmű országok kerültek (Görögország, Portugália), valamint néhány nagyobb jövedelmű új EU-tagállam (Csehország, Észtország, Szlovénia), továbbá három másik ország különböző kontinensekről (Malajzia, Új-Zéland, Puerto Rico).

A 6. klaszterbe a húsz legfejlettebb ország tartozik, az átlaghoz képest háromszor nagyobb GDP-vel. Járműállományuk valamelyest kisebb a GDP-adatok alapján vártnál. A halálozási mutató ezekben az országokban az összes ország átlagának csupán 70%-a. A régi EU-tagállamok többsége, valamint Ausztrália, Kanada, Japán és az Egyesült Államok tartoznak ebbe a csoportba.

A 7. klaszterbe csupán egy ország került, Katar, mely a mintán belül legnagyobb GDP-jével, nagy motorizációs fokával és egyben nagy halálozási mutatójával kivételt képez a 139 ország között.

A 139 országra végzett klaszterelemzés alapján hat csoportot azonosítottunk, mely csoportokon belüli országok hasonló halálozási mutatóval, motorizációs fokkal, valamint GDP-vel rendelkeznek. A klaszterelemzésből megállapítható, hogy:

- Az egy főre jutó GDP PPP és az egy főre jutó járműszám egyidejű növekedésével egy bizonyos pontig együtt jár a lakosságra jutó közúti baleseti áldozatok számának növekedése is. Egy bizonyos fejlettségi szint és motorizációs fok felett azonban megfordul a tendencia, és a lakosságra jutó közúti baleseti áldozatok száma csökkenni kezd a 4–6. klaszterekben.
- Fenti megállapításnak köszönhetően bizonyítható, hogy ugyanazon közúti biztonsági szinttel rendelkező országok nagyban különböző gazdasági és motorizációs fejlettségi szinttel rendelkezhetnek.

EURÓPAI TRENDEK

Az Európai Unió 2001-ben a Fehér Könyvben rögzítette, hogy a közúti balesetben meghaltak számát tíz év alatt 50%-kal kívánja csökkenteni. 2004-ben az EU 15-höz tíz ország, majd 2007-ben

újabb két ország csatlakozott. Bár a fenti célérték ezekre az országokra nem vonatkozik, mégis egységesen érezhetőek azok a törekvések, melyek a közúti biztonság javítását célozzák. Az alábbi elemzések az EU 27-ben lezajlott változásokat mutatják be.

Ami az 50%-os célkitűzést illeti, 2010-ig bezárólag az EU 27-ben összességében 43%-os csökkenést mérhetünk. Amennyiben országonként nézzük a célérték teljesülését, egyes országokban (pl. Lettország, Spanyolország, Észtország, Portugália) az 50%-ot is meghaladó csökkenést sikerült elérni. Sajnálatos módon két országban, Romániában és Máltán a közúti balesetben meghaltak számában nagyon csekély javulás tapasztalható a 2001-es évhez képest.

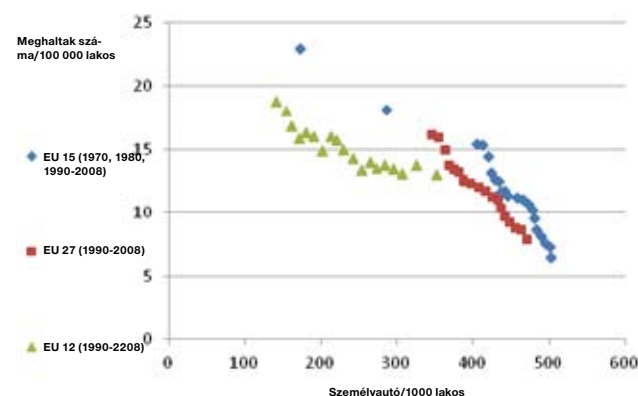
A közúti közlekedésbiztonság nemzetközi összehasonlítására leginkább alkalmas relatív mutató a mortalitási ráta (meghaltak/100 ezer lakos). A 6. ábrán ennek a mutatónak az alakulása figyelhető meg a motorizáció függvényében. A rendelkezésre álló adatok (EC, 2010) köre miatt a motorizációs fok számításához a személygépjármű/1000 lakos mutatót használtam. Az ábrán szereplő három adatsor a régi (EU 15), a 2004 után csatlakozott (EU 12), valamint az összes tagállamot (EU 27) mutatja.

A régi tagállamokban a vizsgált időintervallumban (1990–2008) a mortalitási ráta 15-ről 6,5-re csökkent, ami tekintetbe véve a motorizációs fok növekedését (az 1000 lakosra jutó személyautók száma 400-ról 500-ra nőtt), kiemelkedő teljesítménynek számít. Az új tagállamokban ugyanezen időszakban 19-ről 13-ra csökkent a 100 ezer lakosra jutó közúti balesetben meghaltak száma, miközben az ezer lakosra jutó személyautók száma 140-ről 350-re nőtt.

Érdekes észrevenni, hogy a két adatsorban ugyanazon motorizációs fok mellett a mortalitási rátában lényeges különbségek figyelhetők meg. Míg az EU 15-ben a 300 személyautó/1000 lakos mutató mellett 1980-ban átlagosan 100 ezer lakosra vetítve 18-an haltak meg közúti balesetben, addig ugyanezen motorizációs fok mellett az EU-12-ben 2005-ben 13-an. Ez egyértelműen a 3E-ben (Engineering, Education, Enforcement) bekövetkező fejlődésnek köszönhető: jobb minőségű utakon, biztonságosabb autókban közlekednek a képzett úthasználók, szervezett rendőri ellenőrzések és szankcionálás mellett.

Az EU 15-re a 100 ezer lakosra jutó közúti baleseti áldozatok számának alakulásából idősorokat készítettünk az 1970 és 2008 közötti időszakra (7. ábra). A trendvonalak kapcsán elmondható, hogy a régi tagországok alapvetően három fő csoportba sorolhatók. [10]:

1. Már 1970-ben is jó közúti biztonsággal rendelkeztek, és azóta is állandó javulást mutatnak. Ilyen országok például Svédország, Hollandia, Egyesült Királyság. Ezek közül a svéd trendet kivastagított, hosszan szaggatott vonallal jelöli.
2. Rossz közúti biztonsággal rendelkeztek, de a folyamatos javulásnak köszönhetően jó biztonsági szintet tudtak elérni. Ilyen



6. ábra: a mortalitási ráta alakulása a motorizáció függvényében az Európai Unióban

országok például Ausztria, Belgium, Franciaország. Ezek közül Ausztriát kivastagított, közepesen szaggatott vonallal jelöli.

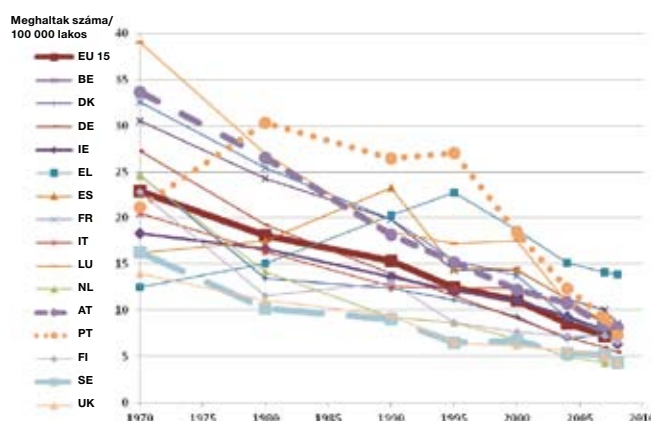
3. Először romló, majd javuló biztonsági trendet mutatnak. Ilyen országok például Spanyolország, Görögország, Portugália. Ezek közül Portugáliát kivastagított, pontozott vonallal jelöli.

KÖVETKEZTETÉSEK

A 139 országra kiterjedő 2007-es évre végzett elemzés eredményéből kiderül, hogy a közúti biztonság és a motorizációs fok szoros összefüggésben áll egymással. A javasolt függvénnyel leírhatóvá válnak a halálzási mutatóban beállt pozitív és negatív változások egyaránt. A függvény „harang-görbe” jellegéből adódóan leírja egyrészt a motorizációs fok növekedésével együtt járó halálzási rátában tapasztalható növekedést, másrészt egy adott küszöbérték felett negatív exponenciális jellegéből adódóan a közúti biztonság javulását. A függvény tehát jól szemlélteti a közúti biztonság fejlődésének három szakaszát, a romlást, a fordulatot, valamint a javulást.

Egy adott motorizációs szint mellett az egyes országok halálzási mutatói közötti eltérések meglehetősen nagyok is lehetnek. Ez a szórás többek között az adott országban a közúti biztonság társadalmi és politikai támogatottságának tudható be. Ezek a különbségek jól mutatják, hogy a trend alakulása nem automatizmus alapján történik, a közúti biztonság javulása erőfeszítéseket igényel mind a járművek, mind az infrastruktúra, mind az úthasználók oldaláról.

A 139 országra végzett klaszterelemzés alapján 6 csoportot azonosítottunk, mely csoportokon belüli országok hasonló



7. ábra: a mortalitási ráta alakulása a régi tagállamokban (EU 15)

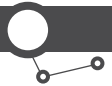
halálzási mutatóval, motorizációs fokkal, valamint GDP-vel rendelkeznek.

Az európai idősorokat vizsgálva elmondható, hogy Európában általános a tartós és jelentős javulás, miközben a járműszám és a forgalom növekedést mutat. Vagyis a járműszám növekedése nem lehet mentség a közúti biztonság alakulásában történt esetleges kedvezőtlen fordulatokra.

Az idősorok vizsgálata továbbá bizonyíték arra is, hogy egy ország közúti biztonságának értékelése során nem annyira egy adott év helyezési sorrendje érdekes, hanem a hosszú távú trendek alakulása, illetve a javulás mértéke. ●

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Adams, J.G.U. 1987. Smeed's law: some further thoughts, Traffic Engineering and Control, February, pp. 70–73., <http://www.geog.ucl.ac.uk/~jadams/PDFs/smeed's%20law.pdf>
- [2] CARE 2011. CARE reports and graphics, http://ec.europa.eu/transport/road_safety/observatory/statistics/reports_graphics_en.htm
- [3] European Commission 2011. White paper, Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Brussels, 28.3.2011 COM(2011) 144 final
- [4] European Commission 2010. EU Energy and Transport in figures, Statistical pocketbook 2010 http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/statistics_en.htm
- [5] European Commission 2010. EU Energy and Transport in figures, Statistical pocketbook
- [6] European Commission 2001. White paper, European transport policy for 2010: Time to decide, Brussels, 2001
- [7] Holló P. 1999. Közúti közlekedésbiztonsági intézkedések hatékonyságvizsgálata, különös tekintettel a nemzetközi összehasonlítás néhány módszertani kérdésére, DSc értekezés, Budapest
- [8] Holló P. 1997. A közúti közlekedésbiztonság komplex rendszere, In: Jankó D. (főszerkesztő): Közúti közlekedésbiztonság, Egyetemi tankönyv, Budapest, NOVADAT Kiadó, pp. 9–14., ISBN 963 9056 09 X
- [9] International Monetary Fund (IMF) 2009. World Economic Outlook Database April 2009, <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28>
- [10] Kopits, E., Cropper, M. 2005. Traffic fatalities and economic growth, Accident Analysis and Prevention. Vol. 37, Issue 1 January 2005, pp. 169–178.
- [11] Koren, Cs., Borsos, A. 2010a. Similarities and differences among countries concerning road fatality rates, Transport Research Arena, Brussels, Belgium, 7–10 June 2010, p. 8.
- [12] Koren, Cs., Borsos, A. 2010b. Is Smeed's law still valid? A world-wide analysis of the trends in fatality rates, Journal of Society for Transportation and Traffic Studies, Vol. 1, 2010. pp. 64–76., ISSN 1906-8360
- [13] Koren, Cs., Borsos, A. 2009. GDP, vehicle ownership and fatality rate: similarities and differences among countries, 4th IRTAD Conference, Seoul, Republic of Korea, 16–17 September 2009, p. 9.
- [14] Oppe, S. 1989. Macroscopic models for traffic and traffic safety, Accident Analysis and Prevention, Volume 21. No. 3, pp. 225-232
- [15] Oppe, S. 1991a. The development of traffic and traffic safety in six developed countries, Accident Analysis and Prevention, Volume 23. No. 5, pp. 401-412
- [16] Oppe, S. 1991b. Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations, Accident Analysis and Prevention, Volume 23. No. 5, pp. 413-422
- [17] SafeSpeed 2004. Smeed and beyond: predicting road deaths. <http://www.safespeed.org.uk/smeed.html>
- [18] Smeed, R.J. 1949. Some statistical aspects of road safety research, Journal of Royal Statistical Society, Series A (General), Vol. 112, No. 1, pp. 1–34.
- [19] World Health Organization (WHO) 2009. Global Status Report on Road Safety, Geneva, www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009



Tribológiai vizsgálatok belső égésű motorokon

ONLINE KOPÁSMÉRÉS RADIONUKLEÁCIÓS TECHNIKA SEGÍTSÉGÉVEL
EGY VEZÉRMŰLÁNC PÉLDÁJÁN

DR. MATHIAS ROMAN DREYER

egyetemi docens
tanszékvezető

GERGYE TAMÁS

egyetemi tanársegéd
Széchenyi István Egyetem
Belső Égésű Motorok Tanszék

A különböző tribológiai rendszereket (triborendszerek), amelyek a belső égésű motorokban (dugattyúgyűrű-hengerfal; dugattyú-hengerfal; főcsapágy-főtengely; hajtórúdcsapágy-főtengely; láncsap-láncszem...) megtalálhatóak, számos intézet és vállalat kutatja, vizsgálja. A triborendszereket különböző tényezők (olaj hőmérséklete, üzemanyag, adalékanyagok, terhelés, érintkező anyagok geometriája és összetétele...) befolyásolhatják, amelyek így a tribológiai viselkedést is megváltoztatják. A mai fejlett világban vannak úgynevezett online eljárások, melyek segítségével a súrlódási és kopási tulajdonságok mérhetők.

A cikkben bemutatásra kerül egy, a motorfejlesztésben használt online kopásmérési eljárás (radionukleációs technika). Bemutatásra kerül továbbá a módszer kialakulásának története, a mérés során lekopott részecskék tömegének, valamint a részecskék tömegéből számítható kopásmélység meghatározása. A cikk rövid betekintést ad a belső égésű motorok bonyolult tribológiai rendszereibe, majd egy példán keresztül bemutatja a kopásmérésben rejlő lehetőségeket.

1. BEVEZETÉS

A műszaki világban mindenhol, ahol az alkatrészek és gépelemek egymással érintkeznek, és egymáshoz képest relatívan elmozdulnak, fontos szerepet játszik a kopás. Az alkatrészek és gépelemek kopási jelenségeit empirikus képletekkel nem lehet leírni, leggyakrabban kísérletek útján határozzák meg. A kopás mechanizmusainak sokfélesége és összetettsége (pl.: kovácsüllyeszték kopása, belső égésű motor alkatrészeinek kopása) megköveteli, hogy a lejátszódó folyamatokat különböző kísérleti és mérési módszerekkel vizsgálják, majd a kapott eredményekből súrlódási törvények vezethetők le és azok tényezői határozhatók meg. [1]

A kopás mechanizmusainak vizsgálatához különböző mérési módszereket alkalmaznak. A hagyományos módszereknél („tömegellenőrzés módszer”, „optikai módszer”, „vegyelemző módszer”) az alkatrészek kopását szétszerelt állapotban, a vizsgálat előtt, majd egy bizonyos eltelt futási vagy működési idő után vizsgálják, és arra alkalmas mérésekkel (tömegellenőrzés, érdesség- és profilmérés) a kopás mértékét meghatározzák. [1], [2]

A tudományban és az iparban rengeteg technológiai lehetőség megtalálható, melyekkel a kopás folyamatait (kopásmechanizmusok) üzem közben (pl.: belső égésű motorok) vagy megmunkálás közben (pl.: marás és forgácsolás) online vizsgálhatóak. Ezeknél a módszereknél különböző technológiai megoldások fordulnak elő, melyekkel a kopás megállapítható. A kopás meghatározására neurális hálózatokat [4], [5]; ultrahangot [7], [8]; képfeldolgozást [11]; szerszámkopás méréséhez rezonanciafrekvencia-mérést [6]; olajban megtalálható részecskék méréséhez Hall-effektust [10] vagy radionukleációs technikát (RNT) [9] stb. használnak. [3]

Magyarországon először a Széchenyi István Egyetem Audi Hungaria Belső Égésű Motorok Tanszékén épült fel az az új technológia, mellyel a kopás online, két érintkező felület között, tribométeren vagy akár belső égésű motoron mérhető. Ez a folyamatos kopásmérés lehetővé teszi a kopássebesség meghatározását akár nm/h nagyságrendben is.

Egy triborendszerben legalább két érintkező alkatrész található, melynek egyidejű vizsgálata műszaki okokból szükséges.

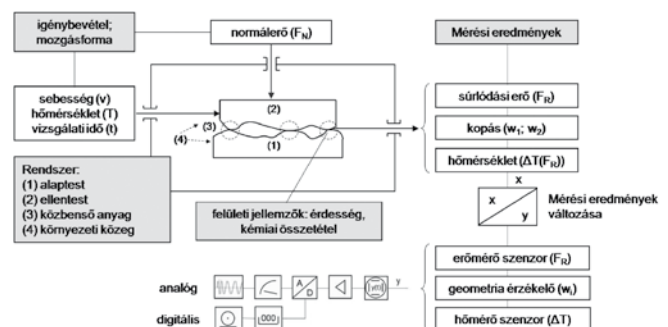
Az RNT-méréseknél fennáll a lehetőség egykomponenses (egy aktivált alkatrész) vagy kétkomponenses (két aktivált alkatrész: alap- és ellentest) mérés elvégzésére. Kétkomponenses mérés elvégzésének a lehetősége jelentősen függ az érintkezésben lévő alkatrészek anyagösszetételétől.

A cikkben, az RNT-módszer leírásán kívül egy példán keresztül kerül bemutatásra a vezérműlánc kopásmérése, amelyben az alapvető tribológiai vizsgálatok fontosságát is hangsúlyozza. Itt a figyelem különös tekintettel a modern belső égésű motorok kihívásaira koncentrál, amelyeket társadalmi és környezetpolitikai igények kielégítése érdekében egyre inkább optimalizálni kell.

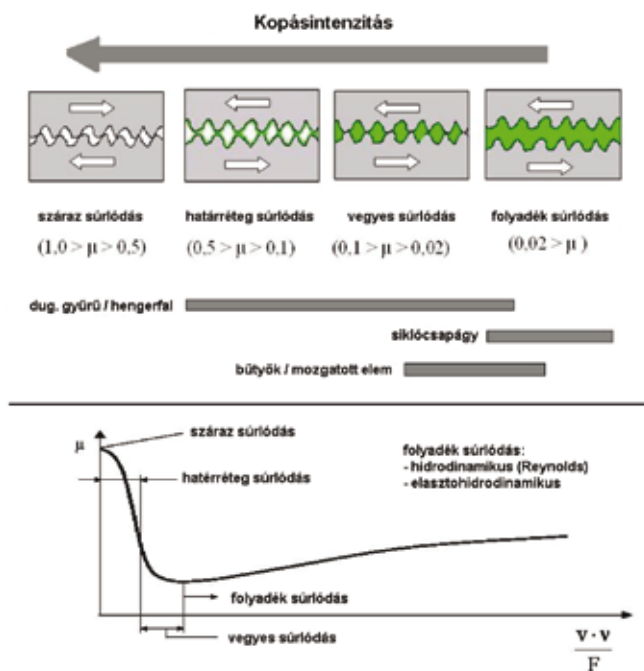
A TRIBOLÓGIAI RENDSZER ALAPJA

Ahhoz, hogy a motor súrlódási veszteségét csökkentsük, a motort mint tribológiai rendszert optimalizálni kell.

A tribológia (visszavonva DIN 50323) a kölcsönösen egymáshoz ható és egymáshoz viszonyítva elmozduló felületek és a közöttük lejátszódó folyamatok tudománya és technológiája. Magába foglalja a súrlódás, kopás és kenés folyamatának leírását, valamint a határfelületeken lejátszódó kölcsönhatásokat szilárd testek, valamint szilárd test és folyadék vagy gáz között. [37]



1. ábra: tribológiai rendszer



2. ábra: súrlódási és kenési állapotok [34]

A tribológiai rendszer (triborendszer) magába foglalja a tribológiai igénybevételeket. [37]

A súrlódás (visszavonva DIN 50281) egy kölcsönhatás az érintkező felületek között. A súrlódás a relatív mozgás irányával szemben hat. [37]

A kopás (visszavonva DIN 50320) a mechanikai hatások, szilárd, folyékony és gáznemű anyag érintkezése és relatív elmozdulása által, a szilárd test felületéről leváló anyagvesztést jelent. Ezeknek a szilárd, folyékony és gáznemű anyagok relatív elmozdulásából és érintkezéséből, a szilárd test felületére gyakorolt igénybevételt tribológiai igénybevételnek nevezzük. Tribológiai igénybevétel alatt a külső igénybevételek a kopásrendszer elemeire gyakorolt hatásának az összességét értjük. [37]

A súrlódó felületek között kialakuló különböző kenési állapotokat a 2. ábra mutatja be.

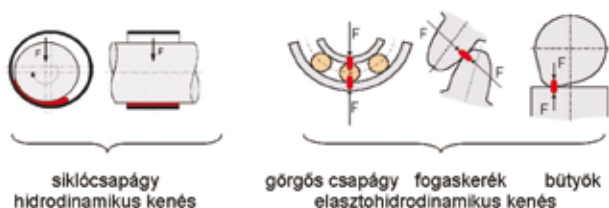
Négy tartomány különböztethető meg.

Száraz súrlódásnál tribológiai igénybe vett felületek.

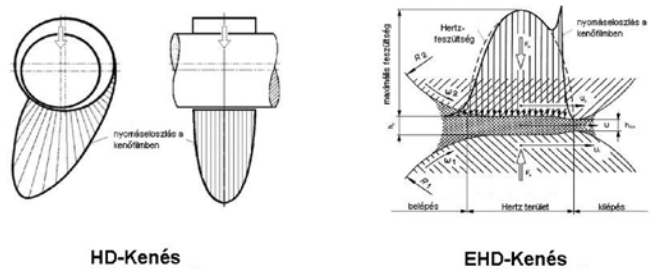
Vegyes súrlódásnál a terhelést részben a kenőréteg, másrészt az érintkező érdességcsúcsok veszik fel.

Tiszta folyadéksúrlódás akkor alakul ki, ha a súrlódó felületeket egy hordképes kenőfilmréteg választja el. Az erők az olajfilmrétegen keresztül adódnak át. A súrlódás a köztes közeg eredménye (belső súrlódás), valamint a köztes közeg viszkozitásától függ.

Megkülönböztetünk hidrodinamikusan és elasztó-hidrodinamikusan kenést. A kenés kialakulása a súrlódó felületek makrogeometriájától függ. Párhuzamos felületek között hidrodinamikusan kenőfilm-



3. ábra: hidrodinamikusan és elasztó-hidrodinamikusan kenőfilm kialakulása [34]



4. ábra: nyomáeloszlás a hidrodinamikusan és elasztó-hidrodinamikusan kenési állapotoknál [34]

réteg alakul ki. Az ellenkező értelemben görbült felületek közötti kenőfilmrétegben kialakuló nyomáeloszlás az elasztó-hidrodinamikusan elmélet segítségével írható le. Az elasztó-hidrodinamikusan kenés az érintkező felületek rugalmas alakváltozásának és a növekvő nyomás hatására létrejövő viszkozitásnövekedésnek az eredménye. A kenőfilm vastagsága rendszerint vékony, lásd 3. ábra és 4. ábra

RADIONUKLEÁCIÓS TECHNIKA MÉRFOLDKÖVEI (RNT)

Az izotóptechnika kopásmérésnél történő alkalmazásának lehetőségét E. O. Lawrence 1930-ban, a ciklotron kifejlesztésével egyidejűleg fogalmazta meg. Az alkatrészek kopásnak kitett tartományai aktiválhatók, majd a súrlódás következtében az aktivált tartományból leváló részecskék által kibocsátott sugárzás mérhető. [1], [9]

Kezdetben az alkatrészeket neutronnal sugározták be, melynek hatására a teljes alkatrész radioaktívá vált. Azért, hogy a sugárzás intenzitását mérni lehessen, az alkatrészek magas aktivitással kellett, hogy rendelkezzenek. A vizsgálatokat csak laboratóriumban, megfelelő védőintézkedés mellett lehetett csak elvégezni. [9], [12]

A karlsruhei egyetemen K. Kollmann vezetésével az FVV céggel együttműködve teremtették meg az izotóptechnika gépészeti alkalmazásának feltételeit. 1958 és 1970 között belső égésű motorok különböző alkatrészein kopásméréseket hajtottak végre. [15]-[17]

Az eljárást kiterjesztették az olajfilm-vastagság mérésre [18], majd a kopás során leváló részecskék méretelemzésére [19] és a triborendszerben fellépő olajfogyasztás mértékének meghatározására [20]. A kutatásoknál két alapvető nehézségre derült fény. Egyrészt az elektronika megbízhatatlan volt, másrészt a neutronnal besugárzott alkatrészek nagy aktivitásának köszönhetően a munkavégzés körülményes volt. [9], [12]

Az utóbbi problémát egy új eljárással, a „vékonyréteg-aktiválási” (TLA) eljárás kivitelezésével oldották meg, melynek során csak a vizsgálandó alkatrészfelület közeli tartományát sugározzák be töltött részecskékkel. Ezek az elektromosan töltéssel rendelkező részecskék az anyagba behatolva leadják energiájukat és lefekeződnek, aminek köszönhetően csak a felületközelben tartomány aktiválódik. A sugár protonból, deuteronból és α -részecskéből állhat. [9], [12]-[15], [21]

Andreas Gervé vezetésével a karlsruhei Magkutató Intézet két különböző kopásmérési eljárást fejlesztett ki. Az alapvető különbség a két módszer között abban áll, hogy míg a vékonyréteg-különböztetés eljárásnál az alkatrész aktivitásának változásából, míg a koncentrációs eljárásnál az olajban található kopásrészecskék aktivitásváltoztatásából következtethetünk a kopásra. Az aktivitás változása a megfelelő felezési idővel és ellenőrző mérés segítségével korrigálható. [9]

AZ RNT-KOPÁSMÉRÉS MÓDSZEREI

Ahogy fent említettük, az FVV megbízásából két különböző eljárást fejlesztettek ki a folyamatos kopásmérés számára. Ebben a fejezetben a különböző eljárásokról, a hozzájuk tartozó kalibrációs folyamatokról, valamint a tömeg meghatározásáról esik szó.

Radionukleációs technika eljárásai

A következőekben a szűrőkoncentrációs eljárás és a vékonyréteg-különbség eljárás, valamint ezek különböző alkalmazásai kerülnek bemutatásra.

Szűrőkoncentrációs eljárás (KMV)

A koncentrációs eljárásnál azoknak a kopásrészecskének az aktivitását mérjük, amelyek az aktivált területek tartományáról kerültek a szállítóközegbe. Ez módszer egy szállítóközeget igényel, amely a részecskéket a mérőfejekhez szállítja. A szállítóközeg lehet kenő-, ill. hajtóanyag. A szállítóközeget egy úgynevezett átfolyásmérőfejen (DMK) pumpálják keresztül. A mérőfej egy mérőtartályból és egy nagy érzékenységű NaJ-szcintillátorból áll. A mérőedényt a háttérsugárzás hatásainak kiküszöbölése céljából, ólomköpenyvel kell leárnyékolni. Ez a sugárterhelés a sugárzás pontos mérését és az egzakt kiértékelést megnehezítheti. [9], [12], [15]

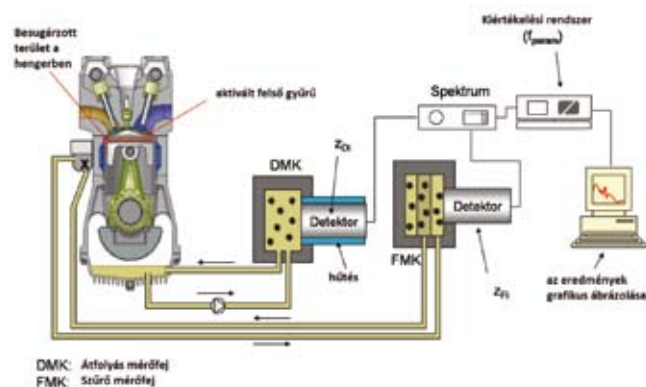
Azoknál a rendszereknél, ahol a szállítóközeget egy szűrőn is átáramoltatják, a rendszert egy külön mérőfejjel kell kiegészíteni, amely a szűrő sugárzási intenzitásának mérésére szolgál. A szűrő mérőfejjel kiegészített mérőelrendezés az **5. ábrán** látható.

Mind a szűrőmérőfejjel kiegészített úgynevezett szűrőkoncentrációs eljárás, mind a hagyományos koncentrációs eljárás alkalmas többkomponenses kopásmérés elvégzésére. [9]

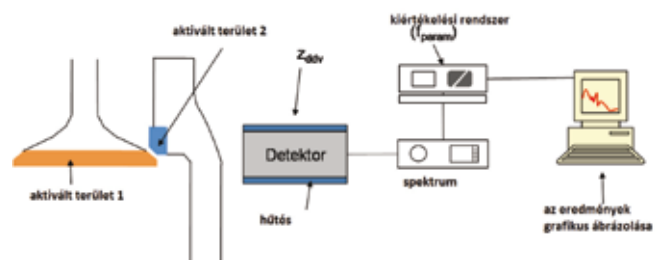
A lekopott tömeg (mikrogrammban) és az ebből számítható kopásmélység a kalibrációs és az alapkalibrálás során meghatározott adatok segítségével számítható ki. A számítások során különböző paramétereket kell figyelembe venni, mint például: az aktivált kopási részecskék felezési ideje. A számítógéppel történő kiértékelés valós időben történik, aminek köszönhetően a kopás alakulása valós időben ábrázolható. [9], [14]

Vékonyréteg-különbség eljárás (DDV)

Ezt az eljárást akkor alkalmazzák, amikor a koncentrációs eljárás nem lehetséges, mert nem áll rendelkezésre olyan szállítóközeg, ami a kopási részecskéket a mérőfejekhez szállítaná (például: szelep/szelepelek). Ebben az esetben nem a részecskék sugárzását mérjük, hanem az alkatrészeken visszamaradó aktivitás mértékét. A kopásfolyamat során a leváló részecskék révén bekövetkező anyagvesztés összefüggésben van az alkatrész sugárzásintenzitásának csökkenésével. Az eljárás során alkalmazott mérési elrendezés a **6. ábrán** látható. A mérés pontossága körülbelül



5. ábra: szűrőkoncentrációs eljárás



6. ábra: vékonyréteg-különbség eljárás

egy-két nagyságrenddel kisebb, mint a koncentrációs eljárás esetében. [9], [15]

A vékonyréteg eljárásnál a γ -sugárzást szintén NaJ-szcintillátor érzékkel mérjük, melyet az aktivált alkatrésztől lehetőleg kis távolságban kell elhelyezni. Ennél az eljárásnál a természetes sugárzást csak az érzékelt háza árnyékolja le. Az aktivált alkatrész sugárzása egy kollimátor alkalmazásával irányítható. Az érzékelt itt is le kell árnyékolni, azért, hogy a háttérsugárzás hatása kiküszöbölhető legyen. Annak ellenére, hogy az alapelv nagyon egyszerű, a mérést számos tényező befolyásolhatja pl.: geometriai korlátok a detektor elhelyezésénél, valamint azon alkatrészek árnyékoló hatása, melyek a vizsgált test és a detektor között találhatók. Az érzékelt tartójában egy hűtővízkör található, amivel az érzékelt hőmérsékletét kondicionálják. Az érzékelt tartóját rezgésmentesen kell felfüggeszteni. [9], [15]

Ennél az eljárásnál különösen fontos, hogy az aktiválás lehetőség szerint csak egy vékony rétegben történjen. Az aktiválást úgy kell megtervezni, hogy a fajlagos aktivitás a mérési tartománynak megfelelő mélységig állandó maradjon. Ha ez a tartomány túl nagy, akkor a keletkezett kopás túl kis változást idézne elő az alkatrész összaktivitásban. Ha az aktiválási mélység túl kicsi, akkor előfordulhat, hogy a mérés vége előtt az aktivált réteg teljesen elkopik. A mérés tervezése során törekedni kell arra, hogy a mérési tartományon belül az aktivitáscsökkenés és a kopásmélység között lineáris kapcsolat legyen. [9], [21]

A mérés kalibrálása

A következőekben a két különböző eljárás során alkalmazott kalibrálási folyamat kerül bemutatásra.

Szűrőkoncentrációs eljárás kalibrálása

Koncentrációs eljárásnál a kalibrálás két lépésből áll. A berendezés gyártója egy alapkalibrálást hajt végre, melynek során meghatározzák egyes izotópokra, ill. izotóppárookra vonatkozó együtthatókat és tényezőket. [14]

Az alapkalibrálás során meghatározott tényezőknek köszönhetően a mérések előtt szükséges mérőfejek kalibrálása szilárd próbatesttel történhet. Erre azért van szükség, mert a sugárzás, ill. az izotópok egymásra gyakorolt hatása, a térbeli eloszlástól jelentősen függ. A szilárd próbatest aktivitása és a feloldott próbatest (folyadék) aktivitása eltérő. Az alapkalibrálás során meghatározott tényezők a szilárd próbatest, valamint a feloldott próbatest közötti összefüggést adja meg. A mérések előtt elvégzendő kalibrálással, a vizsgálandó alkatrész(ek) aktivitásának viszonyát összefüggésbe hozzuk az alapkalibrálás során meghatározott tényezőkkel. [14]

Vékonyréteg-különbség eljárás kalibrálása

Ennél az eljárásnál a mérések előtti kalibrálás két lépésben történik. Először a háttérsugárzást határozzuk meg. A mérés során a detektor közelében nem lehet aktivált alkatrész. A háttérsugárzás meghatározása után az aktivált alkatrész beépíthető a motorba. [25]

Második lépésben az alkatrész összaktivitását mérjük meg, majd az eljárás számára fontos adatokat adjuk meg (aktiválási mélység, az aktiválás lineáris szakasza). [25]

A lekopott részecskék aktivitása és tömege közötti összefüggés: a kopás meghatározása

Azon kopásrészecskék tömege, amelyek az aktivált területről a felületek érintkezésének következtében leválnak, anyagvesztésként fogható fel. Az anyagvesztés a szűrőkoncentrációs eljárásnál az olajban található részecskék aktivitásának növekedését, míg a vékonyréteg-különbbség eljárásnál a kezdeti aktivitásnak a csökkenését (alkatrész pillanatnyi aktivitása, ami a mérés után, az alkatrészen visszamarad) jelenti.

A kopás meghatározása a szűrőkoncentrációs eljárásnál

Az eljárás során mérjük a részecskék intenzitását a mérőfejekben (DMK, FMK) és ennek köszönhetően határozzuk meg a részecskék tömegét.

Az alapkálbrálási adatok felhasználásával, a kalibráló próbatest netto- és a mérési tartományának a másik izotóp mérési tartományára gyakorolt hatásának nagyságából, a kalibráló próbatest tömegéből és az úgynevezett tömeg-rétegvastagság viszonyból (MSV) határozható meg a kopás mértéke. [14]

$$W_{KMP}(t) = MSV \cdot K_{VK} \cdot V_{Ol} \frac{m_{kp}}{Z_{kp}} (Z(t) - U_r) \cdot e^{\left(\ln 2 \frac{t}{T_{hwc}}\right)}, \quad (1)$$

$W_{KMP}(t)$	kopás [μm]
m_{kp}	kalibráló próbatest tömege [mg]
$Z(t)$	részecskék intenzitása az olajban [Imp/min]
T_{hwc}	nuklid felezési ideje [min]
K_{VK}	arányossági tényező [1/L]
V_{Ol}	olajtér fogat [L]
Z_{kp}	kalibráló próbatest intenzitása [Imp/min]
U_r	háttersugárzás [Imp/min]
t	mérési pontok között eltelt idő [min]
MSV	tömeg-rétegvastagság viszony [$\mu\text{m}/\text{mg}$]

A kopás meghatározása a vékonyréteg-különbbség eljárásnál

Ennél az eljárásnál az aktivitás lineáris tulajdonsága játszik fontos szerepet. Az alkatrész aktivitása növekvő kopásmélységgel lineárisan csökken. A névleges aktiválási vastagság (d_0) és a lineáris szakasz határa (d_{lin}) az aktiválási paraméterekből rendelkezésre áll. A visszamaradó összaktivitás arányban áll a mérés során mért intenzitással ($Z_{DDV}(t)$). A tényleges kopásmélység ($w_{DDV}(t)$) az aktuális intenzitásból ($Z_{DDV}(t)$) és a kezdeti intenzitásból (Z_0) határozható meg. [9]

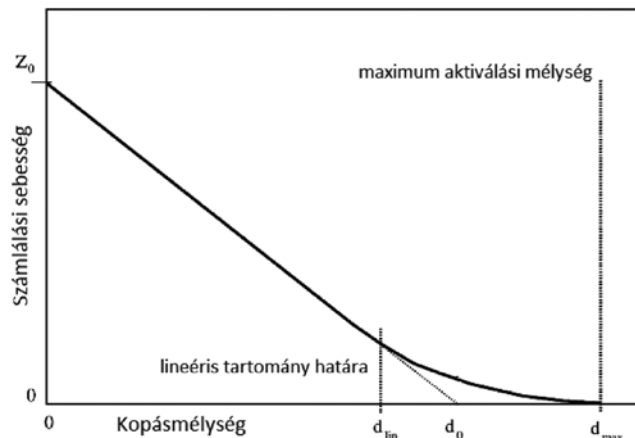
Ez a viszony csak a lineáris szakasz határáig érvényes. Az intenzitás és kopásmélység közötti összefüggés (2): [9]

$$W_{DDV}(t) = \frac{d_0}{Z_0} \left[(Z_0 - U_r) - (W_{DDV}(t) - U_r) \cdot e^{\left(\ln 2 \frac{t}{T_{hwc}}\right)} \right] \quad (2)$$

ALKATRÉSZEK AKTIVÁLÁSA

Annak érdekében, hogy a kopásmérés elvégezhető legyen, a vizsgálandó alkatrészeket aktiválni kell, és rendelkezni kell egy γ -sugárzás mérésére alkalmas érzékelővel, amellyel az izotóp-állandók a kopás mértékével kapcsolatba hozhatók.

