



ATZ/MTZ worldwide az interneten

Az ATZ/MTZ szakmai folyóiratok szerkesztősége a 2008/1-es lapszám editorial rovatában, angolul tájékoztatta az olvasóközönséget a népszerű tudományos folyóiratokat érintő aktuális változtatásokról, „Moving into the Global Village” címmel. Az ATZ/MTZ folyóiratok fő cikkeinek angol nyelvű tömörítvényeit tartalmazó ATZ/MTZ worldwide nyomtatott változata ugyanis 2008-tól megszűnik, de on-line hozzáférhetővé tették a www.atzonline.com weboldalon, amely a jól ismert All4engineers portál utódja. A továbbiakban a főszerkesztő leveléből idézünk.

„Dear Readers,

You might be somewhat surprised that I am writing you in English this time. There's no need to worry – we will continue to publish ATZ in German, as most of our readers find it more comfortable to read articles presented in this language. I would simply like to take this opportunity to address our international readers and all those of you who work in an international environment.

ATZ and its publishing house initiated a policy of internationalization some ten years ago. Since then, ATZworldwide has provided a translation of the main articles in a text supplement. Six years ago, the publisher took the next important

step: the launch of AutoTechnology, a global magazine that reports on developments on a highly technical level. It was not long before this magazine became the official journal of FISITA, the world body for automotive engineers.

From 2008 on we will move even further ahead: in the future, ATZworldwide will include all the pictures. And it will reach you all over the globe on the very same day it is published in Germany. How is this possible? ATZworldwide had become an electronic magazine. Subscribers also receive the FISITA magazine ATZautotechnology (formerly AutoTechnology) 10 times a year – free of charge. The new magazine will cooperate more intensively with ATZ and MTZ, will become more scientific and will appeal to more readers in the developing economies.”

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

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

Kérjen ingyenes próbaszámot!



További információkat a www.atzonline.com honlapon, az autóiipari mérnökök tudásportálján olvashat, ahol az ön munkáját egyedülálló on-line szakcikkarchívum is segíti.



Dr. Czinege Imre



Köszöntő

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontja a közelmúltban rendezte meg a Tech4Auto konferenciát és kiállítást. Az esemény mottója – „Új korszak kezdetén” – kifejezte, hogy a gazdaság megújulását új kutatási eredmények és korszerű eszközök segíthetik. A hívó szót nagyon sokan meghallották, és színvonalas előadásokkal igazolták annak valóságát és érvényességét. A gazdasági válság egyéves tapasztalatai azt mutatták, hogy a nehéz körülmények között azok a vállalkozások tudtak elfogadható szinten működni, amelyek korábban is nagy hangsúlyt fektettek az innovációra, és a kutatási tevékenységüket erősítve jelenleg is keresik az új utakat a remélt fellendülés időszakára.

A konferencia legfőbb üzenete az volt, hogy a vállalati kutatás és a stabil üzleti működés nem csupán az elmélet világában összekapcsolt fogalompár, hanem a mindennapi gyakorlat által igazolt tény. A Tudásközpont és a Kooperációs Kutatóközpont vállalati partnerei olyan új termékeket és technológiákat mutattak be, amelyek ma is kelendőek a világpiacra. Ezen kívül az is komoly hangsúlyt kapott, hogy a tervezésben alkalmazott korszerű módszerek, például a számítógépes folyamatsszimuláció, végeselem-technika, számítógépes technológiai tervezés egyedüli eszközei a korszerű gyártás- és gyártmányfejlesztésnek. Az előadások tükrében bizonyított tényként kezelhető, hogy korszerű terméket csak korszerű eszközökkel lehet létrehozni.



A Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontja, a Kooperációs Kutatóközpontot működtető Universitas-Győr Nonprofit Kft. és a régió innovációfejlesztő és érdek-képviselői szervezetei köszönik a konferencia minden látogatójának a részvételt, A jövő járműve szerkesztői pedig ígérik, hogy az elhangzott előadások szerkesztett változatát folyamatosan közvetítik az olvasóknak.



Tartalomjegyzék

3	Köszöntő – dr. Czinege Imre
5	Az „Integrált járműipari termék és technológia fejlesztő rendszer kutatása” című projekt első évének kutatási eredményei – dr. Szócs Károly, dr. Czinege Imre
7	Járműipari tisztaságvizsgálat – Cszmazia Ferencné dr., Igaz Antal
10	Hálótípusok összehasonlítása fröccsöntési szimulációs programmal – Sági Erik, dr. Dogossy Gábor
13	Hajtórúd repesztésének egyszerűsített mechanikai modellje – dr. Horváth Péter
16	A tengelycsonk kovácsolásánál használatos robot munkadarabbefogó-pofájának alakhelyes tervezése a súrlódási tényező figyelembevételével – Tancsics Ferenc, Kozma István, Kiss Balázs, Halbritter Ernő
22	A „Járműipari, Elektronikai és Logisztikai Kooperációs Kutatóközpont” első évének kutatási eredményei – Tóth Eszter, dr. Czinege Imre
25	Logisztikai folyamatok kutatása – Csomagolási rendszer fejlesztése, a járművek által gerjesztett igénybevételek elemzése – dr. Pánczél Zoltán, Böröcz Péter, Mojzes Ákos
30	Optikai digitalizálás MAHR koordinátamérő géppel – dr. Solecki Levente
33	Belső égésű motorok hengerfelületeinek kopásvizsgálata – dr.-Ing. Mathias Roman Dreyer, dr. Solecki Levente
36	Vevői igények azonosítása és azok megvalósítása korszerű közúti és off-highway futóművekben – dr. Szócs Károly
40	Forgácsolási kutatások a Borsodi Műhely Kft. részére – Horváth Szabolcs, Pápai Gábor, dr. Pintér József
43	MathCAD és Pro/Engineer szoftverek újszerű felhasználása a kovácshengerlési szűrőterv készítése területén – Tancsics Ferenc, Kiss Balázs, Halbritter Ernő
47	Intelligens autó az Európai Közösségek Bizottságának határozatai és ajánlásai tükrében – dr. Oláh Ferenc
51	Regisztrációs lap
52	A vezetői asszisztensek fejlődése – Petrók János
60	Autószalonok, járműipari szakkiállítások 2010-ben
61	Torziós lengéscsillapítóban alkalmazott viszkózus folyadék modellezése – Kőkuti Zoltán, dr. Kokavec János, Holczer István, Danyi Antal, Gábor Zoltán, dr. Czirják Attila, prof. dr. Szabó Gábor, dr. Ailer Pirooska, Pézsa Nikolett, dr. Németh Huba, Prof. dr. Palkovics László
66	Sűrített levegős motorfeltöltés haszonjárművek számára – dr. Németh Huba
70	Kombinált mechatronikai komponens jóváhagyási metodika – dr. Szalay Zsolt, Miklós Attila
76	Önerősítő mechanizmusok fejlesztése fékrendszerekhez – Balogh Levente, dr. Németh Huba
80	Aktív kormányzással támogatott ESP – Hankovszki Zoltán, Kovács Roland
88	A szoftverfejlesztés jövőbeni lehetőségei az autóiparban – SPEEDS – Aradi Szilárd, dr. Fülep Tímea, dr. Heimo Nakesch
93	Belső égésű motor átalakítása hidrogénüzemre – dr. Emőd István, Budik György

Az „Integrált járműipari termék és technológia fejlesztő rendszer kutatása” című projekt első évének kutatási eredményei

Dr. Szócs Károly
Rába Futómű Kft.,
projektvezető

A cikk bemutatja az „Integrált Járműipari Termék- és Technológia Fejlesztő Rendszer” projekt első éves tevékenységét, amelyet a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogat és három vállalat, valamint egy egyetem hajt végre. A kutatási területek magukban foglalják a számítógépes tervezést és végeelem-technikát, a számítógéppel segített gyártást és minőségirányítást.

Dr. Czinege Imre
egyetemi tanár, Széchenyi
István Egyetem, IT-elnök

The paper introduces the first year's activity of the “Integrated Product and Technology Development System for Vehicle Industry” project, which is supported by the National Office for Research and Technology and carried out by three companies and a university. Research areas are involving the Computer aided Design and Finite Element Methods, Computer Aided Manufacturing and Quality Control.

BEVEZETÉS

Az Integrált Járműipari Termék- és Technológia Fejlesztő Rendszer (rövidítve: IJTTR) kutatási projekt a Nemzeti Technológia Program keretében indult 2008. október 1-jén, három és fél éves futamidővel. A kutatásokhoz rendelkezésre álló vállalati forrás 362 M Ft; a támogatás 894 M Ft; tehát a projekt teljes költségvetése összesen 1,256 M Ft. A konzorcium vezetője a Rába Futómű Kft., tagjai a Borsodi Műhely Kft., a HNS Műszaki Fejlesztő Kft. és a Széchenyi István Egyetem. Mint a projekt címe mutatja, a kutatások fókuszában az integrált termékfejlesztés (Integrated Product Development) áll, melynek három kulcseleme a számítógépes tervezés és végelem-technika (CAD és FEM), a számítógéppel segített gyártás (CAM), valamint a számítógéppel segített minőségirányítás (CAQ). A partnerek e három tevékenység köré csoportosítva végzik a közös kutatásaikat az egyetem tudományos támogatásával.

A projekt megvalósítási folyamata során a konzorciumi partnereknek jelentős változásokkal kellett szembenézni, ugyanis a tervezés és a pályázatbeadás időszakát dinamikusán fejlődő gazdasági környezet jellemezte, ezzel szemben a kutatások első évére a gazdasági válság nyomta rá a bélyegét. A nehéz gazdasági helyzetben mindegyik vállalati partner stratégiai célkitűzése az volt, hogy a kutatási tevékenységet a lehetőségek szerint szinten kell tartani, melynek érdekében minden erőfeszítést megtettek. Ennek tulajdonítható, hogy a tervezett projektek eredményesen lezárultak. Jelen cikk az első év néhány kiválasztott kutatási és fejlesztési eredményét tekinti át.

SZÁMÍTÓGÉPPEL TÁMOGATOTT TERVEZÉSI MÓDSZEREK KUTATÁSA ÉS TERMÉKFEJLESZTÉS

A 2005–2008 között megvalósított Regionális Egyetemi Tudásközpont projektben a Rába Futómű Kft. és a Széchenyi István Egyetem hatékony számítógépes tervező és végelem-szimulációs szoftverrendszer fejlesztett ki és vett alkalmazásba szilárdsági számításokra, hőtani és áramlási folyamatok modellezésére (1. ábra). Jelen projekt első évében már ez az eszközrendszer is támogatta a Rába új futóműfejlesztéseit.

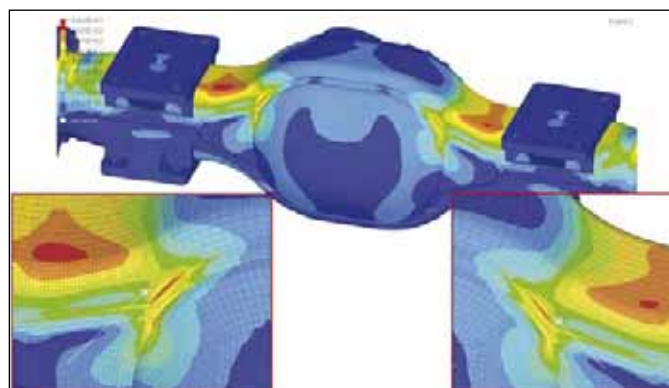
A mezőgazdasági erőgép futóművek terhelési szintjének 525 LE-ről 650 LE-re növelése és a sebesség 14%-kal történő emelése érdekében több jelentős műszaki fejlesztést kellett végrehajtani. A ház és hajtásláncelemek végelem-számítással alátámasztott megerősítésén kívül két új megoldás került bevezetésre, az egyik a nyomásos olajozási

rendszer, a másik pedig a kúpkerek-csapágyazás megoldása 5000 ford./perc behajtó fordulatra. A növelt teljesítmény a fékek hőtechnikai elemzését és módosítását is igényelte, ezt a vállalat és az egyetem kutatói közösen végezték el. A FEA/Pro-Mechanika

és a Fluent szoftverekkel végzett folyamatszimulációt hőmérséklet-mérésekkel ellenőrizték, majd fékpadi mérésekkel minősítették az egész konstrukciót. A két szimulációs szoftver eredményeinek összehasonlítása egymással és a mérési eredményekkel, több tanulsággal szolgált az alkalmazás lehetőségeivel és korlátaival kapcsolatban. A másik kihívás a közúti jármű futóművek dinamikus terhelésének kiterjesztése volt, a speciális járműkategória igényeinek megfelelően. Itt a futóműveknek a szokásos üzemmódtól eltérően (3X) jóval nagyobb dinamikus terheléseket (5X) kell károsodás nélkül elviselniük. Az 5X követelményeknek megfelelő futóművekben a végelem-számításokkal meghatározott igényeket (2. ábra) nagyobb szilárdságú anyagokkal, speciális konstrukciós megoldásokkal és a kifáradás szempontjából kedvezőbb kialakításokkal



1. ábra: futómű-fékszerkezet fejlesztése



2. ábra: közúti jármű futómű végelem-számítási eredményei

lehetett elérni úgy, hogy a termékek tömege és befoglaló méretei alig változtak. A minta futóműveket legyártották, és funkcionálisan ellenőrizték. A dinamikus terhelésnek kitett futóművek minősítéséhez új vizsgálati tematika kidolgozására került sor. A vizsgálatok pozitív eredménnyel lezárultak. Az új termékeken túl a részprojekt további hozadéka az a módszertani fejlődés, mely a futóművek dinamikus terhelésre való méretezésében jelenik meg vállalati szintű innovációként.

SZÁMÍTÓGÉPPEL TÁMOGATOTT GYÁRTÁS KUTATÁSA ÉS TECHNOLÓGIAFEJLESZTÉS

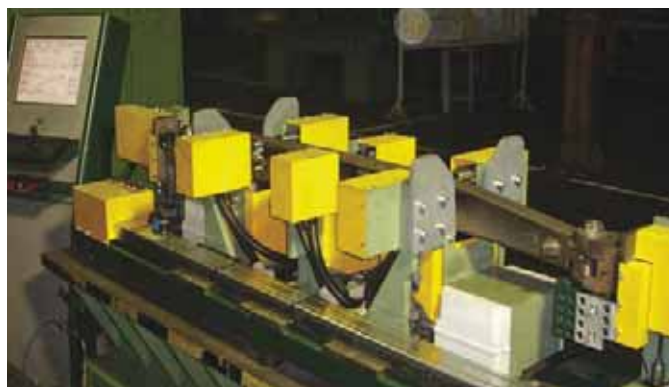
Ez a kutatási főirány technológiai fejlesztési és gyártási folyamat optimalizálási célokat tartalmaz. A fejlesztések kiinduló alapjául itt is a korábban megszerzett tudás szolgált a technológiai szimulációk területén, ugyanis a lemezalakításra, térfogatalakításra, műanyagfröccsöntésre és forgácsolásra már rendelkezésre álltak alkalmazói tapasztalatok. Hasonlóan a termelési folyamat optimalizálás témakörében is voltak kezdeti eredmények. Jelen kutatási ciklusban ezek magasabb szintre fejlesztésére kerül sor.

A Rába Futómű Kft.-nél megvalósult a kovácsoló szerszámok profilgörbületeinek az optimalizálása, a súrlódási tényező meghatározása egyszerűsített zömítővizsgálattal, valamint megoldó algoritmus kidolgozása az egyetemmel közös munkában, a MathCAD és Pro/Engineer szoftverek újszerű felhasználásával. A kovácshengerlési szűrősterv számításának és szerszám méretezésének korszerűsítése is sikeres volt, jelentős élőmunkaerő-igény megtakarítást és minőségjavulást eredményezett.

A forgácsolástechnológiai és hőkezelési kutatások irányítója a Borsodi Műhely Kft. volt. A kutatások középpontjában a többtengelyű megmunkálások álltak, ezen belül az egyetem 4 tengelyű és a vállalat 8-tengelyes ellenorsós esztergamegmunkáló központ technológiai elemzése és optimalizálása közös fejlesztés során valósult meg. A hőkezelési folyamatok kutatásához a bázist a Borsodi Műhely Kft. korszerű, felületi hőkezelésekre, edzésre és megeresztésre alkalmas berendezései jelentették, melyeket a projekt keretében helyeztek üzembe. A kutatások során sikerült az optimális hőkezelési paramétereket beállítani nem csupán a hagyományos gépészeti alkalmazásokra, hanem légiipari alkatrészanyagokra is. A bevonatolási technikákkal a Rába Futómű Kft. és az egyetem foglalkozott, megindult a nanobevonatok alkalmazástechnikai kutatása melegfolytató szerszámokra. A Széchenyi István Egyetem a gázbefúvásos fröccsöntési technológia szimulációjában és a habosított fröccsöntésben ért el kedvező eredményeket.



3. ábra: folyamatoptimalizálás Plant Simulation szoftverrel



4. ábra: gyártórendszerbe integrált moduláris mérőrendszer

A gyártási folyamat optimalizálás gyakorlati kérdéseivel mindhárom vállalati partner foglalkozott, az egyetem kutatói pedig új, a korlátozó feltételeket figyelembe vevő gyártási sorrend tervezési algoritmust dolgoztak ki, egy lehetséges megoldást adtak a sorellátási problémára, és foglalkoztak az ergonómiai tervezési eljárásokkal. A szerelősorok optimalizálására kidolgozott genetikussal a hatékonyság 3...10%-os növelését lehetett elérni a vizsgált eset-tanulmányok során. Egy példát a 3. ábra mutat.

SZÁMÍTÓGÉPPEL TÁMOGATOTT MINŐSÉGIRÁNYÍTÁS KUTATÁSA ÉS MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI ESZKÖZÖK FEJLESZTÉSE

A kutatások középpontjában minden partnernél a minőségirányítási rendszer folyamatközpontúvá tétele, a folyamatok hatásosságának és hatékonyságának mérése, a mérés és monitorozás számítógépes támogatásának megvalósítása állt, a külső és belső vevői elégedettség növelése érdekében. Ennek keretében a Rába Futómű Kft.-nél az elkészített cégfolyamattérkép alapján a számítógépes támogatás körébe vonandó folyamatok azonosítása volt a feladat, a Borsodi Műhely Kft. a vállalat kiemelt termékeinél a minőségirányítási rendszer hatékonyságát a légiipari alkatrész gyártás technológiai-mérési módszereinek kutatásával, elemzésével kívánta növelni, a HNS Kft. pedig a HNS SPC-rendszer fejlesztésével foglalkozott. A Széchenyi István Egyetem digitális optikai mérőrendszerek alkalmazástechnikai kutatásait művelte, és együttműködött a partnerekkel a témakörbe tartozó feladatok megoldásában.

Az első évi munka eredményeként a Rába Futómű Kft.-nél elkészült a termék adat menedzsment modell és a vállalati folyamat szakasz térkép, a Windchill-rendszerre támaszkodva. A Borsodi Műhely Kft. bevezette az integrált minőségirányítási rendszert a légiipari (AS9100) termékcsoportha. A rendszer működéséhez szükséges informatikai fejlesztés, majd ezt követően a rendszer auditálása 2009 július végén megtörtént. A HNS Kft. a projekt ezen szakaszában a nem normális eloszlások közül a logaritmikuss normális, folded normal és Weibull eloszlástípusokra dolgozta ki a számítási módszereket és eljárásokat, azok alapján az algoritmusokat, amelyek beépültek az SPC szoftverbe. A Rába és a HNS együttműködésével megindult a gyártórendszerbe integrált, moduláris felépítésű mérőrendszerek kidolgozása, ennek egyik megvalósítását (tengelytestmérő rendszer az egyengető munkahelyen) a 4. ábra mutatja.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az IJTTR-projekt első éve sikeresen lezárult, a vállalati partnerek és az egyetem kutatási együttműködésének eredményeként a tervezett feladatok megvalósultak. Az elkészült fejlesztések hozzájárultak ahhoz, hogy a vállalatok a nehéz gazdasági környezetben is megőrizték működőképességüket, és készülnek a fellendülés időszakára.

Járműipari tisztaságvizsgálat

Csizmazia Ferencné dr.
főiskolai docens,
Széchenyi István Egyetem
Anyagismereti és
Járműgyártási Tanszék

Igaz Antal
Carl Zeiss Technika Kft.

A cikkben a járműipari alkatrészek tisztaságvizsgálatának célját, menetét és alkalmazási példákat mutatunk be. Továbbá rámutatunk a mikroszkópos szoftver egyéb felhasználási lehetőségeire is.

In this publication we would like to show the aim and method of determination of particulate contamination by vehicle components. In addition we demonstrate other application possibility of this microscopic software.

BEVEZETÉS

A Széchenyi István Egyetem anyagvizsgáló laboratóriumát több járműipari beszállító cég is megkereste a tisztaságvizsgálatokkal kapcsolatosan. Mivel a vizsgálatok elvégzésével és az eredmények értelmezésével sok kérdés merült fel, úgy gondoltuk, hogy ebben a cikkben összefoglaljuk a járműipari tisztaságvizsgálatokkal kapcsolatos legfontosabb elméleti és gyakorlati ismereteket.

Ismeretes, hogy a gyártás közben az alkatrészek, pl. fogaskerekek felületén megtapadó fémes és nem fémes szennyeződések beszerelés után a sebességváltóban kopási folyamatokat indíthatnak. Hasonlóképpen lényeges a járművekbe beépített elektronikai alkatrészeket tartalmazó házak fokozott tisztítása, a tisztítási folyamat ellenőrzése, hiszen a szennyeződés ebben az esetben akár rövidzárlatot is okozhat.

A vizsgálatokat szabványosították. Ilyenek pl. az ISO 16232/VDA 19 a „Járművek folyadékkörében alkalmazott alkatrészek tisztasága” vagy az ISO 4406 és 4407 szabványok, amelyek a „Hidraulika olajok tisztaságvizsgálata”. Fontos megemlíteni az egyes megrendelők által a beszállítandó alkatrészekre vonatkozó előírásokat, melyek a fent említett szabványokon alapulnak, de az adott alkatrésze vonatkozóan pontosan meghatározzák a vizsgálati körülményeket, a megengedett részecskék fajtáját és méretét, a tisztasági fokozat mérőszámát stb.

A vizsgálat lépései a mintavétel, amely a mosást és a szűrést jelenti, az értékelés és a minősítés. A továbbiakban az egyes lépéseket ismertetjük.

Mintavétel: a mintavétel első lépcsője, a mosás az alkatrész nagyságától függően történhet mosófolyadékkal való öblítéssel, mosófolyadéksugárral vagy ultrahangos mosóberendezésben. Mivel ez a folyamat meghatározó a vizsgálat eredményeinek használhatósága szempontjából, az előírásokban pontosan meg

kell adni a mosófolyadék specifikációját, mennyiségét, a körülményeket, a fúvókaméretet, a nyomást, az ultrahangos mosás esetén az ultrahang frekvenciáját, a mosás időtartamát. A mosási adatok meghatározásánál a telítési görbét célszerű alapul venni. Ennek alapján olyan paramétereket kell meghatározni, amelyek a görbe közel vízszintes szakaszára esnek, azaz a paraméterek, pl. mosások számának növekedése nem növeli a szennyeződések mennyiségét.



2. ábra: vákuumos szűrőberendezés

A mosást a szűrés követi. Lényeges a szűrő anyaga, a lyukméret és az átmérő. A tökéletes szűrést vákuumszivattyúval használatával tudjuk biztosítani. Fontos megjegyezni, hogy a mintavételhez használt eszközök és a környezet nem járulhat hozzá a minta szennyeződéséhez, tehát lehetőleg pormentes környezetet kell biztosítani.

Értékelés. Az értékelés módja lehet gravimetrikus, amennyiben a szennyeződés tömege meghaladja az 5 mg értéket. Ebben az esetben nagyon lényeges a szűrő kiszáritása, hiszen a visszamaradó mosófolyadék tömege megzavarhatja a mérést. Ez a módszer egyszerű, egy analitikai mérleg segítségével gyorsan elvégezhető, de hátránya, hogy nem ad a méreteloszlásra vonatkozó információt.

A továbbiakban ismertetésre kerülő fénymikroszkópos értékelés előnye, hogy információt kapunk a méreteloszlásra, a szennyeződések típusára vonatkozóan. A módszer reprodukálható, automatizálható, de hátránya, hogy az anyagminőségre csak korlátozottan következtethetünk. Az elektronmikroszkóp és a hozzá kapcsolt EDX-elemző segítségével az anyagminőség is meghatározható.

A FÉNYMIKROSKÓPOS MÓDSZER ISMERTETÉSE

A fénymikroszkópos módszer olyan berendezést igényel, amely motorikus fókusszal és tárgyszaltmozgatással rendelkezik, alkalmas a világos látóterű megvilágításon kívül polarizált fényrel való megvilágításra. A szűrőt speciális mintatartóban kell elhelyezni, továbbá rendelkezniünk kell kamerával és képfelvető szoftverrel.

A mérés lépései a következők: mozaikkép készítése, képelemzés, befoglaló méretek és a részecsketípusok meghatározása, méretosztályokba sorolás, dokumentálás.

A mozaikkép készítésénél figyelembe kell venni a legkisebb meghatározandó szemcseméretet, hiszen ennek függvényében lehet az objektív nagyítását megválasztani. Általános szabály, hogy a

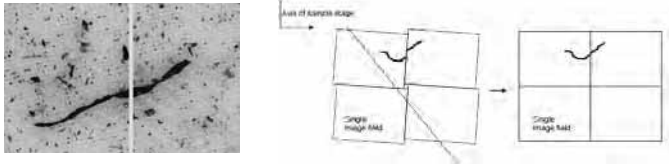


1. ábra: telítési görbe

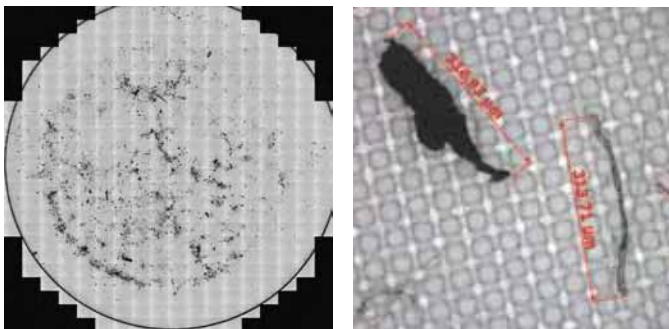
legkisebb mérendő részecskét 5–10 pixel fedje. Pl. 5x-ös objektív esetén a pixelfelbontás $\approx 0,9 \mu\text{m}$, ez $\approx 10 \mu\text{m}$ méretű részecskék elemzését teszi lehetővé. Azonban, ha a legkisebb mérendő szemcse $5 \mu\text{m}$ méretű, már 10x-ös nagyítású objektív használata szükséges. A mozaikképnél figyelni kell a látómezők illesztésére is.



3. ábra: a felbontóképesség hatása



4. ábra: a látómezők megfelelő illesztésének szerepe



5. ábra: egy szűrő mozaikképe

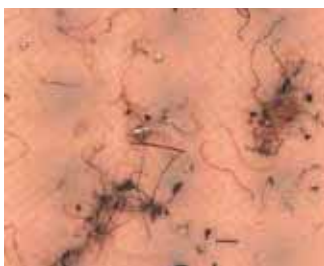
6. ábra: különböző szűrőkészítési részecskék és a feretmaximum értelmezése

A mozaikkép felhasználásával a szűrőkészítési fok szerint választhatjuk szét a részecskéket. A szoftver a legnagyobb befoglaló méretet méri (feretmaximum).

Sok esetben szükség van a fémes és nem fémes vagy a szálszerű szennyeződések külön minősítésére. A fémes és nem fémes szennyeződések elkülönítése a világos látómező és a polarizált fényvel megvilágított kép alapján lehetséges. A fémszennyeződés a világos látómezőben fényes (reflective), míg a polarizált fényenél sötét színű. A szálat pedig az alaktényező megadásával tudjuk elkülöníteni. Ha a körszerűség kisebb, mint 0,16, biztosan szálról van szó.



7. ábra: fémrészecske, világos látómező és polarizált fény megvilágításban



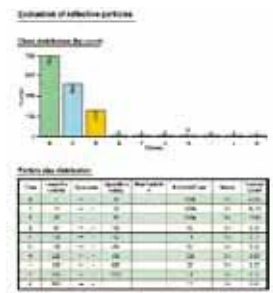
8. ábra: egy szűrő mozaikképének egy eleme

Az értékelést egy példán mutatjuk be. A 8. ábra egy szűrőről készített mozaikkép egy elemét mutatja. A 9. ábra az összes részecske eloszlását, míg a 10. a fémes (reflective), a 11. a nem fémes (non reflective) és a 12. a szálok méret szerinti eloszlását mutatja.

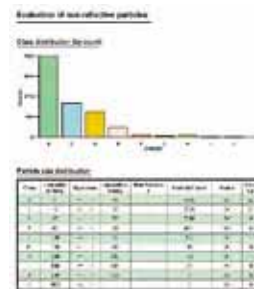
Az elektronmikroszkópos vizsgálatok esetén a szűrőn talált



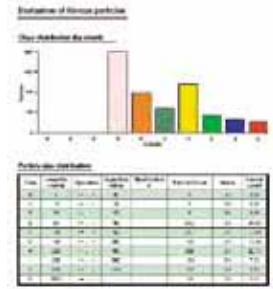
9. ábra: az összes részecske eloszlása



10. ábra: a fémes részecskék eloszlása



11. ábra: a nem fémes részecskék eloszlása

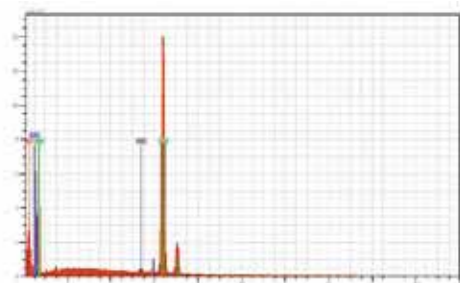


12. ábra: a szálok eloszlása

részecske (13. ábra) azonosítható pontelemzéssel vagy elemtérkép segítségével 14–15. ábrák.

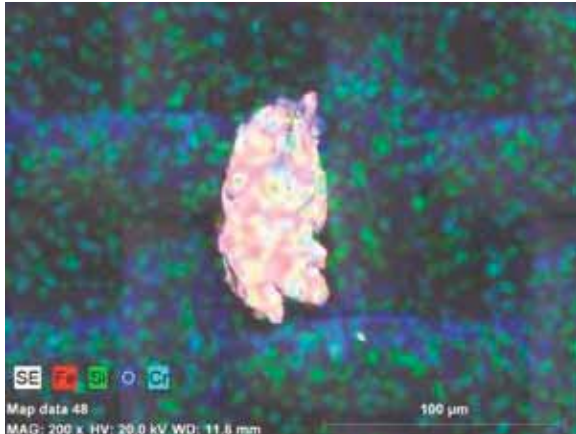


13. ábra: részecske elektronmikroszkópos képe a szűrőn

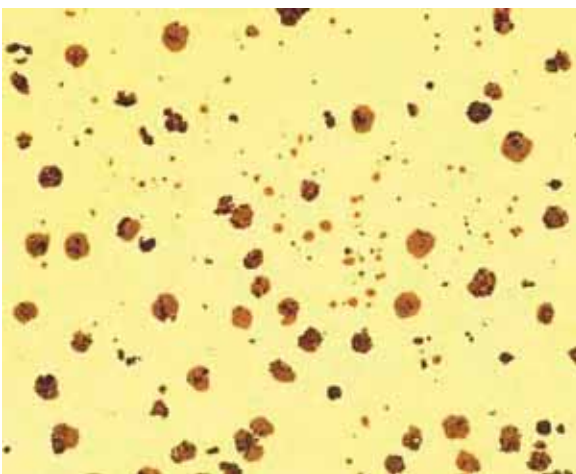


14. ábra: a részecske pontelemzésének spektruma

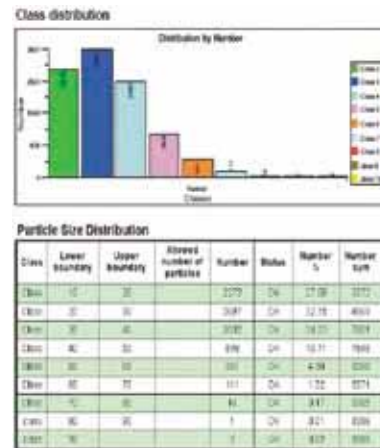
A fénymikroszkópos módszer a mozaikkép-készítéssel egyéb alkalmazást is lehetővé tesz. Felhasználható pl. szemcsés kompozitok második fázisának vizsgálatára, vagy könnyűfém öntvények porozitásvizsgálatára. Laboratóriumunkban gömbgrafitos öntöttvas grafitjának méret szerinti eloszlását határoztuk meg a szoftver segítségével.



15. ábra: elemtérkép



16. ábra: gömbgrafitos öntöttvas maratlan csiszolata



Hálótípusok összehasonlítása fröccsöntési szimulációs programmal

Sági Erik

kutató, Járműipari
Regionális Egyetemi
Tudásközpont

Dr. Dogossy Gábor

egyetemi adjunktus,
Széchenyi István Egyetem
Anyagismereti és
Járműgyártási Tanszék

A szimulációk alkalmazása a mérnöki életben már mindennapossá vált. A műanyag-gyártástechnológiák előkészítésénél is csaknem minden esetben számítógépes támogatást használnak. A szimuláció alapja a termék jól felépített geometriai modellje. Cikkünkben különféle hálótípusokkal elkészített modellek futtatási eredményeit hasonlítottuk össze.

In the engineering life the application of simulation is become daily. In preparation of polymer process technology is always used computer supporting. The base of simulation is well-built geometrical model of product. This presentation we are compared the running results of different type meshed models.

BEVEZETÉS

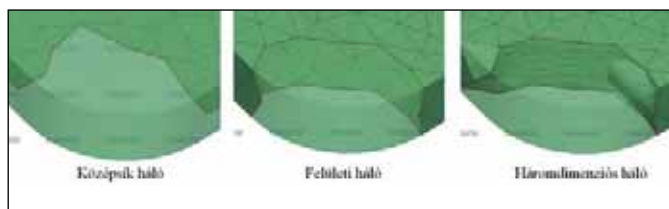
A fejlett ipari országokban egyre több az egy főre jutó műanyag-felhasználás. Magyarországon a 2008-as felmérés szerint ez a mennyiség mintegy 70 kg és egyre növekszik [1]. A gyártástechnológiák közül a fröccsöntés ennek körülbelül a 25%-át teszi ki [2]. Ezzel az eljárással ugyanúgy készítenek tömegtermékeket, mint nagy bonyolultságú alkatrészeket. Legfontosabb a gyártás során természetesen a gazdaságosság, minél hamarabb, minél jobb minőségű termék előállítása a legjobb ár mellett. Napjainkban csaknem minden területen kihasználják a számítógépek nyújtotta segítséget. A fröccsöntés során is olyan bonyolult térben és időben lejátszódó folyamatok zajlanak – mint például a folyadékáramlás, testek rugalmas és nem rugalmas deformációja – amelyek matematikai modelljének megalkotása csak többváltozós differenciálegyenletekkel lehetséges [3]. A megoldásukhoz pedig elengedhetlenné vált a számítógépek használata. Ezáltal a várható problémák még virtuálisan orvosolhatóvá válnak.

HÁLÓTÍPUSOK

A termék modelljének megalkotását követően minden esetben szükséges egy úgynevezett végelelemháló megalkotása. A hálógenerálást a szoftver végzi automatikusan vagy interaktív módon [4]. Ennek a lényege abban rejlik, hogy a modellünket apró elemek sokaságából építjük fel, melyek lehetnek egy-, két- vagy akár háromdimenziós elemek. Ezek egymáshoz közös éllel kapcsolódnak és a végelelemeket határoló élék metszéspontjaiban úgynevezett csomópontok vannak, amelyeken a vizsgált jellemzők számítása történik [5].

Az általunk használt szimulációs szoftver az Autodesk Moldflow Insight oktatási-kutatói verziója. E szoftverben háromféle módon építhetjük fel a modellünket: középsík (Midplane – MP), felületi (Dual Domain – DD) és háromdimenziós (3D) háló segítségével. Nem elég azonban a háló automatikus generálása, szükséges annak javítása, pontosítása, ugyanis a szimuláció jósága, helyessége nagyban függ a háló minőségétől és sűrűségétől. A középsík hálózásánál a szoftver háromszög elemekből építi fel a modellt és azt kétdimenziós formában jeleníti meg. Ez a típus minden fröccsöntési eljárást támogat, valamint az alkatrészek összetettségétől függetlenül alkalmazható [6]. A felületi hálózás szintén háromszög elemeket használ, azonban a megjelenítése már eltér az előző esettől. A modellünket héjszerűen ábrázolja,

és így nyújt felvilágosítást a szimulációt követően a kapott eredményekről. Alkalmazása elsősorban a vékony falú termékeknek ajánlott, mivel megfelelő pontossággal és relatíve rövid időn belül elkészül a futtatás. A háromdimenziós háló felépítése és generálása eltér az előzőektől. Első lépésben egy felületi hálót hoz létre a szoftver, amelyen el kell végezni a javításokat, mielőtt a modell belsejét is kitöltő tetraéder elemekből felépülő háromdimenziós hálót generálnánk. Ennél a típusnál a szimuláció számolási igénye megnövekszik, mivel ezen elemek egymásra hatásainak vizsgálata jelentősen bonyolultabb. Használata nagy falvastagság esetén ajánlott, amikor a középsík és a felületi hálózás nem hozna reális eredményeket (1. ábra) [6].



1. ábra: hálótípusok

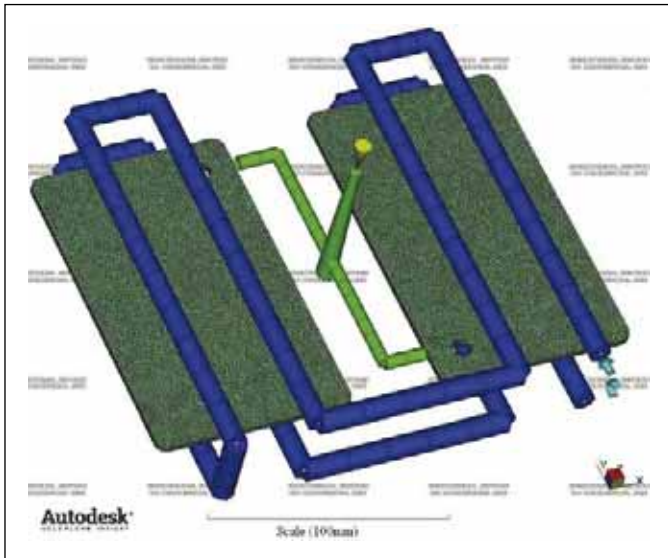
HÁLÓ MINŐSÍTÉS

A hálók minősítését egy statisztika segítségével tudjuk megtenni, amely információt ad, hogy a különféle hálókat hány elem építi fel, hány csomópont alkotja, mekkora a felülete, illetve a térfogata. Ezek kívül a különféle hibák számát adja meg, amennyiben jelen vannak a modellünkben. A hibák lehetnek a felépítő elemekből adódóan átfedések, metszések, nem csatlakozó ún. szabad élék (középsík hálónál kell lennie). Ezen kívül fontos, hogy az elemek orientációja azonos legyen. Mindhárom hálótípus esetén nagy jelentőséggel bír, a felépítő elemek alakfénytényezője (aspect ratio), mely egy arányszám, amelynek optimális értéke háromszög és tetraéder elemek esetén is 1,16. Ezt az értéket kell a lehető legjobban megközelíteni, hogy minél valóságosabb eredményeket tudjunk kapni [7]. Felületi háló esetén további szempontokat is figyelembe kell venni.

A különböző hálótípusok között nemcsak a megjelenésükben van különbség, hanem az általuk adott eredményekben is. Cikkünkben olyan eredményeket hasonlítottunk össze – azonos fröccsöntési paraméterek mellett –, amelyek mindhárom esetben kiszámíthatóak.

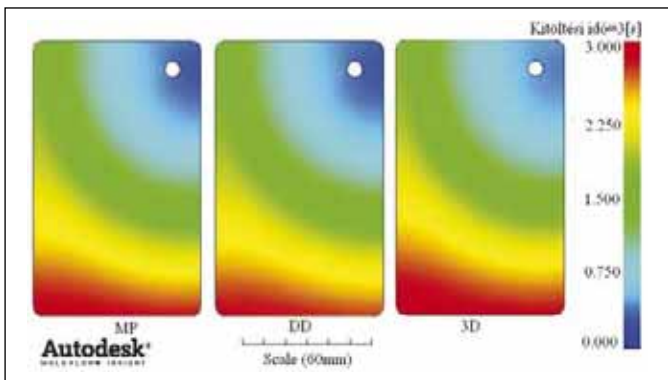
EREDMÉNYEK

A vizsgált modellünk egy lakkozó próbatest volt. A szimulációs szoftverben felépítettük a teljes szerszámmot, a beömlő és az elosztó csatornarendszerrel, hűtőkörrel (2. ábra), ezáltal a valóságnak megfelelő szimulációt végeztünk. A futtatások ideje eltérő volt, a legrövidebb a középsík hálónál, míg a leghosszabb, a háromdimenziós háló esetén (majdnem 50%-kal hosszabb ideig tartott). Ez érthető is, hiszen a modellünket felépítő elemek (háromszög, illetve tetraéder) száma – ezáltal a megoldandó differenciálegyenletek száma is – nagymértékben eltér.



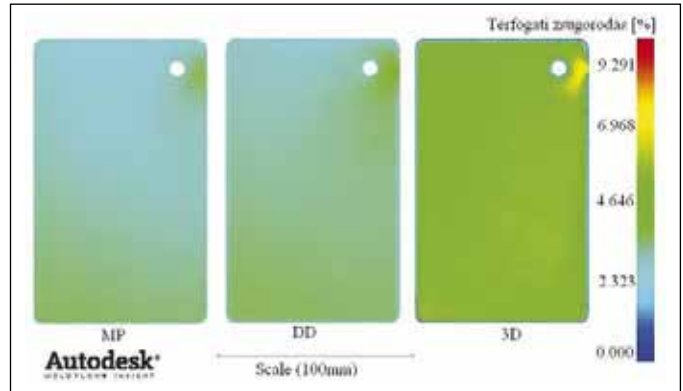
2. ábra: geometriai modell

A kitöltési idő egyezést mutat mindhárom esetben. A 3. ábrán az azonos színek utalnak az egy időben kitöltésre kerülő részekre, azaz a darab mely részeit tölti ki egy időben az ömledék. Minden esetben a teljes kitöltési ideje megközelítőleg 3 s volt.



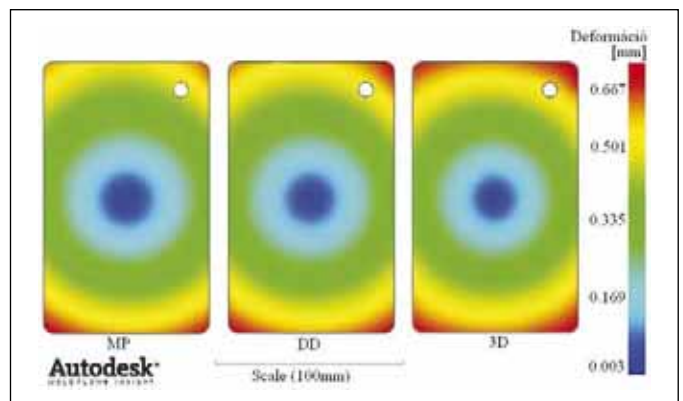
3. ábra: kitöltési idő a különböző hálótípusok esetén

A következő vizsgált eredményünk a térfogat-zsugorodásra irányult (4. ábra). Itt már jelentkeznek különbségek, amiket az ábrák közti színek jól szemléltetnek. Ezen értékek a teljes ciklus végére értendők, tehát amikor már az utónyomási szakasz és a hűtési idő is lefutott. Átlagban a különböző hálótípusok között körülbelül 2% zsugorodásetérés van, de jellegét tekintve mindegyik szimuláció jól közelíti egymást. A legnagyobb zsugorodási részek a beömlésnél, valamint a darab azon részén figyelhető meg, melyekhez az ömledék később ér oda. Természetesen esetlegesen egy bonyolultabb hűtőkörrel ezeket a problémákat orvosolni lehet.



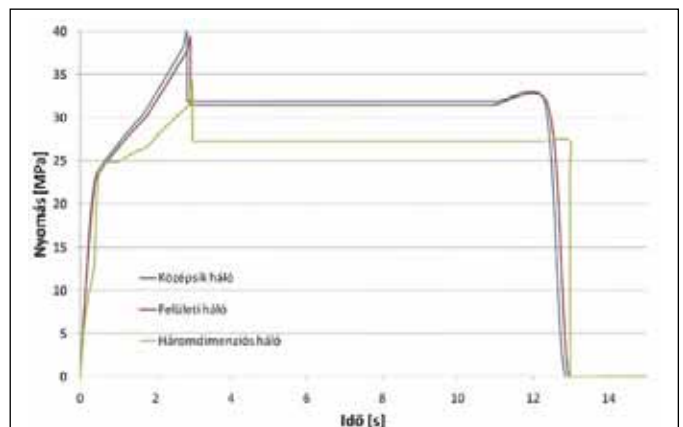
4. ábra: térfogati zsugorodás a különböző hálótípusok esetén

A Moldflow képes mindhárom térirányba kiterjedő vetemedések modellezésére. Vizsgálhatjuk akár külön-külön is az x, y vagy z irányú eltéréseket. Ezáltal könnyebben képet kaphatunk arról, hogy milyen irányban végezzünk változtatásokat, esetleg a hűtőcsúnt melyik tartományban kell eltolni. Természetesen egységes kiértékelésre is nyújt lehetőséget a szoftver, ezáltal a fröccsöntési folyamat végeztével a darab tényleges vetemedésének mértékét vizsgálhatjuk. Az 5. ábrán ez a kiértékelés figyelhető meg. Itt már a háromdimenziós hálónk lényegesen nagyobb eltérést mutat szemben a középsík és felületi hálókéhoz képest. A próbatestünk középső része az, ami a legkevésbé vetemedik és koncentrikusan kifelé haladva egyre nagyobbá válnak az értékek.



5. ábra: vetemedések mértéke a különböző hálótípusoknál

A következő amit vizsgáltunk a gátnál található szerszámműregi nyomás, amiket a szoftver az idő függvényében szemléltet (6. ábra). A függvénygörbék jellege természetesen megegyező,



6. ábra: szerszámműregi nyomások összehasonlítása a gátnál

az első szakasz a sebességvezérelt kitöltési fázis, majd átkapcsolás után a nyomásvezérelt utónyomás következik. Érdekesség, hogy a háromdimenziós háló esetén kisebb a maximális nyomás értéke, amely kisebb szükséges záróerőt mutat. Ez a különbség viszont a fröccsöntőgép választásánál jelenthet problémát.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünk célja az volt, hogy rövid áttekintést adjon az általunk használt Moldflow Insight szoftverrel végzett szimulációk során alkalmazott hálótípusokról és ezek alkalmazásáról. Munkánk során azonos fröccsöntési paraméterek mellett hasonlítottuk össze a három hálózati típust egy egyszerű alkatrész segítségével. Kijelenthetjük, hogy a hálótípusok közti választás sok tényező függvénye. Mérlegelnünk kell, hogy mennyi idő áll rendelkezésünkre a szimuláció elvégzésére, milyen igényeknek kell megfelelni, milyen fröccsöntési eljárással dolgozunk. Az alkatrész geometriája is ad irányvonalat, vastagsága, bonyolultsága mérvadó lehet. Bár

a választás lehetősége a mi kezünkben van, a fenti szempontok figyelembevétele elengedhetetlen.

Irodalom

- [1] Bakonyi Árpád: Nitrokémia Zrt. tájékoztatója a tervezett Biofinomító üzemről, Képviselő-testületi ülés, Balatonalmádi, 2009. május 28.
- [2] Dunai Antal, Macskási Levente: Műanyagok fröccsöntése. Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [3] Molnárka Győző: A matematikai modellezés és a véges elem-módszer, Tudomány, 2002/3, 3–7.
- [4] Szaszák Albert: A végeselemes analízis pontossági kérdései, BME segédlet, 2009.
- [5] Horváth László: Mechanikai rendszerek elemzése a véges elemek elvén, BMF előadásvázlat, 2009.
- [6] Autodesk Moldflow Insight szoftversegédlet
- [7] Sági Erik: Optimális fröccsöntőszerszám tervezése szakító próbatesthez, SZE szakdolgozat, 2008.

Hajtórúd repesztésének egyszerűsített mechanikai modellje

Dr. Horváth Péter
egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem

A belső égésű motorok hajtórúdfuratainak szétválasztására alkalmazott roppantásos technológia paramétereinek optimalizálásához elengedhetetlen a mechanikai folyamatok ismerete. A tanulmány egy olyan egyszerűsített számítási módszert mutat be, mely egyszerűsége ellenére is jól modellezi a roppantás folyamatát.

Bores of connecting rods in combustion engines can be split nowadays by cracking. To optimize parameters of manufacturing it is necessary to know the mechanical background of the process. This study presents a simple but effective method for simulating cracking process.

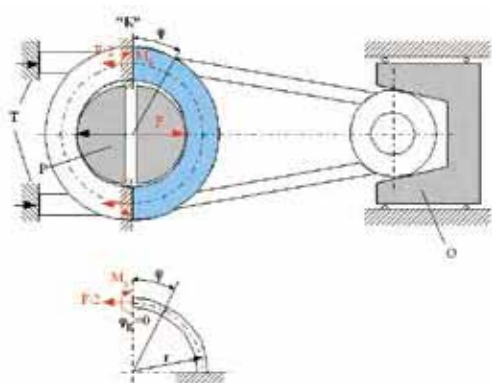
A REPESZTÉSES TECHNIKÁRÓL

A kovácsolással vagy öntéssel gyártott hajtórúdak furatai a gyártás kezdő fázisaiban még összefüggőek. A forgattyús tengellyel kapcsolódó furatot azonban a későbbi szerelhetőség érdekében ketté kell választani, majd szereléskor helyes pozícióban ismételtén összeilleszteni. Korábban a szétválasztást forgácsolással végezték, ma azonban szinte kizárólag repesztéssel (roppantással). A hajtórúd gyártási költségeit jelentősen csökkentette az új technológia szabadalmaztatása és bevezetése 1986-ban a GM és az MTS Systems (USA) által.

Az új technológia szerint repesztés előtt a repedés síkjában kis lézeres bemetszést és helyi ridegítést alkalmaznak, hogy a repedés jól definiált helyről és nagy biztonsággal meginduljon. A repedt felület egyenetlenségei szereléskor biztosítják a helyes pozicionálást is.

A repesztési technológia a hagyományos hajtókaranyagokkal jól működött, azonban a motorok teljesítményének növelése és a súlycsökkentés érdekében alkalmazott nagyobb szilárdságú anyagok a törést problematikusá tették. A kutatások jelenleg egyrészt az előírt alapanyag-tulajdonságok szavatolására, másrészt a helyi ridegítés és lézeres bemetszés optimalizálására irányulnak. Ez utóbbi feladat feltételezi a roppantás mechanikai folyamatának ismeretét.

Jelen tanulmány célja a repedés megindulásának pillanatában a törési keresztmetszet feszültségeloszlásának közelítő vizsgálata volt. A továbbiakban egy olyan közelítő mechanikai modellt mutatunk be, mely elemi szilárdságtani és statikai ismeretek birtokában is érthetővé teszi a roppantás folyamatát.

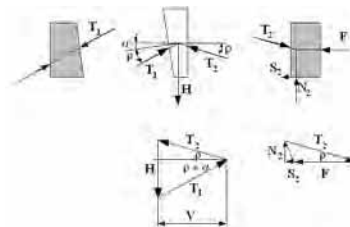


1. ábra: a repesztés mechanikai modellje

A REPESZTÉS MECHANIKAI MODELLJE

A repesztés vizsgálatok alapvető fontossággal bír a hajtórúd helyes terhelési modelljének megalkotása. A repesztés megkezdése előtt az 1. ábrán ábrázolt hajtórúd bal oldali felét egy pófával (P) támaszokhoz (T) szorítják (mereven befogják), míg a jobb oldali felét oldalirányban megtámasztják (O).

Ezt követően egy éket mozgatnak keresztirányú H erővel a repesztőpófák között, minek hatására azok F erőt fejtenek ki a furat belső falára (2. ábra). A kellő erő elérésekor először az egyik, majd a másik bemetszett keresztmetszet szakad át.



2. ábra: a repesztés erőjátéka

AZ ELSŐ KERESZTMETSZET REPESZTÉSE

Az ébredő feszültségek számítása során a repesztendő furat környezetét állandó keresztmetszetű gyűrűnek tekintjük. Feltételezzük továbbá, hogy a repesztőpófák tökéletesen merevek és lazán illeszkednek a furatban. Mivel nem állnak fenn a de Saint-Venant féle kikötések, a kapott eredmények csak tájékoztató jellegűek. A „K” keresztmetszet szétválása előtt a hajtórúd a belső erőrendszer szempontjából statikailag határozatlan (1. ábra). A „K” keresztmetszetet terhelő M_0 nyomatékot a Castigliano-tétel alkalmazásával határozhatjuk meg. Szimmetriaokok miatt csak egy negyed körívet vizsgálunk, és a bordás merevítés kis tartományra kiterjedő merevítő hatását nem vesszük figyelembe. A repesztett keresztmetszet szögelfordulása szimmetriaokok miatt zérus:

$$\varphi_K = 0 = \frac{1}{IE} \int_0^{\pi/2} M(\varphi) \frac{\partial M}{\partial M_0} r d\varphi \quad (1)$$

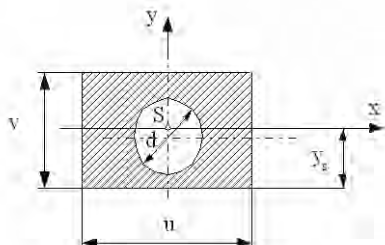
Az (1) egyenletben szereplő nyomatéki függvény

$$M(\varphi) = M_0 - \frac{F}{2} r (1 - \cos \varphi) \quad (2)$$

Helyettesítés után a keresztmetszetben ébredő hajlító nyomaték a következő lesz:

$$M_0 = \frac{Fr}{2} \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) = 0,181Fr$$

Egy vizsgált hajtórúdra $M_0=329\,984\text{ Nmm}$ hajlító nyomaték és $31\,985\text{ N}$ húzóerő adódott. A hajtórúd keresztmetszete a 3. ábrán látható.



3. ábra: a repesztett keresztmetszet

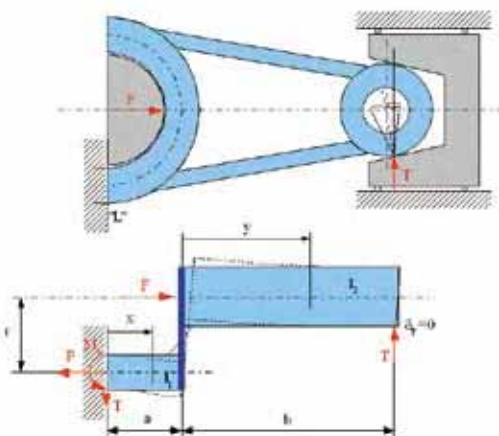
A vizsgált hajtórúd keresztmetszeti jellemzői a következők voltak:
Keresztmetszet területe: $A = 233,4\text{ mm}^2$
Szélső szál (súlypont) távolság: $y_s = 7\text{ mm}$
Hajlítás tengelyére számított másodrendű nyomaték: $I_x = 4143\text{ mm}^2$
A repesztett keresztmetszet belső szélső szálában ébredő feszültség a húzásból és hajlításból eredően:

$$\sigma_1 = \sigma_{hu} + \sigma_{haj} = 694,4\text{ N/mm}^2$$

A repedés a furat felől indul meg, $694,4\text{ N/mm}^2$ nominális feszültség elérésekor. A repedés tovaterjedésével mind az erőkarok, mind az igénybe vett keresztmetszet drasztikusan változik (csökken). A repedés tehát nem áll le, ha egyszer már elindult.

A MÁSODIK KERESZTMETSZET REPESZTÉSE

Amint a hajtórúd a „K” keresztmetszetben átszakad, megszűnik a belső statikai határozatlanság, viszont az „L” keresztmetszet befalazása és a hajtórúd végének megtámasztása következtében külső statikai határozatlanság lép fel (4. ábra).



4. ábra: az „L” keresztmetszet törésének mechanikai modellje

A statikai határozatlanság következtében az M_L nyomaték meghatározásához a hajtókar alakváltozását is vizsgálnunk kell. Az elemi számítási módszer csak nagyon leegyszerűsített modell alkalmazását teszi lehetővé. A kart a és b hosszúságú, I_1 illetve I_2 másodrendű nyomatékú, egymáshoz szögmereven kapcsolódó gerendákkal modellezzük.

Egyrészt fennáll a hajtórúd statikai egyensúlya:

$$\sum M_i = 0 = M_0 + Tl - Fr \quad (4)$$

Másrészt további alakváltozási egyenlet írható fel. A hajtórúd jobb oldali vége a megtámasztás következtében nem mozdul el ($\tau = 0$), ezért a Castigliano-tétel szerint

$$\delta_T = \frac{\partial U}{\partial T} = 0 \quad (5)$$

Az U alakváltozási energia kiszámításához felírjuk az egyes rúdszakaszokra a nyomatéki függvényt.

$$M_1(x) = M_0 + Tx \quad (6)$$

$$M_2(y) = M_0 + T(a + y) - Fr \quad (7)$$

A nyomatéki függvényeket a (8) alakváltozási egyenletbe helyettesítve, a következő egyenletet nyerjük:

$$\delta_T = 0 = \frac{1}{I_1 E} \int_0^a M_1(x) \frac{\partial M_1}{\partial T} dx + \frac{1}{I_2 E} \int_0^b M_2(y) \frac{\partial M_2}{\partial T} dy \quad (8)$$

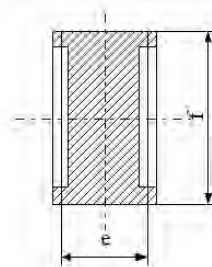
Bevezetve a $k = I_2/I_1$ viszonyszámot, a (8) egyenlet a részletszámítások és az integrálás elvégzése után a következő alakot nyeri:

$$0 = M_0 \left(k \frac{a^2}{2} + ab + \frac{b^2}{2} \right) + T \left(k \frac{a^3}{3} + a^2b + ab^2 + \frac{b^3}{3} \right) - Fr \left(ab + \frac{b^2}{2} \right) \quad (9)$$

A (4) és (9) egyenletből a keresett befogási nyomaték kiszámítható:

$$M_0 = - \frac{r(2ka^3 + 6a^2b + 6ab^2 + 2b^3 - 6lab - 3lb^2)}{3kla^2 + 6lab + 3lb^2 - 2ka^3 + 6a^2b + 6ab^2 + 2b^3} F \quad (10)$$

Az inerciaviszonyok kiszámításakor a hajtórúdat állandó keresztmetszetűnek tekintjük, középső keresztmetszetét alapul véve (5. ábra).



5. ábra: a hajtórúd keresztmetszete

A kar másodrendű nyomatéka a hajlítás tengelyére $I_2 = 7333\text{ mm}^2$,

a rúdszakaszok inerciaaránya $k = \frac{I_2}{I_1} = 1,77$ volt a vizsgált

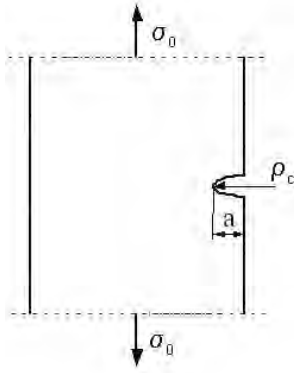
hajtórúdnál. A számításokat elvégezve $F=63\,969\text{ N}$ húzóerő és $M_0=219\,989\text{ Nmm}$ hajlító nyomaték adódott. Az eredő feszültség a belső átmérőn:

$$\sigma_1 = \sigma_{hu} + \sigma_{haj} = 274,1 + 371,6 = 645,7\text{ N/mm}^2$$

Az „L” keresztmetszet repedése $645,7\text{ N/mm}^2$ nominális feszültség elérésekor indult el. Megállapítható, hogy az először, illetve másodszor átszakadó keresztmetszetekben a nominális feszültség alig különbözik egymástól.

A BEMETSZÉS HATÁSA

A növelt szilárdságú hajtókarok esetében a 600 MPa körüli feszültség nem garantálná a keresztmetszet elszakadását. Ezért a repesztendő keresztmetszetek furat felőli (maximális egyenértékű feszültségű) oldalain lézerrel éles bemetszést hoznak létre (6. ábra).