Alapvetően három eljárás áll rendelkezésre a szükséges aktiválás elvégzéséhez:



7. ábra: lineáris tartomány ábrázolása az aktivált alkatrészben

- Reaktorban (Preda, 1962; Chisu and Szabo, 1967) lassú neutronokkal történik az aktiválás.
- Ciklotronban (Gervé, 1972; Conlon, 1979, 1985; Jetly, 1982) egy úgynevezett vékonyréteg-aktiválás történik, ahol is töltött részecskéket használnak fel. [12], [23], [24]
- Az ezredfordulóig egy alternatív, úgynevezett ionbeültetési eljárást fejlesztettek ki, amellyel nem fémes anyagok aktiválhatók. [21]

A reaktorban, valamint a ciklotronban történő aktiválás során, az anyagban lejátszódó magreakciók, a következő egyenlettel (3) jellemezhetők: [9]

$$N(a, b)N^*, \quad (3)$$

N	kiinduló elem [μm]
b	reakció során az atommagból kilépő részecske
a	besugárzott részecske [mg]
N^*	keletkezett nuklid

Az irodalomban találunk utalásokat további aktiválási lehetőségekre, mint például radioactive marker insert method, radioactive marker melting method stb.

A következő fejezetben a leggyakrabban alkalmazott aktiválási eljárásokat mutatjuk be részletesen, valamint röviden ismertetünk további lehetőségeket.

Neutronnal történő aktiválás

Egy alkatrész neutronnal történő aktiválása során az aktiválandó területet termikus neutronnal sugározzák be. A lejátszódó magreakció többnyire (n, γ). A termikus neutron energiája 0,025eV. Az alkatrész aktivitása egyebek között a tömegtől függ. Nagyobb alkatrészeknél olyan mértékű aktivitás érhető el, amely különleges védőintézkedések nélkül többé már nem alkalmazható. Ennek köszönhetően, ezt az aktiválási eljárást csak kisméretű motoralkatrészek esetében alkalmazható. A neutronnal történő aktiválás többnyire a leggyakoribb módszer, azonban a magas aktivitásnál, a szükséges óvintézkedések és biztonsági berendezések ezt az anyagi előnyt könnyen felemészthetik. [9], [42]

Töltött részecskékkel történő aktiválás (vékonyréteg-aktiválás TLA)

A töltött részecskékkel történő aktiválás ciklotronban vagy részecskegyorsítóban történik, és nagy előnye, hogy csak azok a területek kerülnek aktiválásra, ahol a kopás létrejön (nuklidtól és az anyagtól függően a maximális aktiválási mélység: kb. 10–500 μm). Ez annak köszönhető, hogy a töltött részecskék mozgási energiájukat gyorsan elvesztik. A részecskék behatolási mélysége függ a részecske



ELEM	NUKLEÁRIS REAKCIÓ	GYAKORISÁG (%)	FELEZÉSI IDŐ (nap)	GAMMASUGÁRZÁS (keV) INTENZITÁS (%)	AKTIVÁLÁSI VASTAGSÁG (μm)	KELETKEZŐ TOVÁBBI NUKLIDOK	MUNKÁIDŐ (nap)
Al	$^{27}\text{Al}(\text{He}_3, 2\alpha)^{22}\text{Na}$	100	9.5×10^3	1278(100)	300	^{22}Na , ^{26}Al	>365
Ti	$^{48}\text{Ti}(\text{d}, 2\text{n})^{48}\text{V}$	73.56	16	945(10)	220	^{46}Sc , ^{48}Sc , ^{47}V	60
	$^{48}\text{Ti}(\text{d}, \text{n})^{48}\text{V}$	73.56	16	983(100)	370	V	60
				1312(57)		^{47}V	
V	$^{51}\text{V}(\text{p}, \text{n})^{51}\text{Cr}$	99.75	27.8	320(9)	320		90
Cr	$^{52}\text{Cr}(\text{d}, 2\text{n})^{52}\text{Mn}$	89.76	5.2	741(82) 935(84) 1434(100)	120	^{51}Cr , ^{54}Mn	30
Cu	$^{65}\text{Cu}(\text{d}, 2\text{n})^{65}\text{Zn}$	30.9	245	1115(49)	130	^{63}Zn	365
	$^{65}\text{Cu}(\text{d}, 2\text{n})^{65}\text{Zn}$	30.9	245	1115(49)	270		365
Fe	$^{56}\text{Fe}(\text{p}, \text{n})^{56}\text{Co}$	91.68	77.4	847(100) 1040(15) 1240(66)	240		300
	$^{56}\text{Fe}(\text{d}, 2\text{n})^{56}\text{Co}$	91.68	77.3	1240(66)	100	^{57}Co , ^{52}Mn , ^{54}Mn	300
	$^{56}\text{Fe}(\text{d}, \text{n})^{57}\text{Co}$	91.68	270	122.(85)	70	^{52}Mn , ^{54}Mn	600
Ag	$^{109}\text{Ag}(\text{d}, 2\text{n})^{109}\text{Cd}$	48.65	453	88(95)	50	^{107}Cd	600
Sn	$^{124}\text{Sn}(\text{d}, \text{n})^{124}\text{Sb}$	5.38	61	603(97)	100	^{120}Sb , ^{122}Sb	180

1. táblázat: aktiválási lehetőségek [22]

kék energiájától, valamint az anyag tulajdonságától. A különböző részecskeenergiával történő aktiválás a behatolás mélységét, és ezzel az aktiválás mélységét is befolyásolja. A kopásmérés számára azonban nem a maximális behatolási mélység, hanem a létrehozott aktivitás lineáris lefutása a döntő jelentőségű. Csak így biztosítható, hogy ebben a kb. 10–500 μm tartományban az aktivitás homogén eloszlású legyen. [9], [12], [22], [26]

A vékonyréteg-aktiválásnál nemcsak a teljes felületet aktiválják, hanem azokat a vizsgálandó területeket, amelyek a mérés szempontjából érdekesek. Ebből következően a felület függetlenül az alkatrész nagyságától a kiválasztott területeken vékony rétegben aktiválható. Természetesen a kiválasztott helyek, a sugár számára elérhetőek kell, hogy legyenek, azaz láthatóak kell, hogy legyenek. [9]

Azoknál a részecskéknél, amelyekkel a vizsgálandó felületeket besugározzák, a kiinduló és a létrehozott nuklidtól függően protonról, deuteronról és α-részecskéről beszélhetünk. A nagy mozgási energiával az atommagba behatoló részecskék az atommagot instabil köztes állapotba hozzák, amelyek ezután érzékelhető sugárzás kibocsátásának formájában stabil állapotba mennek át. [9], [12]

Mind a vékonyréteg-, mind a reaktorban történő aktiválás során kb. 0,5–100 MBq aktivitást hoznak létre. Az alsó határt a mérés szükséges pontossága, míg a felső határt a sugárvédelem és az aktiválási költség határozzák meg. Az aktiválás során figyelembe veendő paraméterek az olajmennyiség, a vizsgálat időtartama és az elvárt kopás mértéke. Különös jelentőséggel bír a mérőnuklid kiválasztása, mivel a különböző mérőnuklidok jelentősen eltérő tulajdonságokat (detektor érzékenysége) mutatnak. [9]

Annak érdekében, hogy az aktiválás során lejátszódó folyamatokat jobban megérthessük, két példa kerül bemutatásra.

Az aktiválás szempontjából fontos, hogy az aktiválandó felületeket és az elvárt kopásmélységet meghatározzuk, valamint hogy az anyagösszetételben egy lehetséges mérőnuklidot találjunk.

Ezen a ponton mindig felvetődik a kérdés, milyen sugárral (α-részecske, proton, deuteron) milyen nuklid hozható létre az anyagból.

Példa 1:

A vanádiumbevonattal rendelkező láncsapokból Cr-51 hozható létre. Az aktiválás során lejátszódó magreakció:



A vanádium atommagot protonnal sugározzák be. Az atommag átalakulása során az atommag neutront bocsát ki. A visszamaradt elem a króm, amelynek a relatív atomtömege 51.

Ha kétkomponenses mérést végzünk, akkor fontos, hogy egy másik mérőnuklidot is létrehozzunk az anyagból.

Példa 2:

Az acél láncselemből, amelynek legnagyobb része vas, többek között Co-56 vagy Co-57 hozható létre. Költségszemponatok miatt elsősorban Co-56-ot hoznak létre. Az aktiválás során lejátszódó magreakció:



A vas atommagot protonnal sugározzák be. A magátalakulás során az atommag neutront bocsát ki. A visszamaradt elem a kobalt, amelynek relatív atomtömege 56. A Co-57 más besugárzási energia mellett keletkezik, illetve diszkrét anyagmennyiségekben.

Beültetéses aktiválás

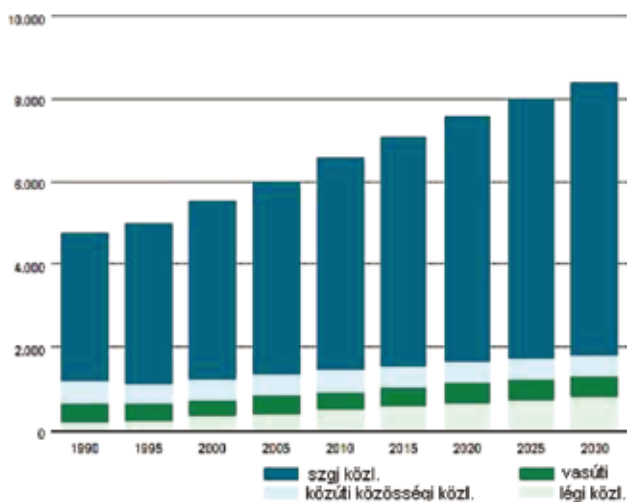
Szintetikus anyagok aktiválása a fent említett aktiválási módokkal szembeni nagy érzékenységek miatt csak bizonyos esetekben és csak korlátozott feltételek mellett lehetséges. [21]

A karlsruhei Magkutató Intézet (KfK) a Kurchatov Intézettel közösen kifejlesztett egy módszert, amelynek segítségével radioaktív ionok közvetlenül az alkatrészek felületébe ültethetők be. Az ionsugár Be-7 ionból áll, amelynek felezési ideje 53 nap és gammaenergiája 478 keV. [21]

Az aktiválendő alkatrészbe bevitt ionok a következő magreakciót hozzák létre: $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$. Egy külső sugárból (B-10 ionok, amelynek energiája 6-10 MeV között lehet) egy hidrogénkonverterben Be-7 ionokat hoznak létre. Ezek azonos irányban haladnak, mint a fősugár. Az átalakító után a sugár egy abszorpciósűrűbe kerül, amely a B-10 ionokat felfogja, így az alkatrészt már csak a Be-7 ionok érik el. [21]

A rendszer továbbfejlesztésének köszönhetően elérték, hogy hőre lágyuló műanyagok, hőre keményedő műanyagok, elasztomerek és hasonló szintetikus anyagok a besugárzás hatására anyagkárosodás nélkül aktiválhatók. Ezzel az eljárással az alkatrészek (anyagminőségtől függően) kb. 20 μm mélységben aktiválhatóak. [21]

személyi közlekedés az EU-27-ben 2030-ig
milliárd kilométerben



8. ábra: várható személyforgalom az EU-27-ben 2030-ig [27]

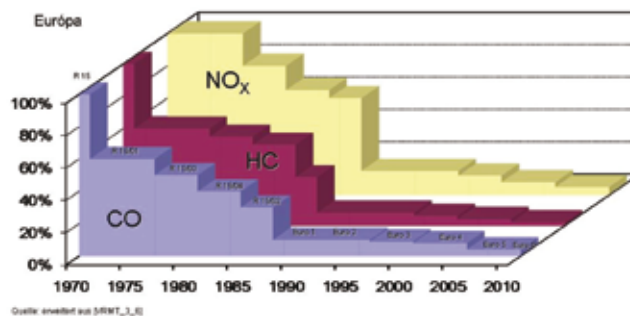
További lehetőségek az alkatrészek aktiválására

A további eljárásokat különleges alkalmazások esetében használják.

A radioaktív jelző olvasztó módszernél (radioactive marker melting method) a radioaktív pornak az olvadákkal történő gyors és jó keveredése szükséges. E célra először a nuklidokat (^{59}Fe ; ^{60}Co) egy kapszulába töltik, amelynek anyaga megegyezik a vizsgálandó anyaggal. A vizsgálatok szerint a tiszta keveredéshez a nuklidoknak vizsgálatoktól függően 40–60 s-ra van szükségük. [12]

Az elektrolitós lecsapatási módszernél (electrolytic deposition method) az elektródát radioaktív anyagból készítik. Az elektrolízis-

Szgj. károsanyagkibocsátás változása / Határérték



9. ábra: károsanyag-kibocsátás határértékeinek alakulása Európában [29]

nek köszönhetően Ag, Zn, Cr, Sn rakódik le a felületre. Ez a módszer jól alkalmazható a felületek kopásának meghatározására. [12]

A radioaktív cinkbevonat módszernél (radioactive zinc coating method) radioaktív cink 450 °C-on történő szublimálásáról van szó (szublimálás: szilárd halmazállapotú anyag melegítés hatására bekövetkező gázzá történő átalakulását jelenti, anélkül, hogy közben folyékony állapotot venne fel). A cink lerakódik a felületre. Az eljárás előnye az elektrolitós lerakódással szemben, hogy a próbaelőkészítési idő lecsökken (50 h-ról 3-4 h-ra). A legnagyobb hátránya, hogy különleges óvintézkedések és védőfelszerelések szükségesek a munkához. [12]

BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK TRIBOLÓGIÁJA

A belső égésű motorokkal szemben támasztott követelmények

A mobilitás és a közlekedés a fő jellemzője a modern társadalomnak és a gazdasági fejlődésnek. A mobilitással szemben támasztott követelmények olyan sokrétűek, mint az ember maga. A fő fejlődési irányok: urbanizáció, növekvő mobilitás a fejlődő országok nemzetgazdaságában, a szállított áruk mennyiségének rohamos növekedése és a különböző szállítási módok hálózatba rendezése. Az iparosodás óta a járművek fejlesztése ezért mindig is szorosan összefügg az új technikai megoldásokkal és technológiákkal.

A saját járművel történő egyéni személyi közlekedés továbbra is az első helyen szerepel (lásd 8. ábra). [27]

A világban forgalomban lévő járműveknek és mozgó munkagépeknek a száma ugyancsak növekvő tendenciát mutat, és már a milliárdos határt is átlépte. Az évente forgalomba hozott járművek száma a világgazdasági problémák ellenére eléri a 100 milliót. [28]

Erre a fejlődésre való tekintettel felvetődik az a kérdés, meddig tartható fenn ez a fejlődési tendencia:

- Milyen mértékben terhelik a járművek a környezetünket?
- Mennyi ideig elegendőek még a rendelkezésre álló (hagyományos) üzemanyagkészletek?

A környezetpolitika válasza ezekre a kérdésekre mindig egyértelmű: az autópárnak az elmúlt két évtizedben az egyre szigorodó

KLIMAGAS	TONNA	ÁTVÁLTÁSI TÉNYEZŐ	TONNA	RÉSZARÁNY
szén-dioxid (CO_2)	858 000 000	1	858 000 000	87,4%
metángáz (CH_4)	2 885 000	23	66 335 000	6,8%
kéjgáz (N_2O)	194 000	296	57 424 000	5,8%
összeg (CO_2 -bez.)			981 779 000	100%

2. táblázat: mért és átszámolt üvegházhatású gázok mennyisége Németországban (2001)

nemzeti és nemzetközi normáknak megfelelő járműveket kellett a piacra vinni, lásd **9. ábra**.

A károsanyag-kibocsátás radikális csökkentése mellett a kilencvenes években egy új szempont is a figyelem szempontjába került, miután az úgynevezett klímagázokat tették felelőssé az éghajlat változásáért.

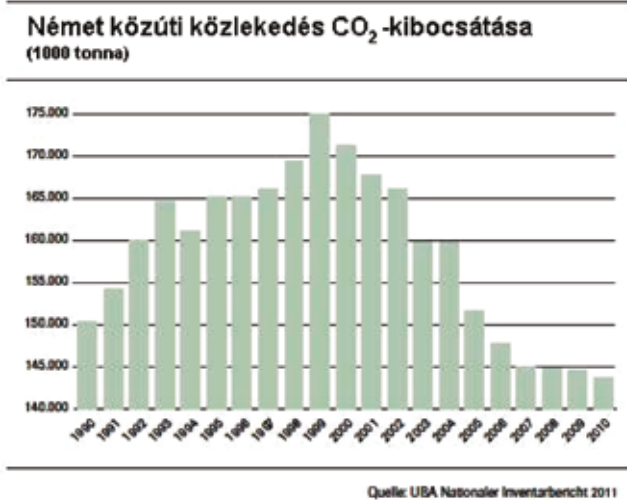
Az 1994-es kiotói konferencia meghatározta a klímagázok körét, és egyúttal meghatározták az átszámítási együtthatókat is.

Az európai autógyártók azonnal reagáltak az új kihívásokra. Egy önkéntes kötelezettségvállalás keretében megállapodtak, hogy a járművek úgynevezett flottafigyeltetését fokozatosan csökkentve a CO₂-kibocsátás értékét 2008-ig 140 g/km értékre csökkentik.

A kezdeti kedvező tendenciák után 2002-től kezdve a fejlődés mértéke egyre inkább elmaradt a célkitűzésektől.

2009-ben az Európai Bizottság rendeletben szabályozta a személygépkocsik, majd 2011-ben a 3,5 t alatti könnyű haszonjárművek CO₂-kibocsátását. [27]

- Személygépkocsik esetében valamennyi gyártó és importőr számára 2015-ig előírták az átlagos flottakibocsátás 130 g CO₂/km értékre történő csökkentését. 2020-ig a határérték szintjét 95 g CO₂/km-ben rögzítették.
- A könnyű haszongépjárművek esetében a megfelelő határértékszintek: 175 g CO₂/km 2015-ig és 147 g CO₂/km 2020-ig. A rendelet a fokozatos bevezetés elvére épül (Phasing-in). Ez azt jelenti, hogy a határértéket fokozatosan kell megközelíteni [27]
- SZGK: 2012-től az új gépkocsiflotta 65%-ának, 2013-tól 75%-



10. ábra: német közúti forgalom CO₂-kibocsátásának alakulása [27]

ának, 2014-től 80%-ának, végül 2015-től a flotta 100%-ának figyelembevétele.

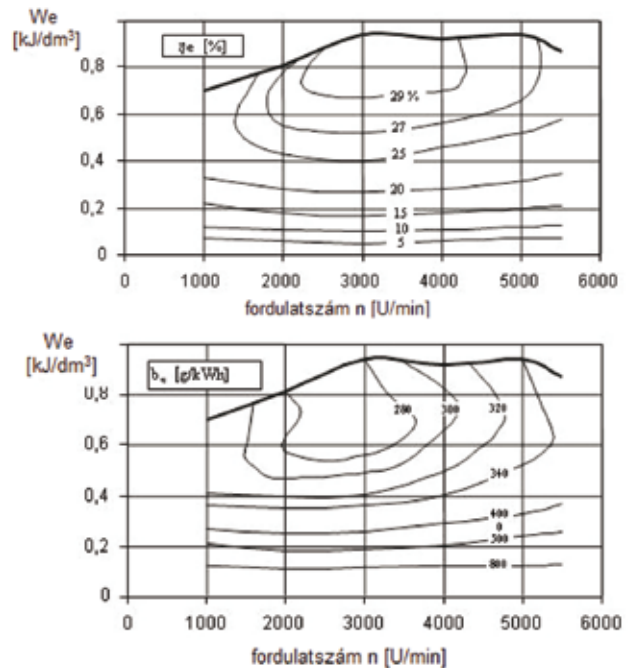
- Könnyű haszongépjárművek: 2014-től a flotta 70%-ának kell a határértékeket teljesíteni, 2015-ben 75%-ának, 2016-ban 80%-ának, 2017-től pedig 100%-ának.

CO₂- és sűrűdás-csökkentés

Technikai megoldások a CO₂-kibocsátás csökkentésére CO₂ az üzemanyag égése során keletkezik az égésterben: [34]

$$m_{CO_2} = \frac{(0,82 \cdot m_{Tüa} \cdot 0,29 \cdot CO - 0,866 \cdot HC)}{0,273}, \quad (6)$$

m_{CO_2} az égés során keletkezett CO₂ tömege
 CO kibocsátási érték, kipufogógázban mért
 $m_{Krst.}$ az elégett üzemanyag tömege
 HC kibocsátási érték, kipufogógázban mért



11. ábra: egy benzinmotor hatásfokának és fogyasztásának jellemzője [31]

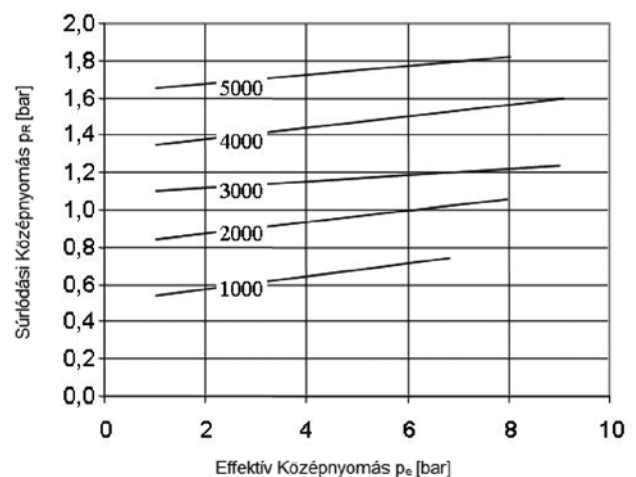
Ebből látható, hogy a CO₂-kibocsátás csökkentése a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésével valósítható meg.

Motoroldalról a következő intézkedésekkel lehet üzemanyag-fogyasztás-csökkentést megvalósítani:

- Downsizing (a hengertérfogat csökkentése)
- Változtatható szeleplevezérlés
- Hengerlekapcsolás
- Thermomenedzsment
- Szabályozott olajszivattyú
- Stop-Start automatika.

Hogy milyen sikeresen lehet ezt a gyakorlatba átültetni, azt a **10. ábra** mutatja Németország vonatkozásában. Az új járművek forgalomba helyezésének, az újonnan fejlesztett, hatékonyabb motorok és a következtetes súlycsökkentésnek köszönhetően összességében a CO₂-kibocsátást csökkentették. [27]

A továbbiakban a motoroldali megtakarítási potenciálokra koncentrálnunk.



12. ábra: mért sűrűdési középnyomás a terhelés és fordulatszám függvényében [32]

A **11. ábra** egy benzinmotor hatásfokát és fogyasztásának jelleggörbéit mutatja.

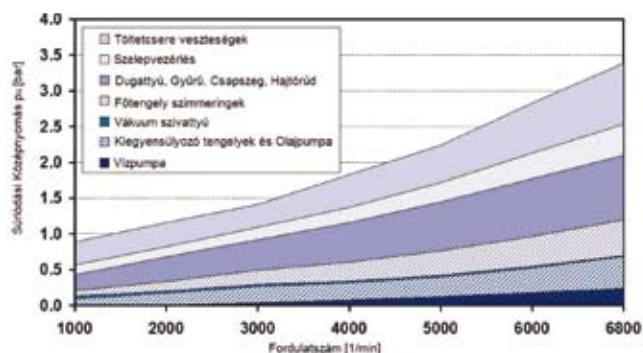
Felismerhető, hogy részterhelésnél, amelyben a modern belső égésű motorok többnyire üzemelnek, a gazdaságosság drasztikusan csökken. Ennek fő oka a mechanikai veszteségek értéke, melyet a motor mozgó alkatrészei között fellépő súrlódás, valamint a segédberendezések (víz-, olaj-, tüzelőanyag- és vákuumszivattyú), hajtásának teljesítményszükséglete határoz meg. [31]

A mechanikai veszteségek nagyságát kevésbé a terhelés (effektív középnyomás), mint inkább a fordulatszám értéke befolyásolja, lásd **12. ábra**. [32]

Motor: V Lököt: 1.3 Liter, $\varepsilon=8,2$, hengerek száma: 4, löket/furat: 0,96, paraméter: fordulatszám

A **13. ábra**, az egyes részegységek mechanikai veszteségének arányát mutatja.

Motorüzemben a forgattyús mechanizmus (főtengely, hajtórúd, dugattyú, dugattyúgyűrű, kiegyenlítőtengely) és a szelepvezérlés elemei felelősek elsősorban a súrlódási veszteségekért.



13. ábra: az egyes részegységek mechanikus veszteségének aránya [33]

A súrlódásnak két szempontból is nagy jelentősége van:

- A súrlódás következtében súrlódási veszteség keletkezik, amely a hatásfokot csökkenti
- A súrlódás során keletkező erő és hő a két érintkező felület között károsodási folyamatokat (kopás) indít el, amely az alkatrész működési képességét negatívan befolyásolja.

Technikai megoldások a motorban található tribológiai rendszerek optimalizására

A motorban üzem során a forgattyús hajtás egyes elemein és a dugattyúcsoponton, a szelepvezérlésen, a lánc- vagy szíjhajtáson és a segédberendezéseken, mint például vízszivattyú, olajszivattyú, generátor stb. mechanikai veszteség lép fel.

A hatásfok javításának hatékony módja ezen veszteségek következetes, módszeres csökkentése.

a) A forgattyús mechanizmus súrlódási veszteségének csökkentése

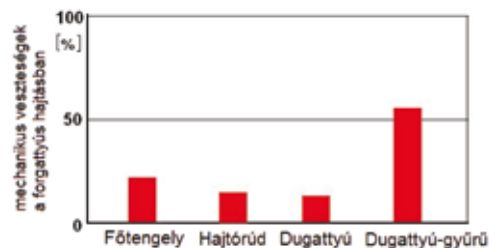
A motor súrlódási veszteségének túlnyomó részét a forgattyús hajtómű szolgáltatja. A hajtómű egyes elemei (dugattyú, dugattyúgyűrűk, hajtórúd, forgattyús tengely) által okozott veszteségek százalékos megoszlását a 14. ábra mutatja. [53]

A dugattyú, dugattyúgyűrű-hengerfal tribológiai rendszere

A tribológiai rendszer különleges problémája, hogy egyszerre több körülménynek is meg kell felelnie.

Megvezetés:

A dugattyú a hengerfuratban, a gáz- és tömegerők hatására egyenes vonalú alternáló mozgást végez, miközben az érintkezési felületeket változó nagyságú normálerők (FN) terhelik.



14. ábra: mechanikus veszteség eloszlása a forgattyús hajtásban [53]

Tömítés:

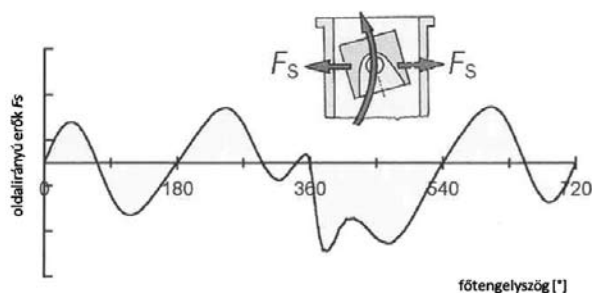
A dugattyúgyűrű feladata az égéstér tömítése, miközben a gyűrű hengerfalon axiális irányú (úgynevezett primer) a gyűrűhorony lapfelülete pedig radiális irányú (úgynevezett szekunder) csúszó, tehát súrlódást kiváltó mozgást végez.

Hőelvezetés:

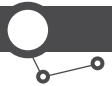
A dugattyúgyűrűk feladata, hogy a dugattyú túlmelegedésének megakadályozása érdekében a dugattyúba fellépő hőmennyiség egy részét a hűtött hengerfalon keresztül elvezesse. Az olajfilm a két alkatrész közötti hőátadásban döntő szerepet játszik.

Az olajháztartás szabályozása

A dugattyúgyűrűk feladata, hogy a dugattyúcsoport és a hengerfal közötti súrlódó erők csökkentése érdekében egy vékony, de összefüggő olajfilmről gondoskodjon, másrészt a felesleges olajmennyiséget a henger felületéről eltávolítsa.



15. ábra: oldalirányú erők alakulása egy négyütemű motornál [54]



Dugattyú-hengerfal

A dugattyú és hengerfal közötti súrlódási feltételeket elsősorban a mikro és makro geometriai paraméterek (érdesség, a dugattyú és a henger alakja), a pillanatnyi terhelések (oldalirányú- vagy normál erő), a sebesség, valamint az alkalmazott kenőolaj hőmérséklettől is függő tulajdonságai határozzák meg.

Az oldalirányú erők hatására a dugattyú a hengerfuratban a hengerfurat tengelyére merőleges irányba másodlagos (haladó és billenő) mozgást végez. [57]

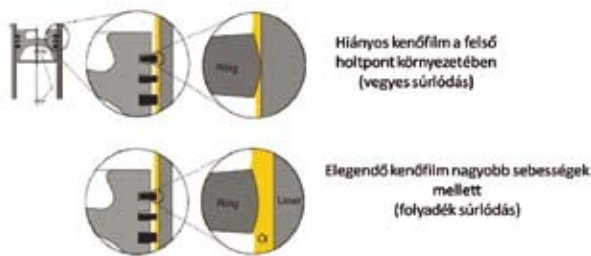
A tényleges terhelt hordfelület szélessége viszonylag szűk sávra korlátozódik. A súrlódási veszteségek csökkentése érdekében a nagyfordulatú Otto-motorok dugattyúinál a dugattyúszár szélességét jelentős mértékben lecsökkentik, lásd **15. ábra**.

A nagyterhelésű dízelmotorok esetében ez az intézkedés szilárdsági problémák miatt nem alkalmazható.

Dugattyúgyűrű-hengerfal

A dugattyúgyűrű-hengerfal rendszer nemcsak a nagy súrlódási résarány miatt (több mint 50%), amely a fordulatszámtól, hőmérséklettől és terheléstől függően változik, hanem a motor élettartamára kifejtett hatása miatt is jelentős.

A dugattyú oszcilláló mozgása miatt a gyűrűk a felső, valamint az alsó holtpont környezetében a kedvezőtlen vegyes súrlódásnak megfelelő feltételek mellett dolgoznak, lásd **16. ábra**.

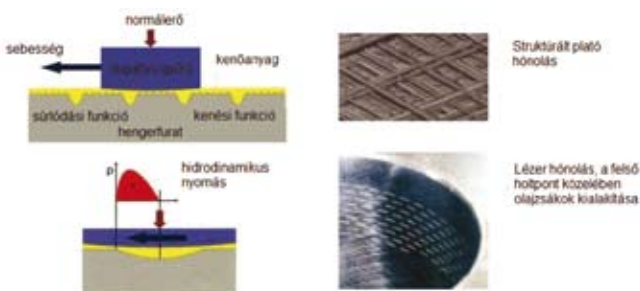


16. ábra: tipikus kenési állapotok a különböző dugattyúpozíciókban [34]

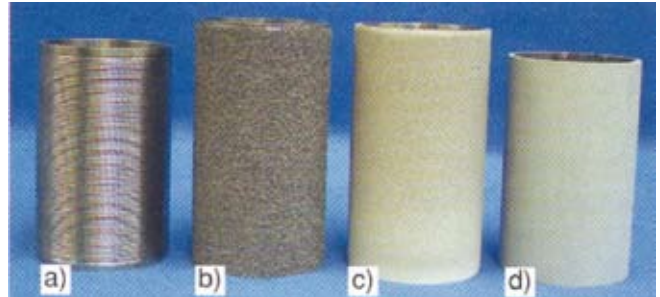
A holtpontok környezetében kialakuló kedvezőtlen kinematikai feltételek ellenére elvárt, hogy a hosszú élettartamot biztosítsuk, egyrészt a különböző hengeranyagoknál különleges megmunkálási technológiákat kell alkalmazni, ezáltal a kritikus területeken elegendő olajtartó képesség érhető el, másrészt a gyűrűket jellegzetes geometriával és bevonatokkal kell ellátni.

Az öntöttvas hengerek esetében kétfokozatú úgynevezett platóhórlást alkalmaznak, esetenként a felső holtpont környezetében lézerhórlással kiegészítve. Így biztosítható a felület kielégítő olajtároló képessége a megfelelő struktúrájú hordfelület mellett, lásd **17. ábra**.

Az utóbbi 20 esztendőben a súrlódás csökkentése érdekében megfigyelhető az érdességi paraméterek tendenciózus csökkenése.



17. ábra: különböző felületi szerkezetek alkalmazása szürkeöntvény hengerfalakon [51]



18. ábra: hengerperselyek [52] a) szürkeöntvény, b), c) hibrid, d) Al-Si

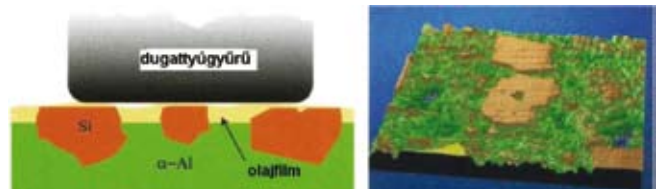
A törekvések során, az üzemanyag-fogyasztás, valamint a CO₂-kibocsátás csökkentése miatt, könnyűfém hengertömböket alkalmaznak. A kopásállóbb üzem számára különleges hengerperselyeket használnak, lásd **18. ábra**.

Egy másik lehetőség az úgynevezett primér szilíciumkristályoknak a feltárása. Ennél az eljárásnál a finomhórlás után a szilíciumkristályok között az alumínium mátrixot 1-2 µm mélységben eltávolítják. Ily módon a felület olajtároló képessége javítható, és a szabadabbá vált kemény szilíciumkristályok egy kopásálló felületi szerkezetet képeznek. [56]

A feltárás elektrokémiai vagy mechanikus úton hórlással történik, lásd **19. ábra**.

A dugattyúgyűrűknek összetett feladatot kell teljesíteni: a nagy nyomású hengertér tömítését, dugattyú felől a hűtött hengerfal irányába történő hőelvezetést és az olajellátás szabályozását. Ezeknek a feladatoknak a teljesítése csak különböző módon kialakított dugattyúgyűrűkkel lehetséges.

Mivel a gyűrűk száma és az érintkező felületek nagysága nagymértékben befolyásolja a súrlódási veszteségeket, az utóbbi évtizedekben egyértelműen megfigyelhetők a következő tendenciák:



19. ábra: kenőrendszer modellje (balra: szabadabbá vált hipereutektikus AlSi hengerfelület topográfiája)

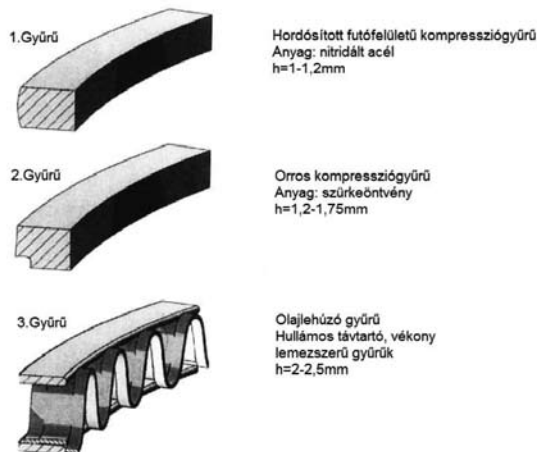
- A dugattyúgyűrűk számának a csökkentése
 - A gyűrű magasságának a csökkentése
- Egy Otto-motor jellegzetes gyűrűkészletét mutatja be a **20. ábra**.

A csökkentett érintkezési felületeken nagy terhelések alakulnak ki, amelyek csak különleges kopásálló bevonattal kompenzálhatók. A futófelületre különböző védőbevonatokat hordanak fel: króm, króm-kerámia, króm-gyémánt, molibdén- és PVD-bevonat.

Főtengely fő- és hajtórúdcsapágypályái

A fő- és hajtórúdcsapágypályákat gáz- és tömegerők terhelik. Hagyományosan vékony falú hidrodinamikus siklócsapágypályákat használnak. A csapágypályák egy sor különböző, egymásnak esetenként ellentmondó követelménynek kell megfelelniük. A csapágypályák nagy mechanikai szilárdsága és a „beágyazódóképesség” például egymástól eltérő anyagjellemzőket feltételeznek. A probléma megoldására többféle csapágypályát alkalmaznak, lásd **21. ábra**.

A nagy teljesítményű járműmotorokban fellépő igénybevételeknek a többféle konstrukcióval és célirányos anyagkompozitok alkalmazásával általában meg lehetett felelni.