6. ábra: bemetszett alkatrész

Ismeretes, hogy a 6. ábra szerinti éles bemetszés környezetében kialakuló feszültségcsúcs a

$$\sigma_{\max} = 2\sigma_0 \sqrt{\frac{a}{\rho_c}} \quad (11)$$

összefüggés szerint számítható [1], ahol σ_0 az átlagos normál feszültség. A vázolt modell szerint $a=0,6$ mm mély és $\rho_c=0,05$ mm sugarú bemetszés esetében a feszültségcsúcs

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot 645,7 \sqrt{\frac{0,6}{0,05}} = 4473 \text{ MPa}$$

Ez a feszültségcsúcs feltétlenül elegendő ahhoz, hogy a repedés meginduljon és a keresztmetszet átrepedjen. A rideg törés bekövetkezését erősíti, hogy a bemetszés környezete beedződik.

ÖSSZEFOGLALÁS

E tanulmány a hajtórúd repesztési folyamatának mechanikai modellezését tűzte célul. Az alkalmazott egyszerű modell ellenére az eredmények igen jó egyezést mutattak a mérésekkel. A jó eredmények elsősorban a valóságot hűen leíró terhelési modell megalkotásának voltak köszönhetők, a szilárdsági számításokat az elemi szilárdságtani ismeretek alapján is el lehetett végezni. Meg kell jegyezni, hogy a modell megalkotása bizonyos tapasztalatot és a modell fokozatos finomítását igényelte. Bár az egyszerű modell alapján végzett vizsgálatok bepillantást engedtek a roppantás közben lejátszó mechanikai folyamatokba, nem helyettesítik a korszerű végelelemes vizsgálatokat.

Irodalom

- [1] M. Csizmadia Béla, Nándori Ernő: Mechanika mérnököknek. Szilárdságtan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999

A tengelycsonk kovácsolásánál használatos robot munkadarabbefogó pofájának alakhelyes tervezése, a súrlódási tényező figyelembevételével

Tancsics Ferenc

kovácstechnológiai vezető,
Rába Futómű Kft.

Kozma István

egyetemi tanársegéd,
Széchenyi István Egyetem

Kiss Balázs

egyetemi hallgató,
Széchenyi István Egyetem

Dr. Halbritter Ernő

egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem

A többüregű kovácsolási műveletek jelentős része revétlenítő zömítéssel kezdődik. A párhuzamos nyomólapok között végzett zömítésnél a munkadarab hordósodik. Kíváncsok, hogy a munkadarab üregtől üregig való mozgását végző robot karjának szorítófelülete a hordósodó munkadarab palástfelületének megfelelően készüljön el. Egy lehetséges megoldás, hogy valamilyen módszerrel előállítjuk a munkadarab CAD-geometriáját, majd annak egy részét felhasználjuk a befogópofa geometriai modelljének elkészítéséhez. A CAD-geometria előállításához optikai digitalizáló berendezést, végelelemes szimulációt és egy egyszerűsített matematikai modellt használtunk. Az egyszerűsített matematikai modell alkalmas arra is, hogy a hordósodást alapvetően befolyásoló súrlódási tényezőnek meghatározzuk a közelítő értékét. A szükséges számítások elvégzése és a munkadarab háromdimenziós ábrázolása a Pro/Engineer és a MathCAD szoftverek összekapcsolásával vált lehetővé.

The notable part of the multiple forging operations start with descale upsetting. In case of upsetting between parallel plates the forging piece turn into barreling shape. It is required to have the clamping surface of the robot rod, which makes the piece of work move from stage to stage, made to be equivalent with the surface of the barreling shaped forging piece. One of the possible solutions is to generate the CAD geometry of the work with some kind of a method, and then we use part of it to make the geometrical model of the holder adapters. To generate the CAD geometry we used an optical scanner, finite element analysis and a simplified mathematical model. The simplified mathematical model is also suitable for defining the rough numerical value of the friction coefficient which basically influences the process of barreling. The needed calculus and the representation of the forging pieces in 3D became possible by connecting Pro/Engineer and MathCAD softwares.

A TENGYELCSONK KOVÁCSDARABJÁNAK ELŐÁLLÍTÁSA

A tengelycsonk kovácsolás közbeni alakját az 1. ábráson figyelhetjük meg. A kiinduló darab zömítését két párhuzamos lap között végzik el. A zömített munkadarabot a robot a palástfelületen fogja meg. A robotkar szorítófelületét (2. ábra) a palástfelület várható alakjának megfelelően kell elkészíteni.



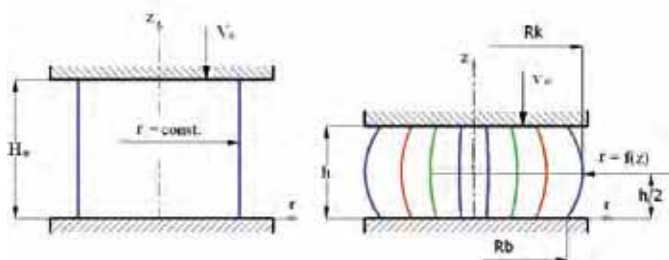
1. ábra: a tengelycsonk közbeni darabjai



2. ábra: a robotkar szorítófelülete

A HORDÓSODÓ MUNKADARAB VÁRHATÓ ALAKJA

A zömítésnél a párhuzamos nyomólapok és a munkadarab érintkezésénél jelentős súrlódás lép fel, ami a munkadarab szabad szélesedését megakadályozza, és ennek következtében a munkadarab palástfelülete hordó alakot vesz fel (3. ábra).



3. ábra: a munkadarab zömítés előtt és után

A téma feldolgozása külön kísérleteket igényelt, és a CAD-geometria előállítási lehetőségeit először a kísérleti darabokon vizsgáltuk.

A kísérlet jellemző adatai: anyagminőség 20MnCr55, kiinduló méret: Ø100x211 mm, zömített munkadarab névleges magassága $H_{max}=95$ mm, a zömített legnagyobb átmérő $D_{maxY}=160,4$ mm, $D_{maxX}=161,06$ mm, hőmérséklet 1100–1180 °C, kenés Aquanet

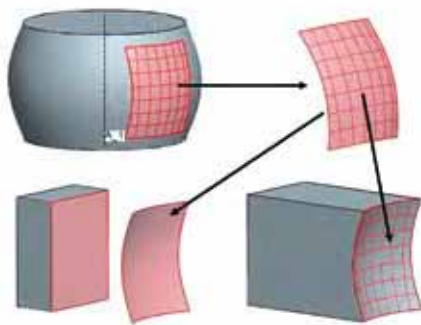
EGYSZERŰSÍTÉSEK A CAD-GEOMETRIA ELŐÁLLÍTÁSÁNÁL



4. ábra: kísérleti darabok

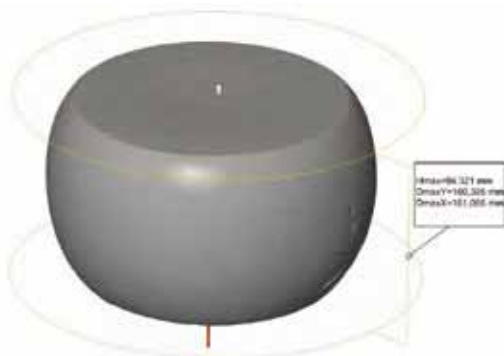
Ls (grafit szuszpenzió), szerszámok felületi érdessége (R_a): < 3,2, szerszámok felületi hőmérséklete 200–250 °C, gép: 63 MN MAXIMA sajtó.

A virtuális gyártástervezésnél célszerű először előállítani a hordósodó munkadarab CAD-geometriáját, majd annak egy részét felhasználni robotkar geometriai modellezésénél (5. ábra). A CAD-geometria alatt egy CAD-szoftverrel előállított, vagy azzal egyenértékű pontossággal létrehozott számítógépes háromdimenziós (3D-s) geometriai modellt értünk.



5. ábra: a robotkar szorítófelületének származtatása

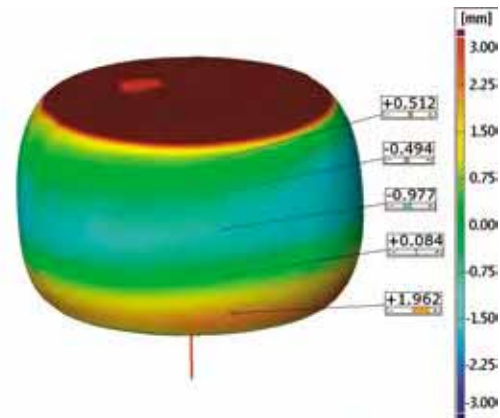
A hordósodó munkadarab várható alakjának megismerését a munkadarab leképezésével kezdtük. Leképezésre a Széchenyi István Egyetemen rendelkezésre álló GOM GmbH „ATOS” optikai 3D-digitalizáló rendszert használtuk [1]. A felület digitalizálásával egy pontfelhőt kapunk (6. ábra). A digitalizált felület nem tekinthető CAD-geometriának, de a kapott pontfelhő alakhűen, vagy egyszerűsítve CAD-geometriává alakítható.



6. ábra: a zömített munkadarab optikailag digitalizált képe

A geometriai modell létrehozása többnyire szűkített információval való leképezést jelent. A szűkítés mértéke a modellalkotó joga, felelőssége. Feltételezésünk szerint a hengeres munkadarabnak a kovácsolás hőmérsékletén párhuzamos nyomólapok között végzett zömítésénél a munkadarab anyaga homogén és izotróp, a munkadarab alakítási szilárdsága a zömített anyag minden pontjában azonos, és a munkadarab homlokfelületein a súrlódási tényező állandó. Az említett feltételezések mellett a munkadarab hordósodása tengelyszimmetrikus, a munkadarab és a szerszám két érintkezési felületeinél ($z=0$ és $z=h$ helyen) a rádiuszok egyenlők ($R(0)=R_b$, $R(h)=R_b$), és a $z=h/2$ helyen a rádiusz értéke maximális ($R(\frac{h}{2})=R_k$). Azt a geometriai modellt, amelynél az előbbi egyszerűsítő feltételezések közül csak a tengelyszimmetrikusság érvényesül, a későbbiekben egyszerűsített CAD-geometriának nevezzük.

A tengelyszimmetrikusság feltételezésével az egyszerűsített CAD-geometriát forgatással hoztuk létre, a Pro/Engineer szoftver felhasználásával. A forgatáshoz szükséges vázlat elkészítéséhez a digitalizált felületet elmetszettük, a metszeti határoló görbéhez tartozó pontok koordinátáit átadtuk a Pro/Engineer szoftvernek, majd a pontokat spline görbével kötöttük össze. Az eredmény azért nevezhető egyszerűsített CAD-geometriának, mert a zömített munkadarab nem teljesen forgástest. A Gom GmbH „ATOS” optikai 3D-digitalizáló rendszerrel összehasonlítható a zömített munkadarab felülete az egyszerűsített CAD-geometriával (7. ábra).



7. ábra: a zömített munkadarab tényleges geometriájának eltérése az egyszerűsített CAD-geometriától

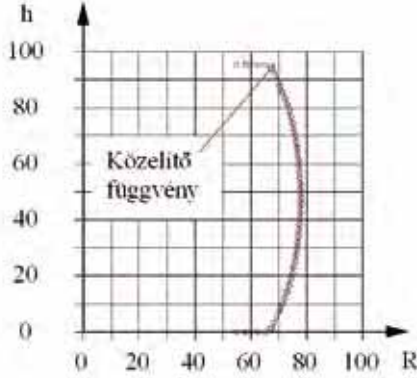
Az összehasonlítás alapján megállapítható, hogy a zömített munkadarab jó közelítéssel forgástestnek tekinthető. Az egyszerűsített geometriánál a legnagyobb átmérő (R_k sugár) nem biztos, hogy a $h/2$ helyre esik. A robotkar tervezésénél figyelembe kell venni azt is, hogy a zömített darabok nem egyformák. Ennek megfelelően a tervezést nem egy konkrét darab alapján, hanem az átlagosan várható, idealizált darab alapján célszerű elvégezni.

Azt a geometriai modellt, amelynél az egyszerűsítő geometriai feltételezések mindegyike érvényesül, a későbbiekben ideális CAD-geometriának nevezzük. Ideális CAD-geometriához vezetnek például a szimulációs eljárások.

A geometriai modell elkészítése tovább egyszerűsíthető azzal a feltételezéssel, hogy a palástfelületen a profilgörbe jól közelíthető egy $R(z)=az^2+bz+c$ másodfokú polinommal.

A $R(z)=az^2+bz+c$ közelítő függvény alkalmazhatóságát szintén megvizsgáltuk az optikailag digitalizált felületnél. A közelítő függvény és a mérési pontok közötti korrelációs együttható értéke ($r=0.996$) igen szoros kapcsolatra utalt [2].

Ellenőriztük a feltételezett parabolikus profilgörbe alakulását a SimuFact végeelemes szoftverrel kapott adatoknál [2] is. A szimulációs vizsgálatoknál a határoló pontokat másodfokú polinommal közelítve hasonlóan szoros kapcsolatot kaptunk, mint a valós zömített darabnál [2]. A valós daraboknál és a végeelemes vizsgálatnál is kismértékű letapadás volt megfigyelhető. A letapadás jelensége befolyásolta a profilgörbét, ezért a közelítő függvényt csak a palástfelülethez tartozó pontok (a 8. ábrán kék színnel jelölt pontok) figyelembevételével határoztuk meg.



8. ábra: a határoló pontok közelítése parabolával az optikailag digitalizált munkadarabnál (bal oldalt) és a végeelemes szimulációval kapott geometriánál ($m=0,8$)

A VÁRHATÓ PROFILGÖRBÉK FELVÉTELE, MATEMATIKAI ÖSSZEFÜGGÉSSSEL

A profilgörbe $R(z)=az^2+bz+c$ egyenlete felírható a zömített munkadarab jellemző geometriai adataival.

A peremfeltételek mellett – $R(0)=R_b$, $R(\frac{h}{2})=R_k$ és $R(h)=R_b$ – az

$R(z)=az^2+bz+c$ függvény a, b, c együtthatói egyértelműen meghatározhatók:

$$R(z) = \frac{4(R_k - R_b)}{h^2} * z^2 - \frac{4(R_k - R_b)}{h} * z + R_b \quad (1)$$

A térfogat-állandóság alapján:

$$R_b^2 \pi H_0 = \int_0^h R^2(z) \pi dz \quad (2)$$

Behelyettesítve az (1) összefüggést, az R_k rádiusz kifejezhető:

$$R_k = \frac{-2R_b h + 2\sqrt{-5R_b^2 h^2 + 30hR_b^2 H_0}}{8h} \quad (3)$$

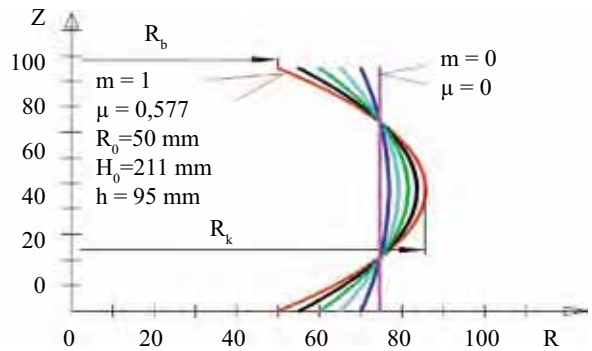
Az (1) és (3) összefüggések felhasználásával az $R(z)=az^2+bz+c$ polinom a, b, c együtthatói:

$$a = \frac{5hR_b - \sqrt{-5R_b^2 h^2 + 30hR_b^2 H_0}}{h^3}$$

$$b = -\frac{5hR_b - \sqrt{-5R_b^2 h^2 + 30hR_b^2 H_0}}{h^2}$$

$$c = R_b$$

Ezzel egy h zömítési magasságnál és egy felvett R_b rádiusz esetén ábrázolható az $R(z)$ függvény a kiinduló (R_b , H_0) geometria ismeretében (9. ábra).



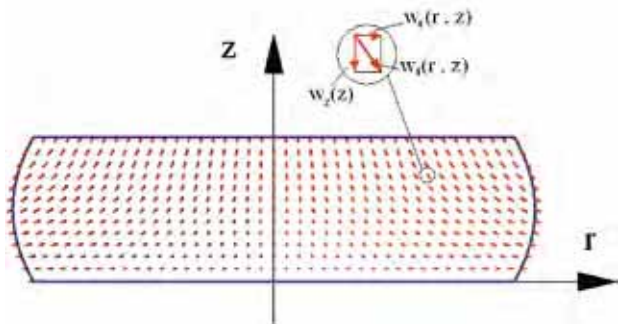
9. ábra: a 95 mm-re zömített munkadarabok leegyszerűsített profilgörbéi, azonos térfogat és különböző R_b rádiuszok esetén

A 9. ábrán látható görbék összefüggésbe hozhatók a súrlódási tényező értékével. A súrlódás nélküli állapotnál – amikor a Coulomb-féle (μ) és a Kudo-féle (m) súrlódási tényező értéke zérus – nem hordósodik a munkadarab, illetve a teljes letapadásnál ($\mu=0,577$ és $m=1$) az R_b értéke változatlan.

Munkánk során felismertük, hogy a 9. ábrán látható görbesereghez hasonló vehető fel, ha az anyagáramlást egy feltételezett [3] sebességmezővel modellezzük.

A VÁRHATÓ PROFILGÖRBÉK FELVÉTELE, AZ ANYAGÁRAMLÁS MATEMATIKAI MODELLEZÉSÉVEL

A párhuzamos nyomólapok között végzett zömítéskor bonyolult, időben változó anyagáramlás lép fel. Az anyagáramlás sebessége közelítő jelleggel matematikailag megfogalmazható. A zömített munkadarab tengelyszimmetrikusságát feltételezve a 10. ábrán látható hengerkoordináta-rendszerben egy tetszős szerinti pontnál megadható a w_r sebességvektor sugárirányú w_r és a tengelyirányú w_z sebességkomponense.



10. ábra: egy tetszős szerinti pont sebességvektora

A megfogalmazott sebességmező csak akkor fogadható el, ha az kinematikailag megengedett. A 3. ábrán vázolt zömítésnél a sebességmező kinematikailag megengedett, ha a sebesség z komponense a munkadarab és a nyomólapok érintkezésénél $w_z(0)=0$; $w_z(h)=-v_0$, és a sebességmező az összenyomhatatlanság, vagy másképpen fogalmazva a forrásmentes anyagáramlás (7) feltételét kielégíti.

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_r}{r} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

Számos kinematikailag megengedett sebességmező megadható.

(5) Az általunk választott sebességmezőnél a sebesség tengelyirányú z komponense egy harmadfokú polinommal írható le [3]:

$$w_z(z) = A * z^3 + B * z^2 + C * z + D. \quad (8)$$

A polinom együtthatói a peremfeltételek alapján meghatározhatók [3]:

$$w_z(z) = \frac{z(-2z^2kv_0 + 2z^2v_0 + 3zkv_0h - 3zv_0h - kv_0h^2)}{h^3}, \quad (9)$$

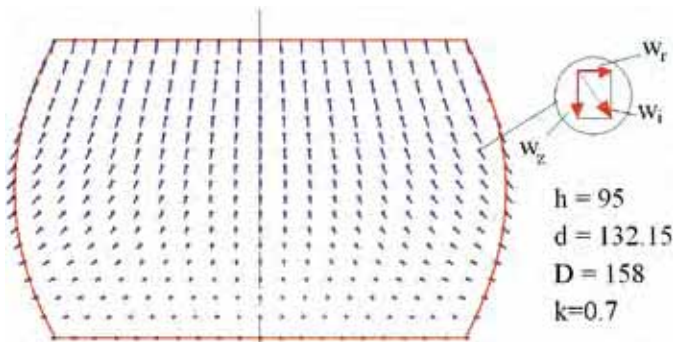
A sebességmező $w_r(r, z)$ sugárirányú komponense a forrásmentes anyagáramlás feltétele alapján a (7) differenciálegyenlet megoldásával:

$$w_r(r, z) = -\frac{1}{2} \frac{r(-6z^2kv_0 + 6z^2v_0 + 6zkv_0h - 6zv_0h - kv_0h^2)}{h^3}, \quad (10)$$

ahol, k egyelőre ismeretlen, dimenziótlan paraméter, a továbbiakban anyagáramlási tényező.

A (9, 10) komponensekkel megadott sebességmezőnél a k dimenzió nélküli paraméter befolyásolja a hordósodás mértékét [3]. Egy ismert k értékkel a kinematikailag megengedett sebességmező alapján az alakváltozás folyamata modellezhető, szimulálható. A szimulációhoz a Széchenyi István Egyetem Anyagismereti és Járműgyártási Tanszékén AutoLisp programnyelven egy régebbi programot [3] fejlesztettünk tovább.

A program indításakor meg kell adni a geometriai adatokat (R_0 , H_0 , h) és a k anyagáramlási tényezőt, valamint tetszés szerinti sűrűséggel egy ponthálózt. A program a kiinduló helyzethez képest a H_0 magasságértékét csökkenti $v_0 t = 0,1$ mm értékkel, és a (9, 10) összefüggések felhasználásával kiszámítja a pontok új helyzetét. Ezután az új geometriát tekinti kiindulónak, és újabb magasságcsökkentéssel megismételi az előbbieket. A ciklus addig tart, amíg a pillanatnyi magasság a megadott h értéket el nem éri. Ezzel a ciklussal meghatározható a (9, 10) sebességkomponensek mellett a deformált pontháló képe, és a pontokhoz tartozó sebességvektorok (11. ábra).

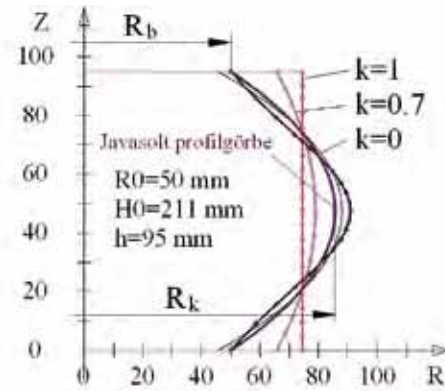


11. ábra: a matematikai modell szerinti sebességmező képe a kísérleti munkadarabnál

Különböző k értékekkel elvégezve a szimulációt, a 8. ábrán látható görbesereghez hasonló (12. ábra) vehető fel.

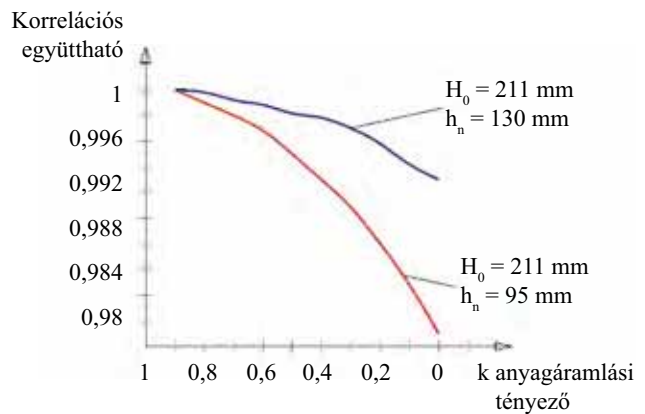
A $k=1$ anyagáramlási tényezőnél a munkadarab nem hordósodik, ami megfelel a sűrűlódás nélküli állapotnak. A $k=0$ esetén az R_0 rádiusz értéke a zömítés során nem változott. Ez megfelel a teljes letapadásnak.

A profilgörbék megrajzolhatók a határoló pontok összekötésével, a határoló pontokat közelítő parabolával és az R_0 rádiusz ismeretében az (1, 3, 4, 5) összefüggések alkalmazásával. Mivel a matematikai megoldás a forrásmentes anyagáramlás feltételét kielégíti, így a határoló pontok által meghatározott profilgörbe térfogathelyes CAD-geometriához vezet.



12. ábra: a kísérleti munkadarabok profilgörbéi a (4, 5) anyagáramlási sebességkomponensekkel modellezve, különböző k értékek esetén

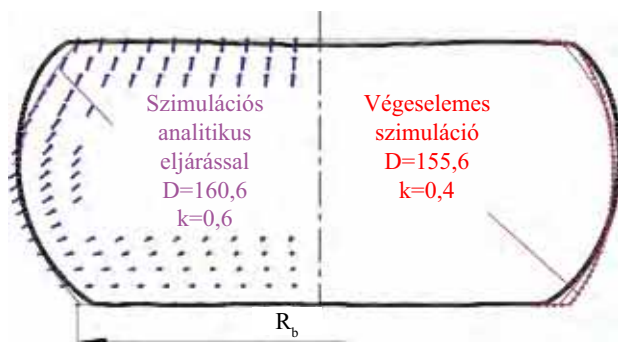
Egyébként a matematikai modellnél a határoló pontok is jól közelíthetők parabolával. Különböző k értékeknél vizsgáltuk a közelítő függvényt és a határoló pontok kapcsolatának szorosságát. A közelítő függvény adta értékek és a határoló pontok közötti korrelációs együttható értékét a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra: a közelítés pontosságát befolyásoló tényezők

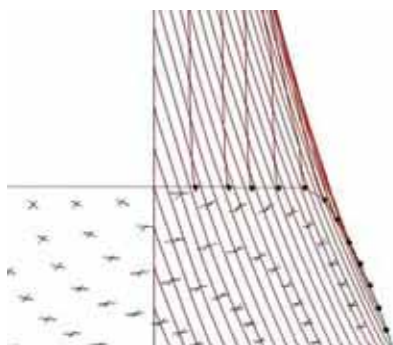
Megállapítható, hogy a közelítés pontossága egy adott kiinduló geometriánál a zömítés mértékétől és a k anyagáramlási tényező értékétől függ. Másképpen fogalmazva, a közelítés pontossága a hordósodás mértékétől függ, és egy adott kiinduló geometriánál a hordósodás annál nagyobb, minél nagyobb a zömítés és minél kisebb a k anyagáramlási tényező. A 12., 13. ábrán megfigyelhető, hogy a $k=0$, azaz a teljes letapadás esetén a határoló pontokat a másodfokú polinom már nem pontosan közelíti. Ezért a térfogat-állandóság, a kiértékelés pontossága szempontjából indokolt a várható profilgörbét az (1, 4, 5, 6) matematikai összefüggéssel felvenni. Az (1, 4, 5, 6) összefüggés alkalmazásához rendelkezésre állnak a R_0 , H_0 , h geometriai adatok, a hiányzó R_b rádiusz pedig meghatározható az analitikus szimulációs eljárással. Ha már rendelkezésre áll a várható profilgörbe matematikai összefüggése, akkor az R_k értéke a $z=h/2$ behelyettesítéssel határozható meg (12. ábra).

Külön megvizsgáltuk, hogy az analitikus eljárással végzett szimulációnál milyen k értékkel lehet legjobban közelíteni a kísérleti darab legnagyobb átmérőjét, és a legjobb közelítés mellett a matematikai modell adta geometria mennyire hasonlít a zömített munkadarabra. A vizsgálathoz az optikai digitalizálással létrehozott metszeti határoló görbét használtuk fel (14. ábra). A profilalakot megvizsgáltuk végeeselemes szimulációval is, a megfelelő Kudo-féle sűrűlódási tényező alkalmazása mellett.



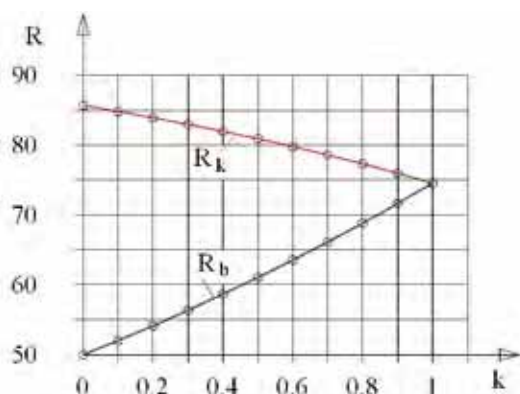
14. ábra: a matematikai és a végeselemes szimuláció eltérése a zömített munkadarab tényleges geometriájától

A valós zömítésnél a palástfelület és a síkfelületek találkozási pontja nem sarkos. Hasonló figyelhető meg a végeselemes szimulációknál is (8. és 15. ábra). Ennek oka a részleges letapadás [4]. A 14. ábrán megfigyelhető, hogy a végeselemes szimulációs eredmény eltérése a valós darabtól helyenként nagyobb, mint a matematikai modell adta eredmény.



15. ábra: a részleges letapadás szemléltetése végeselemes szimulációval

A matematikai modell csak a teljes letapadást kezeli, a részlegest nem. Ez az egyszerűsítés geometriai pontatlanságot jelent, de ugyanakkor azzal az előnnyel jár, hogy az R_b rádiusz meghatározása egyértelmű, és az R_b értéke az eltérő k értékeknél mindig különböző. Ez hasonlóan igaz az R_k és k viszonylatában is (16. ábra).



16. ábra: az R_b és az R_k értékek változása a k függvényében

Megállapítható, hogy a szűkített információval való leképezés némi pontatlanságra vezet, de ez véleményünk szerint nem kérdőjelezi meg a matematikai modell alkalmazhatóságát. A 9. ábra és a 12. ábra hasonlósága alapján feltételezhető a k anyagáramlási tényező és az m Kudo-féle súrlódási tényező kapcsolata.

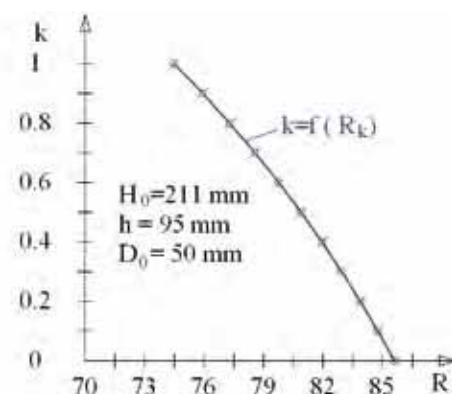
A SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA, A 3D-S GEOMETRIA ELŐÁLLÍTÁSA

A súrlódási tényező meghatározására célszerű a zömített munkadarab legnagyobb $D_{k \max}$ átmérőjét felhasználni. Ez az átmérő könnyen mérhető, és leginkább jellemzi a hordósodást, valamint áttételesen a súrlódási viszonyokat. Ha a matematikai modellezésnél ismerjük a kiinduló, darabolt rúdanyag R_0 , H_0 geometriai adatait, a zömített h magasságot és a zömített munkadarab legnagyobb $R_{k \max}$ rádiuszát – $R_{k \max} = D_{k \max} / 2$ –, akkor a program ismételt futtatásával megkereshetjük az k , amivel a kísérleti darab legnagyobb $D_{k \max}$ átmérőjét legjobban lehet közelíteni.

A 9. ábrán és a 12. ábrán egyaránt megtalálható a súrlódás nélküli és a teljes letapadásnak megfelelő állapot. A 9. ábrán a súrlódás nélküli állapot az $m=0$ Kudo-féle súrlódási tényezővel értelmezhető, a 12. ábrán pedig a $k=1$ anyagáramlási tényezővel. A teljes letapadásnál pedig $m=1$ és $k=0$.

A k ismeretében a Kudo-féle súrlódási tényező értékét első közelítésként az $m=1-k$ összefüggéssel határoztuk meg. Ezt a közelítést alkalmaztuk a 14. ábra elkészítésénél is ($m=1-0,6=0,4$).

Hatékonyabbá tehetjük a kiértékelést, ha meghatározzuk a $k=f(R_k)$ függvényt.



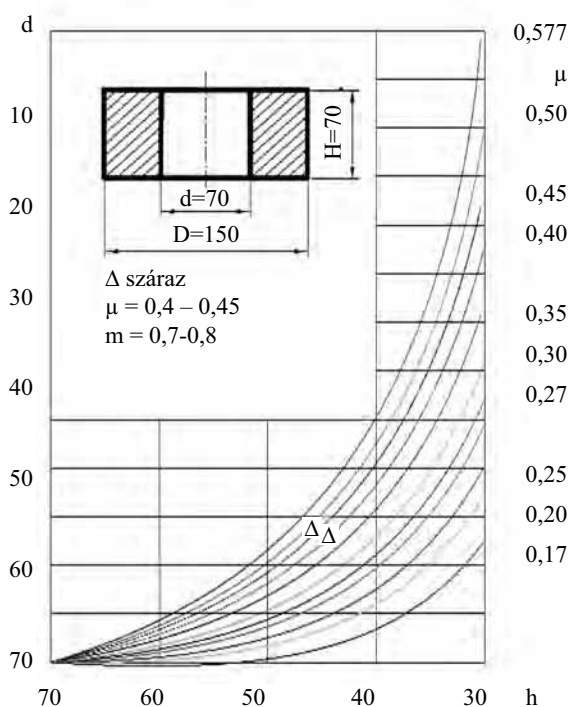
17. ábra: a k változása az R_k függvényében

A 16. ábrán megfigyelhető, hogy minden előforduló R_b és R_k értékhez egyértelműen hozzárendelhető egy k érték. Ez igaz a függő és független változó felcserélése esetén is, így értelmezhető a $k=f(R_k)$ függvénykapcsolat. Bebizonyosodott, hogy a k értéke ugyancsak jól közelíthető egy másodfokú polinommal. A másodfokú polinom felírásához elegendő három R_k - k értékpár ismerete. A három R_k - k értékpár közül kettő – a súrlódás nélküli állapotra és a teljes letapadásra jellemző – szimuláció nélkül is meghatározható. Ebből adódik, hogy a $k=f(R_k)$ függvénykapcsolat meghatározásához egyetlen szimuláció elegendő. Az egyetlen szimuláció ahhoz szükséges, hogy egy induló k érték mellett meghatározható legyen az R_b értéke, majd az R_b ismeretében a várható profilgörbe (1, 4, 5, 6) matematikai összefüggése. Ennél a profilgörbénél az R_k értéke a $z=h/2$ behelyettesítésnél adódik. Ezzel már ismert a három R_k - k értékpár, és meghatározható a $k=f(R_k)$ függvénykapcsolat. A $k=f(R_k)$ függvénykapcsolat ismeretében a zömítési kísérletnél mért $R_{k \max}$ alapján egyértelműen meghatározható a k ($k=f(R_{k \max})$) és az m ($m=1-k$) összefüggéssel a Kudo-féle súrlódási tényező értéke. A közölt módszerrel a súrlódási tényező hatékonyan meghatározható, de természetesen az így megállapított súrlódási tényező értékét csak közelítő értékeknek tartjuk.

Munkánkban feltételeztük még, hogy a Kudo-féle súrlódási tényező értéke a zömítés során végig állandó marad. A súrlódási tényező állandóságát a közismert gyűrűzömítésnél és FEM-vizsgálatoknál is feltételezik [3, 4].

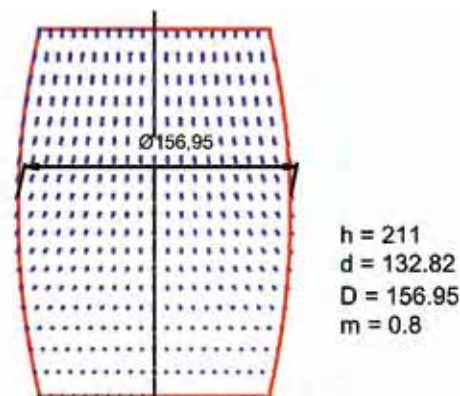
Egy újabb feladat megoldásánál (egy újabb CAD-geometria előállításánál), vagy egy végelelemes szimulációnál a súrlódási tényező várható értékét jól fel lehet használni.

Eddig a Kudo-féle súrlódási tényező meghatározását a kísérleti munkadarabok adataival mutattuk be. A tengelycsonk gyártásánál a kiinduló rúdátmérő 130 mm és a darabolt rúd hossza 276 mm. A zömítést kenőanyag nélkül végezték el. A zömítő művelet után a munkadarab magassága 211 mm és a legnagyobb átmérője 157 mm volt. A közölt módszerrel, az itt megadott értékekkel is meghatároztuk a Kudo-féle súrlódási tényező értékét ($m=0,8$). Hasonló körülmények között, kenőanyag alkalmazása nélkül gyűrűzömítéssel is meghatároztuk a súrlódási tényező értékét. A gyűrűzömítő vizsgálattal kapott értékek alátámasztják az általunk kidolgozott módszer alkalmazhatóságát.



18. ábra: a tengelycsonk közelítő CAD-geometriája zömítésnél

A robotkar szorítófelületének a 4. ábrán látható elv szerinti megtervezéséhez háromdimenziós test és felületmodellező CAD szoftver szükséges. A Rába Futómű Kft. évek óta használja a Pro/Engineer csúscategóriájú CAD szoftvert, és az elmúlt évben megvásárolta a MathCAD matematikai szoftvert is. Az említett szoftverek között kétoldali asszociatív kapcsolat biztosítható. Az adott viszonyok között a matematikai modellhez kapcsolódó számításokat célszerű volt a MathCAD szoftverrel, a geometriai modellezést pedig a Pro/Engineer szoftverrel elvégezni. A kétoldali asszociatív kapcsolatnak köszönhetően az adatok és számítási eredmények átadása a két szoftver összekapcsolásával problémamentesen megoldható volt.



19. ábra: a tengelycsonk közelítő CAD-geometriája zömítésnél

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a párhuzamos nyomólapok között végzett zömítésnél vizsgáltuk a hordósodás és a súrlódási tényező kapcsolatát, a zömítésnél várható geometriát. Felismertük, hogy az anyagáramlás matematikai modellezésénél a választott, kinematikailag megengedett, hordósodást eredményező sebességmező „k” anyagáramlási tényezője összefüggésbe hozható a Kudo-féle „m” súrlódási tényezővel. A Kudo-féle súrlódási tényező közelítő számítására az $m=1-k$ összefüggést javasoltuk. A súrlódási tényező meghatározására egy hatékony módszert dolgoztunk ki, melynek alkalmazásához ismerni kell a kiinduló, darabolt rúdanyag R_0 , H_0 geometriai adatait, a zömített h magasságot és a zömített munkadarab legnagyobb $D_{k \max}$ átmérőjét, rádiuszát – $R_{k \max} = D_{k \max} / 2$.

A módszer alkalmazásához egy szimulációs programot készítettünk, a feltételezett sebességmező felhasználásával. A szimulációs eredmények birtokában alkalmazási példát mutattunk be a súrlódási tényező meghatározására, a zömített munkadarab várható geometriájának háromdimenziós modellezésére, a robotkar megfogó felületének koncepcionális tervezésére.

A súrlódási tényező meghatározására kidolgozott újszerű megoldást a megalakítás területén javasoljuk alkalmazni.

Irodalom

- [1] Dr. Kardos Károly, Kozma István: Felület-visszafejtési technikák autóipari alkalmazása, Reverse Engineering Methods in Automotive Engineering, Műszaki Szemle – Technical Review – Különszám 2008, pp.: 204 – 207. (ISSN 1454-0746)
- [2] Tancsics Ferenc, dr. Halbritter Ernő, Kiss Balázs: Implified determination of Friction Coefficient by Upsetting, Műszaki Szemle különszám 2009, pp.:384-387.
- [3] Halbritter, E.: Modeling of Material Flow During Upsetting Between Parallel Pressure Plates, Hungarian Electronic Journal of Sciences, <http://heja.szif.hu/MET/MET-990617-A/met990617a/met990617a.html>, Széchenyi István University of Applied Sciences, ps. 11 Győr, Hungary, 1999.
- [4] Dr. Halbritter Ernő, dr. Solecki Levente, Tancsics Ferenc: The Effect of the Pressing Plat's Surface Roughness on Sticking, Technical Review, pp. 155-159, Kolozsvár, 2008. ISSN 1454-0746.

A „Járműipari, Elektronikai és Logisztikai Kooperációs Kutatóközpont” első évének kutatási eredményei

Tóth Eszter
projektvezető,
Universitas-Győr
Nonprofit Kft.

A cikk bemutatja a kooperációs kutatóközpont első évestevékenységét, amelyet a Gazdaságfejlesztési Operatív Program támogat és az Universitas-Győr Nonprofit Kft. hajt végre. A kutatási területek magukba foglalják a jármű- és elektronikai ipart, logisztikát, csomagolást és infrastruktúra-fejlesztést.

Dr. Czinege Imre
egyetemi tanár, Széchenyi
István Egyetem, IT-elnök

The paper introduces the first year's activity of Co-operation Research Centre, which is supported by the Economic Development Operative Program and carried out by Universitas Győr Non-Profit Ltd. Research areas are involving the vehicle and electronic industry, logistics, packing and infrastructure development.

BEVEZETÉS

Az Universitas-Győr Nonprofit Kft. Járműipari, Elektronikai és Logisztikai Kooperációs Kutatóközpontja (JEL-KKK) sikeres GOP-pályázat eredményeként 2008. június 1-jén kezdte meg a működését (regisztrációs száma GOP-1.1.2-07/1-2008-0003). A 2008–2011. évekre szóló projekt 400 M Ft támogatást kapott, melyet 400 M Ft vállalati projektköltség egészít ki. A 2. forduló KKK-kutatás a pályázati kiírásnak megfelelően a 2004–2007 években művelt és eredményesen lezárt KKK-tevékenység folytatásának tekinthető. A GOP-pályázatban a Széchenyi István Egyetem kötelezettséget vállalt arra, hogy szellemi és technikai infrastruktúrájával közreműködik a projekt megvalósításában. Az egyetem résztulajdonában lévő Universitas-Győr Nonprofit Kft. által irányított konzorciumot 22 vállalat alkotja, az egyetem részéről pedig a Műszaki Tudományi Kar tanszékei vesznek részt a megvalósításban.

A projekt átfogó célja a gazdasági versenyképesség fokozása a járműgyártás, elektronika és informatika, logisztika és csomagolás, valamint a közlekedési infrastruktúra fejlesztése területén végzett kutatások által. A kutatási tevékenység négy főirány köré szerveződik, mindegyik főirány több alprojektre oszlik. A vállalati projektek a kutatási főirányokhoz kapcsolódva olyan speciális feladatok megoldására irányulnak, melynek eredményei ott hasznosulnak. Az egyes kutatási főirányok a következők:

- Járműipari kutatások
- Elektronikai és informatikai kutatások
- Logisztikai folyamatok és csomagolások kutatása
- Közlekedési infrastruktúra kutatások.

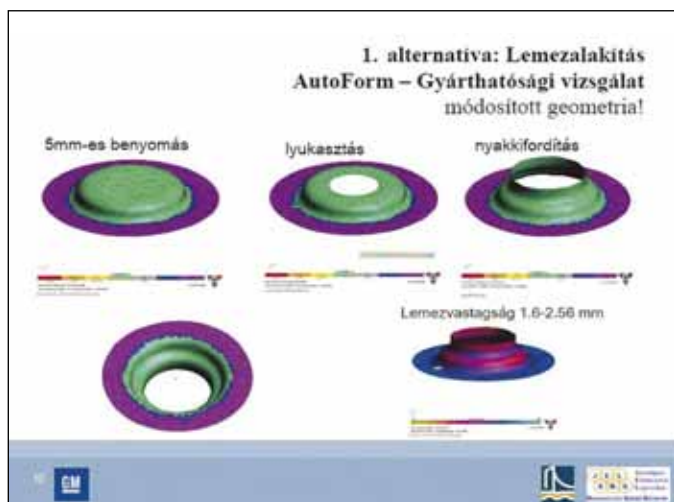
A KKK-feladatok alapvetően két csoportba sorolhatók, az úgynevezett kompetenciafejlesztő (tudásbővítő) és kompetitív kutatások körébe. A kompetenciafejlesztő kutatások a KKK kutatási főirányaihoz kapcsolódó olyan témák, amelyek a vállalatok egyikének vagy ezek csoportjának végzett kompetitív kutatások feltételeit megalapozzák, azok elméleti háttérét elmélyítik, valamint segítik az egyetemen folyó alapképzést és doktori képzést. Fontos feladata az itt folyó kutatásoknak a hallgatók és doktoranduszok kutatási tevékenységbe való bevonása és e tevékenység finanszírozása. A kompetenciafejlesztő kutatások forrása a 400 M Ft támogatás.

A kompetitív kutatások olyan alkalmazott kutatások vagy kísérleti fejlesztések, melyek a vállalatoknál közvetlenül hasznosulnak, és amelyek finanszírozása kétoldalú szerződések alapján a három évre tervezett 400 M Ft vállalati forrásból valósul meg. Az egyes kutatási főirányokban végzett tevékenységek és azok legfontosabb eredményei a következőkben foglalhatók össze.

JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK

A járműipari fém- és műanyag alkatrészek gyártástechnológiájának optimalizálása témakörben a GM Powertrain Hungary Kft.-vel együttműködve lemezalakítás számítógépes szimulációja (1. ábra) és szuperfiniselési technológiák elemzése valósult meg. A BorgWarner Kft. Turbófeltöltő alkatrészek gyártástechnológiájának kutatásával, a MOFÉM Zrt. fürdőszoba-szerelvények gyártástechnológiájának kutatásával bízta meg a KKK-t.

A gyártási folyamatoptimalizálás és minőségirányítás témakörben folyó kutatások részben a gyártási folyamatmodellezés elméleti problémáinak megoldására, részben konkrét vállalati folyamatok optimalizálására irányultak. Az új, genetikus algoritmus alkalmazásán alapuló módszer a Plant Simulation szoftver hatékonyságát jelentősen növelte, ennek gyakorlati alkalmazásaként a szerelősori átfutási időt 5–10%-kal sikerült csökkenteni. A vállalati kutatások két kiemelt megrendelője a BPW Hungaria Kft. és a GM Powertrain Hungary Kft. voltak, a kapcsolódó vállalati kutatások pedig hatékonyan segítették az AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. termelésoptimalizálását is. A minőségirányítás témakörben különféle vizsgálati technikák és a technológiai paraméterek közötti kapcsolat elemzésére került sor.



1. ábra: GM-PTH Kft.: jeladó tárcsa gyártástechnológia-fejlesztés



A járműipari fő- és részegységek fejlesztése, számítógépes szimulációja, tesztelése témakörhöz kapcsolódó elméleti kutatások fő célja a járműszerkezetekben végbemenő folyadék-, gáz-, hő-, valamint mechanikaienergia-áramlás szimulációs módszereinek továbbfejlesztése, a CAD- és VEM-rendszerek magas szintű integrációja, új optimalizációs célfüggvények kidolgozása volt. E területen jelentős eredmények születtek, melyeket a szerzők nemzetközi szintű publikációi támasztanak alá. A vállalati kutatások fő megrendelője a GM Powertrain Hungary Kft. volt, e területen több magas színvonalú berendezés kifejlesztésére került sor (sebességváltó tesztpad, előszerelt hidraulikus vezérlőegység tesztelés, víz-alkohol keverék égéstérbe porlasztása).

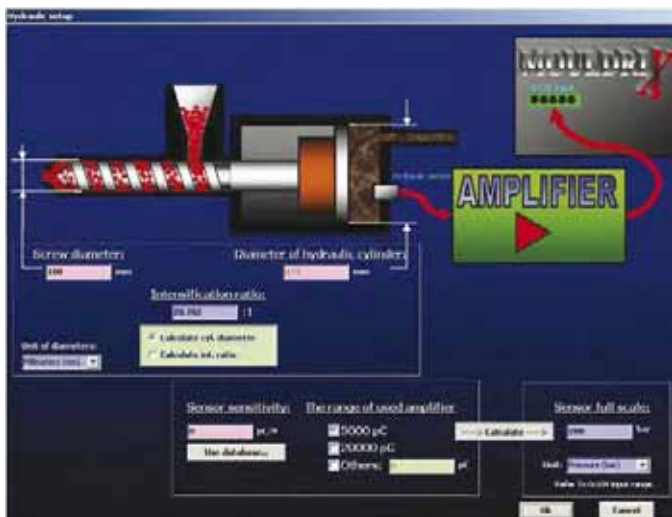
ELEKTRONIKAI ÉS INFORMATIKAI KUTATÁSOK

A gyártási folyamatokat támogató minőség-ellenőrzési eljárások és berendezések fejlesztése témakörben végzett kompetencia-fejlesztő kutatások egy része a digitális képfeldolgozási technológia egy újabb, sokkal nagyobb felbontóképességű mérési eljárásának, a digitális holográfiának elméleti és algoritmikus továbbfejlesztésére irányult. Ez a munka a korábbi KKK-ban végzett kutatások továbbvitelét jelenti. Jelenleg a digitális képfeldolgozásnál alkalmazott feldolgozó alapalgoritmusok sokprocesszoros gépeken történő adaptálásával, tesztelésével foglalkozik a KKK. Ezen kívül kutatja a digitális holográfia alkalmazási lehetőségeit

minőség-ellenőrző eljárásokban. A kompetitív kutatás témakörében három jelentős vállalati projekt megvalósítására került sor, amelyek a gyártási folyamat minőség-ellenőrzéséhez köthetők. A kipufogónyomás-mérési eljárás fejlesztése, valamint kapcsolódó kutatásként a dinamikus ütőmű fejlesztése magas szintű mechatronikai kutatásokat igényelt. A digitális optikai ellenőrzés témakörben gyártmánygeometriai vizsgálatokra, illetve e vizsgálatok automatizálásával kapcsolatos kutatásokra került sor, melyből színvonalas diplomamunka is született. A vizuális ellenőrzés témakörben digitális kamera és képelemző szoftver alkalmazástechnikai kutatása folyt.

Az új termékek előállítására irányuló kutatások fontos részét jelentette az elektroaktív polimerek tulajdonságaival, azok lehetséges felhasználási területeinek kutatásával foglalkozó munka. A kutatások eredményeként a következő évekre várható olyan konkrét megoldások kidolgozása, melyek iparilag hasznosíthatók. A témakörben elvégzett kompetitív kutatási feladatok az első évben egy e-kereskedelmet megvalósító szoftver fejlesztésére, valamint új mérési eljárás kifejlesztésére irányultak. Az e-kereskedelem témakörben felmérés készült a jelenlegi helyzetről Magyarországon, mely kiterjedt a virtuális bevásárlóközpontokra, az elektronikus szerződés-kötés és az elektronikus számlázás problémakörére, majd fejlesztési javaslatok kidolgozása valósult meg az e-kereskedelmi szolgáltatások integrálására a Szintézis Zrt. folyamataiban. Az új termékek kifejlesztését támogató eljárások témakörben az ENTAL Kft.-től kapott megbízás keretében a KKK a „Labda-sebességmérő és helymeghatározó mérési technika és mérőberendezések kifejlesztése kézilabda, futball és baseball játékokhoz” témájú kutatásokat végezte el. A mérési technológiák témakörben az IBV Hungary Kft. megbízása alapján a présgépekhez fészeknyomásmérő és -vezérlő berendezés kifejlesztésére került sor (2. ábra). A feladat megoldása a termékek minőségének javítását eredményezte. Ez a vállalati projekt olyan prekompetitív kutatási feladatot generált, melynek eredményei alapján olyan általános célú, szoftveresen vezérelt mérő és elemző berendezés terveinek kidolgozása, paramétereinek specifikálása valósul meg, amely alkalmas egy préselési folyamat optimális paramétereinek beállítására. A berendezés prototípusa elkészült, amely magába foglalja a berendezés hardverének a megvalósítását és a vezérlő-szoftvernek a megtervezését, elkészítését, verifikálását.

A mikroelektronikai eszközök mechatronikai és teljesítményelektronikai alkalmazásainak kutatása, fejlesztése témában a súlypontot a készletetészéketlen logikai áramkörök kutatása jelentette. A kutatás-fejlesztés támogatására vállalati szerződés nem született, így az elvégzett munka olyan tudásbővítő kutatásnak tekintendő, amelynek eredményeképpen a pályázati



2. ábra: IBV Kft.: a fészeknyomásmérőhöz készült szoftver kezelőfelülete

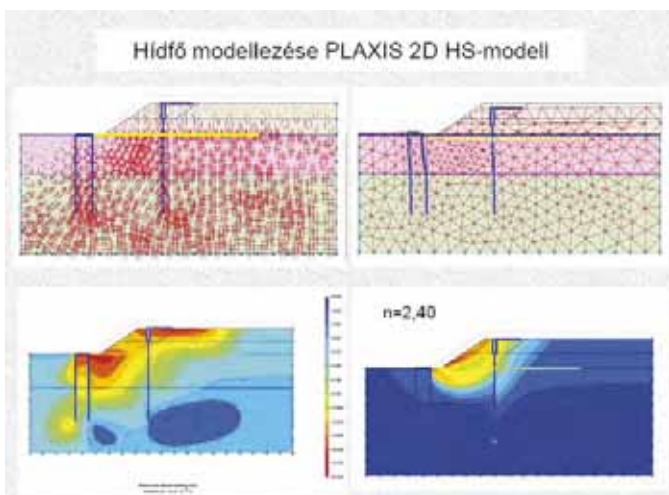


3. ábra: IBM DATA Kft.: csomagólvizsgálat

futamidő második és harmadik évében nyílt meg a lehetőség vállalati támogatás elnyerésére. A Web- és GSM-alapú PLC-s rendszerek kutatását a 2009–2010-es időszak súlyponti témájának tekinti a KKK. Hasonló a helyzet a mikrovezérlő alkalmazási és a robottechnikában alkalmazott hajtásvezérlés- és szabályozási kutatásokkal is.

LOGISZTIKAI FOLYAMATOK ÉS CSOMAGOLÁSOK KUTATÁSA

A logisztikai folyamatok területén végzett tudásbővítő kutatások olyan termelési-szolgálati logisztikai módszerek kifejlesztésére irányultak, amelyeket projektben kidolgozva a megbízóknál rövid idő alatt eredményesen alkalmazni is lehet. Ezek közül kiemelkedően magas volt a Nokia Komárom Kft. számára végzett folyamatoptimalizálási kutatások aránya, míg a NEMAK Győr Kft. részére automatizálási, informatikai és logisztikai szerelemek kutatása, a Hödlmayr Hungária Kft. megbízására pedig a személygépkocsik dunai RO-RO fuvarozási feltételeinek vizsgálata valósult meg. A logisztikai eszközök innovatív fejlesztése témájú kutatás célja olyan, a készpénzlogisztika szigorú biztonsági előírásainak megfelelő értékszallító táskák kifejlesztése volt, amely bővített térinformatikai szolgáltatási spektrummal rendelkezik, és ezt minden körülmények között biztonságtechnikailag maradéktalanul teljesíteni is tudja. A fejlesztés során bonyolult telematikai és mechatronikai elemek kifejlesztése történt meg a megalapozó elméleti kutatásokat követően.



4. ábra: hidaléptípmények fejlesztése, végelem-analízis

A logisztikai csomagolások innovatív fejlesztése témában a vállalati kutatások eredményeként olyan bevizsgált és akkreditált csomagolási rendszerek kifejlesztésére került sor, amelyek képesek megfelelni a vonatkozó műszaki elvárásoknak a környezet-tudatosság elvének érvényesítése mellett. Ehhez kapcsolódva az IBM Data Kft. részére készültek kutatások, melyek a csomagolás klímaállóságára, statikus és dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállására adtak választ (3. ábra).

KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRA KUTATÁSOK

Az útpályaszerkezetek méretezésének fejlesztése témában elkészült az aszfalttípusok fáradási ellenállásának értékelése és minőségi osztályainak meghatározása laboratóriumi vizsgálati eredmények alapján. Itt főleg a bitumenek fáradási jellemzőinek vizsgálatán volt a hangsúly. Mivel az ipari gyakorlatban nagyon változatos kötőanyagokat alkalmaznak, a normál bitumentől a legkülönbözőbb modifikált bitumenekig, ezért a kötőanyagok teljesítményi jellemzőinek meghatározására korszerű reometriai módszerekkel került sor. A programban jelentős mennyiségű mérés készült a méretezéshez szükséges alapváltozók hatásának elemzésére (frekvencia, hőmérséklet, terhelési idők stb.).

A vasúti felépítményszerkezetek fejlesztése elsősorban a MÁV Zrt. Pályavasúti Üzletág megrendeléseire kapcsolódott. Az első évben a tudásbővítő kutatások a vasúti pálya geometriai állapotának leírásával, a terv szerinti geometriától való eltérések minősítésével foglalkoztak. Sor került az eddigi állapotminősítési módszerek kritikai elemzésére is. A vállalati kutatások közül a pályaállapot és a vontatási energiafelhasználás összefüggései emelhetők ki.

A hidaléptípmények fejlesztése témakörben erőteljes igény merült fel a közlekedési infrastruktúra más geotechnikai szerkezetek elemzésére (metróállomások, aluljárók, alagutak, támszerkezetek), melyek geotechnikai szempontból a hidaléptípményekhez hasonló feladatot jelentenek. Ezért az első évi kutatási cél a geotechnikai szerkezetek dinamikai vizsgálatának elméleti hátterének feltárása volt. A vállalati kutatások témában folytatódott a HBM Solatanche Bachy Mélyalapozó Kft. részére a cölöpalapozás-fejlesztési kutatás (4. ábra).

A közúti biztonság javítása területén korábban elkészült egy számos projektet feldolgozó, statisztikai módszereket alkalmazó kutatás, amely különböző közúti beavatkozások biztonságjavító hatását vizsgálta. Megállapítható volt, hogy az összes beavatkozástípus átlagosan pozitív hatással van a forgalombiztonságra. Ugyanakkor mindegyik beavatkozástípus esetén előfordul az, hogy az adott helyszínen a baleseti helyzet romlott. A beszámolási év vállalati kutatásában a várakozással ellentétes eredményekhez vezető infrastruktúra-biztonsági beavatkozások elemzése folyt „Negatív biztonsági hatással járó beavatkozások elemzése” címmel a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ részére.

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy az első évi kutatások sikeresen megvalósultak, 31 vállalati projekt lezárult, 237 M Ft árbevétel keletkezett, és az oktatáshoz, doktori képzéshez kapcsolódó kompetenciafejlesztő kutatások hasznos elméleti eredményeket hoztak. A kutatásokról 62 publikáció készült, 52 fő vett részt a megvalósításban, ebből 12 doktorandusz és 15 hallgató is volt. A közvetett eredményt az jellemzi, hogy 13 témakör került át az oktatásba.



Logisztikai folyamatok kutatása – Csomagolási rendszer fejlesztése, a járművek által gerjesztett igénybevételek elemzése

Dr. Pánczél Zoltán

egyetemi adjunktus,
SZE Logisztikai és
Szállítmányozási Tanszék

Böröcz Péter

egyetemi tanársegéd,
SZE Logisztikai és
Szállítmányozási Tanszék

Mojzes Ákos

tudományos
segédmunkatárs,
SZE Logisztikai és
Szállítmányozási Tanszék

A logisztikában a járművek által átadott rezgőmozgással leírható igénybevételek a csomagolási rendszerek összeállításánál a gyakorlatban tisztázatlanok. Hagyományos módszerekkel nem is igazán modellezhetők. A globalizálódó termelésben a termelési folyamatok térbeli széttelepítésével az utóbbi években jelentősen megnőtt a félkész termékek, alkatrészek, tartozékok szállítási igényessége, és ez tovább növelte a csomagolásokkal támasztott mennyiségi és minőségi követelményeket.

When establishing packaging systems we often face the problem that the static features of applied materials are unknown and cannot be modeled with standard methods. In the few past years a rising delivery need for half-final products, components and accessories could be noticed because of scattered locations of manufacturing processes.

BEVEZETÉS

A termékeket a logisztikában történő szállítások, rakodások és tárolások során a csomagolás védi meg a külső hatásoktól. Sajátos módon a csomagolási szakma a csomagolástechnikának ezzel a részterületével kevésbé foglalkozik, és a gyakorlatban a csomagolástervezési feladat főként a fogyasztói csomagolásra koncentrál, amely kizárólag a termék és a csomagolóanyag közötti kölcsönhatásokkal, valamint az értékesítés szempontjából fontos reklám- és marketingelemekkel foglalkozik [1].

A Széchenyi István Egyetem akkreditált csomagolásvizsgáló laboratóriummal rendelkezik, amelyben modellezni lehet a logisztikában leggyakrabban kárt okozó mechanikai igénybevételeket. A laboratórium alkalmas olyan szabványos és nem szabványos vizsgálatok elvégzésére, mellyel a logisztikai ellátási láncban előforduló igénybevételeket lehet szimulálni, illetve a terméket védelmi funkcióval ellátó csomagolások alkalmassági, és alapanyag-vizsgálatára. Így mód nyílik arra, hogy már a termékek fejlesztésének a fázisában magát a terméket tegyük teherviselőbbé a logisztikai hatásokkal szemben, mely által csökkenthető a csomagolóanyag-igény, és a szükséges párnázásokból keletkező csomagolási holtterefogat, mely kihat a szállítójárművek kapacitáskihasználására is.

A csomagolt termékeket érő hatások a gyakorlatban igen eltérőek lehetnek [2]. A csomagolás minimalizálásához az szükséges, hogy az egyes szállítási relációkhoz és módzatokhoz tartozó hatások szélsőértékeit elviselhető határok között tartsuk.