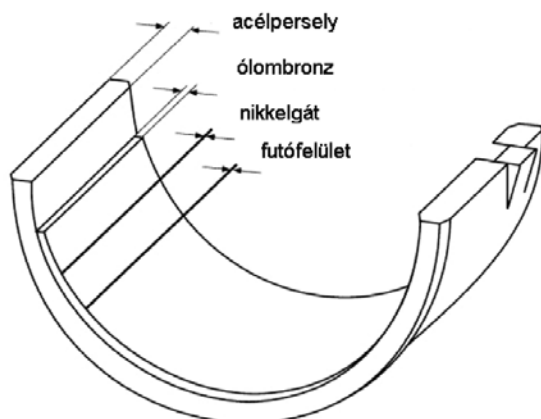
20. ábra: egy modern benzinmotor tipikus dugattyúgyűrűi [55]

A problémát jelenleg az okozza, hogy a 2000/53/EG EU-rendelet előírja az ólomtartalmú komponensek fokozatos korlátozását.

Az ólommentes csapágyanyagok fejlesztése és bevezetése különböző okok miatt problémás, legalábbis technikailag nehéz:

- Az ólom esetében egy olyan összetevőről kell lemondani, melynek alkalmazásával a csapágy szükségfutási jellemzői és a beágyazóképessége eddig különösen kedvezően volt befolyásolható.
- Az ólom kiváltását akkor kell megvalósítani, amikor a motorcsapágyak terhelése a CO_2 -kibocsátás csökkentése érdekében bevezetett intézkedések következtében (downsizing) növekedni fog.
- A könnyűszerkezeti anyagok alkalmazása a modern, kompakt motorszerkezetekben nagyobb mértékű alakváltozásokat okozhatnak, amelyeket kisebb méretű csapágyaknak kell felvenni.
- A motorban alkalmazott kenőolaj mennyiségének csökkentése, az olaj viszkozitásának csökkentése (könnyű futást biztosító olajok), valamint az olajcsere-periódus meghosszabbítása a csapágy üzemi viszonyait negatívan befolyásolhatja.
- A fogyasztás csökkentése érdekében bevezetett Start-Stop rendszer a megsokszorozódott indítási folyamatok eredményeképpen járulékos igénybevételt okoz összességében meghosszabbodott vegyes súrlódásfázis mellett.

Tekintélyes csapágygyártóknál már évek óta intenzív kutatási



21. ábra: csapágy elvi felépítése [53]

és fejlesztési munka folyik a motorcsapágyak ólomtartalmának csökkentése és az ólom elkerülése érdekében. Egy jellemző példája ezen törekvéseknek a Federal Mogul G-188-as csapágya, lásd **22. ábra**.

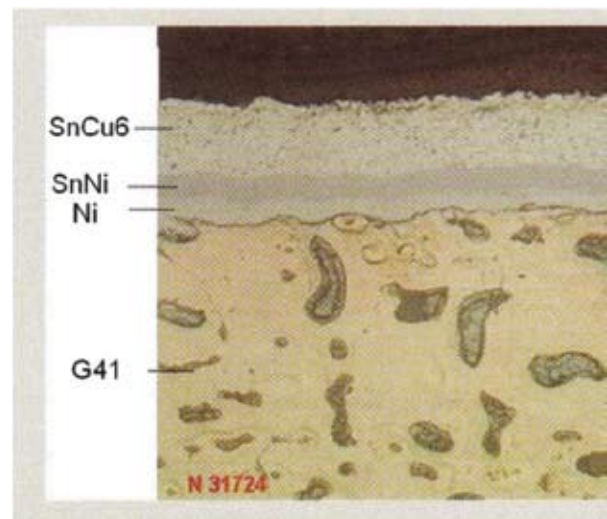
Úgy tűnik, hogy a jelenlegi siklócsapágy-konstrukciókkal és anyagkombinációkkal a súrlódáscsökkentés technikai és technológiai lehetőségeit kimerítettük.

Ahol a terhelések és a beépítési feltételek engedik, a siklócsapágyakat görgőscsapágyakkal helyettesíthetjük. Ezzel a súrlódási veszteségek jelentős mértékben csökkenthetők, lásd **23. ábra**

b) Szelepezérlés súrlódási vesztesége

A járműmotorokban különböző szelepezérlési elrendezési változatokat használnak. A **24. ábra** áttekintést ad a különböző elrendezési formákról.

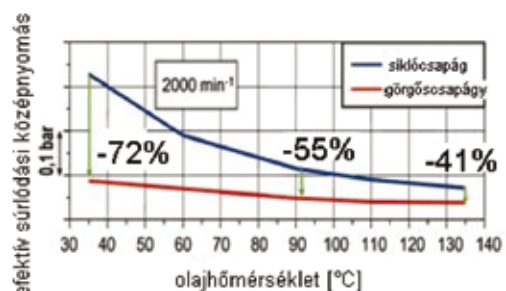
Az egyes változatoknál mind a vezérműtengely- és himbacsapágyazásban, mind a bütyök és a vele együttműködő modul között csúszó és gördülő érintkezés is megvalósítható.



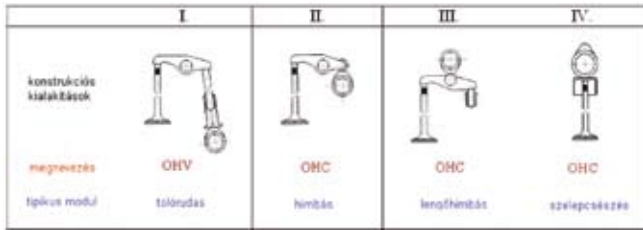
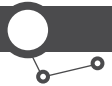
- Schicht: acélpersely
- Schicht: bronzöntvény G41
- Schicht: nikkel
- Schicht: cinn és nikkelgát
- Schicht: futófelület cinből, beágyazott kemény cinn-réz részecskével (SnCu40)

22. ábra: siklócsapágy felépítése (Federal Mogul) [58]

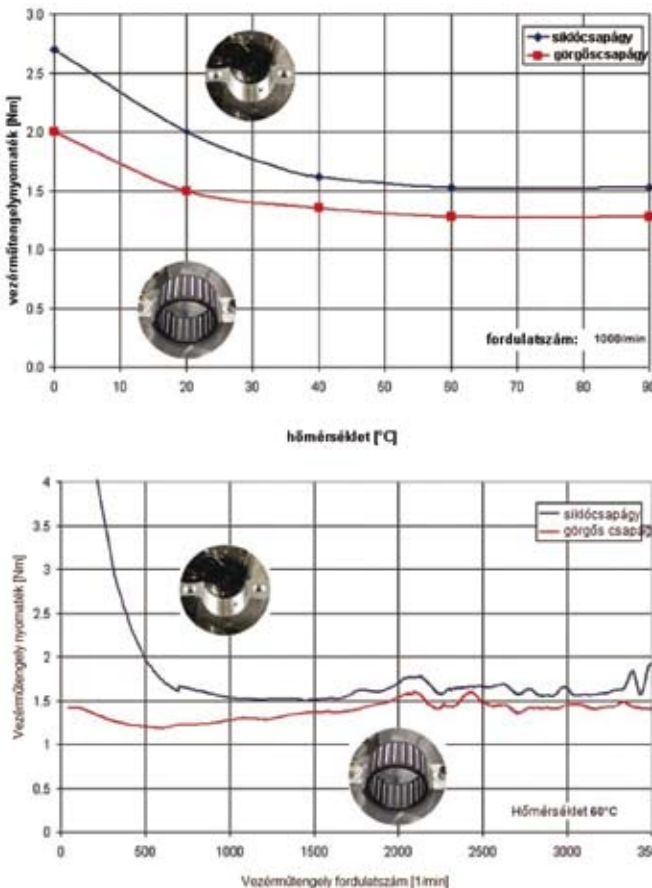
A súrlódási veszteségek csökkentése a mozgó alkatrészek tömegének csökkentésével és a csúszó súrlódás helyett görgős átviteli modulok alkalmazásával valósítható meg, lásd **25. ábra**.



23. ábra: súrlódási veszteség csökkentése görgőscsapágy alkalmazásával [35]



24. ábra: szelepvezérlés-elrendezések [31]



25. ábra: vezérműtengely hajtónyomatékának csökkentése gördülőcsapágy alkalmazásával [36]

ÁTTEKINTÉS A RADIONUKLEÁCIÓS TECHNIKA BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROKON TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEIRŐL

Az RNT-módszer többek között a dugattyúgyűrűn, a hengerfalon, fő- és hajtórúdcsapágyon, a vezérműtengely bütyökfelületén, a vezérműláncban stb. fellépő kopás meghatározására használható. [16]-[18], [24], [38]-[41], [44], [45], [50]

Katzenmeier az RNT segítségével, a siklócsapágyak kopását mérte, a kopást befolyásoló felületi érdességnek és az érintkező felületek anyaggárosításának a hatását vizsgálta statikus és dinamikus terhelés alatt. A mérések eredményei a kopás- és bejáratus viselkedéséről adnak információt. Feltételeket vezetett le a megengedett terhelést, ill. kenőrés nagyságát illetően, és megállapította, hogy ezekkel a feltételekkel a csapágy megfelelő bejáratusa és biztonságos üzeme szavatolható. [18]

Kehrwald és Gervé üzem közben vizsgálta a siklócsapágyakat folyamatos kopásmérés segítségével. Megállapították, hogy a tribomutató a későbbi kopásviselkedésre nagyobb hatással lehet, mint a tervezési szakaszban előre megadott felületi érdesség és legkisebb kenőrés. [39]

Tribomutató alatt azt az anyagváltozást értjük, amely a súrlódó érintkezés következtében a felületi tartományba bejutó, térben és időben megoszló energiameennyiség okoz. Tribomutató egyaránt megtalálható a gyártásban (végső megmunkálás), a bejáratus szakaszában és az üzemi működés ideje alatt is.

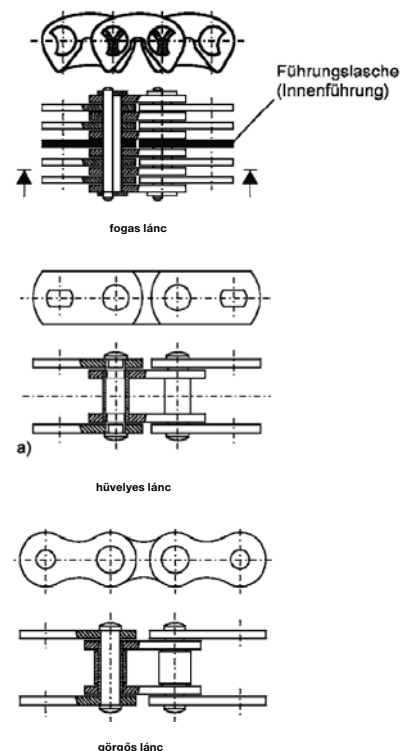
Kaiser egy hathengeres dízelmotoron vizsgálta az RNT segítségével a dugattyúcsoprt súrlódási veszteségeit. Munkája során különböző alakú és anyagú dugattyúgyűrűk és gyűrűhoronyok súrlódásra kifejtett hatásával foglalkozott. Az előbb felsorolt tényezők mellett a fordulatszám, terhelés és az olaj hőmérsékletének a hatását is vizsgálta. Megállapította, hogy a különböző anyaggárosítású dugattyúcsoprtnál () a kopási viselkedések között jelentős eltérés adódott. [17]

Volz a dízelmotor-dugattyú csoport számára egy bejáratusi programot optimalizált, amelyben a bejáratus feltételeinek (teljesítmény, fajlagos üzemanyag- és olajfogyasztás), a (dugattyúgyűrű-hengerfal) kopásra kifejtett hatásait tárta fel. [45]

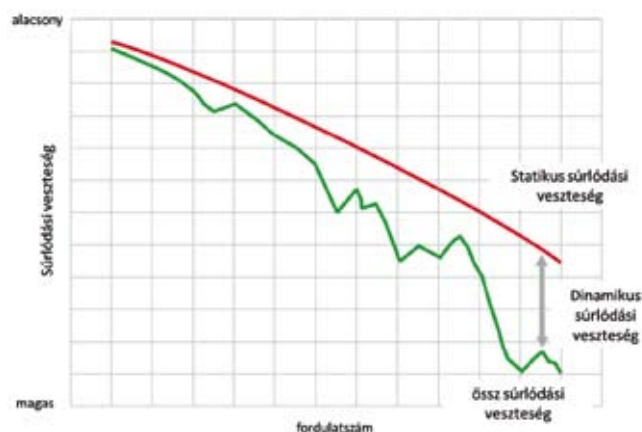
A VEZÉRMŰLÁNC KOPÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA RNT SEGÍTSÉGÉVEL

A lánc esetében, a súrlódás és kopás jelentős része az alkatrészek érintkezésében, a tribológiai partnerek között (fogas láncnál: láncsap és láncszem; görgős láncnál: görgő és a lánckerék; hüvelyes láncnál: hüvely és a lánckerék) keletkezik. További súrlódás található a lánckerék fogazata és a lánc kapcsolatánál, valamint a lánc és a láncvezetők között. A különböző lánc típusokat a **26. ábra** mutatja be.

Annak érdekében, hogy a láncsap és láncszem között, az érintkezésnél keletkező kopást – ami a láncnyúlásért felelős – a



26. ábra: lánc típusok [47]



27. ábra: láncajtás súrlódási vesztesége (statikus és dinamikus terhelés) [48]

radionukleációs technika segítségével meghatározzuk a tribológiai rendszer elemeit (láncsap, láncszem) aktiválni kell.

Mivel a belső égésű motorok vezérműlánc olajtérben dolgozik, a mérések során a szűrőkoncentrációs eljárást alkalmaztuk.

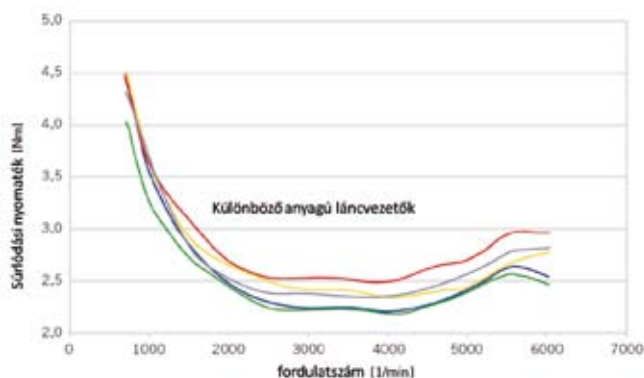
SÚRLÓDÁS ÉS KOPÁS ALAPJA, A TRIBOLÓGIAI RENDSZER BEMUTATÁSA

A láncajtás súrlódási veszteségének nagysága függ a terhelés módjától (statikus, dinamikus).

„A lánc elrendezése, az alkalmazott lánc típus, a láncvezetőknél alkalmazott anyagok, valamint a láncajtás kenése befolyásolhatják a statikus súrlódási veszteséget. A főtengelyről és szeleplevezérlésből származó gerjesztések, a láncfeszítő csillapítása, a láncajtás komponenseinek tömeg- és merevségi viszonyai, valamint a befecskendezőszivattyú fázishelyzete és a lánckerekek makrogeometriája főképp a súrlódási veszteség dinamikus részét befolyásolja.” [48]

Statikus és dinamikus terhelésből származó súrlódási veszteségeket ábrázol a **27. ábra** a motor fordulatszámának függvényében.

A különböző lánc típusok súrlódásának vizsgálatakor (strip-módszer) figyelembe kell venni, hogy a vezérműlánc vonala és a láncvezetőknél alkalmazott sugarak változatlanok maradjanak. Ha a láncvezető geometriájában eltérés van, akkor az közvetlen kihatással van a normálerőre, azon keresztül a felületek között kialakuló súrlódóerőre. [48]



28. ábra: láncvezető különböző anyagainak hatása a súrlódási viszonyokra [48]

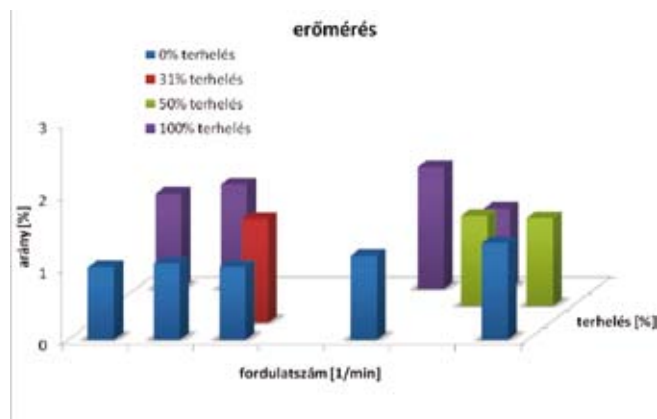
A láncsap bevonatolásával lehetőség nyílik a súrlódás- és kopásállóság javítására. Az IWIS kifejlesztett egy új eljárást (rég: IC-technológia, új: IC+-technológia), amellyel 10–20% javulás érhető el (mindkét eljárásnál a láncsapot krómkarbid (10–20 μm) bevonattal látják el). [48]

A láncszem megmunkálásának optimalizálásával (finomsajtol, utánvágott) lehetőség nyílik a súrlódási veszteség további csökkentésére. [48]

További tribológiai rendszer található a lánc és a láncvezetők között. Anyagként PA66-ot vagy PA46-ot alkalmaznak, amelyek fröccsöntéssel jó felületi minőségben állíthatók elő és mechanikai tulajdonságaik is jók. [48]

A piacon megtalálható anyagkombinációkat tesztelt az IWIS, és a súrlódási viselkedések közötti különbséget vizsgálta. Ezekben a kísérletekben a kenőviszonyoknak és az olajhőmérsékletnek a hatását mérték. Ha az érintkező alkatrészek (lánc és láncvezető) anyag kiválasztása megfelelő, akkor akár 10% súrlódás-veszteség-csökkenés érhető el. További lehetőség, amellyel a triborendszer befolyásolható, a láncvezetők topográfiájának optimalizálása. [48]

A súrlódás csökkentésének egy másik módja a láncgörbe optimális megtervezése. A tervezőnek kerülnie kell az erősen görbült láncvezetőket, ezáltal a normálerő csökkenthető. Ennek köszönhetően kisebb súrlódóerő adódik. Egy szimuláció segítségével a láncgörbe szerkezetét optimalizálták és a láncfeszítő geometriájának változásával, valamint az olajellátás egyidejű javításával a súrlódási veszteség akár 70%-os csökkentése is elérhető. [48]



29. ábra: láncerők (adott fordulatszámon különböző terhelés hatására fellépő min. és max. erő)

LÁNCERŐ MÉRÉSE

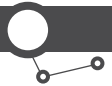
Ahogy fent említettük, a lánc súrlódás- és kopásviszonya a terheléstől függ. Ahhoz, hogy a terhelést meghatározzuk, a láncnó láncerőmérést végeztünk.

A láncerőt befolyásoló terhelések a főtengely lengéseiből és a vezérműtengelyen a szelepek működtetéséből származó nyomatékból származnak.

A mérések során a hidraulikus láncfeszítő elmozdulását, a láncfeszítőben kialakuló olajnyomást, valamint a vezetőelemek gyorsulását mértük és ezen adatokból határoztuk meg a feszítőelem csillapítását és a létrejövő normálerőt.

A vezetőelemen fellépő normálerő alapján a láncerő, a befolyásoló paraméterek figyelembevételével, egy MATLAB program segítségével számítható.

Az erők arányát a **29. ábra** mutatja be. A diagram, az adott fordulatszámon változó terhelés mellett fellépő minimum és ma-



ximum erőnek a viszonyát ábrázolja. Az erőminimum 1000 1/min fordulaton terheletlen állapot mellett jelentkezik.

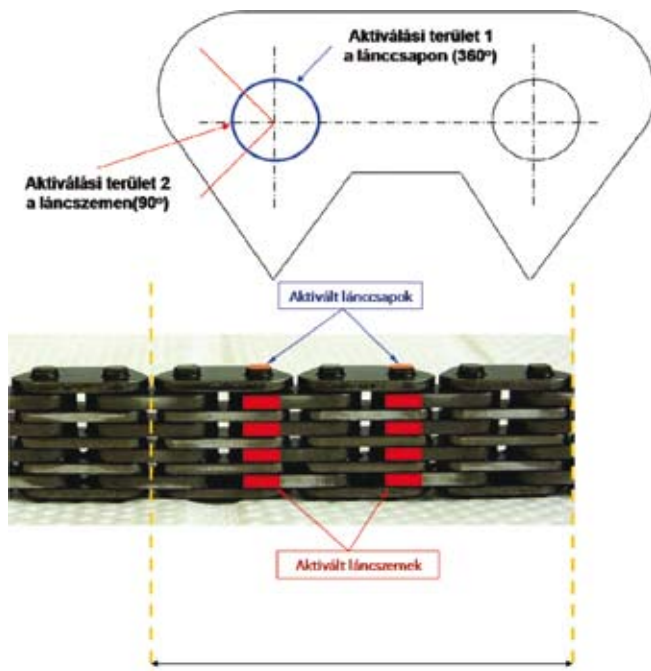
Értékelés a kopásmérés eredményei után adható, ahol a kopás-sebesség változását ábrázoljuk.

LÁNC ALKATRÉSZEINEK AKTIVÁLÁSA

Ahogy az előző fejezetben bemutatottuk, a láncajtásban több olyan triborendszer is található, ahol a lánc súrlódási vesztesége csökkenthető.

A következőekben bemutatásra kerülő kopásmérés során a lánc csap és láncszem közötti triborendszert vizsgáltuk. Ez a kopás a lánc valamennyi érintkezési pontján összegezve felelős a vezérműlánc nyúlásáért.

A kísérletben két lánc csap 360°-ban és nyolc lánc szem 90°-os tartományban lett aktiválva. A lánc csap egy kb. 10 μm vastag vanádiumbevonattal rendelkezik. A lánc csap vanádiumbevonatából Cr-51 nuklid, míg a lánc szem vasrészéből Co-56 nuklid hozható létre (lásd **1. táblázat** és a következő oldalak). Az aktivált területet a **30. ábra** mutatja be.



30. ábra: lánc aktiválása. Fent: a lánc csap és lánc szem aktivált területe; lent: aktivált alkatrészek helyzete

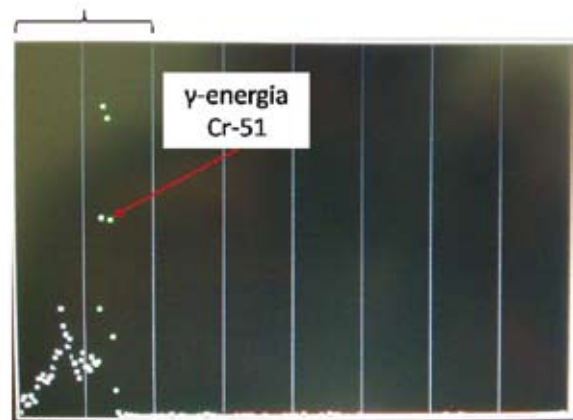
A létrehozott nuklidok különböző tulajdonságokkal rendelkeznek. A Cr-51 gammaenergiája 320 keV. Ez a háttérsugárzás tartományába esik, ami a pontos kiértékelést megnehezíti. A nuklid spektruma a **31. ábrán** látható.

A Co-56 egy béta-sugárzó (511 keV) és több gammaenergiával rendelkezik (847 keV, 1238 keV, 1771 keV). A nuklid spektruma a **32. ábrán** látható.

FELÜLETEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Figyelembe kell venni, hogy a kopás az RNT-mérés során egy térbeli átlagérték, ami az aktivált felületről leváló részecskékből határozható meg. Ahhoz, hogy a kopás térbeli eloszlását az aktivált tartományban megítélhessük, a vizsgálandó alkatrészek profilját a kísérlet előtt és után mérjük, majd összehasonlítjuk. A

háttérsugárzás
(Compton-hatás)



31. ábra: Cr-51 spektruma

lánc csap és a lánc szem a profilmerést 0° és 270°-nál hajtottuk végre (lásd **34. ábra**).

Az aktivált lánc csap profiljait a **35. ábra**, az aktivált lánc szemek profilját a **36. ábra** mutatja be.

A járatás utáni visszamérések eredményeit a **37. ábra** és **38. ábra** mutatja be. A vizsgálatok után a lánc csap profil változása nem értékelhető, ugyanis a lánc csap eredeti mérési pontjai (0° és 270°) nem azonosíthatók.

A lánc elemeknél a mérési helyek újból megtalálhatók, így a profilmerés eredményei egymással összehasonlíthatók. Ahogy a **37. ábra** mutatja, az alkatrész megmunkálása után visszamaradó felületi egyenetlensége kisimult.

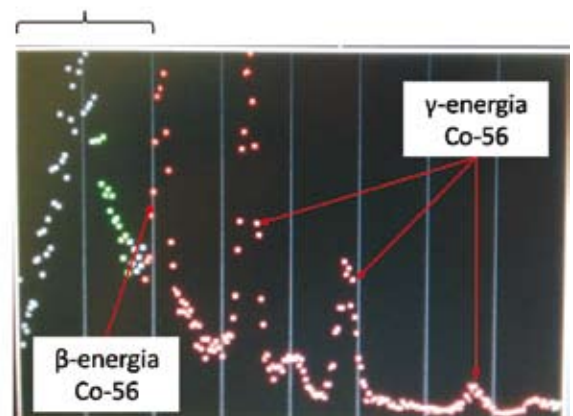
EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Bejáratás alatt lejátszódó tribomutáció

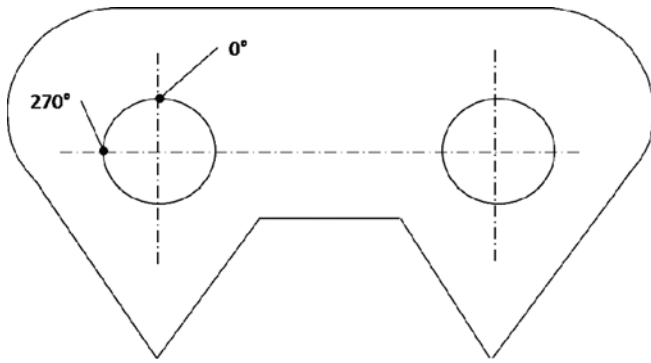
Az az energia, amely a súrlódás során a felületbe bejut, három részre osztható fel.

A súrlódás által igénybe vett felületről leváló részecskék számára szükséges energiamennyiség (E_w), amely a részecskék kötési energiájának felel meg. [39]

háttérsugárzás
(Compton-hatás)



32. ábra: Co-56 spektruma



33. ábra: profilmérés helyei a láncszem és lánccsapon

A bevitt energia (E) második része az anyag tribomutációjára szolgál. [39]

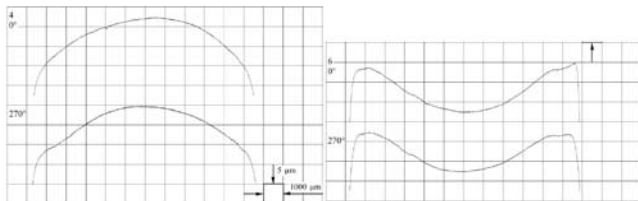
A tribomutáció a felületközele rétegek súrlódási energia által létrehozott változása. A változás új elemkeveréket, kémiai kötések változását vagy anyagszerkezeti változásokat hozhat létre. Az alkatrészek megmunkálása közben, a megmunkálási paraméterek változtatásával is létrehozható tribomutáció, amely a bejáratást segíti.

A bevitt energia harmadik része hővé alakul. [39]

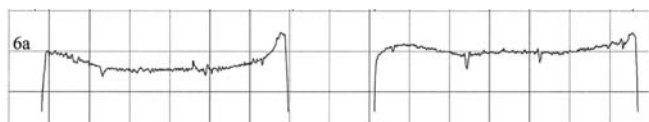
$$E_R = E_Q + E_{TM} + E_W, \quad (7)$$

E_R	súrlódási energia
E_{TM}	tribomutáció
E_Q	hőenergia
E_W	kopásrészecskék kötési energiája

A bejáratás során mérhető kopás megmutatja, hogy a triboszerbe bevitt energia elegendő-e és a bejáratás alatt a felüle-



34. ábra: profilmérés helyei a láncszemen és lánccsapon



35. ábra: lánccsap profilja a mérés kezdetekor

tek a tribomutáció hatására megfelelően kondicionálódtak-e. Ha ez a bevitt energia nem elegendő, akkor a kopás egy nem degeneratív vagy legalább egy enyhén progresszív (viszonylag magas gradienssel) görbe segítségével írható le (lásd 38. ábra).

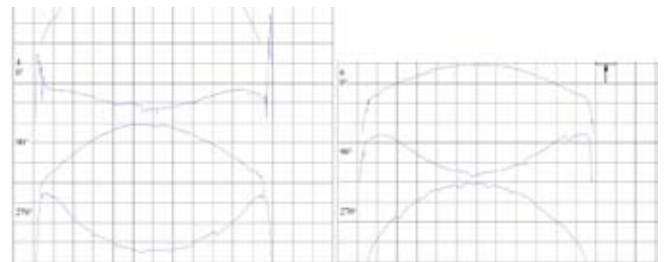
Egy jó bejáratás azzal jellemezhető, hogy a kezdeti magas kopássebesség a kezdet után gyorsan lecsökken, és egy közel állandó kopássebességre áll be. A bejáratás alatt lejátszódó kopásgörbe, a következő függvényvel írható le. [44]

$$w = c + \frac{\delta_w}{\delta_t} + a_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{b_1}}\right) + a_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{b_2}}\right), \quad (8)$$

$a_1; a_2; b_1; b_2$	Fittparameter
c	konstans
w_e	bejáratás kopása
w	kopás

A láncszem kopásának lefolyása egy tipikus bejáratási kopást mutat, amelynél a kezdeti kopássebesség nagy, majd az érintkező zónából való anyagleválás lecsökken, lásd 40. ábra. Az ábrán a mért kopás, valamint a 8 egyenlettel számítható kopás látható.

A láncsap (Cr-51), mint ahogy a 41. ábrán a lánccsappal összehasonlítva látható, a bejáratás alatt a kopásértékek nagymértékű ingadozását mutatja, ami – ahogy előbbi fejezetekben kifejtettük – várható volt.



36. ábra: láncszem profilja a mérés kezdetekor

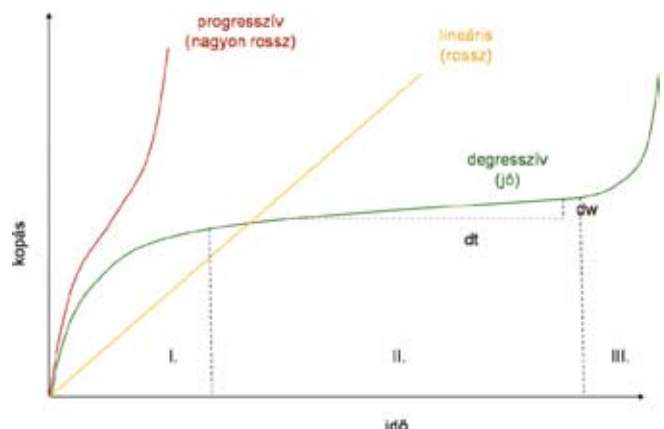


37. ábra: lánccsap profilja a kísérlet után

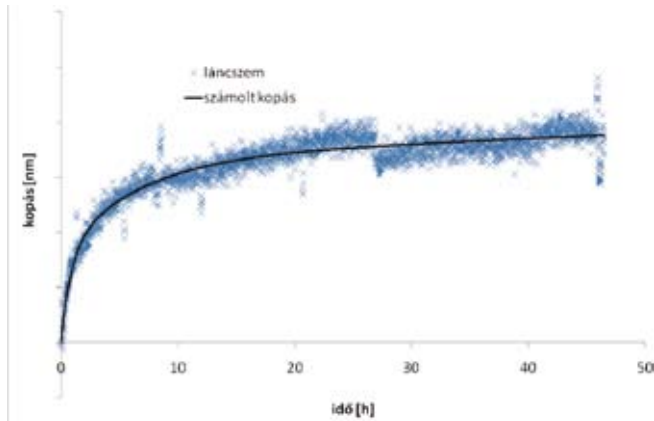
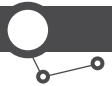
KOPÁSSEBESSÉGEK MEGHATÁROZÁSA FORDULATSZÁM-TERHELÉS JELLEGMEZŐN

A bejáratás utána fordulatszám-terhelés változtatásával különböző munkapontokon mértük a kopássebességet 90 °C-ra kondicionált olajjal.

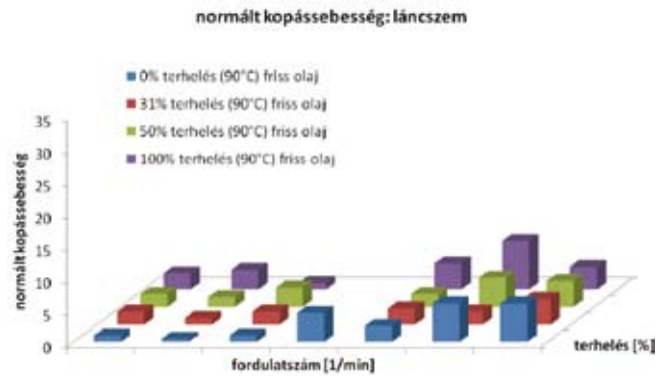
A láncsapon minden terhelésnél egy tendencia figyelhető meg. A kopássebesség emelkedő fordulatszám mellett növekszik (lásd 42. ábra). Magas fordulatszám-tartományban a kopássebesség közel kétszerese az alacsony fordulatszám-tartományban mért értékekhez képest. Ugyancsak megfigyelhető az a tendencia, hogy emelkedő terhelés mellett a kopássebesség, ha nem is nagymértékben, növekszik. A legnagyobb kopássebesség 5900 1/min-es 100% terhelés mellett jelentkezik.



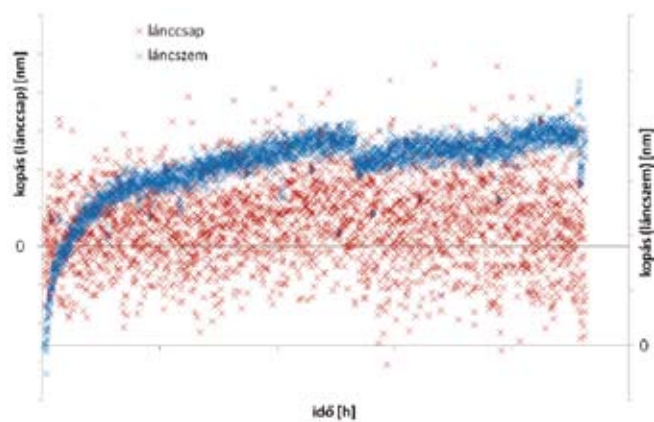
38. ábra: kopásgörbék elvi lefutása



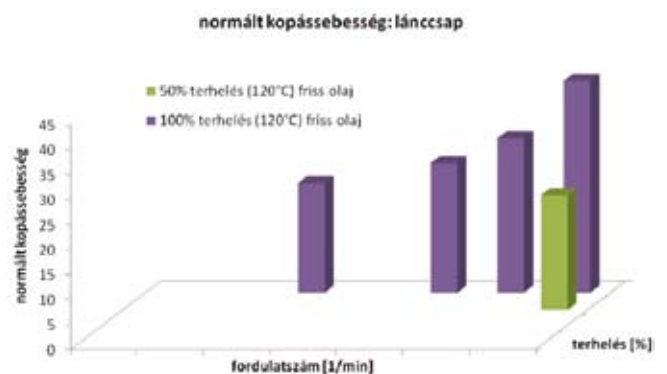
39. ábra: láncszem kopása a bejáratás alatt



42. ábra: láncszem kopássebessége – 75 h járatás után 90 °C-os olajjal



40. ábra: láncszem és láncsap kopása a bejáratás alatt



43. ábra: láncszem kopássebessége – 75 h járatás után 90 °C-os olajjal

A következő ábrákon (41-48) a kopássebesség normált értéke került ábrázolásra. Az értékeket az 1000 1/min 0% terhelésű 90 °C-ra kondicionált olajjal, a láncszemen mért kopássebességre vonatkoztattuk. ($\dot{w}_{norm}(1000/min, 0\%, 90^\circ C, F-rischöl, Lasche)=1$)

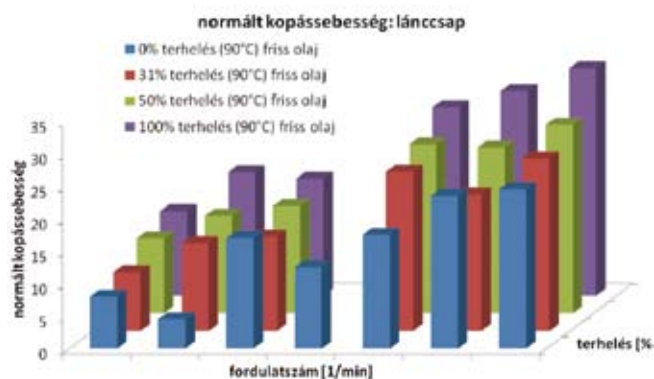
Hasonló tendencia, mint a láncsapnál, a láncszemen nem figyelhető meg, lásd 43. ábra. A vanádiumbevonattal rendelkező láncszem kopássebessége jelentősen nagyobb, mint a bevonattal nem rendelkező láncszemé.

A 90 °C-os olajjal történt mérés után öt munkapontban vizsgáltuk az olaj hőmérséklet-változásának hatását. Az olaj 120 °C-ra

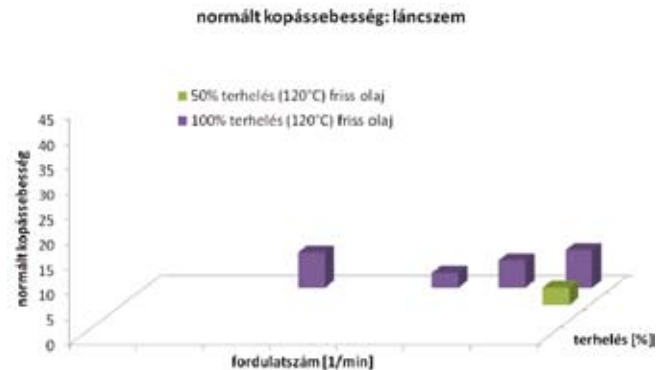
történő kondicionálása mellett kialakuló kopássebességek a 44. ábrán és 45. ábrán láthatóak. Sem a láncszem, sem a láncsap nem mutat érzékenységet a megnövekedett hőmérsékletre, lásd 48. ábra és 49. ábra.