Ehhez el kell döntenünk, hogy mit tekintünk normális igénybevételnek az egyes szállítási láncokon belül, amelyre nagy valószínűséggel számíthatunk. Ha teljes biztonságra akarnánk törekedni, ahhoz már olyan mértékű „túlsomagolásra” lenne szükségünk, amely gazdaságtalan, értelmetlen és az esetek döntő többségében kihasználatlan lenne.

A LOGISZTIKAI ELLÁTÁSI LÁNCBAN A SZÁLLÍTÓJÁRMŰ ÁLTAL ÁTADOTT HATÁSOK

A járművek rakfelületének mozgását jelentős egyszerűsítéssel lineáris időinvariáns dinamikus rendszernek tekinthetjük. Az időinvari-

áns lineáris dinamikai rendszerek másodrendű lineáris inhomogén differenciálegyenlettel modellezhetők [3]. A vizsgált koncentrált paraméterű dinamikai rendszer szabad koordinátáit az:

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$$

n dimenziós oszlopvektorba, és a rendszerre működő gerjesztő hatások koordinátáit a szintén n dimenziós

$$\mathbf{g}(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_n(t)]^T$$

oszlopvektorba foglaljuk.

A rendszerben szereplő véges sok tömeg, tehetetlenségi nyomaték, rugómerevség, csillapítási tényező, geometriai jellemző a mozgásegyenlet

M – tömegmátrixában

D – csillapítási mátrixában

S – merevségi mátrixában

jelenik meg. Így az n szabadságfokú rendszermozgást leíró lineáris inhomogén differenciálegyenlet-rendszer a következő alakban írható le:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{D} \dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{S} \mathbf{x}(t) = \mathbf{g}(t)$$

A kezdeti érték a t_0 kezdeti időponthoz tartozó előírt $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$ helyzet – és $\dot{\mathbf{x}}(t_0) = \mathbf{x}_0$ sebességvektor.

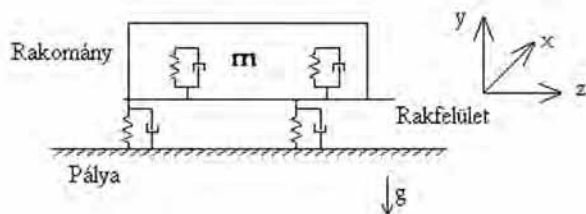
Az $\mathbf{y}(t) = [\dot{\mathbf{x}}(t), \mathbf{x}(t)]^T$ mozgásállapot-vektort bevezetve és a mozgásegyenletet deriválva az:

$$\dot{\mathbf{y}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}(t) \\ \ddot{\mathbf{x}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{D}\dot{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{M}^{-1}\mathbf{S}\mathbf{x}(t) + \mathbf{M}^{-1}\mathbf{g}(t) \\ \dot{\mathbf{x}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{D} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S} \\ \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}(t) \\ \mathbf{x}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{M}^{-1}\mathbf{g}(t) \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

kifejezés adódik.

A rendszer elemei az 1. ábrán láthatók. A lineáris idő invariáns rendszer lehetőségeiből adódik, hogy mind idő-, mind frekvencia-tartományban a különböző gerjesztőfüggvényekre adott válaszok közelítőleg meghatározhatók.

Az előzőekből adódik az is, hogy a gyorsulásszenzorokat is tartalmazó műszerrendszer „csomagját” a jármű-rakomány rendszer közös tömegközéppontjától a mindenkor x , y , z irány szerinti legtávolabbi pontjába kell elhelyezni.



1. ábra: a pálya-jármű-rakomány rendszer sematikus rendszermodellje

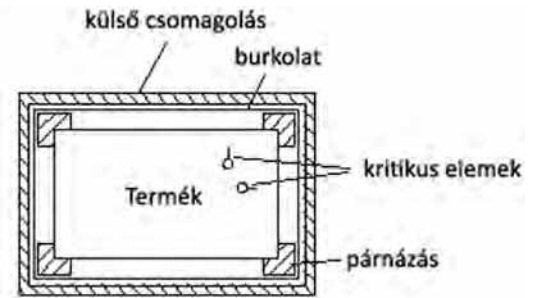
A szállítási károk megelőzésére célszerű, ha az 1. ábrán feltárt jellemzőket laboratóriumi körülmények között szimuláljuk és közben monitorozzuk egy adott minta egység- és rakomány viselkedését [4]. Az igénybevételek és az árutulajdonságok alapján a logisztikai csomagolástervezés folyamata a következő:

1. A termék érzékenysége meghatározása;
2. A szállítóeszközök geometriai mérethatárainak felmérése;
3. A logisztikai láncban a tömeg és területi határok meghatározása;
4. A logisztikában várható szállítási igénybevételek meghatározása;
5. A termék csillapításának a megtervezése, mellyel a termék térfogatát mindhárom dimenzióban meg kell növelni, hogy a szükséges mozgáscsillapító és párasemlegesítő anyagok elhelyezhetők legyenek;
6. A termék elhelyezési pozícióinak meghatározása (pl.: állítva, fektetve, ill. kombináltan);
7. A szállítóeszköz geometriai méreteiből kiindulva a gyűjtő és fogyasztói csomagolás geometriai változatainak permutációja alapján az optimális elhelyezés és az azokhoz tartozó fogyasztói és gyűjtőcsomagolás-méret kiválasztása (a változatok gyakran nagy száma miatt számítógépes tervezés igénybevételére van gyakran szükség);
8. A kiválasztott elrendezési terv alapján a fogyasztói és gyűjtőcsomagolás, az egység- és rakomány-képzés és annak rögzítése, és a rakományok járművön való elhelyezése és a rakomány rögzítésének, valamint az esetlegesen fennmaradó üres terek kitöltésének megtervezése;
9. A megtervezett csomagolási rendszerből vizsgálati minta készítése, melyet az igénybevételek laboratóriumi szimulálásával alkalmassági vizsgálatnak kell alávetni;
10. A csomagoláshoz felhasznált anyagok, ill. eszközök specifikációinak elkészítése a tűrések megadásával;
11. Eljárás kidolgozása a sorozatban beérkező csomagolóanyagok és eszközök minőségi átvételére.

A logisztikai csomagolási rendszerek struktúrája és tervezési lépései az 2–5. ábrákon láthatók.

A termékben megjelölt kritikus elem a logisztikában fellépő hatások szempontjából kritikus. A különböző hatások kombinálva hatnak a becsomagolt termékre. A párnázás a mechanikai hatásokat enyhíti, míg a fóliaburkolat a por, nedvesség, dörzsolódás, elektrosztatikus feltöltődés stb. ellen véd.

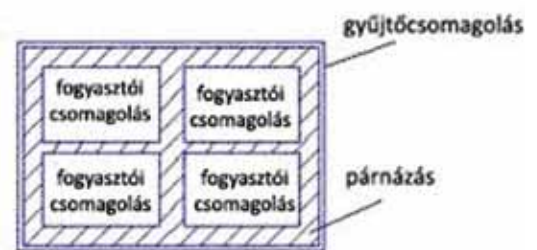
Itt kell megjegyezni, hogy gyakran a termék kritikus elemeinek konstrukciós módosítása jelentősen csökkentheti a csomagolással



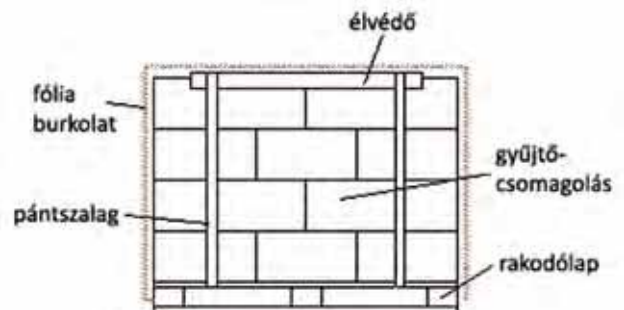
2. ábra: a termék-fogyasztói csomagolás alrendszer elemei

szembeni követelményeket és két szempontból is jelentős megtakarítást eredményez:

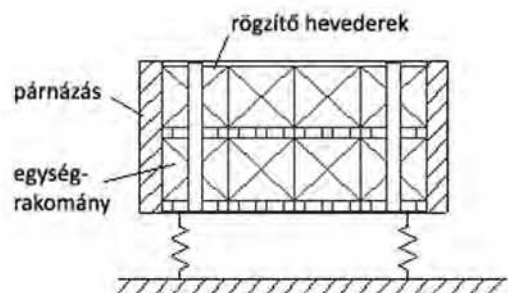
- kisebb párnázási vastagság szükséges, így csökken a csomag térfogata és ezáltal egy szállítmányban fajlagosan több termék továbbítható – csökken az egy termékre jutó szállítási költség,
- kisebb lesz a csomagolóanyag-felhasználás – csökken az egy termékre jutó csomagolási költség



3. ábra: a fogyasztói csomagolás – gyűjtőcsomagolás alrendszer struktúrája



4. ábra: az egység- és rakomány alrendszer struktúrája



5. ábra: a jármű-rakomány alrendszer struktúrája

A fogyasztói csomagolás tervezése során kell eldönteni, hogy a termék az ábrákon látható komplex rendszerben milyen geometriai pozícióban helyezkedhet el. Amennyiben több pozíció is szóba jöhet, a tervezés szabadságfoka nő és végül optimálisnak

tekinthető szállítóeszközkapacitás-kihasználás érhető el. A rendszer tervezését iterációs eljárással két irányból kiindulva célszerű elvégezni. Ez a két irány a következő:

- a szállítóeszköz/transzkonténer rakterének geometriai méretei és teherbírása
- a termék-fogyasztói csomagolás végleges geometriai méretei és bruttó tömege.

A JÁRMŰVEK ÁLTAL ÁTADOTT SZÉLESSÁVÚ TARTÓS RÁZÁS

Nagyon fontos igénybevétel a stacionárius rázás. A gyakorlatban ez a hatás szélessávú véletlenszerű sztohasztikus gyorsulás-idő függvény szerint történik [5]. Ez a hatás előállítható laboratóriumi körülmények között a 6. ábrán bemutatott rendszerrel. A mérőrendszer, gyorsulásadó MWS BS 5401 kapacitív szenzor, mérőerősítő Spider8 (Hottinger Baldwin Messtechnik), jelfeldolgozó szoftver Catman Professional 2005-ös verzió. A rázás létrehozására alkalmas eszköz az MTS840 típusú Vibration Test System, amely a következő fő jellemzőkkel rendelkezik:

- maximális útamplitúdó 200 mm
- az asztal maximális terhelhetősége 2000 kg
- jelgenerátorokkal előállítható jelalakok szinusz, háromszög, fűrészfog, négyszög
- frekvenciatartomány 0–100 kHz
- gyorsulásvezérlés esetén a teljes frekvenciatartományban beállítható csúcsgyorsulás-értékek 1 g, 5 g
- útvezérlés esetén a beállítható útamplitúdó: tetszőleges a teljes úttartományban
- frekvenciapásztázási sebesség: lin/log 0–2 oktáv/perc
- randomrázás: a rendszerbe beépített Sony típusú jeltárolóról.

A vizsgálatokat ebben az esetben is a termékeken kell először elvégezni, a rázás szempontjából kritikus elemeket keressük. Az eljárás esetében az minősül kritikus elemnek, amely egy adott frekvenciasávban rezonanciajelenséget mutat, és ennek hatására sérül.



6. ábra: rázási igénybevétel szimulálása

A jármű rakfelületén elhelyezett termék-csomagolás rendszer sematikus lengőrendszerét a 7. ábra mutatja be. Megfigyelésekből és matematikai analízisből három általános megállapítás vonható le a lengésekkel kapcsolatban [6]:

1. A válaszrezgés frekvenciája megegyezik a gerjesztő mozgás frekvenciájával, azaz a termék-csomagolás rendszer nem a saját frekvenciája szerint fog rezegni.
2. Lineáris lengőrendszer rezgésének kimenő amplitúdója egy számítható konstans által közvetlen összefüggésben van a gerjesztő rezgés bemenő amplitúdójával (ez a szám az erősítési tényező).

Kimenő amplitúdó = Bemenő amplitúdó x Erősítési tényező (A következőkben ezt az erősítési tényezőt fogom részletesen tárgyalni.)

3. Lineáris lengőrendszerrel a tapasztalt maximális gyorsulás közvetlen összefüggésben van a gerjesztőrezgésnek ugyanezzel az erősítési tényezőjével.

Maximum Kimenő Gyorsulás = Maximum Bemenő Gyorsulás x Erősítési Tényező

A erősítési tényező M, a következőképpen határozható meg:

$$M = \frac{\text{Maximális Kimenő (Output) rezgés}}{\text{Maximális Gerjesztő (Input) rezgés}} \quad (1)$$

A erősítési tényező matematikai megfogalmazása az alábbi gondolatmenettel történik:

Amennyiben a gerjesztő mozgás harmonikus, akkor azt a következő kifejezéssel tudjuk kifejezni:

$$y(t) = B \sin(qt) \quad (2)$$

és a válaszmegmozgást $x(t)$ írja le.

Amennyiben a lengőrendszer egy gerjesztőtalapzaton áll (8. ábra) és mereven rögzítve van, a következő egyenlőségnek kell fennállnia.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x = 0, \text{ amely megoldása}$$

$$x = A \sin(pt)$$

ahol:

A = kezdeti elmozdulás:

$$p = \sqrt{\frac{k * g}{W}}$$

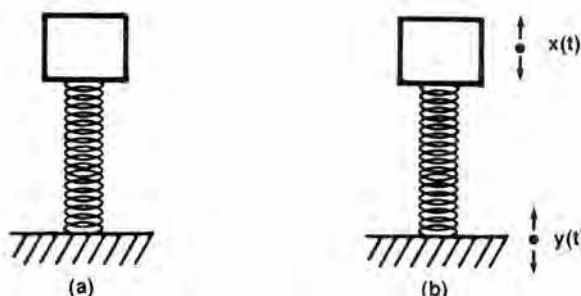
ahol W: erő (N)

k: ütközési tényező

g: 9,81 m/s²

Tehát a mozgás alapegyenlete a következő:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x(t) = p^2y(t) \quad (3)$$



7. ábra: lineáris lengőrendszer mozdulatlan és rázkódó alapon

Vegyük, hogy $q=2\pi f$, ahol f a gerjesztőfrekvencia és a $p=k * g/W$, mint korábban, akkor:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x = p^2B \sin(qt) \quad (4)$$

A laboratóriumi vizsgálatokból tudjuk, hogy a lineáris lengőrendszer túlnyomórészt a gerjesztőfrekvenciánál fog vibrálni. Így a következő megoldás adódik a fenti egyenlet szerint:

$$x(t) = D \sin(qt)$$

Elfogadva ezt,

$$\frac{dx}{dt} = Dq \cos(qt)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -Dq^2 \sin(qt)$$

Ezt az egyenletet az eredetibe helyettesítve kapjuk ezt:

$$-Dq^2 \sin(qt) + p^2 D \sin(qt) = p^2 B \sin(qt)$$

egyszerűsítve

$$(p^2 - q^2) D \sin(qt) = p^2 B \sin(qt)$$

rendezve

$$\frac{D}{B} = \left(\frac{1}{1 - \frac{q^2}{p^2}} \right)$$

ahol $q = 2\pi f_f$ és $p = 2\pi f_n$, így

$$\frac{D}{B} = \frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi f_f}{2\pi f_n} \right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_f}{f_n} \right)^2}$$

Ahol:

- B a gerjesztő (input) rezgés amplitúdója
- D a válasz (output) rezgés amplitúdója.

$$\frac{\text{Kimenő}}{\text{Bemenő}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_f}{f_n} \right)^2} = M$$

Ez adja az erősítési tényezőt, M-et.

A REZONANCIAJELENSÉG ÉRTELMEZÉSE A JÁRMŰ GERJESZTŐREZGÉSÉNÉL

Az előzőekben egy egyszerű kifejezést írtunk fel a bemenő vagy gerjesztő mozgás kimenő mozgásra való átalakulás paramétereire vonatkozóan. Itt a „kimenő (Output)” lehet a kimenő rezgés amplitúdója, vagy a kimenő rezgés maximális gyorsulása [6]. A „bemenő (Input)” lehet rezgés gyorsulás, vagy útamplitúdó.

f_f : gerjesztő, vagy bemenő frekvencia

f_n : a lineáris lengőrendszer saját frekvenciája

Ha az f_f/f_n arány nagyon kicsi, ott az M értéke alacsony, ez azt jelenti, hogy ahol a gerjesztő frekvencia sokkal kisebb, mint a saját frekvencia, ott a kimenő és bemenő frekvencia közel egyenlő egymással.

$$f_f \ll f_n$$

$$M \cong 1, \text{ és}$$

$$\text{Kimenő} \cong \text{Bemenő}$$

Ahogy a gerjesztőfrekvencia értéke közelíti a saját frekvencia értékéhez, az M értéke nagyon gyorsan emelkedik, azaz az arány 1-hez közelít:

$$(5) \quad \frac{f_f}{f_n} \rightarrow 1$$

$$M \rightarrow \infty$$

Ugyanez történik, ha a kimenő frekvenciát vizsgáljuk meg. Ez azt jelenti valójában, hogy a kimenő frekvencia többszöröse a bemenő értékének.

- (6) Az $f_f/f_n = 1$ pontban, ahol a gerjesztőfrekvencia pontosan egyenlő a saját frekvenciával, az M értéke matematikailag meghatározhatatlanná válik.

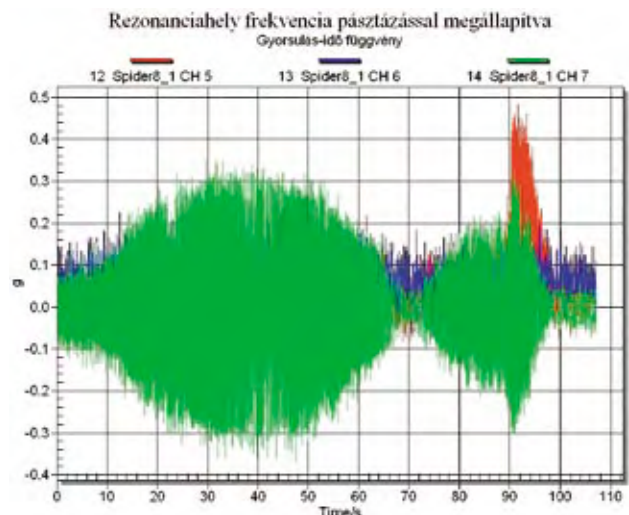
$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_f}{f_n} \right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1} \right)^2} = \frac{1}{0}$$

- (7) Ez a jelenség a rezonancia, mely valójában azt jelenti, hogy a nagyon kicsi bemenő rezgés különösen nagy kimenő regést fog okozni.

A REZONANCIAFREKVENCIA-HELYEK MEGÁLLAPÍTÁSA TELJES RAKOMÁNY ESETÉN

- (8) A fentebb említett rezgések az egész disztribúciós rendszer folyamán következnek be, legyen szó szárazföldi, vízi, légi szállításról. Nyilvánvaló, hogy ahhoz, termékeink elkerüljék, hogy a hatalmas nagyítási értékeket a csomagolási rendszernek nem szabad, hogy olyan hasonló saját frekvenciája legyen, amely közeli a gerjesztőfrekvenciához. A rakomány esetén a mért értékek a 8. és 9. ábrákon láthatók.

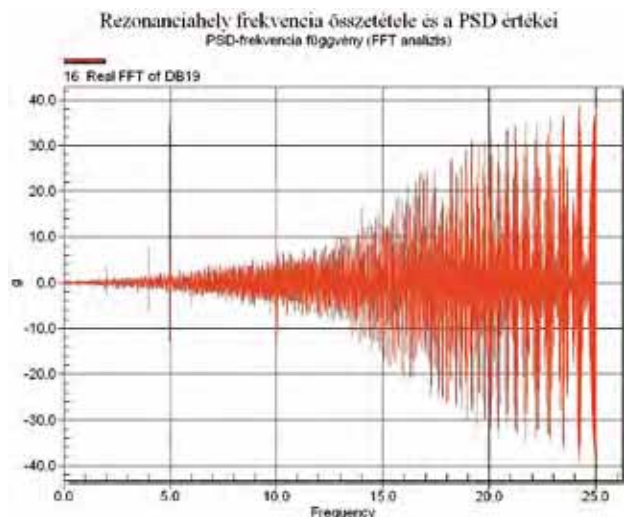
(9a)



8. ábra: a rezonanciahely megállapítása a rakományon, frekvenciapásztázással

A mérőrendszer részét képező szoftver mind a harmonikus, mind a randomrázás gerjesztő és válasz gyorsulás-idő függvényét matematikailag is ki tudja értékelni (8–9. ábrák). Ennek fontosabb eleme az FFT-analízis [7], az amplitúdó- és fázisspektrum, valamint az auto- és keresztkorreláció függvények.

Ezen felmérésből kiderül, hogy melyek azok a külső hatások, amely ellen a csomagolástechnikának védenie kell. Ebből képezhető az a különbség, amely a termék teherviselő képessége és a külső hatások nagyságrendje között található. Az ilyen mérésekből megtervezhető a csomagolástechnikai párnázás.



9. ábra: PSD-értékek és a frekvencia összetétele

A VIZSGÁLT SZÁLLÍTÁSI CSOMAGOLÁS MOZGÁSCILLAPÍTÁSI RENDSZERÉNEK FEJLESZTÉSE

Két fő célt állapítottunk meg, nevezetesen, hogy a hatások létrehozásával és a termék viselkedésének a tanulmányozásával a terméket alkalmasabbá kell tenni a tartós rázás jellegű hatások elviselésére, másrészt a csomagolástechnológiai mozgáscillapítás számára hozzunk létre a jelenleginél pontosabb tervezéshez az alapadatokat.

A mérések feldolgozásából a következő főbb általánosítható és jellemző következtetés vonhatók le:

- közúti szállítás során a 2–15 Hz frekvenciatartományban 1 Hz sávszélességenként 20 g maximális gyorsulás-amplitúdó várható függőleges irányban;
- vasúti szállítás, tengeri hajózás és légi szállítás esetén 1g fölötti érték függőleges irányban a teljes frekvenciatartományban nem fordul elő,
- közúti és vasúti szállításnál, tengerhajózásnál és repülésnél a vízszintes irányú rezgés gyorsulások a teljes frekvenciatartományban a 0,4 g értéket nem haladták meg;
- valamennyi szállítási módnál 70 Hz frekvencia fölött csomagolást befolyásoló gyorsulásamplitúdó, illetve PSD-érték nem fordult elő;
- légi szállításnál 120 Hz fölött csomagolást befolyásoló rezgés gyorsulás, illetve PSD-érték nem fordult elő;

- az ISO 1A-3C konténerek alkalmazása a rezgés gyorsulásokat kb. 40–60%-kal csökkentették a teljes frekvenciatartományban.

ÖSSZEGZÉS

A csomagolások logisztikai szempontból egységes rendszerként kezelendők, amely rendszer részrendszerei a csomagolandó termék, annak fogyasztói és gyűjtőcsomagolása, továbbá az egység rakomány-képző eszközön történő elhelyezés és rögzítés, valamint a jármű rakfelületen történő elhelyezés és rögzítés. Az egyes részrendszerek geometriai és tömegméréteit úgy kell meghatározni, hogy valamennyi részrendszer mozgató- és tárolóeleme optimálisan kihasználható legyen. A csomagolandó terméket, illetve annak csomagolási rendszerét a logisztikában olyan hatások, illetve igénybevételek érik, melyek laboratóriumi körülmények között a bemutatott módon modellezhetők. Ezen belül fontos szempont, hogy ezek a vizsgálatok magas reprodukálhatósági fokúak legyenek. Módszertant mutattunk arra, hogy a leggyakoribb és mechanikai alapon nagyon nehezen modellezhető károkozó tényező, nevezetesen a tartós sztochasztikus rázás esetén a csomagolandó termék érzékenységet hogyan kell meghatározni és első közelítésben ezen hatások ellen milyen módon lehet a védelmet méretezni.

Irodalom

- [1] Pánczél Z. – A csomagolás logisztikai jelentősége, Magyar Logisztikai Egyesület, Logisztikai Évkönyv, 2002
- [2] IEC 68-1. Environmental Testing Part 1. General and Guidance, 2007
- [3] Zobory I. – Járműdinamika, lineáris időinvariáns dinamikai rendszerek, Kézirat, BMGE Közlekedésmérnöki Kar Vasúti Járművek Tanszék, Budapest, 2003
- [4] Pánczél Z., Mojzes Á., Fejlesztési – tervezési irányzatok a csomagolástechnika műszaki, gazdasági és ökológiai egyensúlyban betöltött szerepének optimalizálására, Győr, I. Logisztikai Rendszerek és Elméletek Tudományos Konferencia, Győr, 2007 nov.29
- [5] Pánczél Z., Tóth L. – Logisztikai szempontú csomagolástervezés az igénybevételek laboratóriumi szimulálásával, Transpack 2 évf. 1. sz. (jan.– febr.), 2002
- [6] Cyril M. Harris – Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill Book Company, 1998.
- [7] T. Nordstrand – Parametric study of the post-buckling strength of structural core sandwich panels, Compos Struct 30 (4), pp. 441–451., 2001

Optikai digitalizálás, MAHR koordinátamérő géppel

Dr. Solecki Levente

főiskolai docens, Anyag-
ismereti és járműgyártási
tanszék, Széchenyi István
Egyetem

A cikk a MAHR koordinátamérő gép digitalizálási képességeinek kiterjesztésével és alkalmazásával foglalkozik.

The paper is dealing with the expansion and application of digitizing ability of MAHR co-ordinate measuring equipment

Felület vagy alak (profil) digitalizálása alatt a koordinátamérés-technikának azt a területét értjük, ahol nagyszámú (>1000) térbeli/síkbeli valamilyen rendszer szerint – általában egyenletes sűrűségben – elosztott pont koordinátáját határozzuk meg. Matematikai összefüggéssel leírható egyszerű alakok/felületek (egyenes, kör, sík, henger, gömb, kúp...) viszonylag kevés pontjakkal meghatározhatók. Kört, síkot 3 nem egy egyenesbe eső pont, hengert, gömböt 4 célszerű pont határozza meg. Az ilyen „szabályos”, matematikai összefüggésekkel leírható felületeknél a szükségesnél több felületi pont mérését arra használjuk, hogy a pontokat legjobban közelítő névleges alakot, és az ettől legtávolabb eső pont távolságával a felület alakhibáját is meghatározzuk. Ha a felületünk nem írható le egyszerű matematikai összefüggésekkel (szabad felület), vagy sok egyszerűből összetett felületünk van (pl. menetfelület), akkor sok pont kell a meghatározásához. Felületdigitalizálás alatt sok felületi pontnak olyan értelemben automatizált felvételét értjük, hogy nem konkrét pontokat veszünk fel, hanem egy kijelölt felületrészen valamilyen felbontásban az összes érzékelhető pontot meghatározzuk.

Vannak esetek, amikor viszonylag kevés és előre meghatározott pont helyzetére van szükségünk. A hajtóműházon a fedelet csavarok rögzítik. Ezeknek a csavarpozícióknak a szerelhetőség miatt a hajtóműházon, a fedélén és a közöttük lévő tömítés furatainál meg kell egyezniük. Ennek ellenőrzése megoldható az alkatrészek felületének optikai vagy más módszerrel történő

digitalizálása nélkül is. Ha viszont a felületek szélső értékeit (legkisebb/legnagyobb eltérés) keressük, akkor a teljes felületen, vagy legalábbis a feltételezett felületrészen összefüggő pontfelhőre van szükségünk, amit felületdigitalizálással kapunk.

Az 1. ábra egy kovácsrészszámot mutat (folyatóbélyeg), ami félgömbben végződik és négyoldalú gúla az alapja, de közben szabad felületekből van az átmenet. Ennek ellenszerszáma – a matrica – is szabad felületű, de a gépészetben szabad felületű munkadarabokra számtalan példát lehet találni (karosszériaelemek, áramlástechnikai eszközök). A felületek optikai digitalizálása a tapintós eljárásokhoz képest gyorsabban, érintés nélkül szolgáltat sok felületi pontról információt viszonylag széles méréstartományban, kb. 30 mm-től akár 100 m-ig, és az érzékelő optikai eszköz – ami fényképezőgép vagy kamera – önmagában olcsóbb, mint egy koordinátamérő gép.

A 2. ábra a Gesellschaft für optische Messtechnik, Braunschweig optikai felületdigitalizáló rendszerét (ATOS) és néhány alkal-



1. ábra



2. ábra



3. ábra

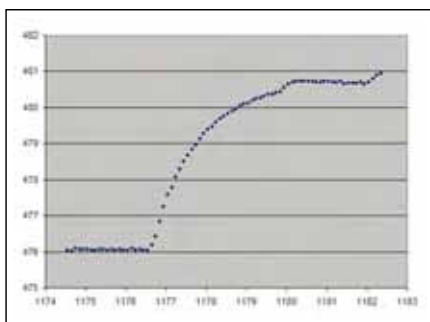


4. ábra

mazást mutat be (karosszériaelemek és légi járművek). Ennek a rendszernek főbb jellemzői: az érzékelő két kamerából és egy csikmintát vetítéssel áll, és azokat a képpontokat tudja érzékelni, amit a két kamera egyidejűleg lát. Az érzékelt pontok sűrűsége 0,01–0,02 mm, és jó kiértékelő rendszer tartozik hozzá: nagy kapacitású hardver és szoftver, ami jól kapcsolódik a CAD-rendszerekhez.

A 3. ábrán látható turbinalapát viszont már az érzékelhetőségének alsó határán van.

A Széchenyi István Egyetemen 2001 óta használunk egy MAHR PMC800 típusú, multiszenzoros koordinátamérő gépet (4. ábra). Méréstartománya 1500 mm x 800 mm x 500 mm, mérési bizonytalansága $3,5 + L/350 \mu\text{m}$, és alkalmas kapcsolós rendszerű érintéses érzékelésre, valamint függőleges irányban



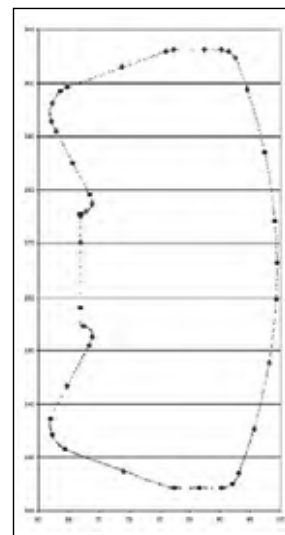
5. ábra

lézeres letapogatásra és kamerás érzékelésre. A lézeres letapogatás adott kezdő és végpont között egyenes mentén történik, éles és meredek átmeneteket nehezen képes követni. Az 5. ábra egy ferde hatásvonalú csapágy külső gyűrűjén a golyók futófelü-

tének lézeres digitalizálását mutatja fokanként, sugárirányban letapogatva.

A koordinátamérő gép kamerájával lapos (kétdimenziós) alkatrészek alakját (profilját) lehet célszerűen felvételezni. A felvételezés azzal kezdődik, hogy manuálisan felvesszük, azaz kimérjük a profilt meghatározó legkevesebb pontot. Ez a 6. ábrán látható 40 mm x 90 mm-es bélyeg esetén 42 pontot jelent, körivenként 3 pontot, egyenesenként 2 pontot. Ha ezeket a bázispontokat meghatároztuk, akkor ezek között tetszőleges sűrűségben lehet pontokat automatikusan, tehát programozottan felvenni. A bázispontok mellett 412 közbelső pont látható az ábrán. A mérőgép monochrom kamerája 5x optikai nagyítású, 752 (H) x 582 (V) pixeles. Automatikus pontfelvételre úgy alkalmas, hogy az érzékelt képen adott irányban a sötét/világos átmenetek helyét – ha ilyet talál, akkor képes meghatározni. A 7. ábra a sötét/világos átmenetkeresésnek két különböző irányára mutat példát; a jelölt pontokat találta meg a rendszer.

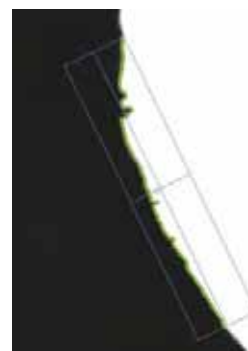
Dróthúzó kövek (8. ábra) belső profilja forgásszimmetrikus és többlépcsős kúpos felület, köríves átmenetekkel. Mivel kisméretű (átmérő néhány mm) belső felületről van szó, ezért közvetlenül nem mérhetők. Rugalmas szilikonanyaggal (STRUERS RepliSet F5) kiöntve a húzóköveket kívülről mérhetővé lehet tenni. A profil digitalizálásához 51 bázispontot vettünk fel – képernyőnként végigmentünk a profilon –, majd a mérőgép automatikusan felvette az 51 képernyőn érzékelhető sötét/világos átmeneteket, kb. 0,01 mm-enként, összesen 11 684 pontot. Erre a pontsűrűsége a két kúp közti átmenet körének meghatá-



6. ábra



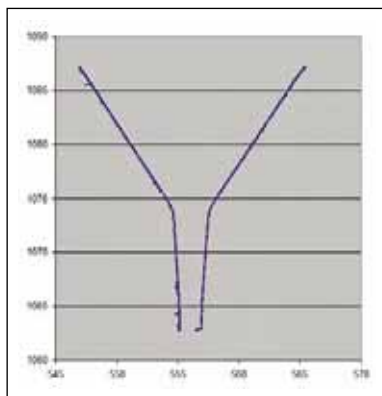
7a ábra



7b ábra



8. ábra



9. ábra

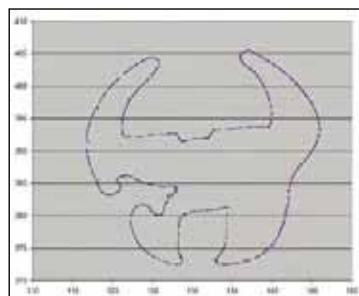
rozásához volt szükség, mivel ez a körív viszonylag rövid és lapos. A 9. ábra a bázispontokat és a köztük felvett pontokat mutatja, a tengelyek mm-es skálájúak. Az automatikus pontfelvétel alatt azt kell érteni, hogy megfelelő megvilágítást, letapogatási irányt (lehetőleg a profilra merőlegesen) kell választani, és gondoskodni kell a profil élesre állításáról (fókuszálás) is.

Ezzel a módszerrel össze lehetett hasonlítani ugyanannak a húzókönek a kiindulási, kopott és felújított alakját egymással. Metszetkészítés után közvetlenül tudtuk digitalizálni a 10. ábrán látható szélvédő



10. ábra

tömítőgumijának profilját. A profilt 172 pozícióban lehetett folyamatosan körbejárni. A 172 képernyőn 25 317 kontúrpontot vett fel a mérőgép. A 11. ábrán a mérés bázispontja és a nyert profilpontok láthatók. Vízszintes vágó pályakövetési pontosságának vizsgálatához 1 mm vastagságú lemezből egy



11. ábra

a = 60 mm (alapkörátmérő), b=12 mm (gördülőkör-átmérő) és c=8 mm (vonatkoztatási pont excentricitása) cikloist vágtunk ki (12. ábra). A mérőgép végig tudja követni a cikloist, aminek matematikai összefüggése:

$$x = (a + b) \cos i - c * \cos \frac{(a + b) * i}{b}$$

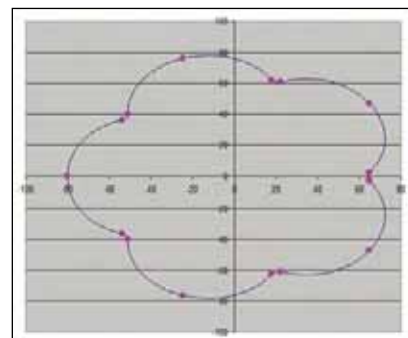
és

$$y = (a + b) \sin i - c * \sin \frac{(a + b) * i}{b}$$



12. ábra

A ciklois 5 külső íve 3 pontjának mérésével meg tudtuk határozni a ciklois pozícióját (alapkör középpontja és ciklois szöghelyezete), valamint a legjobban közelítő a, b és c paramétereket. A pályát a középponti szög függvényében járja végig, a lépésközt és a sötét/világos átmenetek keresési irányát a profil aktuális irányának megfelelően kell változtatni. A digitalizálás 153 449 képpontot eredményezett: speciális rendszerrel kezelhető (13. ábra).



13. ábra

ÖSSZEFOGLALÁS

A rendelkezésre álló lehetőségek kihasználásával univerzálisan használható módszert sikerült kidolgozni. A mérőgép olyan funkcióra alkalmas, amelynek csak az alapjai voltak adottak. Bázispontok felvétele és optikai beállítások (megvilágítás, fókuszálás, felbontás) után 2 koordinátás profilok széles körének automatikus digitalizálása lehetséges. Megvalósult az eredmények kiértékelésének lehetősége is nagy adatmennyiségekre (a mérőgép hardver- és szoftveroldalról sem képes erre). Fejlesztési lehetőség az automatikus pályakövetés kidolgozása, ami a digitalizálás eredményének visszacsatolásával valósítható meg.

Belső égésű motorok hengerfelületeinek kopásvizsgálata

Dr.-Ing. Mathias Roman Dreyer
tanszékvezető,
Belső Égésű Motorok Tanszék,
Széchenyi István Egyetem

Dr. Solecki Levente
főiskolai docens,
Anyagismereti és
Járműgyártási Tanszék,
Széchenyi István Egyetem

A cikk a hengerfelület kopásvizsgálatát mutatja be. A hengerfelület kiindulási és használt állapotának összehasonlítására közvetve a felületről készített szilikonlenyomatot használták. Az összehasonlítás vizuális megfigyeléssel és optikai 3D letapogatással történt.

The paper introduces the analysis of wear on the surface of cylinder. As indirect method a silicon imprint was used for comparison of original and used status of cylinder surface. Comparison was carried out by visual observation and optical 3D scanning.

A hengerfelület a belső égésű motor működése szempontjából alapvetően fontos. Funkciói: megvezeti a dugattyút, biztosítva a mozgását. Körülveszi az égésteret, mozgás mellett tömítést tesz lehetővé a dugattyúgyűrűknél. A tömítést és a dugattyúmozgást kis súrlódás mellett kell megvalósítani. A motor működése közben gyorsan és szélsőségesen változik a nyomás, a hőmérséklet, a sebesség/gyorsulás (a motor fordulatszáma több ezer percenként). Az üzemi viszonyok kedvezőtlenek a szennyeződések miatt és mert kenés csak korlátozottan biztosítható. A belső égésű motortól megbízható működést és hosszú élettartamot várunk el. (Több százezer kilométer futás, kb. kétszerennyi üzemóra alatt.) A kopásvizsgálattal fékpádon járatott motorok hengerfelületein mérhetővé akartuk tenni a kopást, valamint az észlelt kopások eltérő és hasonló tulajdonságait rendszerezni akartuk és össze akartuk hasonlítani a gyártás utáni hengerfelületeket a járatás utániakkal.



1. ábra



2. ábra

Belső égésű motorok hengerfelületein a kenési és tömítési funkciók ellátására egyedi mintázatokat hoznak létre a hengerfelület megmunkálásával (hónolással vagy lézerkezeléssel). Kopás alatt a megmunkáláskor létrehozott mintázat csökkenését és a dugattyú mozgásával keletkező karcok keletkezését értjük. Nem makrogeometria (henger-, dugattyú-, dugattyúgyűrű-átmérő), hanem a mikrogeometria változását kutatjuk.

Két Audi soros négyhengeres Otto-motor állt a rendelkezésünkre, az egyik 1,8 l hengerűrtartalmú hagyományosan hónolt (Spiralgleithonen), a másik 2 l hengerűrtartalmú lézerkezelte



3. ábra

hengerfelülettel (1. ábra). Az első ábra a kísérleti motort mutatja. A hengerfelület közvetlenül sem optikai, sem érintésszerű módszerrel nem vizsgálható. A vizsgálatot közvetett úton, szilikonlenyomatokon végeztük el. A lenyomatanyag STRUERS RepliSet F5 típusú fekete színű rugalmas szilikon. A kétkomponensű szilikon a felhordáskor keveredik össze, kb. tízperces kötés után leválasztható a felületről. Azért, hogy a készített rugalmas lenyomat a későbbiek során ne deformálódjon, ezért minden lenyomathoz 25 mm x 110 mm-es műanyag hátlapja van. A 2. ábrán egy hengerfelületről készített szilikonlenyomat látható.

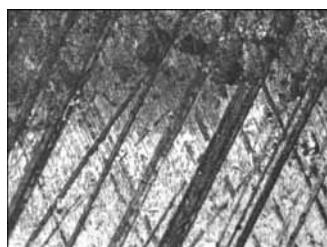
A motorok nem gépkocsiba szerelve, hanem fékpádon speciális futási program szerint lettek járatva. Az 1,8 l-es hagyományosan



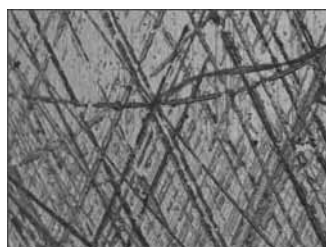
4. ábra

hónolt (Spiralgleithonen) 500 órás vegyes ciklusú tartós futást teljesített, sok teljes terheléssel, különböző fordulatszámokon, a 2 l-es lézerkezelte hengerfelületű 383 órás teljes terhelés melletti futást 5200 1/perc fordulatszámra. A járatás után a motorokat szétszerelték, megtörtént a szokásos tisztítás és állapotfelmérés, majd a hengerfelületekről újra szilikonlenyomatokat készítettünk. A 3. ábra a lenyomatvételi helyeket mutatja. A hengerfelület szívó- és kipufogóoldaláról vettünk lenyomatot, mivel a hajtókar mozgása miatt ennek a két oldalnak nagyobb az igénybevétele.

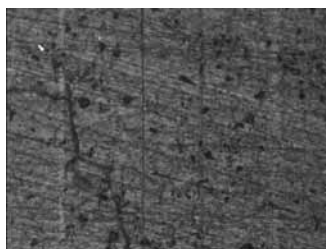
A kiértékelés első lépése egy optikai felvételezés volt. Ehhez egy MAHR PMC800 típusú koordináta-mérőgépet használtunk. A 4. ábrán a MAHR koordináta-mérőgép látható. A mérőgép kamerájával nemcsak optikai felvételeket készítettünk a kopás szempontjából fontos helyekről, hanem ki tudtuk mérni ezeknek a helyeknek az elhelyezkedését is. Ez a mérés tette lehetővé ugyanazoknak a pontoknak a megtalálását a kopott és a kiindulási hengerfelületekről készített lenyomatokon. A kopott felületekről készült lenyomatokon egyértelműen beazonosítható



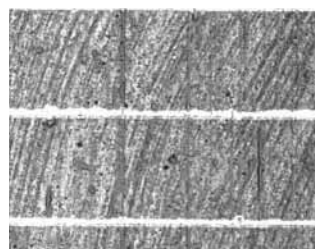
5. ábra



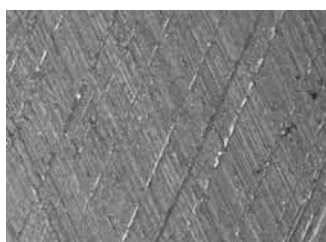
6. ábra



7. ábra



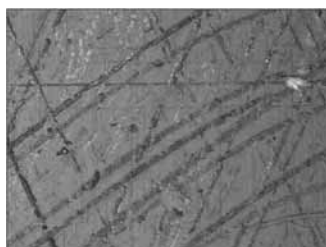
8. ábra



9. ábra



10. ábra



11. ábra



12. ábra

a felső kompressziógyűrű felső holtpontja, ami fölött nincs érintkezési nyom, a felület sötét, kocsos, valamint az olajlevezető-gyűrű alsó holtpontja, ami alatt a kopásnyomok szinte teljesen megszűnnek. Az 5. ábrán a felső kompressziógyűrű felső holtpontja látható, a 6. ábrán pedig az olajlevezető-gyűrű alsó holtpontja. Az olajlevezető-gyűrű alsó holtpontja alatt is láthatók kopásnyomok, mivel nemcsak a dugattyúgyűrűk, hanem a dugattyú is érintkezik a hengerfallal. Ilyen összetartozó kopásnyom látható a 7. ábrán, ami a hengerfelületről készített lenyomat és az ennek megfelelő kopási hely a dugattyú oldalán (8. ábra).

A lenyomattechnika lehetővé teszi, hogy ugyanannak a felületrésznek a kiindulási és kopott állapotát összehasonlíthassuk. A 9. ábra a kiindulási, a 10. ábra ugyanannak a helynek a kopott képét mutatja. Látható a képeken a felület kopásának kétféle formája: mind a kiindulási finomstruktúra eltűnése, mind a dugattyú mozgásirányába eső karcok keletkezése. Mivel a koordináta-mérőgép alapvetően nem optikai felvételek készítésére, hanem geometriai mérések elvégzésére szolgál, ezért összehasonlító felvételeket készítettünk ZEISS optikai mikroszkóppal. Az összehasonlítás alapján a mérőgéppel készített felvételek elfogadhatóak, a valóságot tükrözik. A 11. ábra a koordináta-mérőgéppel készített felvételt mutatja, a 12. ábra pedig a ZEISS optikai mikroszkóppal felvett. A képen keresztirányban az olajlevezető-gyűrű felső holtpontjánál keletkező váll látható.

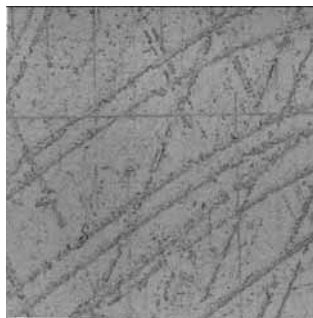
A felület szerkezetét az optikai kép csak részben adja vissza. Pontosabb topográfiát kapunk, ha a felületet letapogatjuk. A hengerfelületből kivágott részleteket közvetlenül érintésses módszerrel is lehet tapogatni, de a felületről készített rugalmas szilikonlenyomatot csak érintéssmentesen. Erre alkalmas berendezés a Taylor Hobson TALYSURF CLI2000 érdességmérő



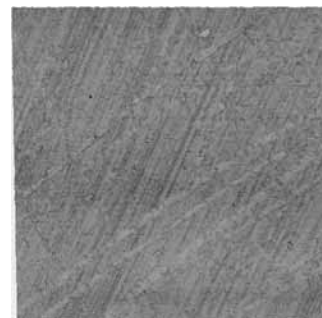
13. ábra

berendezése. Tűs és optikai (konfokális) letapogatásra képes nemcsak egy metszetben, hanem a metszetek eltolásával 3D topográfiát vesz fel a felületről. Az érzékelő méréstartománya 0,3 mm, felbontása 10 nm. Az érdességmérő berendezés a 13. ábrán látható. A 14. ábra annak a felületrésznek a 3D-s képét mutatja, amiről a 11-12. ábra optikai felvételt mutatott. A sötét/világos megjelenítés az érzékelt pontok magasság/mélységét fejezi ki, minél sötétebb egy pont, annál mélyebben helyezkedik el.

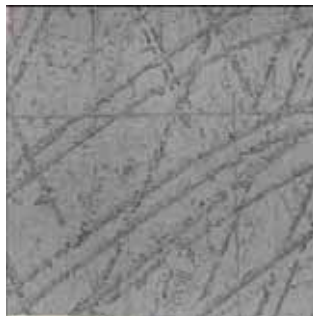
Letapogattuk és összehasonlítottuk ugyanannak a felületrésznek a topográfiáját. Vizuálisan a 15. ábra a kiindulási, a 16. ábra a kopott állapotot mutatja. A 2D-s Fourier-analízis lehetővé teszi a kiindulási és a kopott mintázat hornyai irányainak számszerűsítésére. A 17. ábra a kiindulási felület 2D Fourier-analízise, hornyok alapvetően csak a két hónolási irányban vannak. A 18. ábrán a kopott felület Fourier-analízise, mind hossz, mind



14. ábra

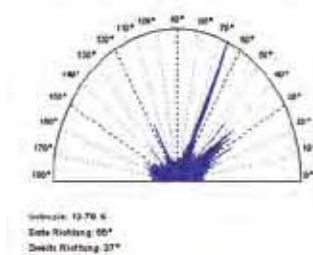


15. ábra

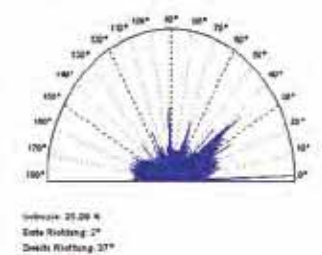


16. ábra

keresztirányban vannak karcok, és a kiindulási hónolási mintázat csökkent. A hengerfelületről közvetlenül fehérfényű interferométerrel készítettünk 3D-s felvételt. A közvetlenül és a lenyomatról közvetve nyert felvételek vizuálisan jól illeszkednek, egyezést mutatnak. Mivel mindkét eljárás fejlesztési stádiumban van, ezért kiindulási eredménynek ez biztató.



17. ábra



18. ábra

ÖSSZEFOGLALÁS

A hengerfelületek vizsgálatára a lenyomatkészítéssel közvetett eljárást kidolgoztuk. Ennek eredményeként megbízható módon tudunk lenyomatot készíteni mind a kiindulási, mind a kopott állapotról. Az optikai kiértékelés megoldott MAHR koordináta-mérőgéppel és Zeiss optikai mikroszkóppal. Ugyanazok a területrészek megtalálhatók a kiindulási és a kopott felületről készített lenyomaton. A részletesebb vizsgálatra kiválasztott területrészekről tudunk 3D topográfiát készíteni (eszköz TALYSURF CLI2000). Összehasonlításra alkalmas a MAHR fehérfény-interferométer felvétele közvetlenül a hengerfelületről. Van megoldás a 3D topográfiák összehasonlítására (GOM-ATOS): akár milliós nagyságrendű érzékelt 3D-s pontok megjelenítése, egymásra illesztése, háromszögháló generálása, különbségképzés. Mindez alkalmassá teszi a kidolgozott módszert arra, hogy vele további vizsgálatokat lehessen végezni.

Vevői igények azonosítása és azok megvalósítása korszerű közúti és off-highway futóművekben

Dr. Szócs Károly
üzletfejlesztési igazgató,
Rába Futómű Kft.

A cikk bemutatja, hogyan azonosíthatók a kis- és közepes sorozatú járműgyártók igényei és az így rendelkezésre álló információ alapján a futóműgyártó által hogyan tervezhetők meg a követelményeket leginkább kielégítő konstrukciók, melyek a magas szintű mérnöki tervezői munkán kívül nagyfokú kreativitást is követelnek. A fentiekre két gyakorlati példát hoz a szerző. Hogyan lehet egy moduláris, kevés elemből álló, sok eltérő változat összerakását lehetővé tévő off-road futóműcsalád megvalósításával gazdaságosan és gyorsan kielégíteni a vevői igényeket, illetve mik voltak az autóbuzszipiacon egyedi, speciális vevői igény alapján kifejlesztett termékcsalád bevezetésének indokai és tapasztalatai.

The article presents, how to identify the demands of the small- and mid-series vehicle manufacturers and according to the available information how the axle producer could make the most suitable designs for its customers requiring both high-qualified engineering and high creativity. There are two examples given. How is the quick and economical satisfaction of customers' demand possible through an off-road axle family based on a modular system, including only a few subassembly units but realizing many different axle versions. There is another section about the reasons behind and the experiences gained with a newly developed product family which is unique on the bus market.

BEVEZETÉS

A TECH4AUTO – 2009 konferencián a cikk szerzője rendhagyó feladatra vállalkozott. A konferencia előadói ugyanis az esetek többségében gyakorló mérnökök, természettudósok, akik komoly szakmai mélységben taglalva témáikat, tudományos-műszaki szempontból nyújtanak betekintést legújabb kutatás-fejlesztési eredményeikbe. De talán nem felesleges olykor-olykor más szemszögből is megvizsgálni a vállalati innováció, elsősorban a termékfejlesztés folyamatát (kezdve annak kiindulópontjával, a vevői igényrel, ennek azonosításával, illetve lefordításával kutatás-fejlesztési feladattá), illetve ezt követően természetesen magát a megvalósítást is. Ez a nézőpont ebben az esetben egy olyan – eredetileg járműgépész – szakemberé, aki egy járműipari főegység beszállító üzletfejlesztési tevékenységéért felel. Miután üzletet fejleszteni csak új vevők, új termékek és új alkalmazások azonosításával és implementálásával lehet, így ez a tevékenység szorosan kapcsolódik a klasszikus értelemben vett termékfejlesztéshez, mintegy előszobája és egyben mozgatórugója annak.

A VEVŐI IGÉNYEK AZONOSÍTÁSA

Ennek a folyamatnak egy része – a piackutatás, a vevők azonosítása, a velük történő kapcsolatfelvétel és kommunikáció – sokkal inkább egy marketing szakfolyóirat hasábjaira kívánczik, ezért itt és most azzal a feltételezéssel élünk, hogy a vevői igény ténye adott és az első feladat ennek pontos megfogalmazása. Alkalmazástechnikai szempontból a futóművek önmagukban is meglehetősen komplex egységet képeznek, melyeknek tervezése, gyártása és vizsgálata komoly szaktudást, felkészültséget, tapasztalatot, eszközháttérrel kíván. Ugyanakkor ennek az egységnek egy járműbe építve kell ellátnia a feladatát. Ez azt jelenti, hogy egyrészt a jármű adatai és üzemelési körülményei határozzák meg a vele szemben támasztott elvárásokat, másrészt együtt kell működnie a jármű számos más főegységével, illetve alrendszerével (motor, váltó, felfüggesztés, kormányzás).

Ezért a vevővel folytatott párbeszéd már a kezdet kezdetén kétirányú. A futóműgyártó egyrészt igyekszik a lehető legpontosabb adatokat beszerezni a járműgyártótól (geometriai és terhelési

RABA Axle Ltd.
Member of the Rába Group

APPLICATION DATA SHEET FOR DRIVEN FRONT AXLES OF TRUCKS

Vehicle data:
 Type:
 Application:
 Working conditions (climate, road conditions):
 Existing model:
 New model:
 Prototype: year: month: pcs:
 Ramp up: year: quantity:
 Target price: USD EUR

RABA AXLE Manufacturing and Trading Ltd.
 Plant: H-9027 Győr, Martin str. 1.
 Mailing addr.: H-9002 Győr, POB: 141.
 Tel.: +36 96 624 194
 Fax: +36 96 624 747
 E-mail: axle.marketing@raba.hu

1. Vehicle data:
 Max. GVW: kg
 Max. GCV: kg
 Wheel formula:
 Max. vehicle speed: km/h

2. Type of wheel disc:
 Size:
 Offset: mm
 quantity of studs: pcs
 Rubber tire size:
 Inner wheel's max. turning angle: degree(s)
 Dynamic rolling radius: mm
 Steering arm:
 Tie rod:
 Dimensions (mm):

1. ábra: applikációs kérdőív egy oldala

adatok, a kapcsolódó főegységek működési és teljesítmény-paraméterei és a várható üzemenlési körülmények). Másrészt megfogalmazza mindazokat a saját elvárásait, amelyeknek figyelembevétele, illetve betartása előfeltétele az általa szállított termékek megfelelő működésének. Az előbbi célt szolgálják a jármű (busz, tehergépkocsi, mezőgazdasági munkagép vagy építőgép) és futómű (kormányzott, hajtott stb.) specifikusan összeállított applikációs kérdőívek (1. ábra). Az utóbbit pedig egyrészt az általános beépítési irányelvek, másrészt – konkrét termékek esetén – az ajánlati rajzokon és termékspecifikációkban feltüntetett adatok, méretek, megengedett terhelési paraméterek stb.

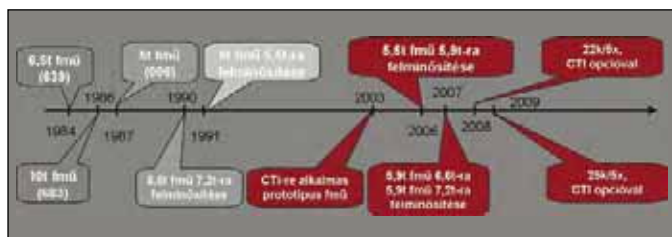
Külön fejezetet is érdemelnek a járművek üzemenlési paraméterei, melyek a majdani élettartam-számítások bemenetét képezik. Ideális esetben ugyanis a futóműgyártónak tisztában kellene lennie a termékére (annak teherviselő elemeire) ható terhelési erőspektrummal (milyen függőleges, hossz- és keresztirányú erők hatnak rá és milyen időeloszlásban) és azzal, hogyan néz ki ugyanez az erőátvitelt terhelő hajtó és fékező nyomatékot vonatkozásában. A tervezőmérnök feladata ugyanis nem más, mint a teherviselő elemek végtelen, az erőátviteli elemeknek pedig az elvárható maximális (több százezer km-es, esetenként millió km-es) futásteljesítményre való méretezése. Mindezt természetesen a gazdaságossági optimum közelében, vagyis elkerülve a felesleges többlet anyag, tömeg és költség bevitelét a végtermékbe...

A problémát az jelenti, hogy a Rába Futómű Kft. vevőkörében, illetve a kiszolgált alkalmazások esetében (közepes- és kissorozatú futóművek) ilyen részletes terhelésspektrumok a legtrikábbban állnak rendelkezésre. Ezért döntő jelentősége van annak az évtizedes tudásanyagának, amely a tervezési és labortesztelési eljárások során felhalmozódott, s amely a céget alkalmassá teszi a kérdőíveken megkapott adatok alapján a megfelelő futómű kiválasztására, át- vagy megtervezésére.

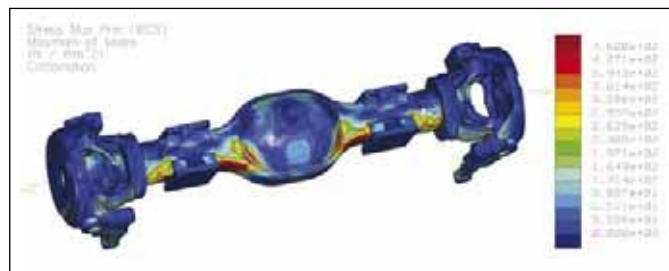
AZ UTÓBBI ÉVEK FEJLESZTÉSI EREDMÉNYEI OFF-HIGHWAY FUTÓMŰVEKNÉL

A Rába Futómű Kft. a '80-as évek közepe óta rendelkezik közepes és nehéz kategóriában kétfokozatú hajtott futóművekkel, melyeket szimpla abroncsozású, összerék-hajtású speciális (polgári és katonai) járművekhez ajánl. A termékcsalád komoly sikereket könyvelhet el elsősorban az Egyesült Államokban, de jelentős referencia és fontos szerepet játszott a fejlesztés során is az a tény, hogy ilyen futóműveket alkalmaznak a Magyar Honvédség Rába tehergépkocsijaiban is.

A termékcsalád negyedszázados története nem más, mint folyamatos erősítések, felminősítések, változat- és funkcióbővítések sorozata (2. ábra). Ennek eredménye a MAXS™ (Modular Axle System) márkanévre hallgató futóműcsalád, amely a nevén keresztül is érzékeltetni kívánja, hogy moduláris felépítésének köszönhetően gazdaságosan, kevés építőelem, illetve csekély konstrukciós és technológiai változtatások révén tudja biztosítani a terepjáró tehergépkocsik területén jelentkező, meglehetősen változatos vevői igények kielégítését.