A kiválasztott öt munkapontban vizsgáltuk a használt olajnak a kopásra gyakorolt hatását, amelynél az olajat 90 °C-ra kondicionáltuk, lásd 45. ábra és 46. ábra.

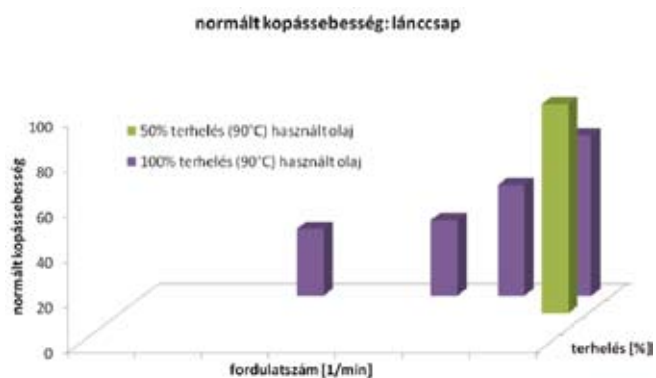
Megfigyelhető a használt olajnak a kopásra gyakorolt hatása. Növekvő fordulatszám mellett a kopássebesség jelentősen növekszik. A láncszem kopássebessége fáradt olajnál kb. kétszer akkora, mint friss olajnál volt. A láncszem kopássebessége teljes



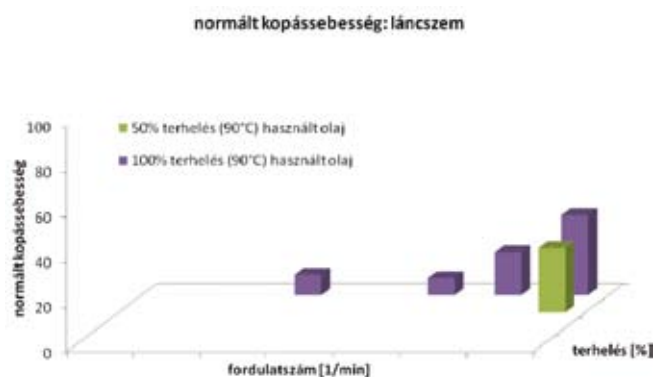
40. ábra: láncszem és láncsap kopása a bejáratás alatt



44. ábra: láncszem kopássebessége – 15 h járatás után 120 °C-os olajjal



45. ábra: láncszem kopássebessége – 15 h járatás után 120 °C-os olajjal



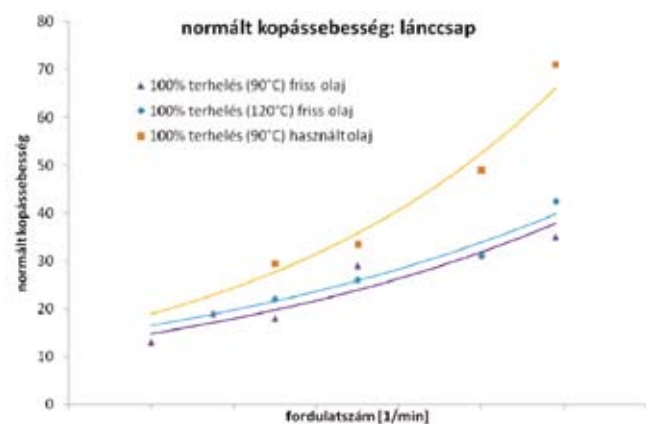
46. ábra: láncszem kopássebessége – 15 h járatás után 90 °C-os használt olajjal

terhelésnél közel tízszer akkora, mint a friss olajnál volt, lásd 48. ábra és 49. ábra.

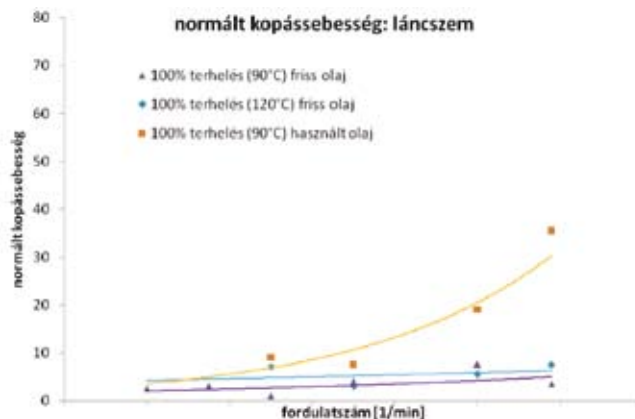
Jellegzetes általánosítható összefüggés a mért láncerő (lásd 6. fejezet) és a mért kopássebesség között nem figyelhető meg, lásd 49. ábra.

A LÁNCNYÚLÁS SZÁMÍTÁSA AZ RNT SEGÍTSÉGÉVEL MEGHATÁROZOTT KOPÁS MÉRTÉKÉBŐL

A belső égésű motor vezérműláncát úgy tervezik, hogy a maximális nyúlása a 0,3% – 0,5% értéket ne haladja meg, a motor 300 000 km-es futásteljesítménye alatt. [49]

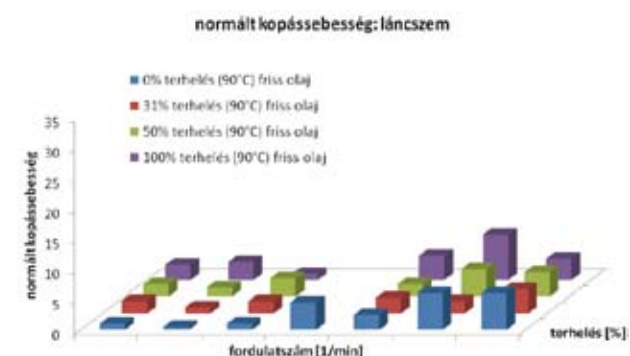
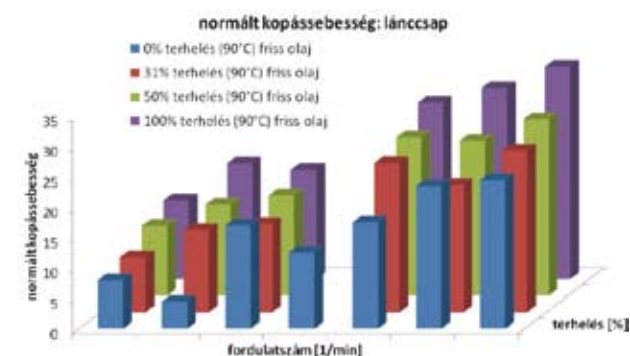
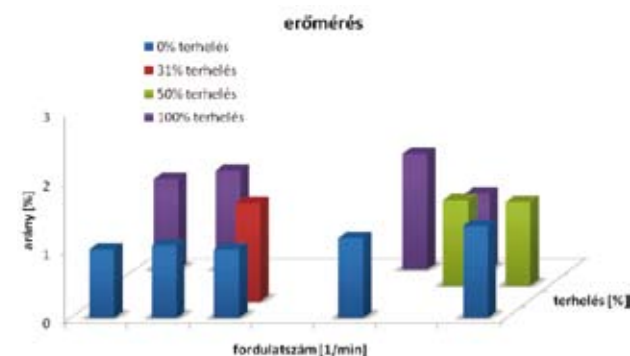


47. ábra: lánccsap kopássebességének összehasonlítása (90 °C-ra és 120 °C-ra kondicionált friss és használt olaj, 100% terhelésen)

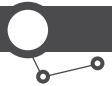


48. ábra: lánccsap kopássebességének összehasonlítása (90 °C-ra és 120 °C-ra kondicionált friss és használt olaj, 100% terhelésen)

Az RNT által meghatározott kopássebességek segítségével, a kopásból a láncnyúlás számítható. Feltételezve, hogy a kopás a láncszemekben és a lánccsapokon egyenlő, a láncnak a nyúlása a kísérlet után 0,2%-ra tehető.



49. ábra: láncerő összehasonlítása a lánccsap és láncszem kopássebességével



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben az RNT-technika történetét és módszereit és alkalmazhatóságát részletesen mutattuk be. Az online kopásmérés segítségével egy vezérműlánc kopásviselkedését vizsgáltuk. A kísérletek során, a vizsgálandó alkatrészeket vékonyréteg-aktiválás módszerével aktiváltuk. A kopásrészecskék aktivitását az

olajban mértük (szűrőkoncentrációs eljárás). A bejáratás után az eredmények a láncszemek és láncszapok kis kopását mutatták. A láncszap mért értékeinek az ingadozása, a Cr-51 nuklid tulajdonságával magyarázható. Az olajhőmérséklet változtatásának a hatása a kopásra nagyon kicsi. Használt olajjal történtek vizsgálatok. A vizsgált munkapontokban jelentősen megnövekedett kopást mutatnak. ●

IRODALOM

- [1] T. Gergely, M. R. Dreyer, Advanced wear measurement of machine components of combustion engine – Radionuclide-technique (RNT) for on-line measurement of the wear, 18th International Conference on Mechanical Engineering – OGÉT 2010, Nagybánya, 22-25. April 2010.
- [2] D.J. Picken, H. Hassan, T.C. Buttery, The use of surface metrology instrumentation to measure rates of wear of internal combustion engine components, *Wear*, Vol. 73, 1981, pp. 185-192.
- [3] Dimla E. Dimla Snr., Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations—a review of methods, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 40, 2000, pp. 1073-1098.
- [4] C. Chungchoo, D. Saini, On-line tool wear estimation in CNC turning operations using fuzzy neural network model, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 42, 2002, pp. 29-40.
- [5] S.K. Choudhury*, V.K. Jain, Ch.V.V. Rama Rao, On-line monitoring of tool wear in turning using a neural network, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 39, 1999, pp. 489-504.
- [6] H. Hocheng, K.L. Kuo, On-line tool wear monitoring during ultrasonic machining using tool resonance frequency, *Journal of Material Processing Technology* Vol 123, 2002, pp. 80-84.
- [7] Taysir H. Nayfeh, Osama K. Eyada and John C. Duke, JR, An integrated ultrasonic sensor for monitoring gradual wear on-line during turning operations, *Int. J. Mach. Tools Manufact.* Vol. 35, No. 10, 1995, pp. 1385-1395.
- [8] Nidal H. Abu-Zahra, Gang Yu, Analytical model for tool wear monitoring in turning operations using ultrasound waves, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 40, 2000, pp. 1619-1635.
- [9] M Scherge, K Pöhlmann, A Gervé, Wear measurement using radionuclide-technique (RNT), *Wear*, Vol. 254, Issue 9, May 2003, pp. 801-817.
- [10] Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsong Lee, Chih-Yih Tsai, An on-line Hall-effect device for monitoring wear particle in oils, *Wear* Vol. 223, 1998, pp. 44-49.
- [11] M. Castejón, E. Alegre, J. Barreiro, L.K. Hernández, On-line tool wear monitoring using geometric descriptors from digital images, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 47, 2007, pp. 1847-1853.
- [12] P. M. Racolta, Nuclear Methods for Tribology, *Appl Radiat. Isot.*, Vol. 46, No. 6/7, 1995, pp. 663-672.
- [13] B. Herkert, Die Aktivierung von metallischen Maschinenteilen mit geladenen Teilchen zur Durchführung von Verschleißmessungen, KfK-Bericht 2096, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, 1975.
- [14] B. Herkert, Verschleißmessungen mit Hilfe von Radionuklidten nach dem Durchflußmeßverfahren, KfK-Bericht 2182, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, Juli 1975.
- [15] T. W. Conlon, Thin layer activation by accelerated ions-application to measurement of industrial wear, *Wear* Vol. 29, 1974, pp. 69-80.
- [16] B. Herkert, Bestimmung des Verschleißes und der Kinematik schnelllaufender Wälzlager mit Hilfe radioaktiver Isotope, KfK-Bericht 1567, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, Februar 1972.
- [17] W. Kaiser, Der Einfluß verschiedener Kolbenring- und Nutformen sowie der Nutwerkstoffe auf den Ring- und Nut-Verschleiß in einem 6-Zylinder-Dieselmotor (Experimentelle Untersuchungen mit Hilfe von Radioisotopen), KfK-Bericht 1568, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, Februar 1972.
- [18] G. Katzenmeier, Das Verschleißverhalten und die Tragfähigkeit von Gleitlagern im Übergangsbereich von der Vollschröpfung zu partiellem Tragen (Untersuchungen mit Hilfe von Radioisotopen), KfK-Bericht 1569, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, Februar 1972.
- [19] M. Fautz, Größenanalyse von Verschleißteilchen mit Hilfe von Radioisotopen, KfK-Bericht 2343, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, November 1976.
- [20] G. Fritzsche, Entwicklung von Ölverbrauchsmeßmethoden für Kolbenmaschinen unter Verwendung der Radionuklidtechnik, KfK-Bericht 2463, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Laboratorium für Isotopentechnik, Karlsruhe, Germany, März 1978.
- [21] P. Fehsenfeld, A. Kleinrahm, V. Novikov, Radionuclide technique in mechanical engineering (RTM), XIII. Internat. Conference on cyclotrons and their Applications, Vancouver/Canada 6.-11.7.1992.
- [22] G. Blondiaux, E. Dragulescu, P.M. Racolta, L. Craciun, A.T. Serban, R. Stroosnijder, Development of calibration methods for TLA and UTLA, Report WP9 IDRANAP 33-02/2002
- [23] P.M. Racolta, L. Popa-Simil, E. A. Ivanov, B. Alexandreanu, Cyclotron accelerated beams applied in wear and corrosion studies, *Radiat. Phys. Chem.* Vol. 47, No. 5, 1996, pp. 677-680.
- [24] Huang Donghui, Wang Pingsheng, Tian Weizhi, Zhao Dequan, Cao Guangzhou, Ni Bangfa, Zhang Xiuhua, Li Lin, Zhang Guiying, Liu Cunxiong, Li Dehong, Study on real-time wear measurement of piston-ring and cylinder-bore in an engine using thin layer activation method, *Applied Radiation and Isotopes* Vol. 66, 2008, pp. 1073-1078.
- [25] IAVF Antriebstechnik GmbH, DK4 Verschleißmesssystem Benutzerhandbuch, Karlsruhe, 12.12.2006
- [26] International Atomic Energy Agency, The thin layer activation method and its applications in industry, IAEA-TECDOC-924, Vienna, 1997.
- [27] VDA Jahresbericht 2011.
- [28] Wirtschaftszahlen zum Automobil (wikipedia.org/wiki/automobilproduktion).
- [29] Emission-Standards – European Union.
- [30] VDA Jahresbericht 2002.
- [31] P. Gál, Analyse von Reibungsvorgängen in der Ventilsteuerung von Verbrennungsmotoren, (PhD) Dissertation, TU Budapest, 2005.
- [32] R. van Basshuysen, W. Schmädke, R. Vogt, Reibungsverluste von Fahrzeugmotoren unterschiedlicher Größe und Zylinderzahl, *MTZ* (41) 11/1980.
- [33] K. Volker, Reibungsreduzierung bei PKW-Motoren: ein effizienter Weg zur Verbesserung von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emission, 1. Tribologie Tagung, Győr, 2010.
- [34] P. Gál, Vorlesung Kraftfahrzeugmotoren-3, Universität Győr
- [35] St. Pischinger, H. A. Kochanowski, Ch. Steffens, S. Sonnen, Akustische Auslegung von Wälzlager im Kurbeltrieb, *MTZ* 3/2009.
- [36] Ch. Struwe, St. Schattenberg, M. Schebitz, Reibungsreduktion am Ventiltrieb durch ganzheitliche Betrachtung der Systemkomponenten, *MTZ* 07-08/2008.
- [37] GfT Arbeitsblatt 7, Tribologie Definition, Begriffe, Prüfung, August 2002.
- [38] W. Mach, A. Gervé, Zum Verschleißverhalten von Nocken und Stößeln in Verbrennungsmotoren, GfT-Fachtagung, Göttingen, 27-28. November 1995. Moers, Germany, 1995.
- [39] B. Kehrwald, A. Gervé, Verschleißanalyse von Gleitlagern in Verbrennungsmotoren, GfT-Fachtagung, Göttingen, 27-28. November 1995. Moers, Germany, 1995.
- [40] B. Kehrwald, P. Berlet, Tribomutation im Einlauf - Beispiele aus Modellversuchen am Tribometer und aus Messungen an Verbrennungsmotoren, GfT-Fachtagung, Göttingen, 5-6. November 1996. Moers, Germany, 1996.
- [41] M. Scherge, Nanoverschleiß an Gleitlagern: Eine Charakterisierung mittels Radionuklidtechnik, Oberflächenanalytik sowie Mikro- und Nanotribometrie, GfT-Fachtagung Band I, Göttingen, 24-26. September 2001. Moers, Germany, 2001.
- [42] Dr. Fritz Ullmann, Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band. 20 Radionuklide, Verlag Chemie GmbH, 1981.
- [43] Horst Czichos, Karl-Heinz Habig: Tribologie-Handbuch, 3. Auflage, Vieweg+Tubner, Berlin, 2010.
- [44] M. Scherge, A. Gervé, P. Berlet, M. Kopnarski, H. Oechsner, M. Scheib, Tribomutation von Werkstoffoberflächen im Motorenbau am Beispiel des Zylinderzwickels II, Vorhaben Nr. 716, 31.10.2001.
- [45] J. Volz, Erstellung optimierter Einlaufprogramme von Dieselmotoren (Ein System unter Anwendung von Radionuklidten), KfK-Bericht 2432, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, Germany, März 1977.
- [46] A. Dudás, M. R. Dreyer, Development of modern single cylinder test engine, 18th International Conference on Mechanical Engineering – OGÉT 2010, Nagybánya, 22-25. April 2010.
- [47] W. Steinilper, B. Sauer, Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 (Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben), 6. Auflage, Springer Verlag, 718 pages, 2008.
- [48] T. Fink, H. Bodenstein, Möglichkeiten der Reibungsreduktion in Kettentrieben, *MTZ* (72) 07-08/2011, pp. 582-587.
- [49] T. Fink, V. Hirschmann, Kettentriebe für den Einsatz in modernen Verbrennungsmotoren, *MTZ* (62) 10/2001, pp. 796-806.
- [50] M. Dienwiebel, M. Scherge, Neue Erkenntnisse zur Tribologie von überreduzierten AlSi-Zylinderlaufflächen, *MTZ* 03/2007, S. 187-189.
- [51] G. Flores, T. Abeln, U. Klink, Funktionsgerechte Endbearbeitung von Zylinderbohrungen aus Gusseisen, *MTZ* 03/2007, S. 181-185.
- [52] Die Bibliothek der Technik, Band 278, Aluminium Motorblöcke, Verlag Moderne Industrie, 2005
- [53] Gál P. – Nagyszokolyai, I., Gépjárműmotorok II., Nemzeti Tankönyvkiadó, 2009.
- [54] MAHLE GmbH, Kolben und motorische Erprobung, Vieweg+Tubner Verlag, 2010.
- [55] Von Basshuysen, R. – Schäfer, F., Handbuch Verbrennungsmotor, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2005
- [56] M. R. Dreyer, L. Solecki, Indirect Geometric Measurements on Surface Replicas, 19th International Conference on Mechanical Engineering – OGÉT 2011, Csiksomlyó, 28. April – 01. May 2011.
- [57] T. Morauszki, M.R. Dreyer, Dynamic FEM-Simulation of the Piston-Liner Contact, Fisita World Congress 2010, Book of Abstracts Scientific Society for Mechanical Engineering (GTE), Budapest 2010, ISBN 978-963-9058-28-6, p. 234ff.
- [58] N. Graham, L. Schnell, G. Arnold, Bleifreie Laufschrift für hochbelastete Haupt- und Pleuellager, *MTZ* (64) 10/2003, pp. 880-883.

Klasszikus járműfelépítmény-tervezési módszerek

DR. FÜLEP TÍMEA

PhD egyetemi adjunktus
SZE MTK

HARTH PÉTER

doktoranduszhallgató
BME GJT

A hagyományos járműtervezésben – ahol a forma igazodik a konstrukcióhoz – a jármű esztétikai megjelenését alapvetően befolyásolja a karosszéria tervezése. A tervezési arányok, szimmetriák egyértelműen hatást gyakorolnak az utazók viszonyulására az adott járműhöz. Ahhoz azonban, hogy a járműszerkezet az esztétikai megjelenésen túl műszakilag is megfelelő konstrukció legyen, már a tervezés fázisában elengedhetetlen a felépítés részletes elemzése és az általa felveendő terhelések alapján minél pontosabb vizsgálata. Az alábbiakban az említett követelményeknek megfelelő módszertani lehetőségeket vizsgáljuk.

According to the traditional vehicle design (the shape adjusts to the construction) the esthetical appearance is basically influenced by car body design. The design ratio and symmetry unambiguously affect the travelers' attitude, however, beside the esthetical appearance the technically adequate construction needs in the preliminary design phase detailed structure analyses and investigation concerning the potential loads and forces. In the following suitable methods are introduced regarding the mentioned requirements.

BEVEZETÉS

Jelen írás folytatja a dr. Pályi Istvánnal írt közös cikk témáját [7] – amely hivatkozik Balvin Nándor két korábbi munkájára [1, 2] – és betekintést nyújt az általános szimmetriatulajdonságok műszaki következményeibe (tervezés, karosszéria méretezése véges elemes számítás előkészítéssel), amelynek igen nagy szerepe van a járműtervezés megkönnyítésében, hangsúlyozva a síklapokkal határolt dobozszerkezetek ilyen irányú vizsgálatát.

A karosszéria tervezésénél alapvető szempontok az arányok, a szimmetriák megtartása, vagyis a jármű esztétikai megjelenése. A tükrös szimmetria közismert, nagy esztétikai jelentőségű, járműveknél egyszeres szimmetriasík jelenik meg. Ez két félszerkezetre bontja a konstrukciót, így két részre bontja a számításokat is, felelve a méreteket és negyed munkát igényel a tervezés során. Emellett egyszerűsíti a szerszámkészítést és azonos elemek használatát teszi lehetővé, így téve egyszerűbbé és költségkímélőbbé a gyártást. Antimetrikus esetben szintén félszerkezetről beszélünk előjelcserével alkalmazásával.

Az eltolási szimmetria ritmikus megjelenést kölcsönöz, ahol azonos keresztmetszetű, bordák vesznek részt a konstrukcióban (gondoljunk csak a létraalvázas járművekre!). Ekkor ismétlődésről

beszélünk, tehát számos esetben elég egy szektor egyenletének analízise a számításokhoz.

A síkból álló lapszerkezetek vizsgálata nem közismert, ezért most ezzel foglalkozunk. A járművek karosszériája jó közelítéssel síklapokból épül fel. Nyilvánvaló, hogy a síklap a saját síkjában sokkal merevebb, mint arra merőleges irányban. Pont ezt a tulajdonságot kell ilyen szerkezeteknél kihasználni. Dobozszerkezet a teljes terhelést fel tudja venni, ha a terhelések csak élben működnek. Azt is mondhatnánk, hogy a síkbeli hálózati szerkezetek két ortogonális csoportra bonthatók szét. Az egyik csoportba a síkra merőleges terhelések, míg a másikba a síkban ébredő terhelések tartoznak. Mi a továbbiakban csak a második ortogonális csoporttal fogunk foglalkozni, mivel az első csoportot jó közelítéssel zérusnak tekintjük. A terhelőerők csak a saját síkban hatnak, ezért a szerkezet szétbontható síklapokra, amely külön lapok vizsgálatát teszi lehetővé. Korábban a járműveket kizárólag súlyerőkre méretezték, a kereszt- és hosszirányú erőhatásokkal nem foglalkoztak. Az ezekből keletkező igénybevételek azonban a súlyerőkkel azonos nagyságrendűek, jelentős feszültséget okozhatnak a szerkezetben, így azokat nem hanyagolhatjuk el. Lásd a Tacoma-híd katasztrófáját, ahol tervezéskor a keresztirányú szélből adódó terheléssel nem foglalkoztak. **(1. ábra)**

Schwyz (1927) rácsos síklapokkal határolt szerkezetekkel foglalkozott, kidolgozta az él menti erők módszerét, vizsgálta a rácsos hidak vízszintes és keresztirányú terhelését. Schwyz az Euler-féle poliéder-tételből kimutatta, hogyha csak élben tudnak erőt átadni a síklapok, akkor annyi egyensúlyi egyenlet írható fel, amennyi a síklapokkal határolt test éleinek és térbeli statikailag határozott megtámasztásának megfelel [8].

Az 1970-es években Pawlowski egy egyszerűsített felületszerkezet-tervezési módszert (Schwyzertől függetlenül), a síklapos tervezési módszert (SSS – Simple Structural Surface) próbálta bevezetni [6]. Az SSS módszer elvi igazolását azonban nem dolgozta ki.

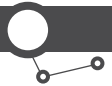
JÁRMŰSZERKEZETEK ELEMZÉSE

Amikor az első autók feltűntek az utakon, karosszériájuk az évszázadok alatt megismert eljárásokkal készültek. Később a figyelem teljesen új kihívások – úgymint a kevésbé ismert mechanikai komponensek, pl.: motorok, sebességváltók, fékek stb. – felé terelődött.

A gyártás növekedése a '30-as években változást hozott az acélvázak irányába, amely egy sor problémát okozott. Az első



1. ábra: a Tacoma-híd katasztrófája



2. ábra: a konvex ikozaéder eleget tesz az Euler-poliédertételnek

nehéz kérdés az volt, hogy lehet hajlított felületeket és a peremüket kihúzni. A válasz a szobrászathoz hasonlóan a kézzel készített mestermodelleknél keresendő, de nagyon nagy pontossággal a prismszámítás kritériumainak megfelelően. Ezzel párhuzamosan számos grafikai és időrabló módszer került kidolgozásra a vonalvezetés és az illeszkedés miatt. A következő nehézség az ötvenes években jelent meg. Nem tudták, hogyan számítsák a járműkarosszériában ébredő feszültségeket, alakváltozásokat két, egy időben felmerülő, egymással ellenkező igény esetén (minimális tömeg, nagy teherbírás) fenntartva az egész jármű biztonsági és tartóssági követelményeit. A szükséges adatok számítása nem volt lehetséges a több ezerszeres redundancia és az ezzel együtt megjelenő nagyszámú egyenlet miatt, amelyek számítása logaritmussal és számológéppel lehetetlen. Megoldást jelentett a tesztelés, a mérés a különböző statikus, pl.: hajlítás, csavarás és dinamikus igénybevételekre. A 70-es években felmerült az ütközési energia elnyelésének kérdése, amelyet szintén tesztek (fenék-, tető-, homlok-, hátfal) segítségével vizsgáltak, pl.: lengőpad.

Az összes fent említett módszer nagyon költséges és időigényes volt, amely számos prototípus meglétét kívánta meg. Érthető, hogy azok a módszerek, amelyek kész szerkezetet, prototípust igényelnek, nem használhatók tervezési módszerként. Egy tervezési módszer egyszerűbb eljárást igényel. Ez egyértelműen rámutatott arra, hogy a járműgyártás során a karosszéria tervezése és fejlesztése kritikus szerepet tölt be.

A '60-as, '70-es években a számítógépek megjelenése, illetve a véges elemes számításon és a mátrix jelölésen alapuló szerkezelelemzés fejlődése lehetővé tette a '80-as években minden szükséges paraméter könnyű számítását. A grafikus számítógépes felületek segítségével rögtön láthatóvá vált az eredmény és a CAD/CAM technika megteremtette a gyártás előkészítésének lehetőségét. Összességében lehetségessé vált a merevség, a globális és a részleges rugalmasság minden statikus és dinamikus problémájának kezelése, ha a szerkezet már létezett, de ez ellenőrzés és nem tervezés.

EGYSZERŰSÍTETT FELÜLETSZERKEZET (SIMPLE STRUCTURAL SURFACE – SSS)

A kezdeti tervrajz alapján egy felületi modell létrehozható számos vékony falú elemmel, amely már alapjaiban meghatározza a járműkarosszéria szükséges szerkezeti és funkcionális felületeit, továbbá sokkal közelebb áll a véges elemes modellhez és a gyártáshoz. A felületszerkezet modell nagyon egyszerű, és minden külső, helyi terhelés szemléltethető egy struktúrában – mellőzve minden szükségtelen elemet –, amely egy kiinduló szerkezeti terv megjelenítését teszi lehetővé. Ez minden szempontból kétségtelenül nagy előny, főleg a várható energiatakarékos járművek generációja miatt.

Az SSS-módszer minőségében különbözik a többi egyszerűsített módszertől, amelyeket a járműszerkezetek előzetes tervezése során, illetve már létező kocsiszkevény elemzésekor használtak. Az SSS gyors számíttással rövid időn belül bemutatja a teherhordó

szerkezetek viselkedését az egyszerű felületek között. Az SSS bizonyos egyszerűsítéseken, felületek definícióján és kölcsönhatásokon alapszik. Egy szerkezeti elem akkor SSS, ha kellően merev és nem labilis a saját síkjában (pl.: csuklós négyszög, merevítés nélküli kivágás). A módszer elhanyagolja a saját merevítőt és csak a fő merevítésekkel számol. A saját merevítés a síkra merőleges erőterhek átvitelének tartója. Az egyes lapok között csak nyíróerő adható át, nyomtéráttvitelhez járulékos felület kell. Ilyen járulékos felület kell a síkra merőleges és a síkon kívül működő párhuzamos erő bevezetésére. A síkkal párhuzamos külpontos erő nem szerepel, ha van, akkor átvezető elemre van szükség [6].

SÍKLAPOKKAL HATÁROLT, ZÁRT DOBOZSZERKEZETEK

A továbbiakban egyesítjük Schwyzer eljárását és az SSS-módszert. A kocsiszkevények többsége zárt dobozszerkezetnek tekinthető, a belső tér az áru vagy utas fogadására szolgál, a teherviselést az esetleges alváz mellett a doboz falaira (és tető-, valamint padló-szerkezetére) bízják. A továbbiakban a dobozt határoló összes felületet lapoknak nevezzük. Áramlástan és esztétikai okokból a határolólapok többnyire enyhén íveltek, de ettől a kismértékű íveltségtől az előzetes erőtan vizsgálatokban eltekinthetünk, és jó közelítéssel síklapokkal határolt poliédereknek modellezhetjük a karosszériákat (2. ábra).

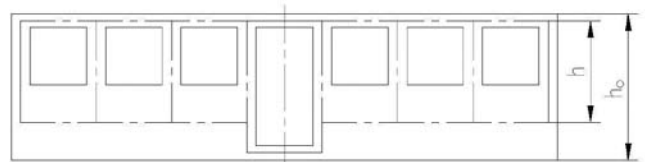
A véges elemes számítások elterjedése előtt számos esetben megelégedtek a jármű két oldalfalának erőtan vizsgálatával, a többi lap (tető, padló, homlok- és hátfal) szerepét nem vizsgálták, ami ma szigorúan függőleges súlyteher esetében még közelítésként elfogadható, de az általánosított külső terhek esetében (inerciaerők, kinematikai terhek, kanyarodás, csavarodás stb.) már nem.

Az általánosított külső terhek viselésében a teljes dobozszerkezet részt vesz, tehát az összes lapját vizsgálnunk kell. A síklapokkal határolt zárt dobozszerkezetek erőjátékát Schwyzer oldotta meg még az elmúlt század első felében arra az esetre, ha a doboz lapjai külön-külön ideális síkbeli, statikailag határozott rácsos tartóknak tekinthetők. Az általa kifejlesztett „él menti erők módszere” kiterjeszthető olyan dobozokra is, melyeknek lapjai statikailag határozott merevített membránhéjaknak (a karosszériás szaknyelven lemezzel tartóknak) modellezhetők. Némi elhanyagolással az eljárás használható akkor is, ha az egyes lapok síkbeli keretszerkezetek (héj, rács és keretszerkezet kombinációja). Ez utóbbiaknál a közelítő modell geometriai méreteinek meghatározása okoz gondot.

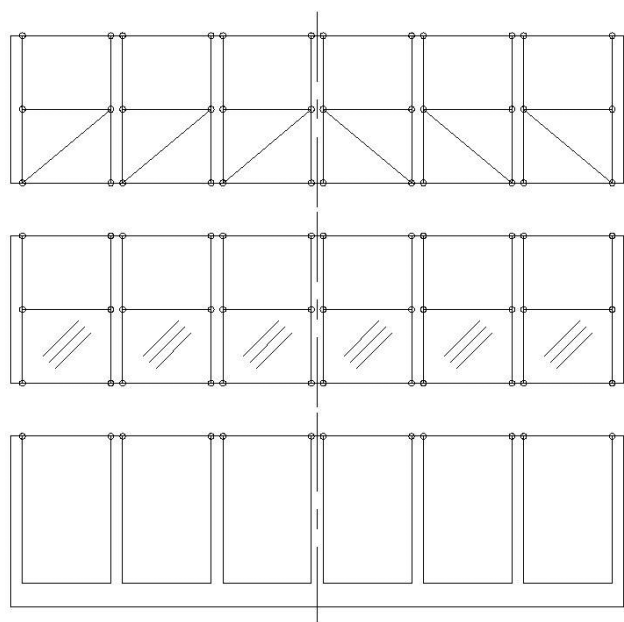
A LAPOK SZERKEZETÉRŐL

Síkbeli rácsos tartók

Az ideális síkbeli rácsos tartók egymáshoz csomópontban ideális, súrlódásmentes csuklókkal csatlakozó – csak húzást vagy nyomást felvevő – rudakból állnak. Külső terhelést csak a saját síkjukban és csomópontjaikon kaphatnak. Csomóponton kívül támadó, egyébként a szerkezet síkjában ható erők csak átvitelű tartókkal közvetíthetők többnyire a szomszédos csomópontokra.



3. ábra: Vierendeel-tartó



4. ábra: városi villamos oldalfalak

A rudak keresztmetszeti méretei hosszukhoz képest elhanyagolható (még inkább elhanyagolható a lap befoglalóméreteihez képest). Ezért a rácsos szerkezet hálózatának befoglaló geometriai méretei elfogadhatóan megközelítik a tényleges dobozszerkezet megfelelő befoglalóméreteit.

A síkbeli rácsos szerkezet a hozzá csatlakozó lapokról csak a csatlakozó (közös) élben kaphat terhet. Az élben elhelyezkedő rudak mindkét szomszédos síkbeli rácsos szerkezetnek részei. Az ilyen közös rudakban keletkező végleges rúderő a két szomszédos lapon kiszámított rúderők előjeles összege.

Síkbeli merevített membránhéjak (lemezelt tartók)

Az ideális síkbeli merevített membránhéj merevítőiben – az ideális rácsos tartókhoz hasonlóan – csak normálerők (húzás vagy nyomás) ébredhetnek a külső terhelésből, míg a membránhéjban tiszta nyírást tételezünk fel. Ha a merevítők derékszögben keresztezik egymást (azaz a lemezmezők derékszögű négyszög alakúak) és a külső teher kizárólag a merevítők merevítő irányban működhet, akkor a tiszta nyírást egy-egy membránmezőn belül állandó és a határoló merevítőkben a normálerő két szomszédos csomópont között lineárisan változik.

Trapéz alakú membránmező párhuzamos oldalai mentén a nyírást közelítőleg állandó, a nem párhuzamos oldalak mentén azonban változik, ezért a nem párhuzamos oldalakhoz csatlakozó merevítőkben a normálerő nemlineárisan változik. (Közelítő számításokban megelégszünk az átlagos nyírófeszültségből számítható lineárisan változó normálerővel.)

A merevített membránhéj teljes analógiát mutat az ideális rácsos tartókkal. A merevítők alkotják a szerkezet övrudait és oszlopait, a membránhéjak pedig „megoszló” rácsrudaknak (átlóknak) tekinthetők. A külső terhek kizárólag csomópontokban működhetnek. Az övrudak (merevítők) itt is mindig két szomszédos lapnak az elemei. Bennük a végleges normálerő a két lapon külön-külön számított erők előjeles összege.

A doboz befoglalóméretei és az egyes lapokat alkotó membránhéjak befoglalóméretei – a merevítők kis keresztmetszeti méretei miatt – elfogadható mértékben megegyeznek.

Síkbeli keretszerkezetek

Síkbeli keretszerkezeteknél a keretszerkezetet alkotó rudak keresztmetszeteinek súlypontjait összekötő vonalhálózat és a

keresztmetszet egyik főtengelye közös síkban helyezkedik el, esetünkben a dobozt határoló lap síkjában. Ha a dobozszerkezet két szomszédos lapja egyaránt keretszerkezet és a lapok hajlásszöge nem derékszög, akkor csak speciális övrudakból lehetséges síkbeli keretszerkezeteket alkotni, melyeknél a keresztmetszet két fő másodrendű nyomatéka egymással megegyezik, egyúttal bármely súlyponti tengely főtengely.

Vasúti személykocsik erőtanai vizsgálatában a kocsiszekrény oldalfalait Vierendeel-tartóként szokták modellezni (síkkeret). A Vierendeel-tartó mezőnként statikailag háromszorosan határozatlan szerkezet. Általános esetben a kompatibilitási egyenlet széles sávú, 9 ismeretlent tartalmaz egyenletenként, de Sutter törzstartójával ez 5-re redukálható [9]. Önmagában a Vierendeel-tartós modell nem kifogásolható a kocsiszekrény súlyteherből keletkező hajlításának vizsgálatára, de átlós feltámaszkodásból keletkező csavarásra, vagy kanyarmenetnél keletkező keresztirányú terhekre már a doboz többi lapját is vizsgálnunk kell.