2. ábra: MAXS termékcsalád fejlesztésének mérföldkövei



3. ábra: MAXS hajtott mellső futómű végeelemes feszültség-számítása

Ezek a következők:

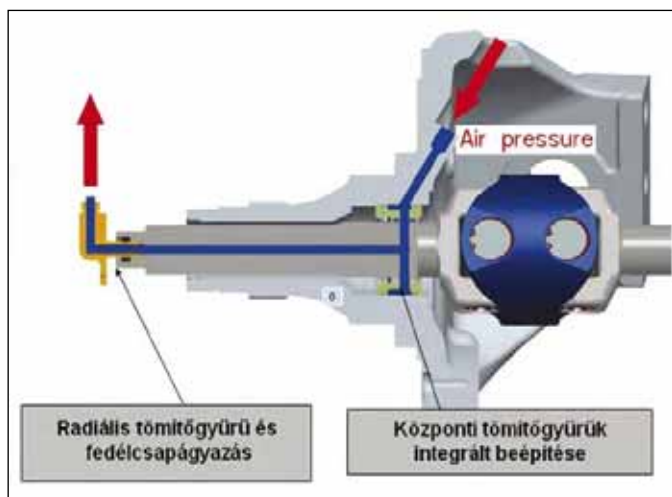
- a különböző tengelyterhelések (7,5-11,3 t)
- esetenként a fokozott dinamikus terhelésszintek (akár a statikus terhelés ötszöröse – 5X változatok)
- a különböző kerékképletek (4x4, 6x6, 8x8)
- differenciálzárak (hossz- és keresztirányban)
- széles áttételtartomány (4,25-10,048), amely kis lépcsőkkel lefedhető
- változtatható szélesség (nyomtáv)
- variálható behajtási pozíció
- óra járásával egyező és azzal ellenkező behajtási forgásirányok
- bal- és jobbkormányos kivitelek
- kisméretű differenciálmű, ovális banjo, kedvező szabad magasság
- központi gumibroncsnyomás-szabályozó rendszer (CTI) csatlakoztatásának lehetősége



4. ábra: MAXS hajtott mellső futómű függőleges fárasztási vizsgálata

A felminősítések szempontjából a 2000-es évek minőségi ugrást hoztak. Korábban ugyanis az erősítések, módosítások hatásának vizsgálata a prototípus megépítése után labortesztekkel volt csak lehetséges, és ha az új futóműváltozat a teszteken nem felelt meg, akkor újabb, költséges és időigényes iteráció(k)ra volt szükség. E tekintetben komoly előrelépést jelentett a végelem-számítások bevezetése (PRO-ENGINEER PRO-MECHANIKA modulja), ami a megfelelő változtatások kiválasztását, a változtatások hatásának ellenőrzését (3. ábra) sokkal egyszerűbb és biztosabbá tette, így a tesztek (4. ábra) már viszonylag nagy biztonsággal elvégezhető ellenőrző műveletekké váltak, melyek a termék jóváhagyásához természetesen továbbra is szükségesek. Már csak azért is, mert a rendelkezésre álló végeelemes programmal és adatbázissal a kifáradásra történő méretezés a bonyolult szerkezetek, a feszültségkoncentrációs pontok, hegesztési varratok stb. miatt nem végezhető el abszolút pontossággal.

Ennek az előrelépésnek köszönhető, hogy a Rába Futómű Kft. hozzáfoghatott a MAXS család 10 t-s futóművei terhelési határainak kiterjesztéséhez. A feladatot tovább bonyolította, hogy a katonai



5. ábra: központi abroncsöltő rendszer megvalósítása MAXS hajtott mellső futóműben

felhasználók egy újabb, szigorú követelményt is meghatároztak. Polgári alkalmazású futóművek esetén ugyanis a függőleges terhelhetőséggel kapcsolatos elvárás az, hogy a szerkezetnek – dinamikus igénybevételként – a maximális statikus terhelés háromszorosát kell elviselnie. A katonai felhasználók ezzel szemben ötszörös dinamikus terhelésszintet határoznak meg – anélkül, hogy ehhez laboratóriumi körülmények között elvégezhető, jól definiált, reprodukálható követelményrendszert társítanának. Ez a futóműgyár fejlesztőinek két problémát vetett fel:

- A tesztelést önállóan kellett meghatározni, kifejleszteni.
- Tudomásul kellett venni, hogy a szerkezet kilép a lineáris deformációk tartományából, az egész egység az extrém terhelés hatására viszonylag jelentős maradó alakváltozást szenved, ami a helyi megfolyások következménye. (Feltéve, hogy gazdasági konstrukciós okokból most sem megengedhető a szerkezet túl-méretezése.)

A kidolgozott új vizsgálati eljárás végül is kétlépcsős lett. Az első teszt a maximális terhelés hatására fellépő maradó alakváltozás mértékére koncentrált (ami mind az elszorított károsodás, mind pedig a hajtott futómű belsejében elhelyezett erőátviteli – tengelyek, csapágyazások, fogaskerék-kapcsolatok – működőképessége szempontjából fontos). A második pedig a háromszoros dinamikus tengelyterhelések esetén alkalmazott „normál” fárasztóvizsgálatra szuperponálja a bizonyos gyakorisággal jelentkező ötszörös tengelyterheléseket.

A lineáris/rugalmas alakváltozást feltételező végelelem-számítások pontossága az ilyen jellegű méretezési feladatok ellátására természetesen nem kielégítő, eredményeik inkább tájékoztató jellegűnek tekinthetők. Ezért folyamatban van egy olyan szoftvercsomag kiválasztása és olyan modellalkotási módszer kialakítása, amely ilyen esetekben is nagy számítási pontossággal alkalmazható. A validálást jelentősen megkönnyítik az első 5X-es futóműveken elvégzett tesztek eredményei (mért feszültségek, beazonosított kritikus pontok).

A MAXS típuscsalád alkalmazhatóságának kiterjesztésében az elmúlt évek másik nagy előrelépése a CTI-vel együttműködni képes abroncsöltős változatok kifejlesztése volt (5. ábra). A probléma – amitől a feladat igen komoly kihívássá válik – egyrészt az, hogy a kétfokozatú futóművek azon mozgó alkatrésze (féltengely), amelybe a hozzá képest álló tengelycsuklóból vagy hídházból be kell vezetni a levegőt, meglehetősen nagy fordulatszámmal forog (a kerék fordulatszámának 3–4-szerese). Másrészt pedig az, hogy a féltengelytől a kerékagyra történő kilépésnél is van fordulatszámkülönbség, sőt radiális elmozdulás is. Utóbbi felvételére a Rába egy korábban szabadalmaztatott rugalmas kapcsolatot dolgozott ki a két alkatrész közé.

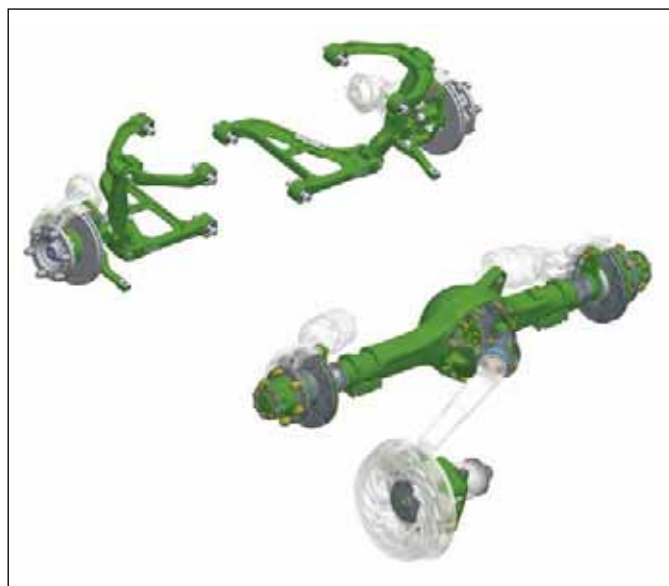
A rendszer lelkét a tömítőgyűrűk, tömítési rendszerek képezik, főként a primer belépési helynél (féltengelyen). Ezek megfelelő kiválasztása és szigorú tesztelése szükséges ahhoz, hogy a felhasználó számára az elérhető élettartam kielégítő legyen. Így is igaz azonban, hogy a megoldás kizárólag intelligens központi CTI-egységekkel tud együttműködni, melyek a kerekek nyomását időnként ellenőrzik, és csak akkor helyezik a futómű CTI-csatornáit nyomás alá, amikor erre az ellenőrzés adatai alapján szükség van, s akkor is csak a szükséges korrekció (levegő hozzá/elvezetés) idejére.

A CTI alkalmazásának előnye egyébként (az ideális terepjáró képességen – vagyis az adott útfelület szempontjából optimális nyomás beállíthatóságán és a kisebb levegővesztések pótlásán túl) az is, hogy a gumibroncs terhelhetősége kiterjeszthető. Annak gyártója ugyanis magasabb terheléseket enged meg, ha a szilárd és nem szilárd útburkolatokon garantálható az eltérő abroncsnyomás.

EGY PÉLDA AZ AUTÓBUSZ-HAJTÁSRENDSZEREK TERÜLETÉRŐL

A Rába Futómű Kft. négy évvel ezelőtt mutatott be egy valóban egyedi rendszer megoldást, amely az autóbusszgyártóknak lehetővé tette a 7,5–8,5 m-es midibusz kategóriában gyakorlatilag alacsonypadlós járművek készítését, mégpedig bonyolult, drága – és a piacon nem is elérhető – kisméretű portál futóművek nélkül (6. ábra). A koncepció lényege, hogy a kormányzott futóműveket független, kettős keresztlengőkaros felfüggesztéssel valósítja meg, így az azok között fennmaradó helyen nincs akadálya az alacsonypadlós kialakításnak. A hátsó futóművet egészen hátra tolja a kocs végében, keresztben elhelyezett erőátviteli lánc (motor-váltó-szöghajtás/retarder egység) közelébe. Így a jármű belsejében, csak a jármű leghátsó részében van szükség lépcsőkre, melyeket ráadásul ülésekkel lehet felszerelni. Ez a kedvező elhelyezés azért lehetséges, mert az egyfokozatú hátsó futómű behajtási szöge – mintegy paradigmaváltásként – nem a szokásos 90°-os, hanem a futómű hossz tengelyével éles, 35°-os szöget zár be. Miután a Rába a rendszerhez szükséges – ugyancsak 35°-os szöghajtást is kifejlesztette, ez azt is eredményezte, hogy a korábbiakhoz képest megnőtt a cég szállítási terjedelme, mintegy kiharcolt magának egy új szegmenst az erőátviteli rendszer további részeiből.

A speciális, szemléletesen Z-hajtásnak is nevezett rendszerrel néhány száz autóbussz készült, melyek elsősorban Nagy-Britanniában és Magyarországon üzemelnek. Kialakításuknak köszönhetően



6. ábra: alacsonypadlós midi autóbussz futóművei Z-hajtással

rendkívül népszerűek az utasok körében. Az üzemeltetési tapasztalatok ugyanakkor szolgáltak néhány olyan felismeréssel, ami átgondolást, erősítést indokolt a hajtásrendszer bizonyos pontjain.

A visszajelzések ugyanis bizonyították, hogy a rendszer legkényesebb pontja a szöghajtás, amely látszólag ugyan egyszerű berendezés – egy fogaskerék-áttétel, tengelyek, csapágyazások és egy ház. Viszont ezen a viszonylag kis egységen halad át a teljes hajtási teljesítmény. Mindez ráadásul egy szűk, meglehetősen meleg helyre beépítve. Vagyis a berendezés értelemszerűen érzékeny a hűtési viszonyokra, s mivel a hűtésben a belsejében található olaj játssza a fő szerepet, ezért áttételesen a kenésre is. A tapasztalatok pedig azt mutatták, hogy az elsőre kialakított szöghajtásnál ez csak akkor működik kifogástalanul, ha az üzemeltetők nagyon pontosan betartják a karbantartási utasításokat és szigorúan az előírt olajszínttel üzemeltetik a szöghajtást. Az ettől való eltérés felboríthatja a viszonylag kényes egyensúlyi állapotot, ami a szerkezet túlmelegedéséhez és károsodásához vezethet. Ezért a Rába Futómű Kft. mérnökei időközben elvégezték azokat a szükséges módosításokat (olajtér, olajtérfogat növelése, hűtési viszonyok javítása az olaj megfelelő áramoltatásával, csapágyazás erősítése), melyek a szöghajtást sokkal robusztusabbá teszik a legnehezebb üzemeltetési körülmények esetén is. Ez év végétől már ezek a módosított termékek kerülnek a vevőkhöz.

Ez a példa ugyancsak arra világít rá, milyen nehézségekkel kell szembenéznie a kis- és közepes sorozatú járműgyártást kiszolgáló futóműgyártónak. A tervezési és laboratóriumi tesztelési fázist ugyanis a legkritikább esetekben követik a sorozatszállításokat megelőzően járműkísérletek (field tesztek). Így egyrészt nagyon

gondosan kell eljárnia a saját tervezési és tesztelési folyamatai tekintetében, hogy a rendelkezésre álló információk alapján a legjobban megközelítse a követelményeknek leginkább megfelelő megoldásokat, másrészt a lehető leggyorsabban kell reagálnia az üzemelési tapasztalatokra. (Mindezt persze úgy, hogy az újabb módosítások már a lehető legkisebb költségeket – pl. gyártóeszközök módosítása – generálják.)

ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti cikk betekintést nyújt abba a sajátos világba, amit a kis- és közepes sorozatú járműgyártók vevői igényeit kiszolgáló futóműgyártó tevékenysége jelent. Bemutatja, hogyan azonosíthatók a vevői igények és hogy az így megszerzett, korántsem teljes körű információ alapján hogyan tervezhetők meg a követelményeket leginkább kielégítő konstrukciók. Ez – azon túl, hogy többnyire magas szintű mérnöki tervező munkát igényel – szükségessé tesz bizonyos kreativitást azon a téren is, hogy a termék várható igénybevételei szempontjából – a tervezés és vizsgálatok idején – kirakja egy mozaikkép hiányzó kockáit is.

Az ilyen jellegű igények kielégítése – gazdaságosan és gyorsan – elsősorban akkor lehetséges, ha a futóműcsaládok kialakítása moduláris és kevés elemből, sok eltérő változat összerakását teszi lehetővé (ld. MAXS termékcsalád). Végezetül a cikk arra is igyekezett példát hozni, hogyan tehet szert előnyre a gyártó piacán azzal, hogy egyedi – ugyanakkor valós igényeket kielégítő – koncepciót valósít meg, illetve hogyan kell reagálnia a sokszor alapos járműtesztelések nélkül sorozatgyártásba kerülő megoldások első üzemeltetési tapasztalataira.

Forgácsolási kutatások a Borsodi Műhely Kft. részére

Horváth Szabolcs
műszaki vezető,
Borsodi Műhely Kft.

Pápai Gábor
tanszéki mérnök,
Széchenyi István Egyetem

Dr. Pintér József
főiskolai docens,
Széchenyi István Egyetem

A cikk a Borsodi Műhely Kft. és az egyetemen belül működő Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont kutatási együttműködésének eredményeiről ad számot. A gyártástervezési tevékenységben a Mitrofanov-elv, a csoporttechnológia alkalmazása, a kidolgozott csoportosítás vállalati szintű innováció. Az időtervezés pontosabbá, gyorsabbá tétele érdekében kidolgozásra került egy olyan tervezőrendszer, amely egységes, könnyen átlátható és a lehetőségekhez mérten az időnorma meghatározásából a legjobban kizárja a szubjektivitást. A többtengelyes, komplex megmunkálások terén szerzett tapasztalatok fontos gyakorlati és elméleti eredményeket hoztak.

This article presents the results of the research cooperation between the Borsodi Műhely Kft. and the Regional University Knowledge Center which is working inside the university. The principle of Mitrofanov - the application of the group technology, the elaborated grouping - in the production planning activity is an innovation for the company. A planning system was worked out in the interest of more accurate and faster time planning which is integrated, well arranged and as far as possible exclude the subjectivity the best from the determination of time norm. Experiences in multi axis complex machining yielded important practical and theoretical results.

A Széchenyi István Egyetem és a Borsodi Műhely Kft. együttműködése jelentős múlttal rendelkezik. Az egyetemen belül működő Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont már 2005–2008 között is tanácsadói szerepet vállalt a kft. fejlesztési terveinek előkészítésében. Az egyetem oktatói szakmai képzések, tovább- és átképzések keretében segítették, hogy az üzem szakemberei minél képzetebbek legyenek a különböző szakterületeken. Az együttműködés keretében a Borsodi Műhely Kft. is támogatta az egyetemet. Ide sorolható a Gépészmérnök Hallgatók Országos Konferenciájának rendszeres szakmai és pénzügyi támogatása, a Practing gyakorlatorientált mérnökképzésben több mint egy évtizedes aktív részvétel (közel 10 mérnök fél éves szakmai gyakorlata) és a szakdolgozat-konzulensi szerepkörök (25 diplomamunka) ellátása.

A Borsodi Műhely Kft. mindig is a kutatási tevékenység alapvető fontosságát fogalmazta meg stratégiájában a gazdasági sikerek elérésének alapköveként. A kutatási tevékenységnek azonban szorosan kapcsolódnia kell a cég alaptevékenységéhez, törekedni kell az új technológiák, a piaci rések betöltésére alkalmas technikák kifejlesztésére.

Ennek megfelelően 2009-ben a kutatási főirányok a Borsodi Műhelynél:

- Algoritmusok és kritikus paraméterek feltérképezése egyedi gyártás követelményrendszerének figyelembevételével.
- Technológiai időtervező rendszer kialakítása és bevezetése.
- Többtengelyes megmunkálások fejlesztése, különös tekintettel a 8 tengelyes esztergálóközponton végezhető komplex megmunkálásokra.

GYÁRTÁSTERVEZÉS A BORSODI MŰHELY KFT.-NÉL

A kft. munkái az egyedi és kis sorozatú, fémgforgácsolással készülő igényes, esetenként speciális pontosságot igénylő gépalkatrész-gyártás teljes területét átfedik. A megrendelők igényeinek hiánytalan kiszolgálása miatt, többnyire új vagy újszerű, gondosan karbantartott, pontos és megbízható univerzális forgácsológépeken történik a gyártás. Az üzem szerszámgépeinek folyamatos bővülésére a napról napra bonyolultabb geometriájú és nagy pontosságú,

szigorú tűrésű alkatrészek előállítása miatt volt szükség, amihez még a nagyon rövid szállítási határidők is hozzájárulnak.

A cégnél alkalmazott rendszerre az jellemző, hogy az egyes gépeket gépfajták szerinti, azaz a munkahelyek technológiai csoportosítását valósították meg. Külön egységet képeznek az egymás mellett felállított esztergapadok, fúrógépek, marógépek, köszörűgépek stb. Az egyedi és kissorozat-gyártásban a technológia tipizálásának legcélszerűbb módszerét SZ. P. Mitrofanov dolgozta ki. Az eljárás csoporttechnológia néven vált ismertté. A módszer lényege abban áll, hogy nem a különálló munkadarabokat veszi alapul, hanem alaki és technológiai szempontból is hasonló munkadarabok egész csoportját, melyek megmunkálásához azonos gépekre, készülékekre, szerszámokra van szükség. A csoportot képviselő komplex munkadarabra készül műveletterv, ezen munkadarab magán viseli a csoport tagján előforduló összes felületelemet, aminek megmunkálása során, minden olyan műveletelem előfordul, amely a csoport bármely tagjának gyártásához szükséges. Ezen munkadarab a csoport legbonyolultabb darabja, de nem szükséges, hogy valós munkadarab legyen. A csoportmegmunkálás előnye, hogy a technológia egységesebb lesz, az egyedi technológiai tervek elkészítése sokkal kevesebb időt vesz igénybe. Hátránya, hogy az alkatrészcsoporthoz műveletterv nem használható közvetlenül gyártási dokumentációként.

A tervezés eredményeként szervezetten, gazdaságosan, fejlett technológiával, megfelelő gyártási eszközök használatával, a dolgozók állandó foglalkoztatásával lehetőség szerint akadálymentesen folyó termelést kell biztosítani. Ennek eléréséhez a következő kérdésekben kell a megfelelő döntéseket, intézkedéseket meghozni:

- Műveleti sorrend meghatározása a kész állapotig.
- Anyagtervezés: termékenkénti anyagfelhasználás meghatározása.
- Gyártási folyamat- és határidő-tervezés: műveleti sorrendek, művelettervek kidolgozása.
- Költségtervezés: feladata az anyag, bér, gyártóeszköz költségein túl az elő- és utókalkulációk elkészítése, továbbá a gazdaságossági összehasonlítások a különböző technológiák esetén.
- Beruházások tervezése: (termelőhelyek, gépek, berendezések,

szerszámok stb.

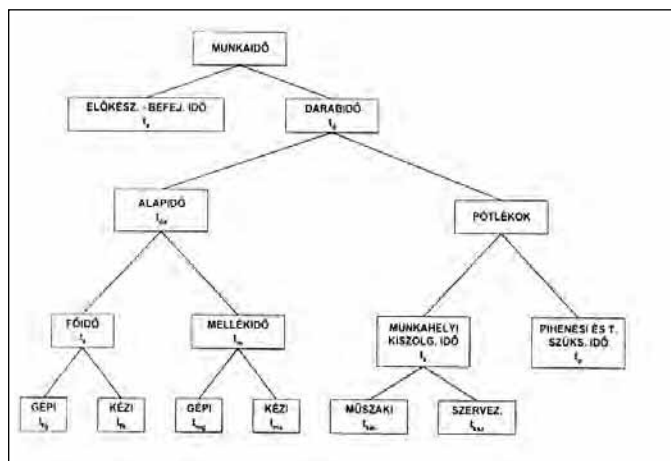
- Gyártóeszközök tervezése: többnyire munkadarab-befogó készülék tervezése.

A kidolgozott elvek szerint megvalósult rendszer számítógépes adatbázisba rendezve tartalmazza a tipikus alkatrészeket és technológiákat.

A GYÁRTÁSI IDŐ SZEREPE A GÉPGYÁRTÁSBAN

A gyártási idő a technológiai tervezés sarokköve. A gyártási idő ismerete képezi azt a legkisebb tervezési egységet, amelynek pontosságától függ a gyártási idők alapján kidolgozott összes gyártástervezési és gyártásirányítási tevékenység.

Az időtervezés pontosabbá, gyorsabbá tétele érdekében ki kellett



1. ábra

dolgozni egy olyan rendszert, amely egységes, könnyen átlátható és a lehetőségekhez mérten az időnorma meghatározásából a legjobban kizárja a szubjektivitást. Az időtervező rendszerrel szemben támasztott konstrukciós követelmények:

- Általánosított főidő-számítási módszer alapján határozza meg a gépi főidőket úgy, hogy az üzemben használt szerszámgépek beállítási paramétereit valóban tartalmazza.
- A főidő számítása lehetőleg ne legyen bonyolultabb egy egyszerű szorzásnál (ne kelljen különböző képletekbe helyettesítgetve számolni).
- A mellékidők technológiáknak tükrözzék az adott munkállomás minden olyan időszükségletét, amely a selejtmentes, pontos gyártáshoz szükséges.
- A kalkulált gyártási idő perces bizonytalanságon belül adjon valós értéket.
- A főidőket és a mellékidőket jól látható módon különítse el.
- A rendszernek rugalmasnak, ezzel együtt pontosnak ($\pm 10\%$) kell lennie, mely ellentmondást kezelni szükséges.
- A gépkezelők technológiai gyakorlottsági szintjét növelni kell azzal, hogy azonos jellegű tételekhez azonos technológiai utasításokat kap.

A technológiai időtervező rendszer az esztergálási, marási, fúrási, köszörülési és szikraforgácsolási műveletekre került kifejlesztésre és bevezetésre.

A cég profiljából adódóan évente körülbelül 12 ezer-féle termék kerül legyártásra, így az időtervező rendszernek egyszerre két oldalról alátámasztott kritériumnak kellett megfelelnie, hogy összekapcsolható legyen a már használt Agrippa WEB Solution gyártásütemező szoftverrel:

- A kapacitástervezés csak valós, nagy pontosságú (egynedi gépalkatrészgyártásban nehezen elvárható) gyártási, illetve átfutási időkkel működhet megfelelően.
- Másrészt ezen pontosság figyelembevételével a lehető legál-

talánosabb megoldást kellett megkeresni, hogy a gyártáshoz szükséges időigény bármely gyártandó alkatrész esetében egyszerűen, rövid idő alatt megválaszolható legyen. A két feltétel a technológiai időtervező rendszer megoldásaival valósult meg igazán.

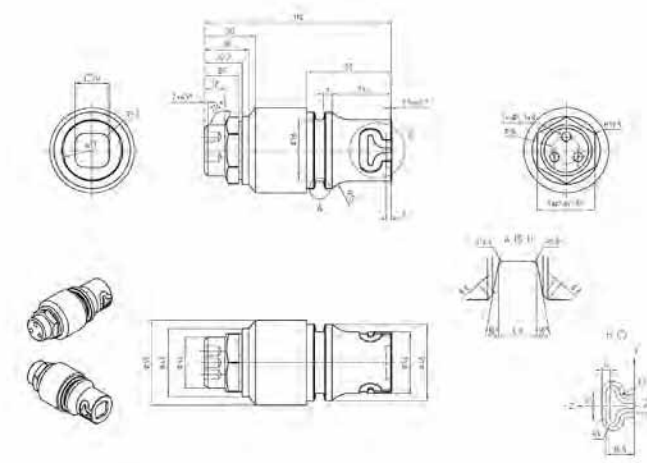
A fejlesztés eredményeként kialakított Kritikus Paraméterek Jegyzék és a Gyártástechnológiai Módszertani Kézikönyv lehetőséget nyújt a vállalat számára, hogy a nagy bonyolultságú tételek kiválasztása és gyártástechnológiai előtervezése nagyobb pontossággal, hatékonyabban valósuljon meg, ezáltal céges termelési szinten mintegy 20%-os termelékenységgjavulás valósuljon meg. A közös munka a vállalat számára jelentős innovációt eredményezett.

TÖBBTENGELYES, KOMPLEX MEGMUNKÁLÁS ALKALMAZÁSA A KORSZERŰ IPARBAN

Az iparban legtöbbet alkalmazott gépek jellemzői, hogy csak adott forgácsolási feladat – marás, esztergálás, fúrás – megoldására alkalmasak. Az alkatrészgyártásnál jelentkező megbízhatósági és pontossági követelmények és a gazdaságosság előtérbe kerülése olyan többtengelyes szerszámgépek kifejlesztését tette szükségessé, melyeken az esztergálási és marási műveletek egyaránt elvégezhetők, és a munkadarab mindkét oldalát egy felfogással meg lehet munkálni. Ennek következményeként az iparban – így a Borsodi Műhely Kft.-ben is – ma már megjelentek az úgynevezett komplex megmunkálásra alkalmas szerszámgépek. Ez a megmunkálási módszer bizonyos munkadaraboknál a legtermelékenyebb megoldásokat eredményezi.

Nézzünk egy példát:

A 3. ábrából látszik, hogy mely műveletek végezhetők esztergagé-



2. ábra



3. ábra

pen, és milyen műveletek miatt kell a munkadarabot az esztergálás után marógépre átvinni. A megmunkálási műveletek külön gépre áthelyezése jelentős mértékben megnöveli a mellékidőt, valamint

az újbóli átszerelés, a bázisváltás rontja a munkadarab pontosságát. A komplex megmunkálás többtengelyes esztergáló-maró központjai ezeken a problémákon segítenek. A Széchenyi István Egyetemen egy Gildemeister CTX310-es 4D-s



4. ábra

CNC-esztergaközpont üzemel (4. ábra). A munkadarab ezen megvalósított megmunkálása a következő előnyöket hozta a hagyományos, többgépes megmunkálással szemben:

- „A” és „B” oldalt egymás után készre munkálja
- Nem kell külön készülék, körasztal
- Nincs gépen kívüli mellékidő, csak munkadarab-átfordítás
- Kevesebb bázisváltás.

A Borsodi Műhely Kft.-nél egy EMCO Hyperturn 645 MCplus segíti az ilyen összetett, bonyolult és többműveletes, szigorú pontossági előírásokkal rendelkező munkadarabok gyártását (5. ábra).

Ennek előnyei:



5. ábra

- „A” és „B” oldalt egymás után készre munkálja
- Nem kell külön készülék, körasztal
- Nincs gépen kívüli mellékidő
- Ellenőrső átvészli a darabot (pontos átfogás – egytengelyűség)
- Párhuzamosan dolgozhat A és B oldal egymástól függetlenül (főidőcsökkenés).

Természetesen az ezeken a gépeken való megmunkálást precíz gyártástervezési és programozási tevékenységnek kell megelőznie. Meg kell tervezni a leggazdaságosabb előgyártmányt, a befogási lehetőségeket és a teljes felszerszámozást is. Ennek



6. ábra

biztosítását segíti az egyetem és a kft. folytonos együttműködése e fontos szakterületen. Ebben a szellemben fogalmazódott meg a Borsodi Műhely Kft. és a Széchenyi István Egyetemen belül működő Járműipari Egyetemi Regionális Tudásközpont újabb projektje is:

- Általában használatos anyagokhoz és megmunkálásokhoz szerszámok ajánlása, tipizálása („igénytelenebb” megmunkálásokhoz az ár, a pontos, igényes megmunkálásokhoz a minőség figyelembevételével) minden géptípusra.
- Satuk, tokmányok, lefogatók és készülékek alkalmazása, esetleg palettákra való felhelyezése, hogy a későbbiekben a bemérésük minimális időt vegyen igénybe.
- Már a CAM-en tervezhető legyen a készülékek, megfogások helyzete.
- Megfogók, készülékek, felfogási lehetőségek összeállítása a „típus alkatrészekhez”, a mellékidők, szerelési idők csökkentése és a pontosság növelése érdekében.

Többtengelyes megmunkálások eszterga-megmunkálóközponton újszerű látásmódot és technológiai megközelítést igényelnek, mivel a szimultán egyszerre mozgó tengelyek – főleg a forgó főmozgást végző szerszámok esetén – mozgáskoordinációja olyan komplex térbeli gyártástechnológiai ismereteket követelnek, melyekre a hagyományos felépítésű szerszámgépeken szerzett gyakorlat nem ad kellő alapot.

A megvalósított technológiai korszerűsítés a vállalat számára lehetőséget biztosít az új piacokra való betörésre elsősorban a nagy bonyolultságú felületekkel bíró alkatrészek megmunkálásánál.

A kft. vezetősége további folytatásban is gondolkodik. A jelenlegi eredmények, a Kritikus Paraméterek Jegyzékének, a Gyártástechnológiai Módszertani Kézikönyvnek a bevezetése, az új piaci szerepek sikeres betöltése, a komplex felületek hatékony megmunkálása és az AS9100 légiipari minőségirányítási rendszertanúsítvány elérését követően az alábbi területeken várnak újabb eredményeket ezen együttműködéstől az elkövetkező 2 évben:

- Kemény megmunkálási folyamatok technológiai fejlesztése,
- Szerszámok és szerszámelemek gyártási folyamatának optimalizálása – számítógéppel segített gyár működési modelljének felállítása,
- Hőkezelési és anyagvizsgálati módszerek fejlesztése különleges anyagok (Ti- és Ni-bázisú anyagok) esetén,
- Mérési módszerek és eszközök fejlesztése különleges igényű iparági termékekre (hadiipar és légiipar).

A MathCAD és a Pro/Engineer szoftverek újszerű felhasználása a kovácshengerlési szűrősterv készítésének területén

Tancsics Ferenc

kovácstechnológiai vezető,
Rába Futómű Kft.