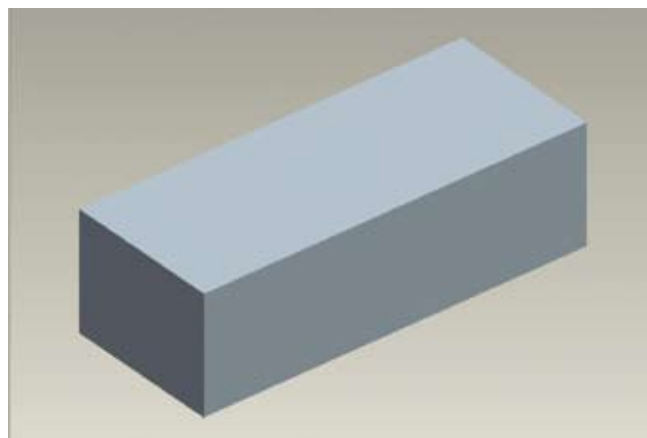
Ilyenkor a doboz befoglalóméretei és az oldalfalakat modellező Vierendeel-tartó fő méretei már jelentősen eltérnek egymástól (3. ábra). Az ábrán h_0 jelzi a doboz aktuális befoglalóméretét (a padló és a tető távolságát), míg h -val jelöltük az oldalfalat modellező Vierendeel-tartó magasságát. Előzetes közelítő számításokban a h_0 mérettel számolhatunk, ha $(h_0-h)/h_0$ relatív eltérés kisebbre adódik 10%-nál. Ilyen keretek fordulnak elő zárt felépítmények ajtóval ellátott hátsó falain. A két méret közötti különbség az oldalfalakra azonban elérheti a Vierendeel-modell magasságának akár az 50%-át. Ekkora geometriai eltérést még durva közelítő számításban nem engedhetünk meg.

Vegyes szerkezetű lapok

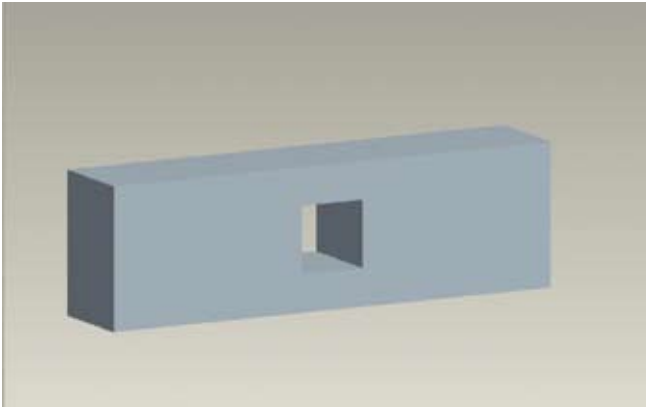
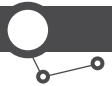
A dobozszerkezetek lapjai az előzőekben felsorolt (rácsos, membránhéj-, keretszerkezet) egységes felépítés helyett esetenként vegyes szerkezetekből is állhatnak. Az ilyen vegyes szerkezetek esetenként előnyösebbek az egyes lapok funkciójának a megvalósításában. Különösen sokfajta vegyes szerkezetű modellt használtak a könnyű vasúti kocsik (városi villamos) tervezésekor.

A városi villamosok oldalfalainak keresztmetszete jellegzetesen hajlításra igen lágy felső övből és egy nagyságrenddel/ekkel merevebb alsó övből épül fel. Kézenfekvő a felső öv hajlítómerevségétől eltekinteni, és csak húzást, ill. nyomást felvevő rúdnak tekinteni. A modell oszlopai hajlítómerevek, az alsó öv lehet hajlítómerev gerenda, de akár membránhéjból, akár rácsrudakból is felépíthető (4. ábra).

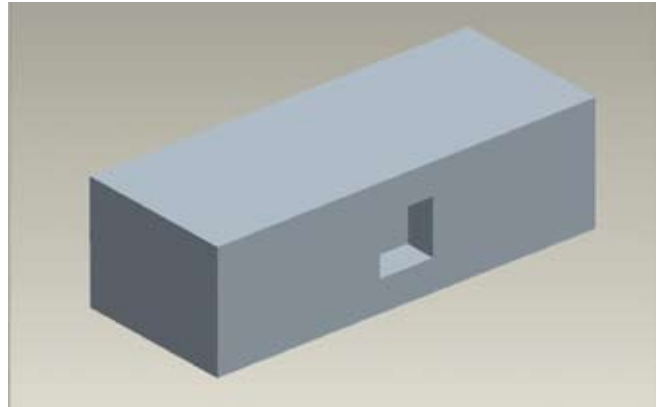
Az oldalfal felső öve csak húzást, ill. nyomást felvevő rúd, az oszlopok hajlítómerevek, az alsó öv többféle módon modellezhető. Az ablakok nem vesznek részt a teherviselésében (régiben többnyire leereszthető ablakokat építettek a villamosokba). Az



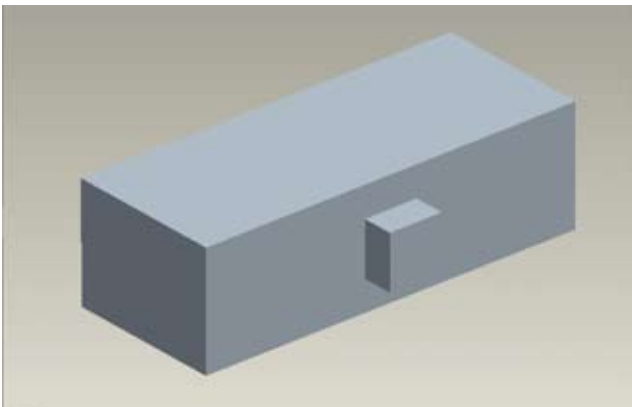
5. ábra: a legegyszerűbb dobozszerkezet



6/a ábra: nyílással áttört hasáb



6/b ábra: dobozszerkezet belső konzollal



6/c ábra: dobozszerkezet külső konzollal

oldalfal erőtani vizsgálatát elsőként Bieck végezte el, (az eljárás a vasútkocsi-irodalomban Bieck-módszer néven terjedt el) az erőmódszeres feladat megoldása során ablakmezőnként egy ismeretlen tartalmazó könnyen kezelhető kontinuáns mátrix-együttműködéssel rendelkező egyenletrendszerre jutunk [3].

Bieck módszerét Fabry fejlesztette tovább [4], modelljével az alsó övhöz képest közepes hajlítómerevségű (a felső öv legfeljebb egy nagyságrenddel lágyabb az alsó övnél) oldalfalak erőjátékát lényegesen jobb közelítéssel határozhatjuk meg. Az igénybevételek eloszlása különösen az oszlopok felső végeinek környezetében közelíti a tényleges erőjátékhoz.

A vegyes szerkezetű lapok tárgyalásakor foglalkoznunk kell az ablakok szerkezeti kivitelezésével és azok mechanikai modelljeivel is. A járműépítésben használt „klasszikus” modellek (Sutter, Fabry, Bieck) az ablakmezőket szerkezet nélkülűnek tekintik (csak az oszlopok és az ablakot határoló övek vesznek részt a teherviselésben). Nyitható, eltolható ablakok esetén ez a modellezés elfogadható. Az utóbbi időben elterjedő mozdíthatatlan (beragasztott) ablaküveg azonban már részt vesz a teherviselésben. Legegyszerűbb az ilyen beragasztott üvegezésű sávokat membránhéjnak tekinteni, természetesen a mechanikai anyagjellemzőket az üveg (vagy az ablakként felhasznált műanyag) tulajdonságai alapján kell megválasztani. Külön kérdés a fémoszlop és öv, valamint az üveg közötti ragasztóréteg viselkedése. Széles és igen vékony ragasztócsík (esetleg külső fedőlemez) esetén a fémszerkezet és üveg együttdolgozása – különösen a tervezés során végzett előzetes szilárdsági számításokban – feltételezhető, ellenkező esetben az ablakoszlop és az üveg egymástól függetlenül deformálódhat a külső teher hatására [5].

A vegyes szerkezetek további lehetőségei fordulhatnak elő nem erőzáró ajtónyílásoknál. Ennek jellegzetes példája a zárt

vasúti teherkocsi középajtója. A dobozt határoló síklapokat kiegészítő szerkezetekre nemcsak az ajtókivágás miatt lehet szükség, hanem nagyobb koncentrált erők (pl. reakcióerők) lokális bevezetésében is nélkülözhetetlenek.

DOBOZSZERKEZETEK ERŐJÁTÉKA

Vizsgálatainkban néhány előzetes feltételt alkalmazunk az alapvető összefüggések bemutatására. E feltételek egy része a valódi szerkezeteknél nem, vagy csak közelítőleg teljesül. Ilyen esetekben az erőjáték bonyolultabb, de a későbbiekben tárgyalandó kiegészítéssel többnyire még elemi úton kiszámítható.

Feltevéseink a legegyszerűbb dobozszerkezetekre (5. ábra):

- A zárt tér síklapokkal határolt.
- Az egyes lapok a saját síkjukban kellő merevségűek, síkjukra merőlegesen viszont teljesen lágyak.
- A dobozszerkezet megtámasztása statikailag határozott (térben elhelyezkedő hat lineárisan független támaszerő).
- A doboz sarokpontjaiban legfeljebb három él találkozhat, s az élek összefüggő gráfot alkotnak.
- Az egyes lapok szerkezete statikailag határozott.
- A külső terhelő erők (beleértve a megtámasztásokban keletkező reakcióerőket is) csak az egyes lapok síkjában működhetnek. Az éleket metsző külső erőket a lapokra ható komponenseikkel helyettesítjük.
- Az él hatásvonalába eső erőt, az élben találkozó két lap bármelyikéhez hozzárendelhetjük. A hozzárendelést a számítás során következetesen megtartjuk.

Ismeretes az egyszerűen összefüggő, síklapokkal határolt testek „c” csúcsai „e” élei és „l” lapjai közötti Euler-összefüggés:

$$c + l = e + 2$$

Ha egy csúcsban megszorító feltételeink szerint csak három él találkozik, akkor

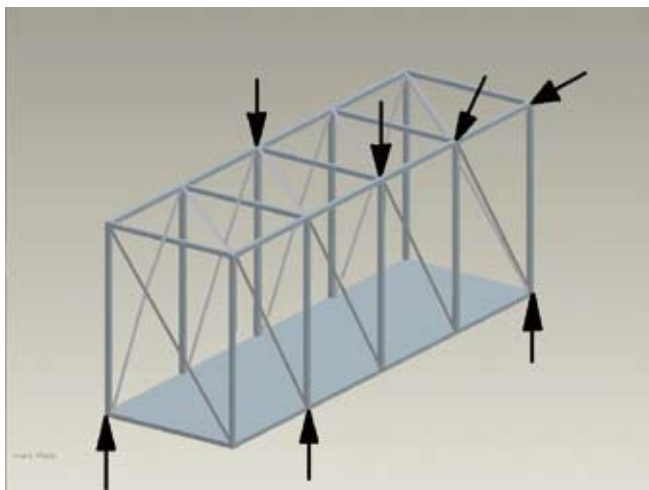
$$2e = 3c$$

Mivel minden csúcsból 3 él indul és minden él két csúcsot köt össze. Az Euler-összefüggésben fejezzük ki a csúcsok számát az élek számával:

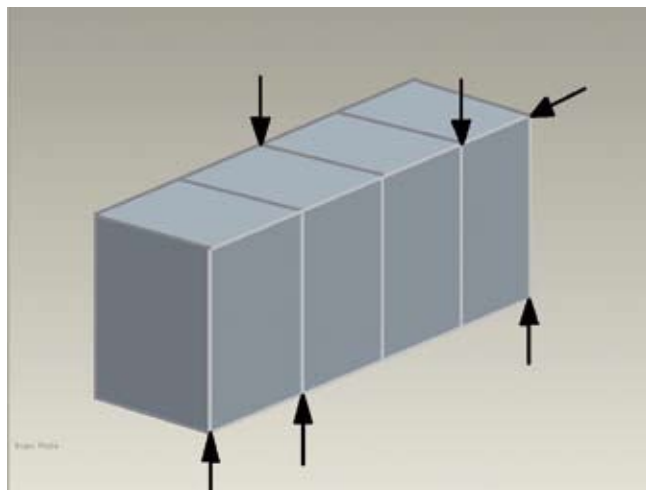
$$2/3 e + l = e + 2$$

Rendezve:

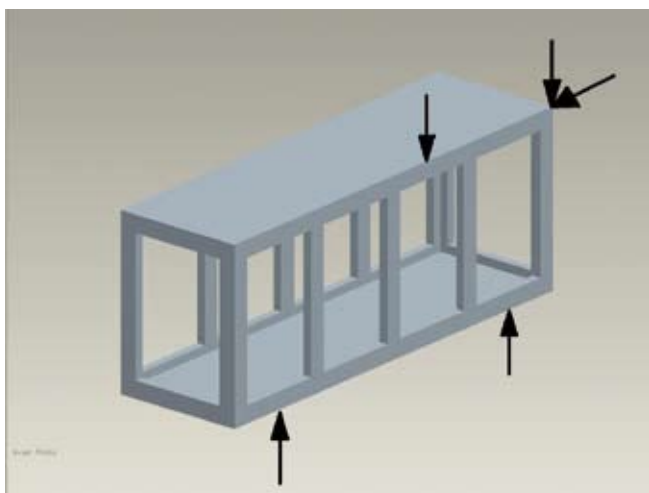
$$e + 6 = 3l$$



7/a ábra: erőbevezetés rácsos szerkezetnél



7/b ábra: erőbevezetés merevített membránhéjnál



7/c ábra: erőbevezetés síkbeli keretszerkezetnél

Az erőjáték tisztázásához minden síklapra 3 független egyensúlyi egyenlet írható fel, így az egész szerkezet egyensúlyára $3I$ egyenletet nyerünk, melyből a statikailag határozott 6 támaszerő és az életben működő lapok közötti kapcsolati erő, az ún. él menti erő kiszámítható. Az él menti erők ismeretében az egyes lapok igénybevétele már egyszerű sík feladatként meghatározható. Az él menti erők hatásvonalai ismertek (az egyes élekben helyezkednek el), támadáspontjukat tetszőlegesen választhatjuk meg, de ha a két csatlakozó lap egyikén rögzítettük a támadáspontot, akkor a másik lapon ugyanazt a pontot kell választanunk. Az élekben elhelyezkedő közös rudakban keletkező rúderők a két csatlakozó síklapon számított rúderők előjeles összege, ezért tetszőleges az érő támadáspontjának kijelölése.

Bonyolultabb, síklapokkal határolt tartóknál néha nem elegendő az élek és a lapok számai alapján eldönteni az él menti erők használhatóságát, hanem meg kell vizsgálni az egyes lapok várható alakváltozását, illetve az élek elhelyezkedését is.

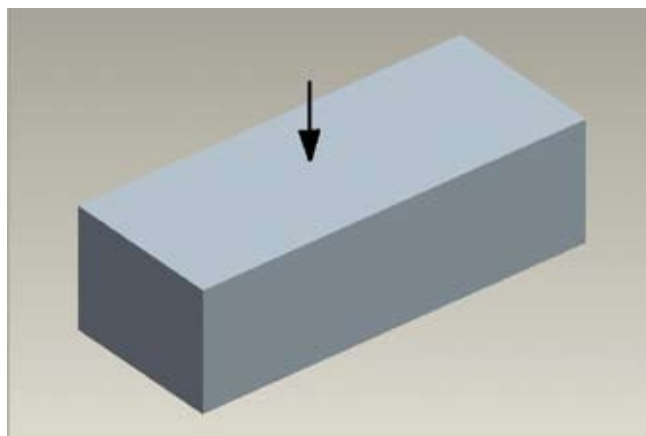
Tekintsük például a 6/a ábrán látható, nyílással áttört hasábot. Az élek, lapok és csúcsok számai látszólag elegendő tesznek az Euler-összefüggésnek, de a test kétszeresen összefüggő, az élekből képezhető gráf két, nem összefüggő részre bontható, ezért nem érvényes a szerkezetre a 6 szabad külső megtámasztást feltételező egyensúlyi egyenletrendszer. A hasábot áttörő négyszög cső két vége két áttelleges párhuzamos oldalfal középső részéhez csatlakozik, és e két lap nem képes saját síkjára merőleges irányú erők

felvételére. A szerkezet tehát labilis, statikailag határozottá három alkalmasan elhelyezett további 3 külső támasz, vagy alkalmasan megválasztott 3 belső térátló segítségével tehető. Részletesebb vizsgálatok alapján a 6 külső támaszú, térátló nélküli, labilis szerkezet az él menti erők szempontjából egyidejűleg statikailag határozatlan.

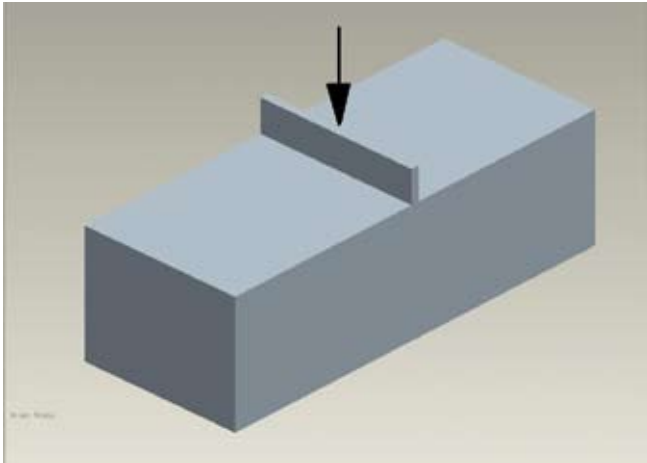
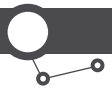
A 6/b és c ábrán a hasábot az egyik lap közepén egy síklapokkal határolt bemélyedő belső „konzol” (6/b) illetve egy külső konzol (6/c) egészíti ki. A lapok, csúcsok és élek száma nem elégíti ki az Euler-összefüggést, mivel az élek alkotta gráf nem összefüggő. A lapokra felírható egyensúlyi egyenletek is az élerőkön és a statikailag határozott 6 támaszerőn kívül további 3 szabad ismeretlent tartalmaznak, melynek meghatározásához további 3 külső megtámasztást, vagy belső térátlót kell a szerkezetbe építenünk. Az a lap, melyre a konzolt építettük, saját síkjára merőleges erők felvételére nem alkalmas, a sík belső pontjai saját síkjukra merőlegesen ellenállás nélkül elmozdulhatnak, a szerkezet 3-szorosan labilis.

A legtöbb kocsiszekrény jó közelítéssel egyszerű hasáb, ezért – különösebb vizsgálat nélkül – eleget tesz az előzőekben felsorolt feltételeknek. Az Euler-összefüggés alapján az egyes lapokra felírható lineáris egyensúlyi egyenletekben $3I$ ismeretlen szerepel. Egy négyoldalú hasábot tekintve ez összesen 18 ismeretlen. Előzetes számításokban némi nehézséget okoz egy 18 ismeretlenes egyenletrendszer felállítása és megoldása is, ezért célszerű a számítási eljárást egyszerűsíteni.

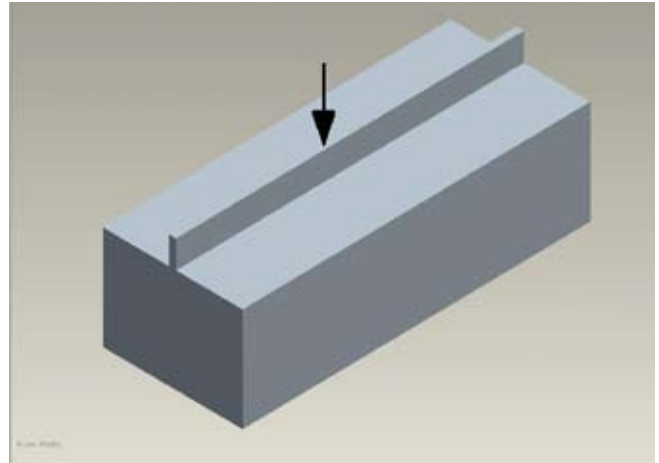
A statikailag határozott 6 reakcióerőt pl. az él menti erők-től függetlenül a teljes dobozszerkezetre felírható 6 egyensúlyi



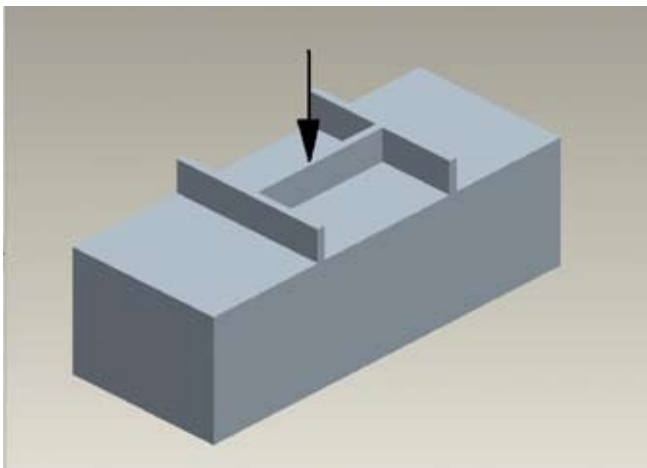
8. ábra: lap síkjára merőleges erőbevezetés



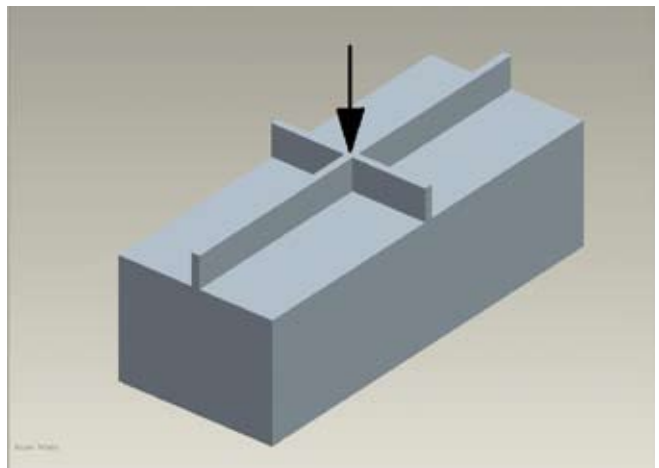
9/a ábra: erőbevezetés keresztirányú tartóval



9/b ábra: erőbevezetés hosszirányú tartóval



9/c ábra: az oldalfalak csúcsigénybevételét csökkentő erőbevezetés



9/d ábra: statikailag határozatlan erőbevezetés

egyenletről külön is kiszámolhatjuk. Célszerű ehhez a vetületi egyenletek helyett is alkalmasan választott tengelyekre felírható nyomatéki egyensúlyi egyenleteket választani, így elérhetjük, hogy a 6 ismeretlenes egyenletrendszer helyett, 6 db egy ismeretlenes egyenletet kell csak megoldanunk. A reakcióerők ismeretében az él menti erők egy különválasztott egyenletrendszer (négyoldalú hasábnál 12 ismeretlen) megoldásaként számíthatók.

Az utóbbi egyenletrendszer is nagymértékben egyszerűsíthető, ha a hasábon található olyan lap, melyre sem aktív, sem reakcióerő nem hat. E külső erővel nem terhelt lapra csak az azt határoló lapokból származó négy él menti erő hat, mely a teljes szerkezet egyensúlya miatt csak egyensúlyi erőrendszer lehet. Az így kiválasztott lapra felírt egyensúlyi egyenletek négy ismeretlenjét egyetlen ismeretlennel kifejezhetjük és ezzel redukáltuk a független ismeretlenek számát.

ELTÉRÉS A FELTÉTELEKTŐL

a) Egyes csúcsonként 3 él találkozik

Amíg csúcsonként 3 él találkozik, addig az adott csúcson összesfutó överők zérus nagyságúak, ill. az adott csúcson ható külső terhelőerővel tartanak egyensúlyt. Háromnál több él egy csúcson találkozásakor – külső terhelőerő nélkül is – különbözhetnek az adott csúcshoz összesfutó överők zérustól. Ilyenkor a 3-nál több fölös överők szabad ismeretlenként vehetők fel, és a maradék 3 överő

ezek függvényében a csúcshoz felírható 3 vetületi egyensúlyi egyenletről számolható. A felvett szabad ismeretlenek természetesen növelik az összes ismeretlen számát. Az él menti erők és a fölös överők élesen megkülönböztetendők. Az él menti erők támadáspontját az adott él bármely rögzített pontjában felvehetjük, hatásuk a két csatlakozó lapra az akció-reakció alapján ellentétes. A fölös överők reakcióerőit a csúcshoz összesfutó maradék 3 överőben keletkeznek.

b) A szerkezet statikailag határozatlan

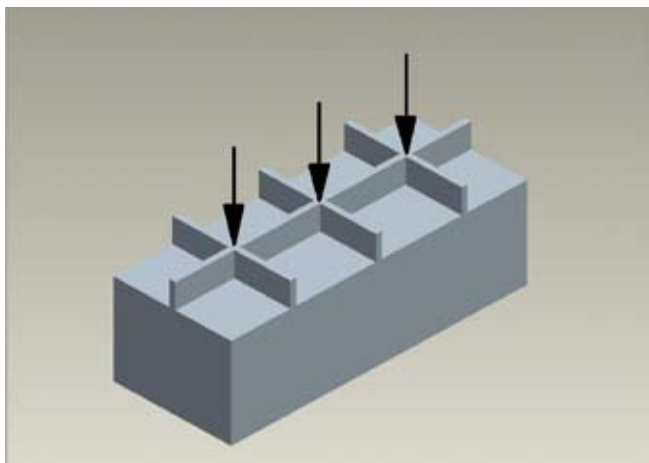
Külső határozatlanság:

A statikailag határozott, lineárisan független 6 támasz mellett a járműveknél gyakori további támaszok használata. Ilyen például a négy kerék függőleges irányú reakcióereje, vagy fékezéskor mind a 4 keréken keletkező menetirányú fékerő stb. Ezek az erők közvetlenül a futóművekre hatnak, és a futómű felfüggesztési szerkezetén keresztül adódnak át az alvázszerkezetre, vagy közvetlenül a dobozszerkezetre.

Elvileg a feladatot a határozatlan szerkezet szokásos számításával (pl. erőmódszerrel vagy mozgásmódszerrel) kell megoldani, ez azonban még kis határozatlansági foknál is igen munkaigényes.

Közelítő számításban azonban nagymértékben egyszerűsíthetjük a feladatot.

A járművekre épített rugókhöz és gumibroncsokhoz képest az alváz, ill. a dobozszerkezet és a futómű váza jó közelítéssel merevnek tekinthető, így a felépítmény és a futómű – első közelítésben – sem a külső terhek, sem a statikailag határozatlan erők (egység-



10. ábra: egyenletesen megoszló erőbevezetés

terhek) hatására nem deformálódik. Sík pályán álló vagy mozgó jármű esetében a statikailag határozatlan reakcióerők – a teher és szerkezet szimmetriáját kihasználva – többnyire elemi úton is meghatározhatók. Egyenlőtlen pályán a négy kerék talppontja már nem esik egy közös síkba, ilyenkor az elemi erőeloszláshoz egy további egyensúlyi csavaró terhelés járul, melynek nagysága az útegyenlőtlenség mértékétől függ. Meg kell jegyeznünk, hogy a fékerők megoszlása a négy keréken a kerekek alatti pálya minőségétől is erősen függ (helyi jegesedés, vizes pálya), így önkényes felvételük még elfogadhatóbb az előzetes számításokban.

Belső határozatlanság

A dobozszerkezet belső határozatlansága előállhat a dobozon belül beépített térátalakítók vagy a dobozszerkezet egyes lapjain található statikailag határozatlan tartóelemek következtében. Bármelyik esetet vizsgáljuk, a főlős kapcsolatok gondolati átmetszéseinben működő egységterhelések egyensúlyi erőrendszert alkotnak, és belőlük így a feltételezett külső határozott megtámasztásokban reakcióerők nem keletkeznek. A statikailag határozatlan mennyiségek meghatározásához elegendő a dobozszerkezettel foglalkozni. Főlős térátalakítóban működő egységterhelésből él menti erők is keletkeznek, így a kompatibilitási egyenlet felállítása meglehetősen munkaigényes.

Egyszerűbb a feladat, ha a statikai határozatlanság a dobozszerkezet lapjain fordul elő. Egyetlen lapon az egységterhelések a lap síkjában működő egyensúlyi erőrendszereket alkotnak és így belőlük éleerők sem keletkeznek. A terhelési tényezők számításánál az élben elhelyezkedő rudak rúderezét a teljes térbeli szerkezetre kiszámolt végleges értékkel kell figyelembe venni.

Ha szomszédos lapokon egyaránt határozatlan szerkezetet építünk be, akkor a két lap kompatibilitási egyenlete csak akkor marad független, ha a határozatlan kapcsolat elegendően távol van egymástól (a határozatlan mezőknek nincs közös rúdjuk).

c) A külső erők nem közvetlenül a doboz lapjainak a síkjában hatnak.

A doboz határolólapjainak síkján kívüli és a vizsgált lapokkal párhuzamos erők, valamint az egyes lapok síkjára merőlegesen ható erők már nem egyszerű számítási, hanem valóságos szerkezeti (konstrukciós) feladatot jelentenek. Ilyen erők bőségesen előfordulnak a járműszerkezeteknél, ráadásul többnyire a legnagyobb abszolút értékű jellegzetesen koncentrált terhek az előidézői. Közéjük tartoznak a kerékfelfüggesztéseken keresztül a kerekre ható reakcióerők hossz-, kereszt- és függőleges irányú komponensei, a kocsiszekerény padlóján elhelyezett áru vagy utas súlyereje, a nagyobb gépészeti főegységek súly- és tömegereje

stb. Ezeknek a relatív nagy erőknek az áthelyezése, szétoztása a dobozszerkezet alkalmas csomópontjaira, már nem valósítható meg „képzelten”, virtuális átviteles tartókkal. Ezeket az erőket ténylegesen be kell vezetni a dobozszerkezet lapjaiba, és ehhez az erőbevezetéshez többnyire kiegészítő tartókat kell a dobozszerkezetre vagy a dobozszerkezet belsejébe építeni.

ERŐBEVEZETÉS DOBOZSZERKEZETEKBE

a) Erőbevezetés a lapok síkjában működő külső terheknél

Az erőbevezetési feladat természetesen függ a lapok szerkezeti megvalósításától. Rácsos tartók csak csomópontjaikon, merevített membránhéjak csak a merevítőkön és szigorúan merevítőirányú erők felvitelére alkalmasak. Síkbeli keretszerkezetek saját síkjukban elvileg tetszőleges erőket képesek felvenni. A 7. ábrán összefoglaltuk a dobozszerkezet egy kiválasztott lapjára működő külső terhek lehetséges szétoztását rácsos, merevített membránhéj, ill. síkbeli keretszerkezet esetére.

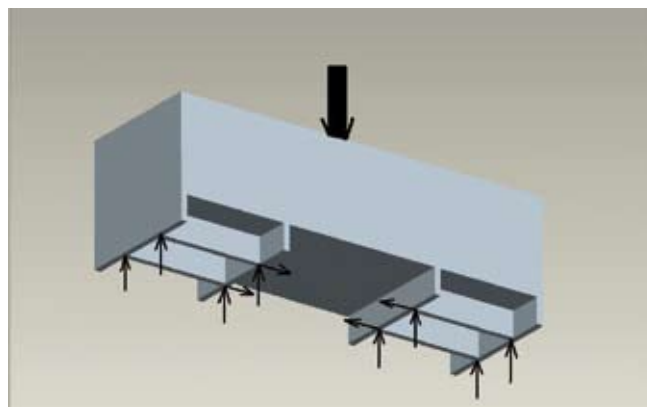
A csak az egyes lapok síkjában működő külső aktív és reakcióerők bevezetése a szerkezetekbe az ábrán feltüntetettek szerint nem okoz különösebb gondot, mert ilyen jellegű feladattal a hagyományos gépszerkezetekben is találkozunk.

b) Az egyes lapok síkjára merőleges erők bevezetése

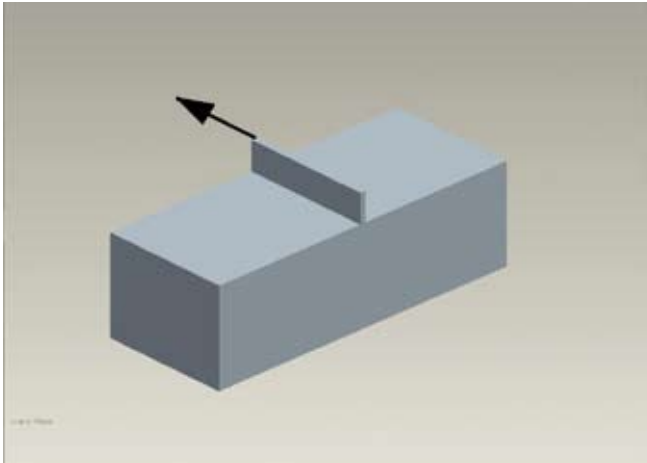
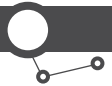
Vizsgáljuk a 8. ábrán feltüntetett egyszerű hasáb alakú dobozt, melynek tetején elhelyezkedő lap közepén működik az F terhelőerő (pl. tetőn elhelyezett klimatizálóberendezés). A reakcióerők az egyszerűség kedvéért az oldalfalak síkjában helyezkednek el. A tető önmagában képtelen az F erőt felvenni, ezért járulékos tartószerkezettel az F erőt el kell vezetni a vele párhuzamos oldalfalakhoz, vagy a homlok-hátfalhoz, általában két, a koncentrált erővel párhuzamos laphoz.

A feladat megoldására két kézenfekvő lehetőséget tüntet fel a 9/a és 9/b ábra. (Természetesen a beépített erőbevezető tartó nemcsak kereszt- vagy hosszirányú lehet, hanem bármilyen tartó szöbe jöhet, de a járművek szokásos szimmetriája miatt csak a szimmetrikus szerkezeteket vázoltuk fel.)

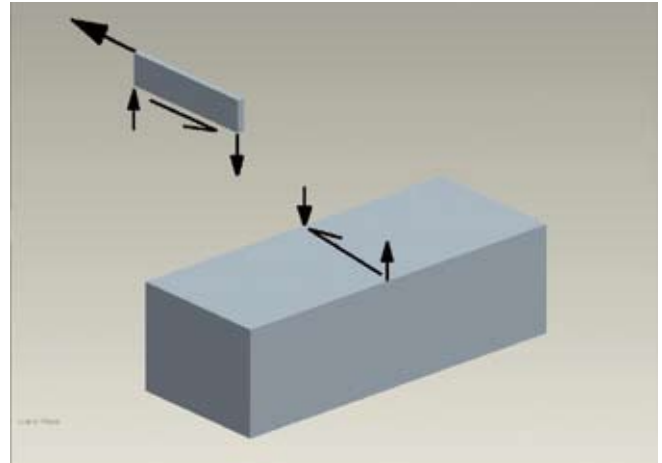
A dobozszerkezet lapjai geometriai méretei miatt saját síkjukban általában jóval merevebbek, mint a viszonylag kis magasságú erőbevezető tartó. A 9/b ábrán feltüntetett hosszirányú erőbevezető tartó különösen hajlékonyak mutatkozik, hiszen a keresztirányú erőbevezető tartóval egyező keresztmetszet és magasság esetén behajlása minden számolás nélkül is legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint az /a változaté. A 9/c ábrán szereplő erőbevezetés az oldalfalak csúcsigénybevételét csökkenti, a 9/d változat pedig statikailag határozatlan erőbevezetés, a hossz-, ezért járulékos



11. ábra: padló szerkezet erőbevezetése



12/a ábra: lap síkján kívül ható erő bevezetése



12/b ábra: lap síkján kívül ható erő bevezetése

erőbevezető tartók közelítőleg merevségük arányában közvetítik az F erőt az oldalfalakra, valamint a homlok- és hátfalra. (A pontos erőjátékot a falak merevsége is befolyásolja).

A gyakorlatban a tetőszerkezetnél az 9/a (és kivételesen a 9/c megoldás terjedt el, mivel a tetőszerkezeteket ritkán terhelik nagy koncentrált erőkkel. (Hűtőgépkocsiknál akasztott félmarha- és féldisznószállítás vezethet nagy terhelésre.) A kocsiszekrény hossza mentén természetesen nem egyetlen F erő hat, hanem egyenletesen megosztva több, ezért több erőbevezető tartót kell beépítenünk a szerkezetbe (10. ábra).

Az ábrán az áttekinthetőség érdekében az erőbevezető tartókat a dobozszerkezet külsejére helyeztük, a valóságban ezek áramlástan okokból többnyire a doboz belsejében helyezkednek el, az elvi következtetéseket azonban ez nem befolyásolja.

Bonyolultabb a padlószerkezet erőbevezetése. A padlón elhelyezkedő áru vagy utas erőbevezetésén kívül be kell vezetnünk a futóművektől adódó nagy koncentrált reakcióerőket is. A valóságban a futóművek függőleges bekötése is bonyolult, mivel maga a rugó is átviteli tartóként működik (pl. laprugók) és négy pont helyett nyolc ponton adódik át a keréktalpponti erő a kocsiszekrényre (11. ábra).

c) Az egyes lapokkal párhuzamos, de a lap síkján kívül ható külső terhelőerők bevezetése

A lapok síkjával párhuzamos erők bevezetéséhez is általában szükséges kiegészítő kereszt- vagy hossztartók beépítése a dobozszerkezetbe. Míg a lapra merőleges erő bevezetéséhez két-két,

a koncentrált erővel párhuzamos lapra kellett az erőt átvezetni. addig a lappal párhuzamos külpontos erőt három szomszédos lapra kell átvinni. (12/a és 12/b ábra)

d) Futóművek erőbevezetése

A jármű fenékszerkezetében az erőjáték hasonló módon tisztázható, de a futóművek bekötése különösen gondos elemzést tesz szükségessé. A legegyszerűbb, laprugós futómű beépítése is több kiegészítő hossz- és kereszttartó beépítését igényli. A dobozszerkezetre a laprugók csatlakozási pontjain ható erők reakcióereje működik. A laprugó csuklós csatlakozásánál egyidejűleg kell kereszt-, hosszirányú és függőleges erőt bevezetni a dobozba annak padlójától jelentős távolságban (a rugózás miatt).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzőekben ismertetett eltérő tervezési és konstrukciós megoldások, azok statikai jellemzői egyértelműen rávilágítanak az előkészítési és a tervezési fázisban alkalmazandó vizsgálati szempontok és adekvát elemzési módszerek kiválasztásának fontosságára – elsősorban a gyakorlatban várható terhelések figyelembevételével. Egy modell nagyvonalúsága súlyosan, olykor életveszélyesen befolyásolhatja az adott szerkezet műszaki rendelkezésre állását, ezért amellet, hogy mindinkább elérhetőek megfelelő technikák, ezeket a termék (tervezési) életciklusának megfelelően szabad csak használnunk. ●

IRODALOM:

- [1] Balvin N.: A Daimler AG és a Moholy-Nagy Művészeti Egyetem közös oktatási programja. A jövő járműve, X-Meditor Lapkiadó, 2009/1–2., 90–95. o.
- [2] Balvin N.: NABI 45 C-LFW CompoBus. A jövő járműve, X-Meditor Lapkiadó, 2008/3–4., 77–82. o.
- [3] Bieck: Berechnung des Rahmenträgersystems in den Seitenwänden der neuen eisernen Wagen der Berliner Hochbahn, Glasers Annalen, 1927. XII. 1. 15.
- [4] Fabry, Ch. W.: Leichtbau Probleme und ihre statische Erfassung im Wagonbau, Glasers Annalen, 1952. IX.
- [5] Fekete A., Fekete T., Gedeon J., Keresztes A., Michelberger P., Nándori E., Sályi B.: Statische Untersuchung von Omnibusseitenwänden unter Berücksichtigung an das Gerippe geklebten Fensterscheiben, Periodica Polytechnica (Transp. Eng.) 5. (1977), No. 2. pp. 83–101.
- [6] J. Pawlowski: Automotive Product Engineering, Cranfield, 1985.
- [7] Pályi I., Fülep T.: Járművek formatervezése, A jövő járműve (2010/3–4) pp. 83–92.
- [8] H. Schwyzer: Statische Untersuchung der aus ebenen Tragflächen zusammengesetzten räumlichen Tragwerke, Promotionsarbeit. Zürich, 1920.
- [9] Sutter K.: Zur Berechnung selbsttragender Eisenbahnkasten, Wirtschaft und Technik im Transport (1964), No. 70.

Vevőszolgálati dokumentációk készítése korszerű módszerekkel

TECHNICAL DOCUMENTATION CREATION WITH INNOVATIVE METHODS

MÉSZÁROS ZOLTÁN

számítástechnikai
műszaki előadó
Rába-Futómű Kft.

ÁCS MIKLÓS

számítástechnikai
műszaki előadó
Rába-Futómű Kft.

A cikk témája egy olyan illusztrációs szoftvercsomag tesztelési eredményeinek bemutatása, mely hatékonyan segíti a konstrukciós fejlesztési tevékenységgel szorosan összefüggő vevőszolgálati dokumentáció készítésének folyamatát.

The topic of the article is to show the results of a test porocess of an illustrating software package, which efficiently helps the technical documentation creating in connection with the construction development activity.

AZ ELŐADÁS TÉMÁJA

Ács Miklós számítástechnikai műszaki előadó, a RÁBA-Futómű Kft. konstrukciós szervezetének munkatársa a „Vevőszolgálati dokumentációk készítése korszerű módszerekkel” címmel tartott előadást a Tech4Auto konferencián. Az előadás célja egy olyan, több modulból álló szoftver tesztelési eredményeinek bemutatása, mely hatékonyan segíti a konstrukciós fejlesztési tevékenységgel szorosan összefüggő vevőszolgálati dokumentáció készítésének folyamatát.

A vevőszolgálati dokumentációk vagy más néven szervizdokumentációk egy adott termék vagy termékcsoporthoz rendeltetés-szerű használatához, karbantartásához és alapszintű javításához, szerelési műveleteihez elengedhetetlenek. A biztonságos üzemeltetésre vonatkozó információ mellett fontos minden, garanciális tevékenységre vonatkozó információ átadása is a megrendelő részére a későbbi problémák elkerülése, minimalizálása végett. Nagyon fontos szempont a naprakészség, a vevőszolgálati dokumentációt érintő változások könnyű átvezetése, megrendelőhöz való gyors eljuttatása. Egy jól megszerkesztett, pontos, átlátható, időben elkészült és nem utolsósorban látványos dokumentáció növeli a vevői elégedettséget és a későbbi újabb megrendelés esélyét.

RÁBA VEVŐSZOLGÁLATI DOKUMENTÁCIÓK FAJTÁI

A RÁBA viszonylatában a vevőszolgálati dokumentációknak több típusa van, melyek a megrendelő igényeinek megfelelően készülnek el:

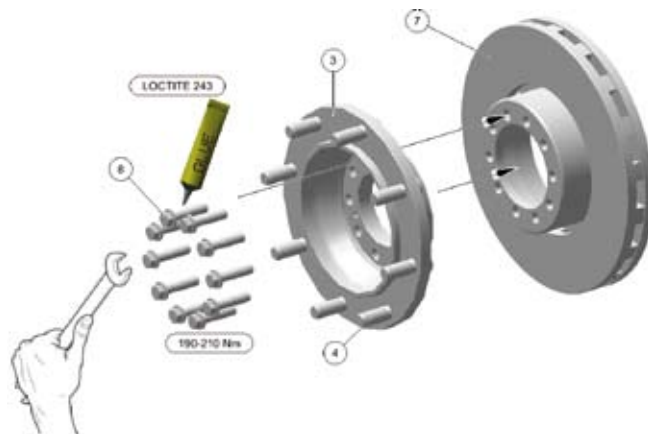
A kezelési és karbantartási utasítás alapvető információt és általános ismertetőt tartalmaz a termékre vonatkozólag. A biztonságos üzemeltetéshez, rendszeres ellenőrzésekhez az ahhoz kapcsolódó előírt karbantartásokhoz szükséges. A kenésekkel, olajozásokkal kapcsolatos információ is ebben a dokumentációban található.

A műszaki adatok egy rövid táblázatos gyűjtemény a termékre vonatkozó műszaki paraméterek konkrét számértékeivel, adataival. Tartalmazza a termék méreteit, beépítési paramétereit, a kötélemekre vonatkozó meghúzási nyomatékokat, valamint a szereléskor betartandó egyéb beállítási adatokat. Egy ter-

mékcsalád több altípusból is állhat, melyeknél számos műszaki paraméter ugyanaz, viszont lehetnek eltérések, melyeket a táblázatban szerepeltetni kell az egyes típusokhoz specializáltan.

Az alkatrész-katalógus pontosan tartalmazza a termék minden egyes alkatrészét, azok minden azonosító adatát és a beépítési darabszámot is. Az azonosító adatoknál az alábbi adatokat kell megadni: cikkszám (a belső rendszerünkben alkalmazott egyedi azonosító, mely a későbbi esetleges pótalkatrész-rendeléseket is megkönnyíti), rajzsám, megnevezés. Az alkatrész-katalógust fel kell bontani szerelési egységekre a könnyebb áttekinthetőség miatt. A szerelési egységek, funkcionális részegységek igazodnak a termék szerkesztési darabjegyzékéhez. Egy szerelési egységnél az alkatrész-katalógus a tételek listájának táblázatából, valamint egy hozzá tartozó ábrából áll. Ez utóbbi a régebbi dokumentációk esetében tételszámozott 2D rajz, metszet, szabadkézi perspektivikus robbantott ábra, vagy az újabbak esetében 3D Pro/Engineer terméktervező rendszerben készített sorszámozott robbantott ábra.

A javítási utasítás egy részletes dokumentáció, mely a termék vevő által is elvégezhető javításait, illetve beállításait tartalmazza pontos időrendi sorrendben mind szét, mind az összeszerelésre vonatkozólag. A szerelési műveleteknél külön kell jelezni a RÁBA által gyártott és vevő részére biztosított speciális szerszámok listáját,



1. ábra: robbantott szerelési ábra

annak felhasználási módját a megfelelő helyen. A dokumentáció tartalmaz általános szerelési előírásokat, óvintézkedéseket, valamint a RÁBA által javasolt szerelési segédanyagok felhasználási módját.

DOKUMENTÁCIÓKÉSZÍTÉSI KORLÁTOK

Az évek, évtizedek óta használatos dokumentációkészítési módszerek elavulttá váltak. A dokumentációk készítése statikus és lassú. A dokumentációk megjelenése nem egységes, a módosítások átvezetése is időigényes. Az alkalmazott szövegszerkesztő szabadsága miatt nincs két egyforma stílusú, kinézetű dokumentáció. Sok az ismétlődés, egyes szövegtörzsek, táblázatelemek a különböző dokumentumban többször ismétlődnek, sok helyen kell módosításkor átnézni. A másolásokkal karbantartott dokumentum egyes részei sokszor nem a legutolsó állapotot tükrözik. Időhiány miatt sok esetben mérnöki munkaerőt is be kell vonni a szervizdokumentációs munka megsegítésére. Hátrány pl. a felhasznált 3D adatok esetén, hogy az eredeti modell és az abból készített illusztráció között nincs kapcsolat, így módosítás esetén az átvezetés sok munkával jár, sőt néha teljesen előlről kell kezdeni az illusztrációkészítést.

TESZTELÉS

A 2011-es év folyamán – a Rábánál is alkalmazott Pro/Engineer 3D-s terméktervező rendszer forgalmazója –, az S&T Consulting Kft. lehetőséget biztosított a termékhez szorosan kötődő Arbortext szervizdokumentációs csomag tesztelésére. A csomag alapban 3 komponensből áll, ami később bővíthető.

A Creo Illustrate az illusztrációk könnyű elkészítésében nyújt segítséget, asszociatív kapcsolatot biztosítva a forrás 3D testmodellező rendszerrel, a Pro/Engineer-rel.

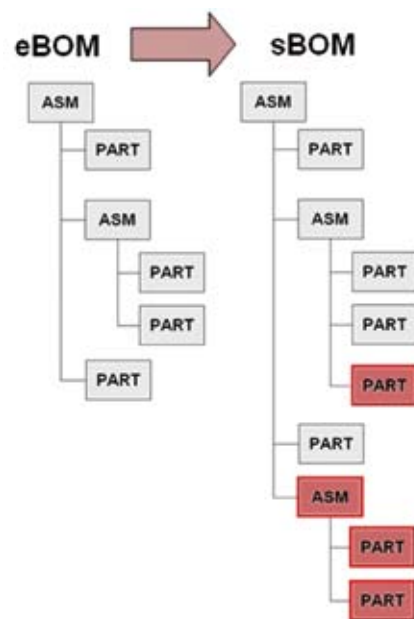
A dokumentáció összeállításában és az elkészült illusztrációk beintegrálásában fontos tag az Arbortext Editor szövegszerkesztő, amely nem egy hagyományos értelemben vett szövegszerkesztő, hanem az egyik legkorszerűbb XML technológiát alkalmazó ún. HTML webszerkesztő, mely egy merőben más filozófiát, módszereket nyújt a dokumentációkészítéshez.

A csomag harmadik eleme az Arbortext Styler, mely az előző két elem összefogását, egységes stíluslapok szerinti formázást és az elkészült forrásanyagok több kimeneti formátumba történő publikálását segíti.

ILLUSZTRÁCIÓKÉSZÍTÉS (CREO ILLUSTRATE)

A meglévő 3D modelleket és összeállításokat be lehet importálni a Creo Illustrate illusztrációs szoftverbe, ahol különböző műveleteket lehet végrehajtani rajtuk. Az így kapott modellek könnyedén rendezhetők, beállíthatók különböző helyzetekbe, ezáltal az adott beépítési, szerelési művelethez generálhatóak specifikus nézetek. Az így kapott ábrákat különböző megjegyzéselemekkel, beépített illusztrációs elemekkel és tételsorszámozásokkal tovább lehet alakítani. (ld. 1. ábra).

Az asszociatív kapcsolat az eredeti modellel megmarad, vagyis az adott modell változása esetén frissülhet az illusztráció is. Az ilyen mértékű automatikus kapcsolathoz az szükséges, hogy mindegyik az a modell vagy összeállítás módosuljon fizikai fájl formájában, amire az illusztráció hivatkozik. Ez a legkönnyebben akkor kontrollálható, ha a modell és az illusztráció is egy adatbázisban található. A szoftver egyszerűsített megjelenítést is alkalmaz, mellyel a nagy elemszámú összeállítások is könnyebben kezelhetők. A modelleket a szoftver képes leegyszerűsíteni, olyan nézeteket generálni, ahol a részletes elemek eltűnnek, csak



2. ábra: eBOM-sBOM kapcsolat, kibővített Service BOM

a publikációs célra fontos elemek, vonalak, részletek maradnak meg, akár takart vonalas megjelenítésben, különböző vonalvastagságok alkalmazásával.

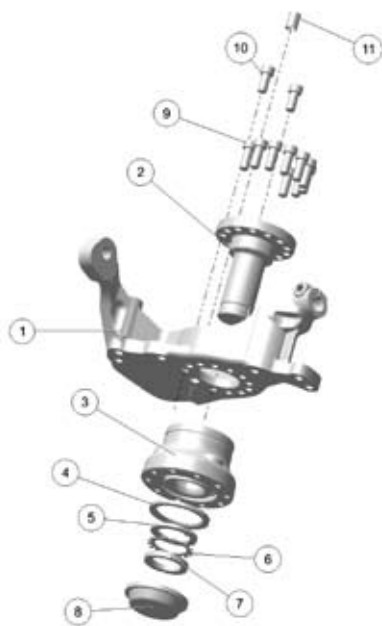
Az illusztrációs szoftver esetében bevezetésre kerül egy új fogalom, az sBOM vagy más néven Service BOM, szervizdarabjegyzék, mely egy nem létező fiktív darabjegyzék, azonban az illusztrációs munkákhoz szükséges összes elemet tartalmazza. Konkrétan a 3D összeállítások beolvasása után az illusztrációs szoftverben megjelenik a tételek kapcsolatát leíró, konstrukciós vagy szerkesztési darabjegyzék (eBOM). Ehhez hozzávehetünk további olyan elemeket, melyek az illusztráció készítéséhez szükségesek, pl. szerelési segédanyagok, egyéb szereléshez szükséges szerszámok modelljei vagy illusztrációs elemtárból kiemelt előre definiált tételek (ld. 2. ábra).

Egy illusztrációs fájl több, egymástól független ábrát is tartalmazhat, így egy fájlba össze lehet szervezni az egy komplett szervizdokumentációhoz tartozó illusztrációs ábrákat. Például egy ismertető ábrát is lehet készíteni a kezelési utasításhoz, vagy tételsorszámozott robbantott ábrát az alkatrész-katalógushoz (ld. 3. ábra), vagy egy másik szerelési segédanyagokkal, sorszámmal, megnevezésekkel és orientációs nyilakkal felokosított robbantott részletábrát a javítási utasításokhoz.

Az illusztrációs szoftverrel videókat is lehet könnyedén készíteni. Az animációs lehetőségeket segíti számos beépített segéd-elem, amelyekkel a tételeket könnyedén lehet pl. csoportosítani, külön kiemelni, megjeleníteni, eltüntetni. Egyszerűen lehet pozicionálni, forgatni az animáción belül. Az elkészült videóhoz tartozik egy szerkesztési sáv, ahol lehet szerkeszteni a videókat, egyes részeket kivágni, másolni, eltolni, törölni, vagy éppen sorrendet változtatni, gyorsítani, lassítani az animációs részekben.

DINAMIKUS SZÖVEGSZERKESZTÉS (ARBORTEXT EDITOR)

Egy Arbortext Editor-ban készült WEB-alapú dokumentáció központi eleme a tartalomjegyzék fájl, vagy más néven dokumentumtérkép, melyben össze lehet állítani a teljes dokumentáció



3. ábra: robbantott részletábra alkatrész-katalógushoz

struktúráját akár több szinten is. A struktúra meghatározza a későbbi tartalomjegyzéket is. A tartalomjegyzékben lévő tételek helyei rugalmasan alakíthatóak, melyekkel automatikusan módosulhat a tartalomjegyzék is (ld. 4. ábra).

A dokumentumtérképben különböző szinteken lévő bejegyzések, tételek az ún. DITA-fájlok, melyek megtestesíthetnek egy elkülönült részt, tipikusan egy fejezetet, alfejezetet. Egy ilyen elkülönült szövegmodul tartalmazhat címet, alcímet, szövegtörzseket és képi, illusztrációs hivatkozásokat, más fejezetekre, elemekre mutató referenciákat.

A struktúra a hagyományos szövegszerkesztőkhöz képest meglehetősen kötött, vagyis a felhasználó számára csak nagyon minimális formázásokat, testre szabást engedélyez. Továbbá bizonyos elemet csak meghatározott helyekre enged beilleszteni. A dokumentációt készítő rákényszerül, hogy csakis a szövegrészletekkel és külső képek, illusztrációk, objektumok beillesztésével foglalkozzon, ne a formázással. Ez a fajta kötöttség kevés szabadságfokot biztosít, de gyorsítja a dokumentációkészítési folyamatot, és az összes dokumentum esetében egységes kimenetet biztosít. (ld. 5. ábra)

ELŐZŐ FOREWORD (chapter)	1
FUTÓMŰVEK ÁBRÁI FIGURÉS OF AXLES (chapter)	3
FUTÓMŰVEK AZONOSÍTÁSA IDENTIFICATION OF AXLES (chapter)	5
KEZELÉSI ÉS KARBANTARTÁSI UTASÍTÁS OPERATING AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS (chapter)	7
Rövid műzsa leírás (Brief Description)	7
Rendszeres karbantartás Regular maintenance	7
Írások, karbantartási, üzemeltetési kapcsolatos információk on lubrication,...	7
MŰSZAKI ADATOK TECHNICAL DATA (chapter)	9
Műszaki adatok General data	9
5.1. Általános	9
5.2. Alkatrész	9

4. ábra: dokumentumtérkép és az abból publikáláskor felépülő tartalomjegyzék

A konkrét képeket, illusztrációkat, objektumokat be lehet illeszteni és megjeleníteni a szövegtörzsben, de azoknak csak a hivatkozásait tárolja. A konkrét fájlok lehetnek valamilyen helyi könyvtárban, megosztott hálózati könyvtárban, webszerveren vagy éppen egy adatbázisban is.

Nagy előny, hogy Arbortext Editorban lehetőség van az ún. profilozás használatára. Ez azt jelenti, hogy minden egyes elhelyezett elemet, legyen az akár egy betű, szó, mondat, bekezdés vagy éppen egy kép, illusztráció, megjelölhetünk ún. profiltagekkel, egyéni paraméterekkel.

Hogy mik is azok a profilok? A profilok segítségével szabályozhatjuk, hogy mi jelenjen meg egy kimenetben, vagyis a publikáló szoftver a forrásszöveget alapul véve mely részeket emelje be a végső kimenetbe, kvázi szűrőként működik. Ezzel a módszerrel lehetőség van arra, hogy minden információt egy dokumentumhal-



5. ábra: kötött szövegszerkesztés paraméterezési lehetőségekkel

mazba szedjük össze, és abból más-más kimenetet generálunk. Pl. profilozási lehetőség az egyes nyelvi verziók kezelése, vagy a különböző szervizdokumentációk fajtái (ld. 6. ábra).

PUBLIKÁCIÓS FOLYAMAT (ARBORTEXT STYLER)

A szoftvercsomag harmadik része az Arbortext Styler program, ahol lehetőségünk van ún. stíluslapokat definiálni, vagy meglévőket felhasználni, átalakítani. A stíluslapok mindenre kiterjedően leírják az összes alkalmazható elem kinézetét, formázását, viselkedését stb. Ez biztosítja azt, hogy ugyanazon elemek, legyen az címlap, margók, fejezetek, fejezetcímek, bekezdések, képek, illusztrációk stb. ugyanúgy nézzenek ki a teljes dokumentáción belül. Továbbá egy helyen lehet változtatni ezeket a beállításokat. A stíluslap az elrendezést is szabályozza. Lehetővé teszi kétoldalas dokumentumok esetén a páros és páratlan oldal megkülönböztetését is.



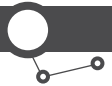
6. ábra: profilozási lehetőség a kimeneti tartalmak szűrésére

Az Arbortext Stylerben automatikus generáló funkciók is vannak. A tartalomjegyzék – mely a címlap után helyezkedik el –, valamint a dokumentum végére kerülő index lap publikálásakor létrejön. (ld. 7. ábra)

A publikálás egy folyamat, amely a kész forrásszövegből és elhelyezett objektumokból egy kiválasztott formátumot generál. Arbortext Editorban létrejött a dokumentumtérkép, a beépített fejezetekkel, azok megfelelő sorrendjével. A fejezeteket tagláló dokumentumfájlok tartalmazzzák a címeket, szövegrészleteket, képi hivatkozásokat is.

Creo Illustrate-ben elkészülnek az illusztrációk, de természetesen bármilyen más formátumú képi vagy videoanyag is beintegrálható.

Publikálási folyamat elindításakor az Arbortext Styler elkészíti a címlapot és tartalomjegyzéket, a fejezeteket a dokumentumtérkép alapján sorba rendezi és beépített stíluslapok alapján megformázza, az indexlapot a dokumentum végén létrehozza.



[index: LOCTITE][index: Menet rögzítő][index: Felületfőző][index: Ragasztó]
[index: LOCTITE][index: Thread locker][index: Surface Sealant][index: Adhesive]



Index

A		K	
Azó	9, 39	Karbantartás	7
Átcsapódás	9	Kerék	7
Azonosítás	5	Kerékagy kivétel	9
		Kerékagy perem átérése	9
		Kerékagy szerelés	31
		Kerékagy táptáv	9
Beszűrés mélység	9	Kerékagy	9
Bokkológató	39	Kerékagy szerelése	30
		Kerékagy	37
		Kerékagy szerelés	13
		Kerékagy méret	9
Csapágy szerelés	34	KVORR	24, 37
Csapágy szerelés	25, 34	Kopás	7
		Körös kulcs	34

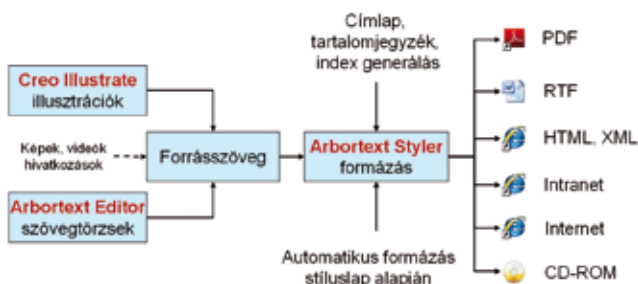
7. ábra: indexhivatkozások és az azokból publikáláskor felépülő indexlap

Többféle kimenet választható, így a klasszikus PDF kimenet, vagy más szövegszerkesztőben használatos RTF kimenet. Lehetőség van HTML és XML kimenetre is, mely alapja lehet bármely intranetes vagy internetes kiadásnak is. Ha a kimenet HTML és a kimenet helye valamely webszerveren lévő publikus könyvtár, akkor lehetőség van vállalaton belüli intranetes oldalakra vagy akár külső partnerek részére hozzáférhető internetes felületre is publikálni. Lehetőség van CD-re kiírható böngészhető szerkezetű katalógus készítésére is. (ld. 8. ábra)

BEVEZETÉSI ELŐKÉSZÜLETEK

Egy ilyen komplex rendszer bevezetésekor körültekintően kell eljárni. A bevezetéskor nagy munkát jelent az első dokumentáció elkészítése, az adattárolási rendszer kidolgozása, kiépítése, a Windchill adatbázis-integráció is. Az első időszakban biztosan több időt jelenthet az új rendszerben lévő dokumentáció elkészítése a korábbi módszerekhez képest.

Érdemes gondosan átgondolni, hogy milyen kiépítést választunk, figyelembe véve a lehetőséget, a feladatra kijelölt kolléga vagy kollégák számát, az alkalmazott munkamódszereket, a



8. ábra: publikálási folyamat

konstruktor és szervizdokumentáció-felelős közötti munkamegosztás mértékét. Ehhez mérten kell kiválasztani a licencek számát, típusát, a rendszer kiépítésének terjedelmét.

Fontos átnézni az évek vagy akár évtizedek óta alkalmazott munkamódszereket.

Célszerű elmozdulni az új rendszer kialakításakor az alábbi irányokba:

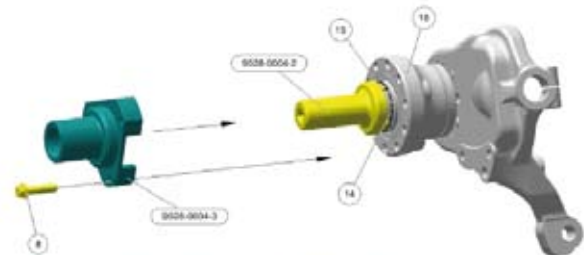
- Minél kevesebb szöveg, annál több illusztráció. Egy kép sokkal többet jelenthet egy bekezdés szövegénél. Ezzel a módszerrel pl. fordítási költségek is csökkenthetők. A módosítások átvezetése a szövegeken is könnyebb.
- Célszerű – ahol lehet – egységesítésekkel csökkenteni az előforduló változatok számát. Konkrétan pl. a megnevezések, alkatrész-elnevezések vagy pl. konkrét szerelési műveletek szövegezését egységesíteni, ebből „adatbázist” létrehozni, hogy később a hasonló jellegű másik termék dokumentációjában felhasználható legyen.
- Lehetnek olyan ismétlődő szövegek, képek, bekezdések vagy fejezetek, amiket csak egyszer kell elkészíteni, és utána több helyen felhasználni a későbbi dokumentumokban.

605.00,-01,-03,-04,-06,-07 MELLŐ KERÉKAGY EGYSÉG

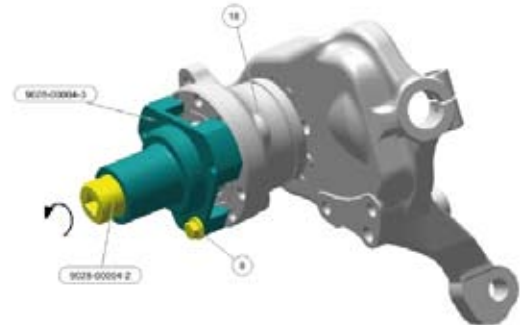
9.6 Kúpgörgős kompakt csapágy le- és felszerelése

KÚPGÖRGŐS KOMPAKT CSAPÁGY KISZERELÉSE

Öldjük a tengelyvéganya (14) biztosítását (15), majd felszereljük a 9028-00004-2 számú körös kulcsot és a 9028-00004-3 számú körös kulcs megvezetőt egy 013.00-3311-097 ragasztó M14 határfelület perem-csavarra (8) a kúpgörgős csapágyra (18).



Öldjük a tengelyvéganyát (14) a 9028-00004-2 körös kulcs elfordításával.



9. ábra: egy lap a kész dokumentációból beillesztett illusztrációkkal

Körültekintő, jól átgondolt és lépcsőzetes bevezetés megkönnyíti egy egységes rendszer kialakulását a vevőszolgálati dokumentáció készítése folyamatában (ld. 9. ábra). ●

IRODALOM

1. PTC University: Introduction to XML, DITA and Arbortext
 2. PTC University: Authoring using Arbortext Editor 6.0
 3. PTC: Arbortext Editor Tutorial
- (Version: Arbortext 6.0 F000, Published: February 2011)

Téli autópálya-karbantartási munkafolyamatok monitorozásának lehetőségei Mercedes-Benz Unimog eszközhordozók esetében

DR. SZALAY ZSOLT

egyetemi docens
BME Gépjárművek Tanszék

LIMP ANDRÁS

fejlesztőmérnök
Inventure Autóelektronika

Az Állami Autópálya Kezelő Zrt. megbízásából a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem az Inventure Autóelektronika közreműködésével egy olyan műszaki adatgyűjtő rendszert fejlesztett ki, mely alkalmas a speciális téli autópálya-karbantartási munkafolyamatok egyes munkafázisainak nyomon követésére és elemzésére. Az Mercedes-Benz Unimog eszközhordozó tevékenységekre bontott üzemanyag-felhasználásán felül a kifejlesztett rendszer alkalmas a hidraulikusan működtetett hóéke és az Epoke kombinált só- és oldatszóró berendezésekkel végzett tevékenységek teljes körű ellenőrzésére. Pilot-teszt keretében a rendszer több hónapig használatban volt a Gödöllői Üzemeltetési körzetben, ennek az időszaknak az eredményeit tartalmazza a következő beszámoló.

In cooperation with Inventure Automotive Inc. the Budapest University of Technology and Economics has developed a complex vehicle data logging system for State Motorway Management Company Ltd. The system is capable of tracing and analyzing specific activities during highway maintenance in wintertime. In addition to the fuel consumption – which is divided into specific activities –, the solution also controls the activities made by EPOKE combined salt spreader and hydraulic snowplough. The below report contains the results of the pilot test period carried out in Gödöllő territory.

BEVEZETŐ

A mai modern munkagépek fejlesztésénél az egyik legfontosabb szempont a jármű sokoldalú felhasználási lehetősége. Az ezredforduló előtt gyártott munkagépek nagy része csupán egy-egy speciális munkafolyamat elvégzésére volt alkalmazható, később viszont a megnövekedett igényeknek megfelelően a járműgyártók olyan eszközhordozókat fejlesztettek, amelyek a felépítmények cseréjével sokkal univerzálisabb alkalmazási lehetőségeket nyújtanak. Ezek a járművek a különböző munkafolyamatok elvégzéséhez már a feladatnak megfelelő, speciális adaptereket használnak. A napjainkban gyártott eszközhordozókra – a típustól és a felszereltségtől függően – számos, speciális feladatot ellátó felépítmény szerelhető. Ezek cseréjével ugyanaz az eszközhordozó alkalmas lehet például a közutak és az autópályák takarítási

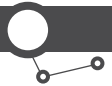
és csúszásmentesítési munkáinak elvégzésére, az utak melletti területek szegély- és bozótkaszállási munkáira, sövényvágásra, fafeldolgozási műveletek ellátására, csatornatisztítási és szivattyúzási feladatokra egyaránt.

ADATINTEGRÁCIÓS LEHETŐSÉGEK

A kezdeti járműves nyomkövető rendszerek csupán a jármű aktuális GPS-pozícióját rögzítették és útvonalát tárolták. A továbbfejlesztett flottamenedzsment-rendszerek a jármű pozícióján és útvonalán túl egyéb járműparamétereket (motorfordulat, járműsebesség, üzemanyagtankszint, fogyasztás, megtett út, motorüzemóra, pedálkezelés, tachográfinformációk stb.) is biztosítanak a járművek működéséről [1]. Ezeket a paramétereket a flottamenedzsment-rendszerek számára szabványosított formában (FMS Standard – Fleet Management System) az alapjárművekbe épített ún. FMS Gateway eszköz biztosítja. Az olyan járműspecifikus paramétereket, mint például a felépítmények, a hidraulikarendszer vagy a kényelmi berendezések adatait ez a szabvány azonban nem definiálja [2]. A felépítmények működésének a flottamenedzsment-rendszerekbe történő integrálása a felépítményre szerelt szenzorok, valamint a felépítmény eszközhordozó általi meghajtásadatainak hozzáférhetőségétől függ. A felépítmények meghajtása történhet a hordozó kardántengelyén vagy a hidraulikus rendszerén keresztül, emellett léteznek önálló meghajtással szerelt felépítmények is. A meghajtás paraméterei az újabb gyártású járművek esetében megtalálhatóak a vezérlőegységeket összekötő kommunikációs csatorna – általában CAN (Controller Area Network) – által forgalmazott adatok között, régebbi járművek esetében viszont az adatok elérése csak speciális szenzorok utólagos beépítésével lehetséges. A legtöbb felépítményhez hozzátartozik egy – a vezetőfülkében elhelyezett – vezérlőpanel, amely a felépítmény működésének vezérlésére alkalmas. Az adapterek pozíció, státusz és egyéb fontos működésére jellemző adatot a vezérlőpanelekhöz való csatlakozással lehet elérni.



1. ábra: MB Unimog U400 eszközhordozó az adapterekkel



2. ábra: a hőkezelést biztosító hidraulika-vezérlőpult

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen együttműködésben az Inventure Autóelektronika egy olyan komplex rendszert fejlesztett ki, amely egy Mercedes Benz U400 Unimog jármű általános paramétereinek feldolgozásán túl, a hordozóra szerelt speciális téli felépítményeinek működését is képes monitorozni.

MERCEDES-BENZ UNIMOG U400 ESZKÖZHORDOZÓ

A Mercedes-Benz Unimog U400 típusú eszközhordozó egy sokoldalú jármű, amelyre az általános adaptereken túl a speciális munkafolyamatokra alkalmazható adapterek is felszerelhetők. A jármű 4250 cm³-es (177 LE, 610 Nm) és 6370 cm³-es (238 LE, 850 Nm) EURO 5-ös környezetvédelmi osztályba sorolt motorokkal rendelhető, amelyek a 7 tonnás járművet a felszerelt adapterekkel együtt hatékonyan és könnyen mozgatják [3]. A motorok a kitűnő teljesítményparaméterek mellett környezetkímélők is, amelyet a BlueTec technológia integrációja tesz lehetővé. A rendszer csökkenti a nitrogén-oxidok és a szilárd részecskék kibocsátását, illetve az üzemanyag-fogyasztást. A jármű egyedi eszközrögzítési rendszerrel rendelkezik, amely nagy rugalmasságot biztosít az évszaknak megfelelő adapterek gyors átszerelésékor.

A jármű elektronikus rendszerére csatlakozva lehetőség nyílik a vezérlőegységek közötti kommunikáció vizsgálatára, amely során rengeteg olyan hasznos információ gyűjthető a jármű működéséről, amely lehetővé teszi a járműkezelés optimalizálását, mérhetővé teszi az egyes munkafolyamatokat, ezáltal lehetőséget teremtve azok hatékonyabb és takarékosabb végrehajtására.

SPECIÁLIS TÉLI FELÉPÍTMÉNYEK

A Mercedes-Benz Unimog eszközhordozókon a felépítmények csatlakoztatási pontjait úgy alakították ki, hogy az eszközök felszerelése és cseréje a lehető leggyorsabb legyen. A járművekhez

az évszaknak megfelelő minden munkatípushoz kínálnak felépítményeket, amelyek lehetővé teszik, hogy a jármű az egész év során – az évszaknak megfelelő felépítményt használva – alkalmas legyen a munkavégzésre.

A felépítményeket meghajtási módjuk alapján az alábbiak szerint osztályozzuk:

- Hidraulikus meghajtás: sósórozók, kaszák, korlátmosó, homlokseprő
- Hidraulikus irányítás: hőekék
- Kardánhajtás: kaszák, seprőhengerek.

Az U400 típusú járműben 4 db független, munkavégzésre használható hidraulikakör áll rendelkezésre, amelyekből a vizsgált járműben a téli adapterek meghajtását és vezérlési feladatait két hidraulikakör látta el. Az első hidraulikakör egy hőeke kezeléséért felelős, a második pedig az EPOKE gyártmányú sósórozó adapter meghajtását végzi.

Hőeke

A hőeke kezelését a járműkezelő a vezetőfülkében lévő hidraulika-vezérlőpult segítségével végzi. A tolólap adott munkafázisnak megfelelő pozícióba állítását a hidraulikavezérlő panel mellett elhelyezkedő joystick teszi lehetővé. Ennek mozgatásával megoldható a hőeke emelése és süllyesztése, jobbra és balra forgatása, illetve a kiegészítő acélkés felemelése és lefordítása is. A felszerelt hőeke a jármű 1. hidraulikakörének 1. és 2. celláját is használja. A hőeke az 1-2, 3-4 és 5-6 csatlakozópárokra csatlakozik, amelyek a jármű elejére is ki vannak vezetve.

FELHASZNÁLÓI SZEMMEL...

Az Állami Autópálya Kezelő Zrt. minden tevékenységi területén folyamatosan nagy hangsúlyt fektet működési hatékonyságának mérésére, fejlesztésére és optimalizálására. A mostani kutatás-fejlesztési projekt célja az autópálya-karbantartási, üzemeltetési munkafolyamatok mérhetővé tétele, megteremtve így a lehetőséget ezen technológiai feladatok optimalizálására. Az Állami Autópálya Kezelő Zrt. több magyarországi telephelyen elosztva 36 db Mercedes Benz Unimog eszközhordozóval rendelkezik, melyek jelentős szerepet vállalnak az autópályák üzemeltetésében. Speciális felépítésük és szerteágazó funkcionalitásuk miatt olyan moduláris felépítésű monitorozórendszert igényelnek, amely a felszerelt adapterektől függetlenül képes a járművek munkavégzéssel kapcsolatos paramétereit mérni, rögzíteni, és az adatokból áttekinthető, informatív kiértékeléseket készíteni. Ezáltal biztosíthatóvá válik a tevékenységek objektív mérése és összehasonlíthatósága, mely nagyban hozzájárulhat a társaság hatékony működésének, felelős gazdálkodásának fenntartásához. A konkrét fejlesztés fő célja az autópálya karbantartása közben végzett téli munkafolyamatok szerinti elfogyasztott üzemanyag-mennyiségek és ráfordított munkaidők szétválasztása és elemzése.

A pilotprojekt keretében megvalósult rendszer azon fejlesztések egyike, melyek a legmodernebb technológiák alkalmazásával üzleti értéket teremthetnek az Állami Autópálya Kezelő Zrt. számára.

Cseh Tamás

gépészeti és energetikai osztályvezető
Állami Autópálya Kezelő Zrt.



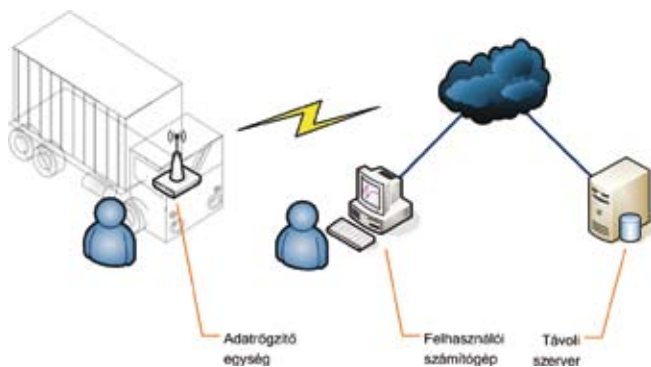
3. ábra: a felszerelt EPOKE sósórzó adapter

Kombinált só- és oldatsórzó felépítmény

A kombinált só- és oldatsórzó adapter kezelése az eszközhordozó fülkéjében elhelyezett EpoMaster kezelőpulttól történik. Az EpoMaster vezérlő lehetővé teszi a gyors sózárskép-ellenőrzést és a szimmetriakiigazításokat. A vezérlő lehetővé teszi továbbá menet közben a sózár és nedvesítés ki- és bekapcsolását, illetve a sózár szélesség, mennyiség, szimmetria beállítását. A felszerelt EPOKE kombinált só- és oldatsórzó egység teljesítményhajtását közvetlenül a jármű 2. hidraulikaköre végzi.

A KIFEJLESZTETT RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A kifejlesztett rendszer legfontosabb eleme a járműbe szerelt adatgyűjtő egység, amely a jármű elektronikus hálózatára csatlakozva a jármű és a felépítmények által biztosított adatokat fogadja, értelmezi, átalakítja, majd GSM-hálózat segítségével továbbítja egy távoli szervernek. Az adatokat a szerver GPS-koordinátákkal és időbélyeggel ellátva egy adatbázisban tárolja. A rendszer mintavételi gyakorisága szabadon konfigurálható, akár 5–10



4. ábra: a műszaki adatgyűjtő rendszer felépítése

másodpercenként is mintavételezhető egy-egy járműparaméter. A szerverről az adatbázisában tárolt adatok távolról is elérhetőek, amely megkönnyíti az adatok kiértékelését, elemzését.

SZOLGÁLTATOTT ADATOK

FMS-adatok

A Mercedes Benz Unimog U400 alapjárműbe szerelt adatgyűjtő egység biztosítja a flottamenedzsment-rendszerek (AVL – Automatic vehicle location) bemeneteként szolgáló szabványos FMS (Fleet Management System) információkat. Ezen alapadatok a jármű általános működéséről, valamint a vezető járműkezeléséről szolgálnak információval. Az adatokat vizsgálva rengeteg olyan információ gyűjthető a jármű működéséről, melyek lehetővé teszik a járműkezelés optimalizálását, a munkafolyamatok hatékonyabb és takarékosabb végrehajtását, valamint megkülönböztethető az egyes gépjárművezetők vezetői stílusa [4]. Az adatok összehasonlítási alapot adnak a különböző üzemmódok közben elfogyasztott üzemanyag mennyiségéről is, amely alapján meghatározhatóak az egyes munkafolyamatokhoz tartozó optimális fordulatszámok és a technológiákhoz alkalmazandó optimális járműsebesség.

JÁRMŰPARAMÉTER	FELBONTÁS	MÉRTÉKEGYSÉG
Járműsebesség	0,4 km/h	km/h
Kuplungpedálállás		Lenyomva/felengedve
Fékpédálállás		Lenyomva/felengedve
Tempomatstátusz		Aktív/nem aktív
Mellékajtásstátusz		Bekapcsolva/kikapcsolva
Gázpedálállás	0,40%	%
Elfogyasztott üzemanyag	1 ml	milliliter
Tankszint	0,40%	%
Motorfordulat	0,125 RPM	RPM
Motorüzemóra	0,05 h	h
Megtett út	5 m	méter
Motorhűtővíz-hőmérséklet	1 Celsius-fok	Celsius-fok

5. ábra: FMS-adatok

A túlzottan magas fordulatszám és a magas hűtővíz-hőmérséklet a motor túlterhelésére utalhat. A kíméletes vezetői stílus hosszú távon nemcsak a fogyasztási, hanem a karbantartási költségekben is megmutatkozik [5]. A fent említett adatokon kívül a járműves egység továbbítja az üzemanyagtankszintet is, amely hasznos lehet az esetleges üzemanyaggal való visszaélések felderítése során.

A megtett út, az elfogyasztott üzemanyag, valamint a motorüzemóra-adatokat a rendszer további részadatokra bontja az egyes munkafolyamatok alapján.

A kifejlesztett rendszer a jármű fogyasztási adatait milliliteres felbontásban továbbítja, amely a felhasznált üzemanyag igen pontos nyomon követését teszi lehetővé. Ugyanilyen nagy felbontással biztosítja a különböző munkafázisokhoz tartozó tüzelőanyag-fogyasztási értékeket is: szétválasztja az alapjáraton, helyváltoztatás közben és az effektív munkavégzés során elfogyasztott üzemanyag-mennyiségeket. Az üzemanyag-felhasználás különválaszt-

	MEGTETT ÚT	ELFOGYASZTOTT ÜZEMANYAG	MOTOR-ÜZEMÓRA
Alapjárat	–	Alapjáraton elfogyasztott üzemanyag	Motor-üzemóra alapjáraton
Helyváltás	Helyváltáshoz megtett út	Helyváltáshoz elfogyasztott üzemanyag	Motor üzemóra helyváltás közben
Munkavégzés	Munkavégzés közben megtett út	Munkavégzés során elfogyasztott üzemanyag	Motor-üzemóra munkavégzés során

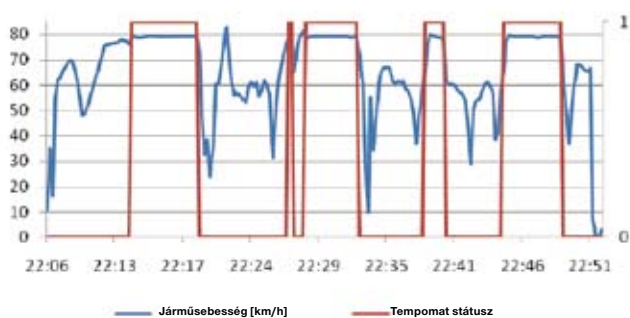
6. ábra: a fogyasztás, út és az üzemóra munkafolyamatra bontása

tásával részletesen kiértékelhető a ténylegesen munkavégzésre és a helyváltatás érdekében elfogyasztott üzemanyag aránya és költsége. Az üzemóra-adatok alapján a munkavégzésre és a helyváltatásra fordított idő másodperc pontossággal összehasonlítható, valamint a rendszer segítségével meghatározható az is, hogy a jármű motorja mennyit üzemelt alapjáraton fordulaton. A jármű által megtett távolságot méteres felbontásban biztosítja a rendszer, a helyváltatáskor és a tényleges munkavégzés során megtett utak szétválasztásával az egyes tevékenységek tovább elemezhetők.



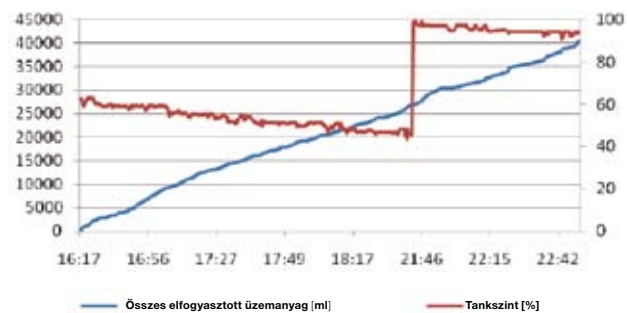
7. ábra: példa a fogyasztás és az üzemóra tevékenység szerinti bontására

Járműsebesség – Tempomat



8. ábra: a tempomat használata munkavégzés közben

Elfogyasztott üzemanyag – Tankszint



9. ábra: az elfogyasztott üzemanyag és a tankszint változása

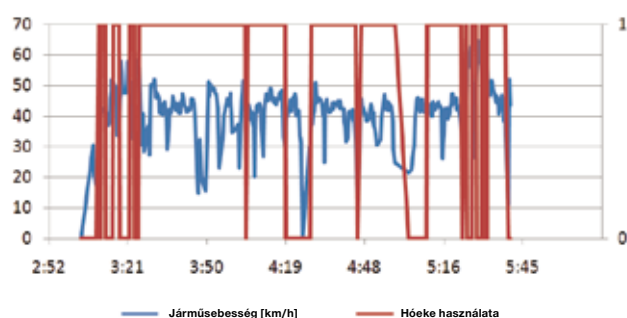
Hidraulikus vezérlési adatok

A munkafolyamatok jellemzésére nélkülözhetetlen a jármű hidraulika-rendszerének monitorozása. A felépítmények nagy része hidraulikus irányítású, másik része a működéséhez szükséges teljesítményhajtást is a hidraulika-rendszerből nyeri. A hidraulika-rendszer paraméterei a járműben elhelyezkedő elektronikus hidraulikavezérlők közötti dedikált kommunikációs csatornán keresztül érhetőek el. Az egyes hidraulikakörök a vezetőfülkében elhelyezkedő vezérlőpanel segítségével kapcsolhatóak be, valamint a hidraulikakörök térfogataramai is itt módosíthatók. Az Inventure Autóelektronika által fejlesztett rendszer az eszköz-hordozóra csatlakoztatott hidraulikus adapterek működését is nyomon követi, így képes a felszerelt hóeke mozgását minden irányban detektálni.

HÓEKE-PARAMÉTER	FELBONTÁS	MÉRTÉKEGYSÉG
Hóekehasználat		Bekapcsolva/ kikapcsolva
Hóeke-magasságállítás		Emelés/süllyesztés
Hóeke forgatása		Jobbra/balra
Hóeke döntése		Előre/hátra

10. ábra: a hóeke mozgása

Járműsebesség – Hóeke használata



11. ábra: a hóeke használata

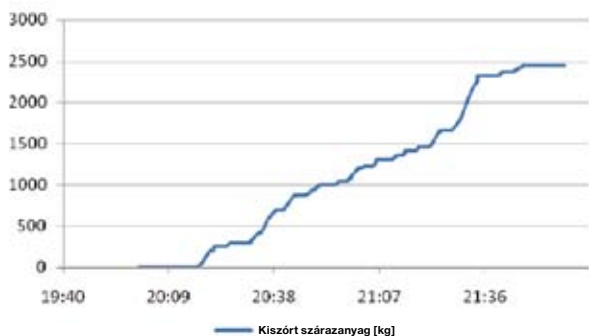
Sósórozó adatok

A sósórozó berendezés működési paramétereit a vezetőfülkében elhelyezett EpoMaster típusú vezérlő segítségével lehet beállítani. Speciálisan kifejlesztett interfészegység illeszti a mennyiségi és szóráskepi adatokat a műszaki adatgyűjtő rendszerhez, mely on-line továbbítja azokat a központi szerverhez, így napi szinten ellenőrizhetővé válik a kiszórt só mennyisége. A rendszer által biztosított sósórozó adatokat az alábbi táblázat tartalmazza:

SÓSÓROZÓ PARAMÉTER	FELBONTÁS	MÉRTÉKEGYSÉG
Összes kiszórt anyag	1 kg	kg
Szárazanyagszórás státusz		Szórás/ nincs szórás
Előnedvesítés státusz		Előnedvesítés/ nincs előnedvesítés
Max. szórási mennyiség (szárazanyag)		Bekapcsolva/ kikapcsolva
Szárazanyag-szórási szög	1°	Deg
Szórási szélesség (szárazanyag)	1 m	m
Szórási mennyiség (szárazanyag)	1 g/m ²	g/m

12. ábra: sósórozó adatok

Kiszórt szárazanyag



13. ábra: a kiszórt só mennyiségének alakulása

Összesített adatok napi jelentésben

A következő táblázat a Gödöllői Üzem-mérnökségen használt rendszer által szolgáltatott legfontosabb adatokat mutatja napi bontásban:

	DÁTUM 1	DÁTUM 2	DÁTUM 3	DÁTUM 4
Sósórozás	igen	igen	nem	igen
Ekézés	igen	nem	nem	nem
Kiszórt szárazanyag (kg)	3157	1125		3078
Összes üzemanyag (L)	58,60	17,4		43,64
Alapjárat	2%	4%		1%
Helyváltoztatás	79%	66%		70%
Munkavégzés	19%	30%		29%
Átlag (L/100)	30,27	27,3		27,91
Összes megtett út (km)	193,57	63,73		156,39
Helyváltoztatás	82%	72%		74%
Munkavégzés	17%	28%		26%
Motorüzemóra (h)	4,13	1,89		3,22
Alapjárat	22%	31%		9%
Helyváltoztatás	59%	46%		57%
Munkavégzés	19%	23%		33%

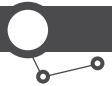
14. ábra: a rendszer által szolgáltatott legfontosabb adatok

ÖSSZEFOGLALÁS

A pilotrendszer tervezésekor nyilvánvalóvá vált, hogy az autópálya-karbantartási munkafolyamatok nyomon követése speciális, egyedi rendszer kifejlesztését teszi szükségessé, nem alkalmazhatók a jelenleg piacon lévő kész megoldások. A standard FMS-megoldásokkal csupán a jármű nyomkövetése és összesített fogyasztás mérése valósítható meg. Ezzel szemben a kifejlesztett rendszer a fogyasztást nagy felbontással, munkafázisokra bontva méri, így az egyes tevékenységek üzemanyagköltségei is ismertek lesznek. A járműves adatok mellett integrálásra kerültek az alapgép hidraulika-rendszerének adatai, továbbá a sósórozó felépítményből származó szórási mennyiség és szórási kép adatok, így a speciális felépítményű jármű teljes téli munkavégzési folyamata, illetve annak közvetlen költségei (üzemanyag és szóróanyag) is nyomon követhetők. ●

IRODALOM:

- [1] Szalay Zs., „Integration of vehicle specific technical data into AVL technology” Innovation and Sustainable Surface Transport, Hungarian-Korean Technical Cooperation Center Budapest, 13 Dec. 2011.
- [2] „Information about the FMS-Standard” <http://www.fms-standard.com/> 2012.04.10
- [3] „Rövid ismertető Unimog U 300, U 400, U 500 Euro 4 (BlueTec®)” 6518 5072 00 D (08/06), DaimlerChrysler AG, HPC: R822
- [4] Gubovits A., Szalay Zs., Balogh L., Klug D. „Járművezetői stílusbecslés gyakorlati alkalmazásának tapasztalatai”, A jövő járműve – Járműipari innováció, Vol. 3. No 1-2. 2008. május, pp. 27–33., HU ISSN 1788-2699
- [5] Szalay Zs., Kánya, Z., „Practical experiences of an on-board technical inspection support system for commercial vehicles” FISITA 2010 World Automotive Congress, 30 May – 4 June, Budapest, Hungary F2010-E-067



Oracle J. D. Edwards bevezetés a Borsodi Műhely Kft. vállalkozásnál

**HORVÁTH SZABOLCS
KOCH ZOLTÁN**

projektvezetők
Borsodi Műhely Kft.
és RIS Informatika Kft.

Versenyképessége javítása érdekében jelentős fejlesztést határozott el a Borsodi Műhely Kft., melynek keretében megújítja az informatikai eszközparkját és ezzel egy időben korszerű vállalatirányítási rendszert vezet be.

A Borsodi Műhely Kft. egyedi és kis sorozatú gépalkatrészek gyártásával foglalkozó közép vállalat. Termékeit leginkább az autópár számára állítja elő, de ma már hadi- és légiipari beszállítóként is megállja a helyét. A fémmegmunkálási tevékenység mellett géprészfelújítással is foglalkozik a vállalkozás. Néhány éve profilbővítésre került sor. Éltre hívott egy tervezői csoportot, egyrészt kiegészítve a megmunkálói folyamatokat, másrészt önálló tevékenységként kiszolgálva ezzel a külső piacokat. Továbbá jelentős hőkezelési kapacitással is rendelkezik, mely nem csak a saját termékek, szerszámok hőkezelésére, hanem piaci kínálatként értékesített szolgáltatássá vált. Mindezen tevékenységek ellenőrzésére, valamint a – beszállítók által megkövetelt – minőség megfelelő szintű fejlesztésére akkreditált mérőközpontot is kialakított. Érdekesebb, a cégre jellemző adat, hogy a termék árából mindössze 12%-ot tesz ki az anyag, míg a többi 88% hozzáadott érték.

A vállalkozás dinamikus növekedésében fontos stratégiai döntés volt az információs technológia megerősítése, újraszervezése. Az addig használt informatikai megoldás – a cég számára egyedileg fejlesztett alkalmazás – már nem elégítette ki az igényeket, illetve kiszolgáltató helyzetbe kényszerítette őket. Ezen felismerés, valamint az üzleti kihívásoknak való megfelelés érdekében korszerű ERP-rendszer alkalmazásba vételét tűzte ki célul. A kiválasztás folyamatában gondosan elemezték és értékelték a nevesebb ERP-rendszereket, majd a funkcionalitás, rugalmasság, implementálási idő, bekerülési költség, referenciák figyelembevételével a J. D. Edwards mellett döntöttek.

A projekt indításakor a cég a következő célkitűzést fogalmazta meg: „az új vállalatirányítási rendszer bevezetésével az innovatív vállalkozásunk számára megnyílik a lehetőség az üzleti alkalmazásaink proaktív módon történő támogatására, amely nagymértékben segíti vállalati működésünket, valamint rövid és hosszú távú üzleti céljaink elérését.”

A 30 felhasználóra megvásárolt modulok – pénzügy, logisztika, gyártás, tervezés – éles indítására – 5 hónapos embert próbáló implementálási munka után – 2012 januárjában került

sor a Borsodi Műhely Kft. győri és kisújszállási telephelyein, valamint a Borsodi Fémmegmunkáló Kft.-nél is. A rendszer bevezetésében a RIS Informatika Kft. mint az Oracle Gold partnere működött közre. Már az ERP-kiválasztás során is jelentős súllyal szerepelt a gyártás, gyártáskövetés, szükséglettervezési feladatok rendszerszintű támogatása. A bevezetés során erre kiemelt figyelmet szenteltünk és a standard vállalatirányítási eszközök kiegészítésére kialakításra került egy termelésirányítási, regisztrációs modul, mely nemcsak a gyártási tevékenységek nyomon követését, hanem a különböző üzemi irányítási feladatok hatékonyabb elvégzését is lehetővé teszi. A fejlesztés során a RIS Kft., a Borsodi Műhely Kft. munkatársaival közösen – az egyedi gyártásra vonatkoztatott szabályrendszer alapján – alakította ki és helyezte J.D. Edwards alapokra a megoldást, mely vonalkódos azonosítás segítségével lehetőséget ad a tevékenységek rögzítésére. Már a gyártási tevékenység kiadása, az ún. gyártmánykísérő lap elkészítése vonalkódos azonosítással történik. A munkavállalók a gyártási feladat végrehajtása során a gyártmánykísérő lap segítségével regisztrálják a megkezdett és elvégzett feladatokat, legyen az produktív vagy in produktív tevékenység. Az így keletkezett és feldolgozott információk az ERP-rendszerbe integráltan épülnek be és adnak képet a gyártási folyamatok állapotáról. Fontos szerepet játszott a bevezetés során az anyag- és erőforrás-szükséglet-tervezés folyamatának megfelelő kialakítása is. Az egyedi gyártásra jellemzően, a gyártáshoz szükséges anyag- és erőforrás-szükségletek daraboltan, széles szortimentként jelentkeznek. Az ERP szükséglettervező használatával lehetővé teszik ezek összefogását, egységes volumenben történő kezelését.

A vállalkozás megvásárolta az Oracle Production Scheduling (a J. D. Edwards alkalmazásrendszer finomprogramozást végző kiegészítése) terméket is, melynek az alkalmazásba vételére a J. D. Edwards standard kapacitás-tervező (ellenőrző) képességeinek megismerése és a hozzá tartozó feltételrendszer maradéktalan végrehajtása után kerül sor. ●



Mentőautók tüzelőanyag-fogyasztása neheztített városi körülmények között

DR. SZALAY ZSOLT

egyetemi docens,
BME Gépjárművek Tanszék

GERE TAMÁS

PhD-hallgató,
BME Gépjárművek Tanszék

KÁNYA ZOLTÁN

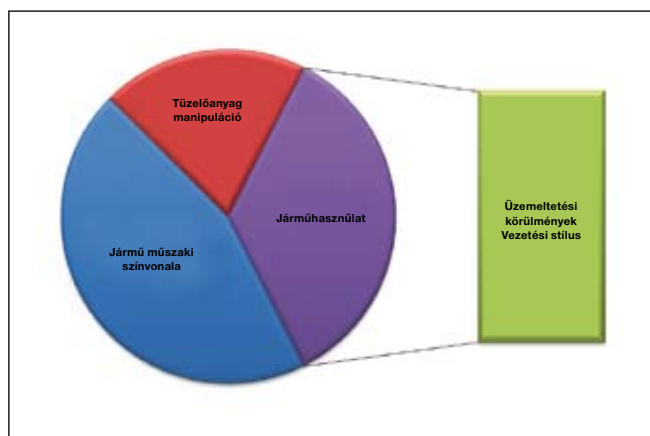
fejlesztési vezető,
Inventure Autóelektronika

Az Országos Mentőszolgálat néhány hónapja állította szolgálatba az újonnan vásárolt Volkswagen Crafter típusú mentőautókat, melyek tüzelőanyag-fogyasztását vizsgáltuk speciális igénybevételük mellett. Az üzemeltetők fővárosi viszonylatban a tüzelőanyag-elszámolások alapján nemegyszer 20–25 literes átlag-fogyasztást tapasztaltak 100 km-re vetítve, amely első hallásra irreálisnak tűnik. Véleményük szerint az indokolt fogyasztásnak maximum 16–18 liter/100 km körül kellene alakulnia. Ahhoz, hogy fény derüljön a pontos szám adatokra, két szolgálatot teljesítő mentőautóba az Inventure Autóelektronika által fejlesztett kalibrált fogyasztásmérő rendszer került beépítésre. Az adatok egy hónapon át, napi rendszerességgel kerültek elemzésre és kiértékelésre.

We were analyzing the fuel consumption of the National Ambulance Service's new Volkswagen Crafter ambulance vehicles under their special operational circumstances. The operators experienced 20–25 l/100 km as average fuel consumption which seems unreal at first sight. In their opinion, the acceptable fuel consumption should be approximately 16–18 l/100 km. To detect the precise values, a calibrated fuel consumption measuring system, developed by Inventure Automotive Electronics, has been installed into 2 ambulance vehicles. The results have been analyzed and evaluated on a daily basis during a one month period.

BEVEZETÉS

Napjainkban egyre több helyen játszik komoly szerepet a gépjárművek tüzelőanyag-hatékony üzemeltetése. A nagy flottákkal rendelkező cégeknek éves szinten jelentős költségeket jelent, ha járműveiket nem a leghatékonyabban használják az alkalmazottak. A fent említett tényezők miatt mára egyre több helyen alkalmazzák a flottamenedzsment-rendszereket, melyek segítségével nyomon követhető a járművek megtett útja, a felhasznált tüzelőanyag mennyisége és nem utolsósorban mérhető és kielemezhető a vezetési stílus is. A beépített eszköz a jármű CAN kommunikációs hálózatát használva többek között méri a megtett távolságot, a tüzelőanyag-tank szintjét, az elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségét, a jármű-sebességet, a motorfordulatszámát, valamint a pedálok állapotát. A mért adatok segítségével egy összetett algoritmus képes a vezetői stílus kiértékelésére is. A fogyasztásmérő rendszerrel együtt egy GPS-egység is beépítésre került, hogy a járműmozgások egy térkép segítségével nyomon követhetők legyenek. Az összes adat on-line módon áll rendelkezésre, a rendszer meghatározott időközönként küld adatcsomagot mobilinternet segítségével a központi szerverre.



1. ábra: a tüzelőanyag-költség összetétele

A TÜZELŐANYAG-KÖLTSÉGEK ÖSSZETÉTELE ÁLTALÁNOSÁGBAN

A tapasztalatok alapján a járműveknél, illetve a járműflottáknál általánosságban az alábbiak szerint alakulnak a tüzelőanyag-költségek. [1] Ezen szempontok szerint célszerű egy konkrét esetben is a tüzelőanyag-költségek összetételét vizsgálni.

A jármű műszaki színvonala

A költségek jelentős részét a jármű műszaki színvonala teszi ki. Manapság a járműmérnökök nagy energiát fordítanak arra, hogy a motor és a hajtásrendszer a jármű fogyasztását a lehető legkedvezőbb alakítsa. A folyamatosan fejlődő technológiának és az elektronikai eszközök széles körű elterjedésének köszönhetően évtizedek óta megfigyelhető ez a tendencia. A járművek teljesítménye és tömege folyamatosan növekszik, ugyanakkor a fogyasztás egyre kedvezőbbé válik.

Tüzelőanyag-manipuláció

Hazánkban sajnos mindennapos a tüzelőanyag-manipuláció, amely során tüzelőanyag-kivét vagy számlával való manipuláció történik. A mai modern technikának köszönhetően lehetőség van arra, hogy pontosan mérjük a jármű motorja által felhasznált tüzelőanyag-mennyiséget és emellett monitorozzuk a jármű tankjában lévő szintmennyiséget. Ez az egyik előnye a flottamenedzsment-rendszereknek, melynek használatával jelentősen csökkenthető vagy teljesen megszüntethető a tüzelőanyag-manipuláció.

Járműhasználat

Egy jármű fogyasztását tekintve jelentős szerepe van annak, hogy hogyan és milyen körülmények között használja a vezető az adott gépjárművet. Az üzemeltetési körülmények szempontjából nem mindegy, hogy országúton állandó sebességgel haladunk, vagy egy forgalmas nagyvárosban araszolunk neheztített üzemben. Hasonló különbség adódik a sík, illetve hegyvidéki úton való üzemeltetés esetében is. Továbbá fontos szempont a környezeti hőmérséklet és ezzel együtt a jármű állóhelyben történő várakozása. Lényeges eltérések adódnak ugyanis abban az esetben, ha folyamatosan több száz km-t autózunk egy kellemes 24 °C-os



időben vagy télen -10°C -ban 10–20 percek autózunk, majd 1-2 óra állás után újra elindulunk. Utóbbi esetben a motornak nincs, vagy alig van lehetősége üzemi hőmérsékletre melegedni, ami miatt a fogyasztás lényegesen megnő. A járműhasználathoz kapcsolódik a vezető képessége is. Sokan nem ismerik és emiatt nem is törekednek a tüzelőanyag-takarékos vezetési módra, amelynek köszönhetően a jármű akár 20–30%-kal is túlfogyaszthat. [2] Az üzemeltetés körülményeit a legkritikább esetben lehet üzemeltetőként befolyásolni, azonban az eco driving szabályait és a szemléletet alkalmazva a pazarló vezetés többletköltsége könnyedén megtakarítható.

TESZTJÁRMŰ



2. ábra: VW Crafter mentőautó (Fotó: OMSZ)

JÁRMŰADATOK	
Gyártó	VW
Típus	Crafter
Évjárat	2011
Rendszám	MA 03-22 és MA 03-23
Megengedett össztömeg	3880 kg

MOTORADATOK	
Típus	CR BiTDI
Lökettérfogat	1968 cm^3
Teljesítmény	120 kW
Üzemanyag	Dízel

1. táblázat: a mentőautók adatai

MÉRT ADATOK ÉS KIÉRTÉKELÉS

A két mentőautóba szerelt rendszer adatai az első négy héten (2012. február 28. és 2012. március 25. között) kerültek kielemezésre. Az egyik gépjármű az V. kerület Markó utcai, míg a másik a XIII. kerület Mohács utcai telephelyen teljesít szolgálatot. A havi adatok alapján elmondható, hogy az V. kerületben lévő jármű elsősorban a belvárosban ment életeket, míg a XIII. kerületben található részben a belvárosban és a külső kerületekben, ritkán pedig gyorsforgalmú utakon. Ennek megfelelően alakulnak a megtett távolság és fogyasztási adatok is, melyet a 2. táblázat mutat.

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Havi átlagfogyasztás (l/100 km)	18,8	16,6
Havi megtett út (km)	1774,5	2857,2
Hónapon belüli napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	25,2	19,4
Hónapon belüli napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	15,5	14,3
Havi átlagsebesség (km/h)	35,9	38,6

2. táblázat: az első négy hét (2012. 02. 28. – 2012. 03. 25.) mérési eredményei

Heti fogyasztási adatok

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Heti átlagfogyasztás (l/100 km)	18,3	17,1
Heti megtett út (km)	379,8	774,8
Napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	20,2	19,4
Napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	16,5	16
Heti átlagsebesség (km/h)	32,6	37,2

3. táblázat: az első hét (2012. 02. 28. – 2012. 03. 05.) mérési eredményei

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Heti átlagfogyasztás (l/100 km)	18,5	16,5
Heti megtett út (km)	431,5	609,5
Napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	23,2	19
Napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	16,1	15,2
Heti átlagsebesség (km/h)	32	36,1

4. táblázat: a második hét (2012. 03. 06. – 2012. 03. 12.) mérési eredményei

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Heti átlagfogyasztás (l/100 km)	20,4	16,5
Heti megtett út (km)	496,3	788,2
Napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	25,2	18
Napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	17,2	14,3
Heti átlagsebesség (km/h)	51,6	39,2

5. táblázat: a harmadik hét (2012. 03. 13. – 2012. 03. 19.) mérési eredményei

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Heti átlagfogyasztás (l/100 km)	18	16,1
Heti megtett út (km)	466,9	684,7
Napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	23,7	18,1
Napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	15,5	15,4
Heti átlagsebesség (km/h)	31,6	42,4

6. táblázat: a negyedik hét (2012. 03. 20 – 2012. 03. 25.) mérési eredményei

Napi fogyasztási adatok

A gépkocsi napi megtett útját és a napi átlagfogyasztását mutatja az alábbi táblázat.

Megfigyelhető, hogy napi szinten is többet fut a Mohács utcai mentőautó, hiszen többet jár a külső kerületekben, mint a Markó utcai. Előbbi esetben az is jól látszik, hogy az esetek többségében minél nagyobb távot tesz meg a gépkocsi, annál kedvezőbben alakul a tüzelőanyag-fogyasztása. A Markó utcai mentőautónál ez a tendencia nem mindig látszik, hiszen a belváros neheztett körülményei jelentős hatással vannak a tüzelőanyag-felhasználásra, függetlenül a megtett úttól. A tüzelőanyag-költség összetételét figyelembe véve történt a kiértékelés, amely alapján elsőként a jármű műszaki színvonalát vizsgáltuk.

A jármű műszaki színvonalá

Jelen esetben vadonatúj gépjárművekről van szó, melyekben napjaink legmodernebb fejlesztéseit alkalmazták. A VW Crafterek 2,0 literes, 4 hengeres, BiTurbo-common rail közvetlen befecskendezésű motorral vannak szerelve, amely 163 lóerőt és 400 Nm nyomatékot teljesít. Ehhez 6 sebességes manuális sebességváltó kapcsolódik. A motor és a hajtáslánc színvonalát tekintve nem lehet panasz, azonban a jármű tömege átlagon felüli. A modern életmentő berendezéseknek köszönhetően menetkészen, veze-

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)		JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)	
	megtett út (km)	átlagfogyasztás (l/100 km)	megtett út (km)	átlagfogyasztás (l/100 km)
2012. február 28.	33,4	16,6	98,5	19,4
2012. február 29.	38,8	20,2	56,3	18,4
2012. március 1.	51,7	19,7	100,7	16,7
2012. március 2.	86	18,6	150,9	16
2012. március 3.	52,6	16,5	132,1	16,2
2012. március 4.	34,9	19,6	131,9	16,7
2012. március 5.	82,4	17,2	104,4	16,7
2012. március 6.	55,9	19,4	61,2	18,4
2012. március 7.	115,3	16,1	140,5	16
2012. március 8.	63,8	17,1	71,1	15,2
2012. március 9.	44,8	23,2	87,5	19
2012. március 10.	50,6	17,5	52,3	15,3
2012. március 11.	25,7	17,2	81,9	15,2
2012. március 12.	75,4	18,8	115	16,7
2012. március 13.	93,4	18,1	115,3	16,3
2012. március 14.	202,6	18,8	117,3	18
2012. március 15.	13,2	25,2	129,4	16,5
2012. március 16.	52,7	18,4	97	15,9
2012. március 17.	24,5	20,4	154,9	14,3
2012. március 18.	15,5	24,8	30,7	17,9
2012. március 19.	94,4	17,2	143,6	16,9
2012. március 20.	82,6	16,1	102,1	16,4
2012. március 21.	74,1	17,8	58,2	18,1
2012. március 22.	102,2	16,6	79,2	15,5
2012. március 23.	93,7	18	164,8	15,5
2012. március 24.	101,2	15,5	154,3	15,4
2012. március 25.	13,1	23,7	126,1	15,5

7. táblázat: az első négy hét (2012. 02. 28. – 2012. 03. 25.) mérési eredményei napi szintre bontva

tővel és a szükséges személyzettel együtt közel 4000 kg tömegű a gépkocsi.

Üzemeltetési körülmények

Érdemes megfigyelni, hogy az adott négy héten a két jármű a havi minimális átlagfogyasztását illetően 1,2 literes eltérés adódik, ami mindössze 8%. Ennek egyrészt az lehet az oka, hogy a két jármű műszaki paraméterei ugyan megegyeznek, de a gyakorlatban némi eltérés adódik. Ami azonban sokkal valószínűbb, hogy az üzemeltetési körülményekre vezethető vissza a fenti differencia. Jóval jelentősebb eltérés látható a havi maximális átlagfogyasztás számértékeinél. A különbség itt 5,8 liter, ami közel 30%-nak felel meg. Ez azzal magyarázható, hogy volt olyan nap, amikor a Markó utcai jármű csupán egyetlen utat teljesített, így az átlagfogyasztás is ennek megfelelően alakult. A havi átlagfogyasztások esetében a következő különbségek tapasztalhatók: 2,2 liter 100 km-re vetítve, amely 13% differencia. Ez annak tudható be, hogy a Markó utcai gépjármű többnyire a belvárosban üzemel, ahol sokkal gyakrabban vannak kereszteződések, és emiatt nehezebb forgalmi szituációk, mint a másik mentőautó esetében. Ezt támasztja alá a havi átlagsebesség értéke is, amely közel 3 km/h eltérést mutat. A fenti eltérés egyértelműen az üzemeltetési körülményekre vezethető vissza. Az alábbi két műholdképen jól láthatók a fent leírtak, ami szerint az egyik jármű főként a belvárosban, míg a másik a külső kerületekben futja a kilométereket.



3. ábra: a Markó utcai jármű nyomvonala az első négy héten (2012. 02. 28. – 2012. 03. 25.)



4. ábra: a Mohács utcai jármű nyomvonala az első négy héten (2012. 02. 28. – 2012. 03. 25.)

Természetesen vannak kivételek, amikor a belvárosban használt gépkocsival a külső kerületekbe is el kell jutni, illetve fordítva. Ebben az esetben a két mentőautó fogyasztása hasonlóan alakul. Az **5. ábra** a Markó utcai gépkocsi nyomvonalát ábrázolja. Megfigyelhető, hogy ebben az esetben a belvárosban teljesít szolgálatot a mentőautó. Az ábrázolt útvonalon az átlagfogyasztás 19,61 l/100 km-re adódott. A **6. ábrán** pedig a Mohács utcai gépkocsi belvárosi nyomvonala látható. Ekkor az átlagfogyasztás 19,57 l/100 km-re adódott, amely szinte teljesen azonos a másik mentőautóval.



5. ábra: a Markó utcai jármű nyomvonala belvárosi használat során (19,61 l/100 km)



6. ábra: a Mohács utcai jármű nyomvonala belvárosi használat során (19,57 l/100 km)

A következő két ábrán a mentőautók külső kerületekben való mozgása látható. A fogyasztások itt már jóval kedvezőbbek, és a két gépkocsit nézve, hasonlóan az előbbihez, közel azonos értékeket kapunk. A Markó utcai jármű a **7. ábrán** látható útvonalat 16,1 l/100 km fogyasztással teljesítette, míg az alatta lévő **8. ábrán** a Mohács utcai gépkocsi 15,9 l/100 km átlagfogyasztást ért el az adott útszakaszon.



7. ábra: a Markó utcai jármű nyomvonala külső kerületekben (16,1 l/100 km)



8. ábra: a Mohács utcai jármű nyomvonala külső kerületekben (15,90 l/100 km)

A fentiek alapján igazoltnak tekinthetjük azon korábbi hipotézisünket, hogy az átlagfogyasztás-beli eltérések nem műszaki különbségekre, hanem kizárólag az üzemeltetés körülményeire vezethetők vissza.

Állóhelyzeti fűtés

Ahhoz, hogy a sérültek és betegek számára szükséges belső hőmérséklet gyorsan elérhető legyen, egy kiegészítő állóhelyzeti fűtés került beépítésre a járműbe. Hideg téli napokon ennek segítségével rövid idő alatt biztosítható az utastér gyors felfűtése. Használata természetesen a tüzelőanyag-fogyasztást növeli. Az beépített fogyasztásmérő rendszer által mért fogyasztási adatokba a kiegészítő fűtőberendezés által felhasznált tüzelőanyag mennyisége nem kerül be, mivel az eszköz kizárólag a jármű motorja által felhasznált tüzelőanyag-mennyiséget méri. Így előfordulhat, hogy az általunk mért és a tankolások során elszámolt számadatok eltérnek. A különbség nem más, mint az állóhelyzeti fűtés tüzelőanyag-fogyasztása, amely számításaink szerint 0,7–2,3 liter/100 km. Ebben az esetben a tankszint változását követtük figyelemmel, majd a tankolások során ez alapján becsültük a gázolaj mennyiségét. A mentőautókba Eberspacher Airtronic D4 típusú 4 kW-os állóhelyzeti fűtés került beszerelésre. Ennek fogyasztását tartalmazza az **alábbi táblázat**. [3]

ÜZEMELTETÉS	TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁS (LITER/ÓRA)
teljes terhelés	0,51
¾ terhelés	0,38
½ terhelés	0,25
¼ terhelés	0,11

8. táblázat: a beépített állóhelyzeti fűtés tüzelőanyag-fogyasztása

Ha a legrosszabb esetet vesszük, amely szerint napi 8 órában teljes terhelésen üzemelnek a kályhák, akkor ez maximum 4,08 literes fogyasztásnövekedést okoz napi szinten. Ebben az esetben az alábbiak szerint alakul a mentőautók fogyasztása.

	JÁRMŰ-1 (MARKÓ U.)	JÁRMŰ-2 (MOHÁCS U.)
Napi max. átlagfogyasztás (l/100 km)	29,28	23,48
Napi min. átlagfogyasztás (l/100 km)	19,58	18,38

9. táblázat: a fogyasztások alakulása az állóhelyzeti fűtés napi 8 órában, teljes terhelésen való használatával

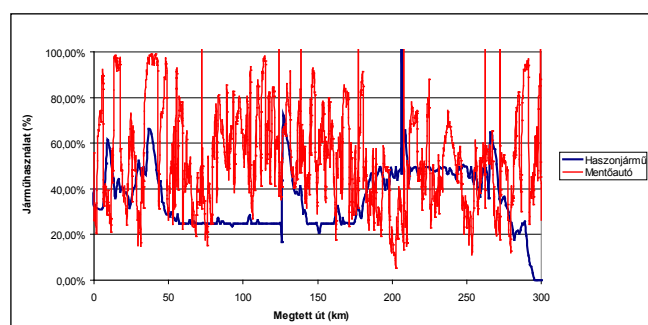
A napi maximális értékek nem fordultak elő a mérés során, a minimális átlagfogyasztások azonban reálisnak mondhatók.

Az elemzés logikája szerint a költségek következő részét a tüzelőanyag-manipuláció teszi ki. A mérések során ilyen eseteket nem tapasztaltunk, így ez a terület jelen esetben nem játszik szerepet az üzemeltetési költség kedvezőtlen alakulásában. Ellentétben a következő tényezővel, amely igen lényegesnek mondható.

Vezetési stílus

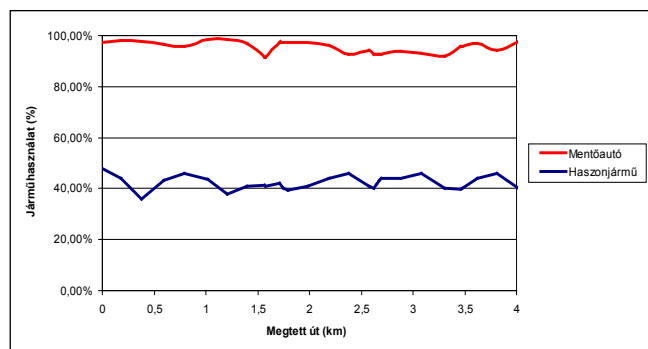
Ahogy korábban említettük, jelentős szerepe van a járműhasználatnak az elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségét illetően. Köztudott, hogy a megkülönböztető jelzéssel ellátott járművek közül a legtöbbször a mentők azok, amelyeknek a leghamarabb az adott helyszínre kell érkezni. Az esetek döntő többségében emberéletek múlhatnak azon, hogy néhány perccel korábban vagy később érkeznek. Ennek megfelelően a tüzelőanyag költségének döntő többsége a járműhasználatból fakad. Az üzemeltetési körülmények extrém-

nek mondhatók, hiszen a Budapest belvárosában való forszírozott haladás jelentősen nehezített városi üzemnek felel meg. Vezetési stílust illetően a fent említettek miatt nem engedhető meg az, hogy egy-egy riasztás alkalmával az eco-driving szemléletet helyezze előtérbe a járművezető. Az emberi élet sokkal fontosabb annál, hogy mennyit fogyaszt az adott idő és távolság alatt a gépkocsi. A következő ábra egy összehasonlítást mutat. Mindkét esetben ugyanolyan műszaki paraméterekkel rendelkező VW Crafter járművekről van szó, a motor és hajtáslánc is azonos. A különbség a kettő között az, hogy amíg az egyik egy mentőautó, addig a másik egy nemzeti közúti fuvarozásra használt gépkocsi. Mind a haszonjárműbe, mind pedig a mentőautóba az Inventure Autóelektronika által fejlesztett kalibrált fogyasztásmérő rendszer került beépítésre. A berendezés összetett becslő algoritmus segítségével képes arra, hogy megítélje a vezető járműkezelési stílusát a tüzelőanyag-felhasználást illetően. [4] Az egyes járművek vezetői által tanúsított járműhasználatot és vezetési stílust az alábbi ábra szemlélteti.



9. ábra: járműhasználat a vezetési stíusból adódóan mentőautó és haszonjármű esetében hosszú távon

Látható, hogy a haszonjármű a megtett 300 km-es távolság alatt többnyire 50% alatt marad és az értékek amplitúdója kicsi, míg a mentőautó éppen ellenkezőleg. Számos esetben a 80%-ot is meghaladja a járműhasználat, a számított értékek amplitúdója pedig 30–35%-os sávban mozog. A alábbi diagram egy rövidebb útszakaszt mutat, amelynél még jobban érzékelhető az eltérés.



10. ábra: járműhasználat a vezetési stíusból adódóan mentőautó és haszonjármű esetében rövid távon

Jól megfigyelhető, hogy a mentőautó a riasztást követően megtett 4 km-es út során közel 100%-os terhelésen üzemelt. Ellentétben a haszonjárművel, amely 45% körüli terhelési szinten volt kihasználva ugyanilyen hosszúságú útvonalon. A mentőautók fogyasztását illetően fontos szempont, hogy a február végi, március eleji időszakban még viszonylag hideg a kinti hőmérséklet, így az hozzájárul a fogyasztás növekedéséhez.



Nem elhanyagolható az sem, hogy egy-egy alkalommal mennyi időt tölt el a jármű álló helyzetben, járó motorral. Egy konkrét példát nézve a mérésekből ez a következők szerint alakítja a tüzelőanyag-fogyasztást. Az egyik riasztást követően oda és vissza 6 km-t tett meg a mentőautó, amely során összesen 1 liter gázolajat fogyasztott. Ez 16,67 l/100 km átlagfogyasztásnak felel meg. Azonban az esetenél fél órát várakozott járó motorral a mentőautó, mialatt 0,3 liter gázolajat fogyasztott. Ekkor a 6 km-es úthoz már összesen 1,3 literes fogyasztás társul, amely 100 km-re vetítve már 21,67 literes fogyasztásnak felel meg. Látható, hogy mindössze 3 deciliterrel nőtt az összes elfogyasztott gázolaj mennyisége, azonban a rövid úthossznak köszönhetően 100 km-re számolva 5 literes különbség adódik az átlagfogyasztásban.

ÖSSZEFOGLALÓ

A mért értékekből és összehasonlításokból jól látszik, hogy a nehezített körülményeknek köszönhetően hogyan változik a

járművek tüzelőanyag-fogyasztása. A gyár által a katalógusban erre a járműtípusra megadott fogyasztási érték városi használat során 9,0–9,2 l/100 km. Ez azonban 2815 kg felépítményre vonatkozik.[5] A mentőautók tömege, ahogy korábban arról szó volt, közelít a 4000 kg-hoz. A kiértékelésben részletesen leírt forszírozott üzemű járműhasználat, valamint a kiegészítő fűtés használata miatt az eredetileg mért 20–25 l/100 km átlagfogyasztás bizonyos esetekben reálisnak mondható. Normál használat során sem zárható ki hasonló mértékű tüzelőanyag-felhasználás, hiszen a fenti időszakban rendkívüli hideg uralkodott az országban, február elején volt olyan időszak, amikor a napi maximum hőmérséklet -10 fok közelében alakult.[6] Ezen kívül az új járműveknél az első 1000 km a bejáratás időszaka, amikor a motor hajlamos arra, hogy több gázolajat fogyasszon. Mindezekkel együtt a vizsgált 1 hónapos időszakban a járművek motorja által felhasznált tüzelőanyag az egyik jármű esetében átlagosan 18,8 l/100 km, a másik jármű esetében átlagosan 16,6 l/100 km volt, mely különbség egyértelműen a belvárosi és az elővárosi üzemeltetési körülmények közötti különbségre vezethető vissza. ●

IRODALOM:

- [1] Zs. Szalay, Z. Kánya, „Practical Experiences of an On-Board Technical Inspection Support System for Commercial Vehicles”, FISITA 2010 World Automotive Congress, 2010. Budapest
- [2] Kánya Z., Szalay Zs., „A vezetési stílus hatása az üzemanyag-fogyasztásra haszongépjárművek nehezített városi üzeme esetén”, IFFK 2009 konferencia, Budapest
- [3] „Eberspächer – műszaki adatok” 25 2069 90 99 52 (04.2009)
- [4] Kánya Z., Szalay Zs., Limp A., „Eco-driving mérés technika fejlesztése az új common rail motoros VW Crafterre”, A jövő járműve 2011/3-4
- [5] „Az új Crafter – műszaki adatok” 015.1196.11.16 Volkswagen AG 2011. szeptember
- [6] www.idokep.hu – Magyarország domborzati hőtérképe archívum

Magyar találmány – A TBK-Biodízel tüzelőanyag

AZ ÚJ TÍPUSÚ BIODÍZEL TÜZELŐANYAG ELSŐSORBAN EMISSZIÓ SZEMPONTÚ MOTORÜZEMI VIZSGÁLATAI

DR. MERÉTEI TAMÁS

tudományos főmunkatárs
KTI Nonprofit Kft.,
Környezetvédelmi
és Energetikai Tagozat

SZABADOS GYÖRGY

tudományos munkatárs
KTI Nonprofit Kft.,
Környezetvédelmi
és Energetikai Tagozat

Cikkünkben bemutatjuk az új típusú TBK-Biodízel tüzelőanyaggal elvégzett vizsgálatokkal nyert, a motor-teljesítményre, tüzelőanyag-fogyasztásra és károsanyag-kibocsátásra gyakorolt hatások eredményeit. Az alapul a TBK-Biodízel tüzelőanyag kereskedelmi forgalomban kapható gázolajjal való összehasonlítása volt, egy adott motoron az említett jellemzőkre vonatkozóan. Emissziós szempontból mértük azokat a komponenseket, amelyek tehergépjármű-motorokra vonatkozó emissziós típusvizsgálatokban szerepelnek, továbbá a szénhidrogén-emisszió részletes vizsgálatát is elvégeztük. A vizsgálatokat egy a magyar autóbusz-állományra jellemző motoron végeztük.

In this paper we show our results of a measurement carried out with the object to evaluate the effects of the TBK-Biodiesel fuel on the power output, fuel consumption, exhaust emissions. The basic principle of the test method was the comparison of the TBK-Biodiesel-fuel to the commercial diesel fuel regarding its effects on characteristics of the engine as well as the exhaust emissions. Emissions mean on the one hand components which are regulated in the Emission Standards of the European Union, and on the other hand a detailed analysis of hydrocarbons. The investigation was on the basis of engine test bench measurements a city bus engine typical for the Hungarian bus fleet.

BEVEZETÉS

A bioalapú tüzelőanyagok növényi olajokból mint megújuló energiaforrásból származó, közlekedési célra felhasználható tüzelőanyagok. A bio-tüzelőanyagok növekvő mértékű felhasználása a közúti gépjárművek hajtására az egyik olyan fontos eszköz az EU-tagországok, így hazánk számára is, amely csökkenti az import kőolajtól való függőséget, javítja az energiahordozó-ellátás közép- és hosszú távú biztonságát, és segíti az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését. További előnyei közé tartozik a munkahelyteremtés a mezőgazdaságban, az esetenkénti mezőgazdasági túltermelés és a parlagon lévő földek hasznosítása. A bio-tüzelőanyagok napjainkban többnyire keverék formájában használatosak a közlekedésben felhasznált fosszilis tüzelőanyagokhoz hozzákeverve.

A TBK-BIODÍZEL TÜZELŐANYAG

A vizsgálataink tárgyául szolgáló TBK-Biodízel elnevezésű bio-tüzelőanyag, és az előállítására szolgáló eljárás három magyar feltaláló (Thész János vegyészmérnök, Boros Béla gépészmérnök és Király Zoltán vegyészmérnök) találmánya, amely 2010 januárjában az MSZH-tól HU 226873 I sz.-on oltalmat kapott. Az új eljárás szerint a növényi olajat alkotó trigliceridet etilacetáttal (mint a legolcsóbban rendelkezésre álló és 100%-ban biológiai eredetű alkilkarboxiláttal) részlegesen átsztereizik. Ennek során a biológiai eredetű trigliceridben jelenlévő C16 – C22 acilcsoportok egy része acetil (C2) csoportra cserélődik, és egyidejűleg a leszorított hosszú szénláncú zsírsavak etilésztere képződik. Tehát egy kétkomponensű tüzelőanyag kerül előállításra: mégpedig a lecsökkent moltömegű és így lecsökkent viszkozitású módosított trigliceridek („könnyű növényi olajok”) és az önmagukban ismert és bio-tüzelőanyagként korábban már számításba vett zsírsavas etilészterek („FAEE”) elegye. Így nem keletkezik glicerin melléktermék, és az etilacetát beépülése miatt 15–20%-kal több tüzelőanyagot állítanak elő egységnyi kiindulási olajból. A

tipikus TBK-Biodízel 60–70% módosított trigliceridet és 30–40% zsírsavas alkilésztert tartalmaz.

A szabadalmaztatott új típusú biodízel fontosabb előnyei a hagyományos módon előállított biodízelhez szemben:

- A biomassza eredetű triglicerid minden egyes atomja tüzelőanyagként hasznosul (megmarad a glicerinváz, nem keletkezik víz és CO₂, azaz elmarad a 15–20% tüzelőanyagmennyiség-csökkenés a kiindulási biomasszára nézve).
- Magasabb oxigéntartalmú tüzelőanyag keletkezik, amely várhatóan tökéletesebb égést, jelentősen alacsonyabb részecske (füst) emissziót eredményez.

Egyszerű, környezetbarát technológia (nem kerül sor fosszilis eredetű metanol, illetve hidrogén alkalmazására, szobahőfokon történő részleges átsztereizéssel állítják elő a terméket)

- A FAME-val összevetve, minden esetben alacsonyabb jód-számú (stabilabb) tüzelőanyag keletkezik.
- A nagyobb sűrűsége miatt (0,915 – 0,950 kg/dm³) magasabb a térfogategységre vetített energiatartalom.
- Kedvezőbb hidegtűrése tulajdonságok (a módosított szerkezetű, lecsökkent moltömegű trigliceridek jelenléte miatt), alacsonyabb dermedéspont és hidegsűrűségi határhőmérséklet

	MÉRT ÉRTÉK (TBK-BIODÍZEL)	HATÁRÉRTÉK (MSZ EN 14214 SZERINT)
Sűrűség [kg/m ³]	915	860 ... 900
Kinematikai viszkozitás [mm ² /sec]	6,5	3,5 ... 5,0
Cetánszám [-]	48	>51
Rézkorrozó [-]	1A	1
Oxidációs stabilitás [h]	11,7	> 6
Jódszám [g jód/100g]	95	< 120

1. táblázat: a TBK-Biodízel fontosabb tulajdonságai



	TBK-BIODÍZEL	GÁZOLAJ (MSZ EN 590)
Sűrűség [kg/m ³]	915	820 ... 845
Kinematikai viszkozitás [mm ² /sec]	6,5	2 4,5
Cetánszám [-]	48	>51
Rézkorrózió [-]	1A	1
Oxidációs stabilitás [h]	11,7	< 25
Hidegszűrhetőségi határhőmérséklet [°C]	-13	Téli: > -20 Nyári: > 5

2. táblázat: a vizsgált tüzelőanyagok tulajdonságainak összehasonlítása

A VIZSGÁLT TÜZELŐANYAGOK JELLEMZŐI

Az összehasonlító vizsgálat alapjául referencia-tüzelőanyagként a MOL által forgalmazott motorhajtó (kereskedelmi forgalomban kapható, nyári minőségű) gázolaj szolgált, amely megfelel az MSZ EN 590:2009 szabványnak. A vizsgálandó TBK-Biodízel fontosabb jellemzőit az Ásványolajtermék Minőségellenőrző Zrt., a biodízeltre vonatkozó MSZ EN 14214 szabvány szerint meghatározta, és a következő eredményeket kapta (1. táblázat):

Mivel a vizsgálatok a TBK-Biodízel és a gázolaj motorüzemi összehasonlításáról szóltak, a 2. táblázatban összefoglaltuk a két tüzelőanyag egyes, a motorikus szempontból fontos tulajdonságainak nagyságát.

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy TBK-Biodízel tüzelőanyag három, az égést és károsanyag-kibocsátást kimondottan befolyásoló tulajdonsága (sűrűség, kinematikai viszkozitás, cetánszám) a gázolaj ugyanezen tulajdonságaitól nagyobb mértékben eltérnek, mint a hagyományos biodízel tulajdonságai. Azonban más tulajdonsága, pl. a kötött oxigénnel megjelenő nagyobb oxigéntartalma előnyösebb a hagyományos biodízelnél képest. A vizsgált tüzelőanyagok tömegre és térfogatra vonatkoztatott fűtőértékeit a 3. táblázatban foglaltuk össze. Ez alapján elmondható, hogy a TBK-Biodízel térfogatra vonatkoztatott fajlagos fűtőértéke kb. 6%-kal kisebb a gázolajénál. A FAME térfogatra vonatkoztatott fajlagos fűtőértékével (33 MJ/dm³) összehasonlítva látható, hogy az új típusú tüzelőanyag, az 1. generációval szemben e tekintetben is jobb.

VIZSGÁLT TÜZELŐANYAG	TÖMEGRE VONATKOZTATOTT FAJLAGOS FŰTŐÉRTÉK [MJ/kg]	TÉRFOGATRA VONATKOZTATOTT FAJLAGOS FŰTŐÉRTÉK [MJ/dm ³]
Gázolaj	43,00	35,69
TBK-Biodiesel	36,5	33,39

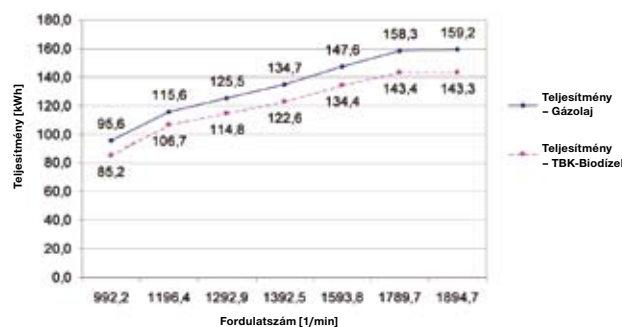
3. táblázat: a fűtőértékek összehasonlítása

A feltalálók tájékoztatása szerint a vizsgált minta repceolajból készült. Az üzemanyag jellemzői, így mindenekelőtt a kinematikai viszkozitás, a technológia flexibilitása miatt (azaz a részleges átészterezési fok függvényében), tág határok között változtathatók, így az EN szabvány szerinti 5 cSt-os viszkozitás is elérhető.

A VIZSGÁLATI MOTOR ÉS A VIZSGÁLATOK MÓDSZERE

A vizsgálatok a KTI Nonprofit Kft., Környezetvédelmi és Energetikai Tagozat tulajdonában lévő RÁBA D10 UTSL 160 típusú EURO II emissziós besorolású motoron történtek. A vizsgálat helye a Tagozat, Motorteknikai és Levegőtisztaság-védelmi Laboratóriumának motorfektérme. A vizsgálati eljárásokat az ENSZ-EGB 24. és 49. számú előírásából vettük. Az előbbi egy teljes terheléses vizsgálatot, utóbbi a motor 13 üzemi pontjában állandósult állapotú vizsgálatot jelent. Az összehasonlítás alapjai a mért motorikus jellemzők (a motor nyomatéka, teljesítménye, fajlagos fogyasztása, kipufogógáz hőmérséklete) és az említett előírásokban korlátozott kipufogógáz-emisszió (CO, HC, NO_x, PM, füst) voltak, továbbá a 13 pontos vizsgálati módszer kiegészült a TBK-Biodízel tüzelőanyag szénhidrogén-emisszióra (aldehidek, TPH-GC C5-C40, BTEX, PAH) gyakorolt hatásának részletes vizsgálatával.

A motor teljes terheléséhez tartozó teljesítménygörbéinek összehasonlítása



1. ábra: a motor teljes terheléséhez tartozó teljesítményeinek összehasonlítása

A különböző szénhidrogének vizsgálati módszerei a következők voltak:

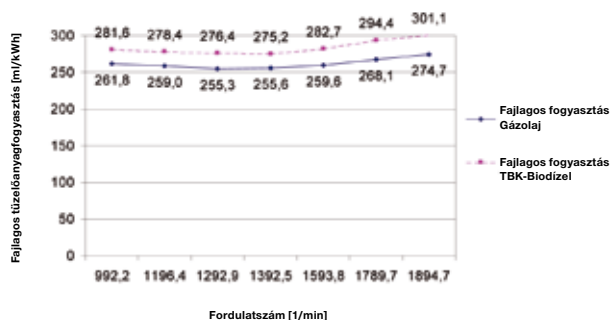
- A TPH, BTEX meghatározásához (MSZ ISO 9487:1992) a mintavételt aktív szénrel töltött adszorpciós csőre (SKC 226-01) szakaszos eljárással vettük.
- A PAH meghatározásához (MSZ 21862-29:1988) a mintavétel XAD2 töltött adszorpciós csőre (SKC 226-30-05) történt szakaszos eljárással, ami elé egy 25 mm átmérőjű üvegszál szűrő volt helyezve.
- Az aldehidek meghatározásához (MSZ 13-144:1989) a mintavétel impregnált szilikagéllal töltött adszorpciós csőre (SKC 226-119) szakaszos eljárással történt. Az előírással nem korlátozott szénhidrogén méréséhez vett minták analizését a Bálint Analitika Kft. munkatársai végezték. A kipufogógáz-emisszió mintavételezése a vizsgálati dízelmotor kipufogócsövéből a kipufogódob után történt.

A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A teljes terheléses vizsgálatok eredményei

A teljes gáz melletti teljesítménygörbék összehasonlítását az 1. ábra mutatja. A motor teljesítménye a teljes fordulatszám-tartományban a TBK-Biodízel tüzelőanyaggal történt mérésnél kisebb értékű volt. A TBK-Biodízel esetében mért 9–10%-os teljesítménycsökkenés várhatóan nem okoz azonban menetdinamikai hátrányokat.

A motor teljes terheléséhez tartozó fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásgörbéinek összehasonlítása

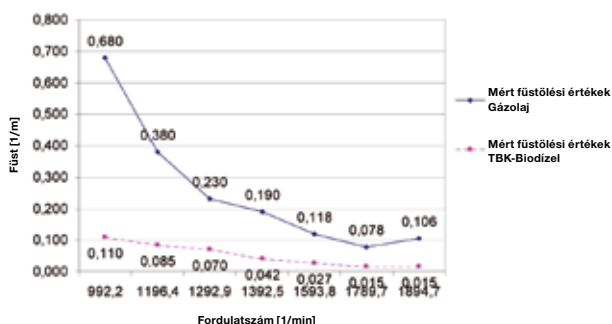


2. ábra: a motor fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásának (ml/kWh) összehasonlítása a teljes terhelés üzemi pontjaiban

A teljes gáz mellett mért, egységnyi tüzelőanyag-térfogatra vetített fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás értékeinek összehasonlítását a **2. ábra** mutatja. A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (ml/kWh) értékei a teljes vizsgálati tartományban kedvezőtlenebbül alakulnak a TBK-Biodízel alkalmazásakor. A tüzelőanyag-térfogattal számolt fajlagos fogyasztások (ml/kWh) különbségei a gázolajüzemhez képest (7,5%–9,8%) kisebbek, mint a tüzelőanyag tömegével (hagyományos) számolt fajlagos fogyasztások (g/kWh) esetén.

A **3. ábrán** a teljes gáz mellett optikai füstölésértékek láthatók. Jelentős füstöléscsökkenés (70–85%) volt mérhető. A szabadgyorsítás mellett mért értékek átlagértéke a TBK-Biodízel esetében jóval kisebb (0,091 m⁻¹), mint a kereskedelmi forgalomban kapható gázolaj esetében mért átlagérték (0,458 m⁻¹).

A motor teljes terheléséhez tartozó mért füstölési értékeinek összehasonlítása



3. ábra: a motor füstölésének mért értékei a teljes terhelés üzemi pontjaiban

A teljes terheléses vizsgálatok eredményeiből a két tüzelőanyag egyfajta energetikai szempontú összehasonlítása érdekében a motor két jellemző pontjában meghatároztuk a motor összhatásfokát. A két jellemző pont a motor maximális teljesítményének és a maximális nyomatékának pontja. A motor összhatásfokának a számítása a motor maximális teljesítménypontjában a kereskedelmi forgalomban kapható gázolajjal történő üzemelés esetén:

$$\eta_{\text{össz (Gázolaj)}} = \frac{P_{\text{max (Gázolaj)}}}{B_{\text{(Pmax)}} \cdot H_{\text{Gázolaj}}} = \frac{159,2 \text{ kW}}{10,08 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = \frac{159,2 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,01008 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 43 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,3673 = 36,73\%$$

A motor összhatásfokának számítása a motor maximális teljesítményének pontjában a TBK-Biodízel tüzelőanyaggal történő üzemelés esetén:

$$\eta_{\text{össz (TBK-Biodízel)}} = \frac{P_{\text{max (TBK-Biodízel)}}}{B_{\text{(Pmax)}} \cdot H_{\text{TBK-Biodízel}}} = \frac{143,3 \text{ kW}}{10,96 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 36,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = \frac{143,3 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,01096 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 36,5 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,3582 = 35,82\%$$

A motor összhatásfokának a számítása a motor maximális nyomatékpontjában a kereskedelmi forgalomban kapható gázolajjal történő üzemelés esetén:

$$\eta_{\text{össz (Gázolaj)}} = \frac{P_{\text{Mmax (Gázolaj)}}}{B_{\text{(Mmax)}} \cdot H_{\text{Gázolaj}}} = \frac{115,6 \text{ kW}}{6,91 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = \frac{115,6 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,00691 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 43 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,3890 = 38,9\%$$

A motor összhatásfokának számítása a motor maximális nyomatékpontjában a TBK-Biodízel tüzelőanyaggal történő üzemelés esetén:

$$\eta_{\text{össz (TBK-Biodízel)}} = \frac{P_{\text{Mmax (TBK-Biodízel)}}}{B_{\text{(Mmax)}} \cdot H_{\text{TBK-Biodízel}}} = \frac{106,7 \text{ kW}}{7,55 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 36,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = \frac{106,7 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,00755 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 36,5 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,3872 = 38,72\%$$

Az összhatásfokok összehasonlítása alapján az a következtetés tehető, hogy a motor a maximális teljesítményéhez és maximális nyomatékához tartozó üzemi ponton közel megegyező összhatásfokkal üzemel a TBK-Biodízel tüzelőanyaggal és a kereskedelmi forgalomban kapható gázolajjal. A maximális teljesítmény/nyomaték említett romlása tehát nem az égésfolyamat, hanem a dózis változására vezethető vissza.

A 13 pontos vizsgálatok eredményei

A **7. táblázatban** az emissziók ENSZ-EGB R-49.02 előírás szerint számított súlyozott átlagértékei láthatók. A táblázat alapján megállapítható, hogy a TBK-Biodízel hatására az NO_x-emisszió átlagosan 5,5%-kal csökkent, a HC-emisszió szintén csökkent, átlagosan 28%-kal, míg a CO-emisszió átlagosan 18%-kal megnövekedett, és vele együtt a PM (részecske)-emisszió is, de 58%-os mértékben a gázolajüzemhez képest. Ez utóbbi két kipufogógáz-komponens növekedése a motor kis terhelésű üzemi pontjaiban az égésfolyamat fellépő romlásával magyarázható.

EMISSIONSKOMPONENS [G/KWH]	NO _x	CO	HC	PM
Gázolaj	7,48	1,51	0,57	0,24
TBK-Biodízel	7,07	1,78	0,41	0,38

4. táblázat: a főbb komponensek súlyozott átlagértékeinek összehasonlítása

A teljes terheléses vizsgálat esetén csökkent füstölési eredményei és a 13 pontos vizsgálatból kapott megnövekedett részecskeemisszió eredményei között ellentétes változásra magyarázat egyelőre nem adható, annak világossá tételéhez további vizsgálatok szükségesek.

A szénhidrogének részletes elemzésének eredményei

Az részletes szénhidrogén-kibocsátást illetően az **5. táblázat** mutatja a vizsgált 13 üzemi pontban mért, koncentrációk összehasonlítását. A TBK-Biodízelrel mért, zöld színnel feltüntetett értékek kisebbek, mint a kereskedelmi gázolajjal mérték. A 5. táblázat alapján a következő megállapítások tehetők:

A szilárd fázisú poliaromás szénhidrogének kibocsátása a nagyobb fordulatszámú és kis terhelésű üzemi pontok kivételével a



AZ ELŐÍRÁSOKKAL NEM KORLÁTOZOTT SZÉNHYDROGÉNEK ALAKULÁSA AZ ENSZ-EGB R-49.02 (13 LÉPCSŐS) VIZSGÁLAT ÜZEMI PONTJAIBAN													
A mérési pont sorszáma	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
A mérési pont sorszáma az előírásban	1	2	4	5	6	8	9	10	12				
A mérési pont jellemzője Terhelés [%] / Fordulatszám [n]	0% / n_{Agyaglat}	10% / n_{Hmax}	50% / n_{Hmax}	75% / n_{Hmax}	100% / n_{Hmax}	100% / n_{Hmax}	75% / n_{Hmax}	50% / n_{Hmax}	10% / n_{Hmax}				
Tüzelőanyag-fajta	TBK- Biodízel	Gázolaj	TBK- Biodízel	Gázolaj	TBK- Biodízel	Gázolaj	TBK- Biodízel	Gázolaj	TBK- Biodízel				
	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³				
A komponenskielcsatósás nagysága													
PAH (szilárd fázis)	0,096	0,050	nd	0,150	nd	nd	nd	nd	nd				
benzo(e)pirene	0,096	0,050	nd	0,050	0,104	nd	0,052	0,270	0,156				
benzo(a)pirene	0,721	1,063	0,909	1,050	0,829	2,481	0,885	1,351	1,771				
Összes naftalin	2,885	10,000	7,172	12,100	25,075	11,399	9,010	6,443	9,531				
Összes PAH naftalinok nélkül	3,606	11,063	8,081	13,150	27,861	12,228	9,896	7,216	11,302				
PAH (folyékony fázis)	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³				
Összes naftalin	150,481	231,401	Nem mért	nd	210,448	79,793	60,938	225,828	119,588				
Összes PAH naftalinok nélkül	5,913	8,213	17,056	10,650	11,741	19,637	12,865	11,457	8,093				
Összes PAH	156,250	239,614	nd	nd	222,388	99,482	73,958	266,495	127,835				
A módszer kimutatási határa (nd): 0,001 µg / minta komponensenként; Mérés pontosság: (±) 10%													
Aromás és alifás szén- hidrogének	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³				
	benzol	298,077	504,587	787,037	596,154	682,243	418,919	518,868	471,698				
	toluol	134,615	91,743	148,148	230,769	177,570	175,676	150,943	160,377				
	etil-benzol	38,462	18,349	27,778	57,692	28,037	40,541	18,868	47,619				
	xilolok	144,231	nd	18,519	211,538	37,383	162,162	37,736	188,679				
	egyéb aromások	1096,153	0,000	0,000	1682,692	0,000	1135,135	0,000	1660,377				
	Összes aromás	1711,538	614,679	2069,761	2778,846	925,234	1932,432	726,415	2528,302				
	Alifás CH-ek C5-17	41634,615	5743,119	11388,889	60384,615	13831,776	52432,432	14056,604	50660,377				
A módszer kimutatási határa (nd): 0,2 µg / minta komponensenként; Mérés pontosság: (±) 10%													
Aldehidek	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³				
	formaldehid	2087,379	5009,524	5524,752	6000,000	3592,233	4478,873	5343,434	5333,333				
	acetaldehid	1038,835	493,333	1316,832	156,190	499,029	1746,479	1131,313	829,703				
	akrolein	273,786	102,857	203,960	68,687	79,612	321,127	117,172	110,476				
	egyéb aldehidek	1312,821	1014,938	1423,762	1131,313	1153,398	2205,634	1888,687	1574,257				
	Összes aldehid	4712,821	6620,652	8469,307	7856,566	5324,272	10584,762	8621,782	9068,750				
A módszer kimutatási határa (nd): 0,05 µg / minta komponensenként; Mérés pontosság: (±) 10%													
Összes szénhidrogén	48219	13020	70500	71033	20099	41817	26855	63355	78875				
%-os csökkenés a TBK-Biodízel használatával	73,00	75,53	74,41	71,71	35,78	63,18	72,12	72,59	72,25				

5. táblázat: a szénhidrogének részletes elemzésének eredményei



biodízel esetében kisebb. A rákkeltő hatás jellemzésére mért két komponens tekintetében -(benzo(e)pirén, benzo(a)pirén), a biodízel egyértelműen kedvezőbb, mivel emissziója a kimutathatósági szint alá csökkent.

A folyékony fázisú poliaromás szénhidrogének emissziója a biodízel esetében a vizsgált üzemi pontok jelentős többségében nagymértékben csökkent.

Az aromás és alifás szénhidrogének összes kibocsátására vonatkozóan a motor minden munkapontjában kedvezőbb értéket mutat a TBK-Biodízel tüzelőanyag. Kivételt egyedül a benzol képez.

Az aldehidkibocsátás a három legfontosabb aldehidfajta szempontjából egyértelműen kedvezőbb volt a biodízel esetében. A kipufogógázok kellemetlen szaghatásáért felelős formaldehid-emisszió csökkenése fordulatszám- és terhelésfüggő.

Összefoglalva a mondottakat a TBK-Biodízel esetében a szénhidrogének többségét jelentő komponensek kibocsátása *egyértelműen csökkent*, ezeken belül a rákkeltő és a szagkeltő komponensek emissziója pedig szintén *egyértelmű és jelentős csökkenést mutat*.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy a motorikus jellemzők és a kipufogógáz-emisszió szempontjából a vizsgált TBK-Biodízel tüzelőanyag a kereskedelmi forgalomban kapható gázolajjal *közel egyenértékű motorhajtó tüzelőanyagnak tekinthető*.

Az elvégzett mérések nem adnak lehetőséget a vizsgálati tüzelőanyag tartós üzem esetén fellépő hatásainak (lerakódások, kenőanyaggal való kölcsönhatások, motorélettartam befolyásolása, hidegindíthatóság) és a legújabb nagynyomású befecskendező-rendszerek működésére gyakorolt hatások értékelésére. Ehhez további újabb vizsgálatok szükségesek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A vizsgálatainkat tartalmazó projekt az NKTH támogatásával valósult meg. ●

IRODALOM:

- Dr. Merétei Tamás, Szabados György: „Új típusú biodízel üzemanyag kifejlesztése tárgyú projekt megvalósításához a TBK – Biodízel motorokban való komplex felhasználásának vizsgálata akkreditált laboratóriumban” című KTI tanulmány. KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft., Járműtechnikai, Környezetvédelmi és Energetikai Tagozat. 2010. június.
- Thész János, Király Zoltán, Boros Béla: Ismertető, nemzetközi szinten is elismert magyar találmányról. TBK-Biodízel, Új típusú biodízel üzemanyag és tüzelőolaj.
- Regulation No. 49. Revision 2. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression ignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive-ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles.
- Regulation No. 24. Revision 2. Uniform provisions concerning: I. The approval of compression ignition (c.i.) engines with regard to the emission of visible pollutants, IV. The measurement of power of c.i. engine
- MSZ ISO 9487:1992: A munkahelyi levegő aromás szénhidrogén-tartalmának meghatározása gázkromatográfiás módszerrel.
- MSZ 21862-29:1988: Munkahelyek gázállapotú légszennyezőinek vizsgálata. Aromás policiklikus szénhidrogének gázkromatográfiás meghatározása.
- MSZ 13-144:1989: Technológiai légszennyező források vizsgálata. Aldehidek emissziójának meghatározása.



inno
mobilitas
A MAGYAR JÁRMŰIPAR TUDOMÁNYOS LAPJA



2012. 08. 17. – 2012. 08. 20.
GYŐR-GÖNYŰI KIKÖTŐ
hu.fshungary.hu

GPS-koordináták: +47° 43' 57.07"/+17° 46' 16.83



Formula Student Hungary
– a világ legkomolyabb egyetemi formula-
autó-versenysorozatának magyar állomása

Lépj be a Formula-1 konstruktöreinek
világába!