Kiss Balázs

egyetemi hallgató,
Széchenyi István Egyetem

Dr. Halbritter Ernő

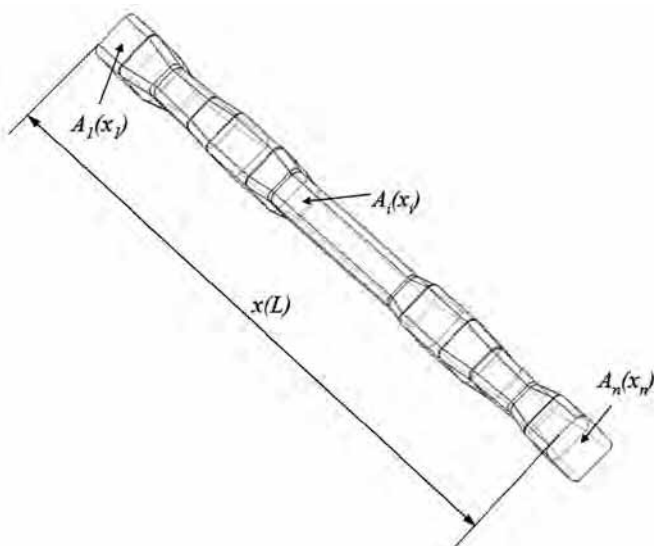
egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem

Korszerű kovácsoló gyártósorokon a jelentősebb hosszmenti anyagelosztást igénylő munkadarabok esetén kovácshengerlési szűrőstervet (szűrő: a munkadarab áthaladása a hengerek között) kell készíteni. A szűrősterv elkészítése bonyolult és időigényes feladat, nagyon pontos számításokat igényel. További problémát jelent az üzemi adatok visszacsatolása, mivel ilyenkor a teljes számítási folyamatot újra kell indítani, ami időigényes. A kovácshengerlési szűrősterv készítése néhány peremadat megadásával automatikussá tehető a MathCAD matematikai és a Pro/Engineer CAD szoftverek asszociatív összekapcsolásával. Az új számítási eljárás eredményeként a különböző hengerlési fázisokat reprezentáló geometriai modellek jellemző keresztmetszeti görbéi parametrikusan előállíthatók. Mindez lehetővé teszi a szűrősterv elkészítési idejének jelentős csökkentését, és az üzemi adatok gyors beépítését a szűrőstervbe.

On modern forging lines in case of forging pieces which claim significant material distribution in long direction a cross-out calculation of the forging roll have to be made. (cross-out: pass through the piece of work between rollers). Working out a cross-out calculation is a complex task, which takes a long time and demands highly precise calculuses. The feedback of the plant's data is a further problem because the complete cross-out calculation process need to be restarted, which takes a long time as well. The cross-out calculation of the forging roll can be made automatic with a few raw data by creating an associative connection between MathCAD and Pro/Engineer softwares. As a result of the new calculation method the typical section curves of the geometrical models, which represent different rolling phases, can be generated by parametrical ways. With this method a remarkable reduction of time in cross-out calculation and a fast implementation of the plant's data into the cross-out calculation become possible.

A KOVÁCSHENGRLÉSI SZÜRŐSTERV TERVEZÉSÉNEK ALAPÖSSZEFÜGGÉSEI

A kovácshengerlés tulajdonképpen a hossza mentén periodikusan változó keresztmetszetű rúdácél hengerlése. Az egyes keresztmetszetek a hossz mentén egyszerű síkidomokkal (négyzet, ellipszis, rombusz, kör) leírhatók. Az 1. ábrán példaként egy lekerekített oldalélű négyzetszelvényekből felépülő geometria látható.



A kovácshengerlés is, mint más térfogat-alakítási eljárás, a térfogat-állandóság törvényén alapul. A térfogat-állandóság a lekerekített négyzetszelvények esetén az (1, 2, 3) szerinti összefüggések alapján a szelvénytérmetekkel megfogalmazható.

$$V = \int_0^x A(x) dx \approx \sum_{i=1}^n A_i(x_i) \Delta x_i \quad (1)$$

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i \quad (2)$$

$$A_i(x_i) = a_i^2 - \left((2r)^2 - r^2 \pi \right) \quad (3)$$

ahol „a” a négyzetszelvény oldalmérete, „r” a négyzetszelvény lekerekítési sugara.

A térfogat-állandóság logaritmikus leírása:

$$\varphi_L + \varphi_b + \varphi_h = 0 \quad (4)$$

ahol:

$$\varphi_L = \ln \frac{L_1}{L_0}; \quad \varphi_b = \ln \frac{b_1}{b_0}; \quad \varphi_h = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad (5)$$

A szűrősterv tervezési gyakorlatában a térfogat-állandóságot leíró (4), illetve az annak megfelelő (6) összefüggést alkalmazzuk:

$$\lambda_L \lambda_b \lambda_h = 1 \quad (6)$$

1. ábra: hengerelt kovácsdarab hosszmenti keresztmetszet-változása

ahol:

$$\lambda_L = \frac{L_1}{L_0}; \lambda_b = \frac{b_1}{b_0}; \lambda_h = \frac{h_1}{h_0}. \quad (7)$$

A kovácshengerlésnél a fő alakváltozás a hosszirányú alakváltozás. Ez kifejezhető a keresztmetszetek hányadosával.

$$\lambda_L = \lambda_A = \frac{A_0}{A_1}. \quad (8)$$

A nyújtási tényező és a logaritmikus alakváltozás közötti kapcsolat:

$$\varphi_L = \ln \lambda_L. \quad (9)$$

A kovácshengerléshez előkészített rúdacél geometriai és tömegadatainak a meghatározása a kovácsdarab vetületterület-diagramjának sorjával növelt hosszmenti anyagelosztása alapján történik. Erre a célra a Pro/Engineer parametrikus szoftver viselkedés alapú modulja használandó (2. ábra).



2. ábra: a kovácsdarab sorja nélküli vetületterület-diagramja

A kiinduló keresztmetszet redukálását az üregtöltéshez szükséges anyagelosztás határozza meg. Ennek megfelelően alkalmazhatunk 2 vagy 4 szűrőszakaszt. Mindig páros szűrőszakaszt célszerű alkalmazni, a készre hengerelt keresztmetszet profilhűségének legjobb közelítése miatt. Többszörös szűrőszakasz esetén a szükséges keresztmetszetek meghatározására az alábbi összefüggések alkalmasak:

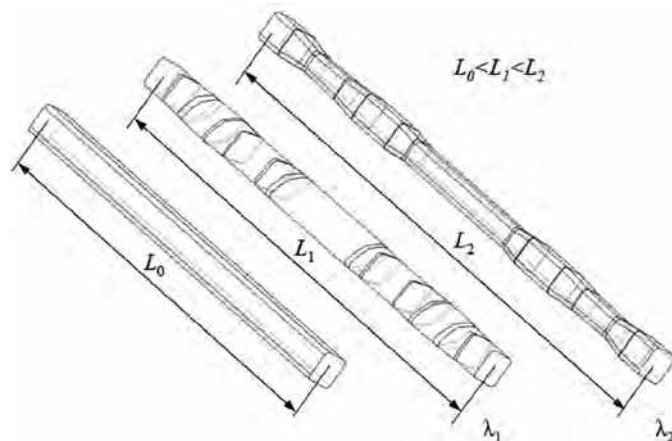
$$\varphi_{össz} = \sum_{i=1}^n \varphi_{A_i} = \ln \frac{A_0}{A_n} \rightarrow \lambda_{össz} = \frac{A_0}{A_n} \quad (10)$$

Többszörös (kétszörös) szűrőszakaszra mutat példát a 3. ábra. Az ábra a keresztmetszet-csökkenés következtében bekövetkező nyúlásokat (hosszváltozásokat) szemlélteti.

A hagyományos tervezési módszer alapösszefüggéseinek ismeretében fogalmazható meg kutatási területünk célkitűzése, amely a bugából (négyzet keresztmetszetű rúdacél) történő kovácshengerlési szűrőszakasz készítésének korszerűsítése, a MathCAD és a Pro/Engineer szoftverek segítségével.

A KOVÁCSHENGRELÉSI SZÜRŐSZAKASZ TERVEZÉSI ÜJSZERŰ MÓDSZERE

A kétszűrőszakaszos kovácshengerlési szűrőszakasz tervezési folyamatának önműködővé tétele a Pro/Engineer és a MathCAD szoftverek asszociatív, paramétervezérelt összekapcsolásával lehetséges. Az algoritmusnak önmagában biztosítani kell a hengerlési hibák minimalizálását, az iteratív önfejlesztéshez szükséges üzemi



3. ábra: a rúdacélból kétszeres szűrőszakasszal készre hengerelt darab

eredmények beépítési lehetőségeit, valamint a technológiai korlátokat [4].

Az algoritmus a kritikus többszörös nyújtási tényezőt, a hengerítő motor áramfelvételét, valamint a térfogat-állandóság törvényét alkalmazza technológiai korlátként.

Az üregezt is befolyásoló technológiai korlátok meghatározásakor a virtuális munka egyszerűsített alakjából indulhatunk ki. A hengerlési zóna a rendszerből kiemelhető önálló térrészként értelmezhető, melyre igaz az alábbi munkakritérium [1][2].

$$J = \int_S p_j v_j dS - \int_V \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dV = 0 \quad (11)$$

ahol p_j a külső terhelést, v_j az anyagáramlási sebességet j irányban, σ_{ij} a belső feszültségeket, $\dot{\epsilon}_{ij}$ pedig a kinematikailag megengedett alakváltozási sebességet jelöli.

Az összefüggés szerint az alakítási zónában a külső erőknek egy virtuális sebességmezőn végzett munkája megegyezik a rendszer belső munkavégző képességének a mértékével. Az összefüggés érvényessége anyagminőségtől független.

Az üreg fala és a munkadarab érintkezési felületein működő súrlódás, valamint a hengerlési zónában az érintkező felületeken bekövetkező csúszások miatt a (10) összefüggés pontosítása szükséges.

$$J = \int_S p_j v_j dS - \int_V \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dV - \sum_S \int \tau_p |\Delta v_j| dS - \int_S \tau_s |v_{rel}| dS = 0 \quad (12)$$

ahol τ_p a tiszta nyírási folyáshatárt, Δv_j az alakváltozás diszkontinuitását jelentő sebességugrás j irányban, τ_s a súrlódási feszültségeket, v_{rel} pedig a súrlódó felületek relatív elmozdulási sebességét jelöli.

A felsőhatár módszer [5] alapján, az összes kinematikailag megengedett $\dot{\epsilon}_{ij}$ alakváltozási sebességmezők közül a valóban kialakuló mezőre a (11) funkcionálnak minimuma van, vagyis ebből a sebességmezőből számított erőt a tényleges alakítóerő felső korlátjaként értelmezhetjük [6]. Ez annyit jelent, hogy a valóságos alakítóerőt felülről közelítjük, ami a hengerítő motor áramfelvételi korlátjának meghatározása szempontjából megfelelő.

A hengerítő motor munkavégző képességének növelésére a hengerlőgép lendkerékkel is kiegészül, ezért a lendkerék energiatároló képességét is figyelembe kell venni.

$$E_H = E_{VILL} + E_{KIN} \quad (13)$$

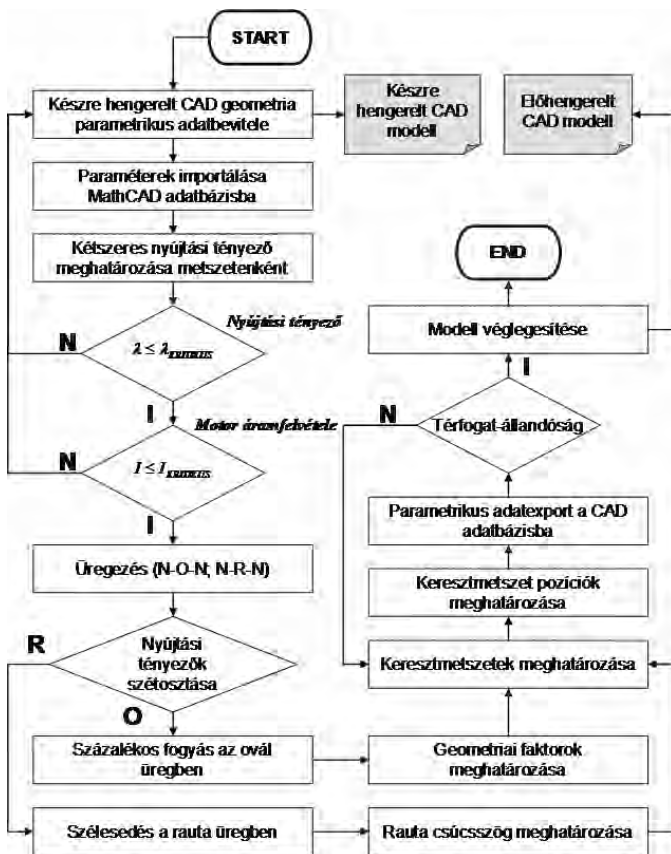
ahol E_H a hengerlés korrigált energiaszükséglete, E_{VILL} a vonómotor villamos energia leadása a veszteségekkel, E_{KIN} a lendkeréken tárolt kinetikus energia. A motor kritikus áramfelvétele a (12) összefüggés egyenlőtlensége alapján meghatározható.

A gyakorlatban a (11, 12) összefüggéseket, mint elvi alapokat használtuk fel a vonómotor mért áramfelvételének ismerete alapján. A motor áramfelvétele ugyanis arányos a villamos teljesítménnyel, az alakítási zóna semleges vonalában pedig a hengerek kerületi sebessége azonos az anyagáramlás sebességével. Mindezek alapján a hengerléskor ténylegesen fellépő alakítóerőre következtetni lehet.

A (11) összefüggés az alakítási zónában inhomogén, kitüntetett irányú, a fő irányokban egyenletes alakváltozást tételez fel, tehát a hőmérséklet-eloszlásának egyenletesnek kell lennie.

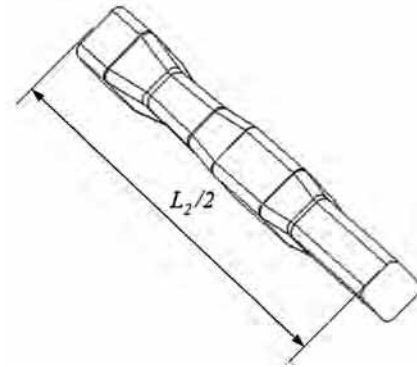
A hőmérséklet-eloszlás az egyes szűrások alatt az alakítási zónában alapvetően FEM- (Finite Element Method) módszerekkel vizsgálható [3][4]. Munkánkban a hengerelt darab hőmérséklet-eloszlását és a súrlódási tényezőt az alakítási zónában egyenletesnek tételezzük fel. A gyakorlatban ez a közelítés az alakítási zónában elfogadható. Nagyobb pontosság érhető el, ha az egymást követő szűrások szűrásra jellemző átlaghőmérsékleteit is figyelembe vesszük [4].

A nyújtási λ korlátot a vonómotor villamos teljesítménye befolyásolja, ezért azt a (12) összefüggés felhasználásával, valamint az üregtervezés vonatkozó empirikus összefüggések alapján határozhatjuk meg. A meghatározáshoz használható empirikus összefüggéseket beépítettük a MathCAD számítási modelljébe. A hengerlési szűrásterv újszerű MathCAD alapú számítási algoritmusát a 4. ábra mutatja.



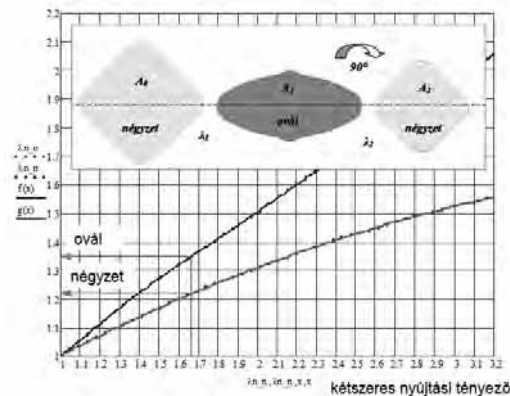
4. ábra: kovácshengerlési szűrásterv tervezés új algoritmus

A tervezési folyamat indításakor a vetületterület-diagram alapján meghatározott készre hengerelt geometria parametrikus megadására kerül sor a Pro/Engineer adatbázisában (5. ábra). Az adatok innen kerülnek át a MathCAD modulba. A készre hengerelt parametrikus Pro/Engineer modell a tervezési algoritmus egyik output adata, amely CAD rajzkészítéshez és szerszámtervezéshez közvetlenül felhasználható.



5. ábra: a parametrikus input geometria

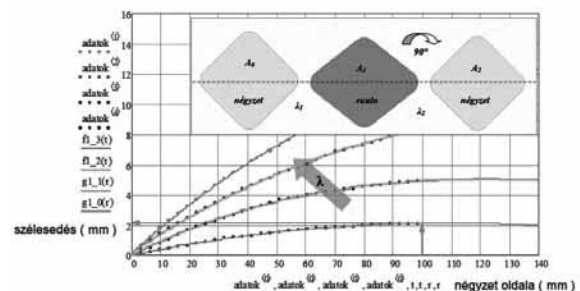
A kovácshengerlés gyakorlatában nagy keresztmetszetek alakításánál a munkadarab a hengerek közötti áthaladásakor többnyire az átlós, lekerekített felületein érintkezik a hengerekkel, ami stabil darabvezetést biztosít. A számítási modell üregezési szempontként ezt figyelembe veszi és egy meghatározott üregezési technikának és fogyáscsökkenésnek megfelelően elosztja a nyújtási tényezőket (6. ábra).



6. ábra: a MathCAD által rajzolt diagram: nyújtási tényezők elosztása négyzet – ovál – négyzet (N-O-N) üregezőkor

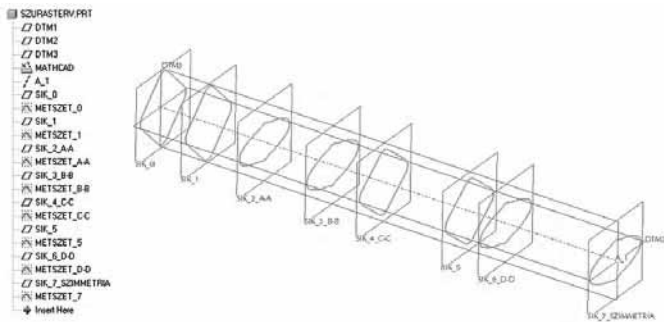
Négyzet – ovál – négyzet üregezés esetén a geometriai alakzatok matematikai leírása geometriai faktorok segítségével történik. A geometriai faktorok meghatározásához az egyes keresztmetszetre jellemző fogyáscsökkenés ismeretében, hetedfokú polinomokat használtunk.

Ha üregben végzünk hengerlést, a szélesség irányú anyagáramlást az üregfal akadályozza, vagyis korlátozza. Ezt a számítási modellnek figyelembe kell vennie, mert fontos szempont az üreg megfelelő töltöttsége, a keresztmetszetek periodikus változása által vezérelt nyúlások összhangja, valamint az elfogadható mértékű hengerkopás (7. ábra).



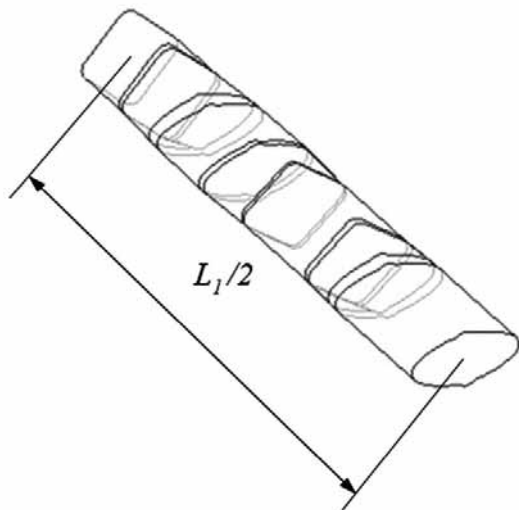
7. ábra: a MathCAD által rajzolt diagram: szélesedés meghatározása négyzet – rauta – négyzet (N-R-N) üregezőkor

A ciklus végén a parametrikus adatok visszakerülnek a Pro/Engineer adatbázisba, ahol egy frissítéssel az előhengerelt geometria vázlatosan megjeleníthető (8. ábra), és az előhengerelt geometria testmodellként generálható.



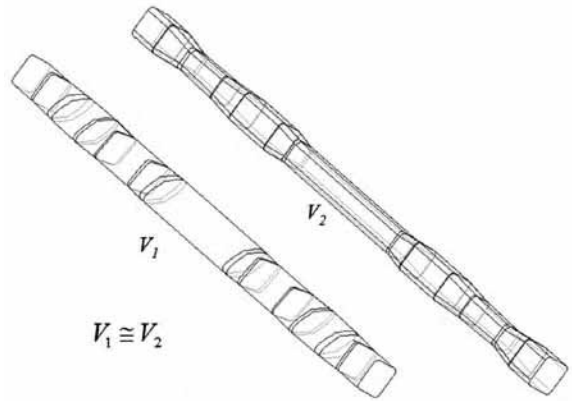
8. ábra: a MathCAD output adatok alapján létrejött vázlat

A testmodell felépíthető az építőelemek tervezői vezérlésével, amely megfelel a korábbi gyakorlatnak, vagy felépíthető MathCAD segédprogrammal vezérelten (9. ábra).



9. ábra: a vázlat alapján generált parametrikus előhengerelt Pro/Engineer modell

Az előhengerelt parametrikus Pro/Engineer modell a tervezési algoritmus másik output adata, amely CAD rajzkészítéshez és szerszámtervezéshez szintén közvetlenül felhasználható. A MathCAD 0,3% tűréssel képes biztosítani a térfogat-állandóságot a készre hengerelt és előhengerelt geometria között, amely a korábbi módszerhez képest pontosabb közelítés (10. ábra).



10. ábra: a szűrősterv szerint generálható parametrikus Pro/Engineer modellek

A megmunkálási és szerszámbeállítási pontatlanság 0,3% értéknél nagyobb hibát is eredményezhet, ezért a közelítés a gyakorlati használhatóság feltételeit kielégíti. Térfogat-állandóságra optimalással ez a pontosság fokozható.

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatási folyamat nem zárult le, de a módszer már a mostani szakaszában is képes a szűrősterv megtervezési idejét és a feladat bonyolultságát, redundanciáját csökkenteni. Az adott geometriai viszonyokon belül, tetszőleges variációban ismételtető. A különleges geometriai elemeket hordozó modellek és a négyszűrősterv változat kifejlesztésére alkalmas. A teljesség igénye mellett további tervezői követelmények teljesítése és feladatok megoldása szükséges ahhoz, hogy az új eljárás hatékony és korszerű eleme legyen a RÁBA kovácstechnológián működő modern tervezői rendszernek.

Irodalom

- [1] S. H. Hsiang, S. L. Lin: Application of 3D FEM-slab method to shape rolling, International Journal of Mechanical Sciences, 43 (2001) 1155-1177
- [2] J. Chakrabarty: Theory of plasticity, Third edition published by Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006, pp. 41-42
- [3] A. R. Shahani, S. A. Nodamaie, I. Salehinia: Parametric Study of Hot Rolling Process by the Finite Element Method, Scientia Iranica Mechanical Engineering, Vol. 16, No 2, pp. 130-139, © Sharif University of Technology, April 2009
- [4] H. C. Kwon, Y. T. Im: Interactive computer-aided-design system for roll pass and profile design in bar rolling, Journal of Materials Processing Technology, 123 (2002), pp.399-405
- [5] Lange: Lehrbuch der Umformtechnik, Band 1, Grundlagen, Springer – Verlag, 1972; Band 2, Massivumformung, Springer – Verlag, 1974
- [6] W. Prager, P. G. Hodge: Tökéletesen képlékeny testek, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1965

Intelligens autó, az Európai Községek Bizottságának határozatai és ajánlásai tükrében

Dr. Oláh Ferenc

okl. villamosmérnök,
okl. irányítástechnikai
szakmérnök, ny. főiskolai
docens, Széchenyi István
Egyetem Műszaki Tudos-
mányi Kar Közlekedési
Tanszék

A Fehér Könyvben az Európai Bizottság célul tűzte ki, hogy a balesetek számát 2010-re a felére csökkenti 2001-hez képest. A felmérések szerint a balesetek többségét emberi mulasztás okozza. Ezért van szükség olyan technikákra, amelyek többé-kevésbé objektív módon nyújtanak segítséget a járművezetőknek. Ennek a feltételnek a teljesítéséhez nyújt lehetőséget az intelligens autó. Abban, hogy ezt az EU zászlajára tűzte, nagy szerepe volt Gurmai Zitának, az Európai Parlament magyar képviselőjének.

The European Commission set an aim in the White Papers to halve the number of accidents for 2010 compared to 2001. According to the surveys the majority of the accidents are caused by negligence. That's why such technologies are needed, which help the drivers more or less in an objective way. The intelligent car enables to fulfill this condition. Gurmai Zita, a Hungarian representative of the European Parliament played a major role in making this project important in the European Union.

1. BEVEZETÉS

A hatékony közlekedési szolgáltatások alapvető fontosságúak az európai ipar versenyképessége szempontjából. Bár a közlekedés nagymértékben hozzájárul a növekedéshez, környezetvédelmi, gazdasági és társadalmi vonzatai is vannak. A közlekedés környezetvédelmi költségeit például Európa GDP-jének 1,1%-ára becsülik. Az utak zsúfoltsága tovább növekszik, és a GDP további 1%-ának megfelelő veszteséget okoz. A közúti biztonság terén a közlekedéspolitikáról szóló Fehér Könyv vezette be először azt az ambiciózus európai célkitűzést, miszerint 2010-re a felére kell csökkenteni a halálos balesetek 2001. évi szintjét. Noha időközben jelentős előrelépések történtek a biztonság terén, a 2005-ben közlekedési balesetben elhunyt 41 600 (a Fehér Könyvben kitűzött irányszámhoz képest több mint 4000 fővel több) áldozat és az 1,7 milliárd sérült arról tanúskodik, hogy a közúti közlekedés helyzete továbbra is elfogadhatatlan.

2007 januárjában a Bizottság integrált energia- és éghajlatügyi csomagra tett javaslatot, amely a kibocsátások csökkentését célzó, az üvegházhatást okozó gázkibocsátásra és a megújuló energiára vonatkozó célkitűzéseket tartalmazza. Ebből kiindulva, a 2007 tavaszán állam-, illetve kormányfői összetételben ülő Európai Tanács 2020-ig megvalósítandó határozott célul az Unió üvegházhatást okozó gázkibocsátásának 20%-os csökkentését tűzte ki, amit a G8-csoport csúcstalálkozója – amely 2007 júniusában a német elnökség ideje alatt kiemelte az éghajlatváltozás elleni küzdelem sürgősségét – is támogatott. A közúti közlekedés tekintetében a Bizottság célkitűzése az volt, hogy az új személygépkocsik és könnyű tehergépjárművek esetében 2012-ig 120 g/km-re csökkenti az átlagos szén-dioxid-kibocsátást.

Az intelligens közlekedési rendszerek (ITS) információs és kommunikációs technológiákkal gazdagítják a közlekedési infrastruktúrát és a járműveket. Rendszerint nehezen összeférhető tényezőket (a gépjárműveket, a rakományokat és az útvonalakat) próbálnak összehangolni, így javítva a biztonságot és csökkentve a forgalmi torlódásokat, a szállítási időket, valamint az üzemanyag-fogyasztást.

A Tartsuk mozgásban Európát! című közlekedéspolitikai Fehér Könyv 2006-os értékelése a következő kötelezettségeket adta meg 2008-ra: „Nagyobb program útjára indítása annak érdekében, hogy intelligens közúti közlekedési rendszerek jelenhesse-

nek meg a piacon, és az infrastruktúra felkészüljön a kooperatív rendszerekre.”

Az intelligens gépjárműveket érintő számos elemmel foglalkozik az „Intelligens autó” kezdeményezés. Az intelligens autóra vonatkozó bizottsági közlemény tizenkét konkrét intézkedésre tett javaslatot három, pillérnek elnevezett fő területen. Három területen komoly előrehaladást értek el, és az „Intelligens autó” kezdeményezés az európai kezdeményezések követendő példájává vált és nemzetközi elismerést nyert.

2. HALADÁS A BIZTONSÁGOSABB, TISZTÁBB ÉS INTELLIGENSEBB EURÓPAI GÉPJÁRMŰVEK FELÉ

A már jelenleg is elérhető intelligens gépjárműrendszerek tovább csökkenthetik a halálos balesetek számát, számottevően enyhíthetik a városok és a városközi folyosók forgalmi torlódásait, valamint jelentősen csökkenthetik a levegőszennyezést és az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását. Az „Intelligens autó” kezdeményezés folytatja a három pillér gyakorlati alkalmazását, az intelligens európai mobilitás elterjesztésének érdekében.

2.1. A BIZTONSÁGOSABB GÉPJÁRMŰVEK FELÉ

2.1.1. A páneurópai eSegélyhívó teljes körű elterjesztése 2010-ig

Az eBiztonsági Fórum egyik fő célja az eSegélyhívó (páneurópai, járműbe épített segélyhívó rendszer) teljes körű elterjesztése 2010-ig. Baleset esetén az eSegélyhívó-rendszer automatikusan segélyhívást indít a segélyhívó szolgálathoz és megadja a gépjármű pontos helyzetét, illetve a balesetre vonatkozó és a járműben tartózkodókkal kapcsolatos egyéb adatokat. Teljes kiépítettsége esetén évente akár 2500 életet menthet meg Európában.

Az Európai Parlament az eSegélyhívó teljes körű támogatásáról biztosította az érdekelteket, és egyben felkérte őket, hogy késedelem nélkül tegyék meg a szolgáltatás végrehajtásához szükséges intézkedéseket, beleértve az eSegélyhívó egyetértési nyilatkozat aláírását is. Az egyetértési nyilatkozatot kilenc tagállam és három társult állam írta alá, de erre vonatkozóan számos további állam is kifejezte szándékát. Tekintettel a tagállamok eSegélyhívó-rendszer melletti kötelezettségvállalására, a Bizottság 2007 második felében tárgyalásokat indított egy olyan önkéntes megállapodásról, amely

az eSegélyhívót minden új gépjárműben az alapfelszereltség részévé tenné. Azoknak a tagállamoknak, amelyek még nem szentesítették az egyetértési nyilatkozatot, sürgősen lépéseket kell tenniük ez irányban. A teljesítés ütemétől függően 2008-ban megfelelő szabályzó intézkedések alkalmazására volt szükség az eSegélyhívó megvalósításával kapcsolatban. Az eSegélyhívó vezetőcsoport elfogadta a végső javaslatokat, amelyeket az eBiztonsági Fórum 2006 májusában szentesített, és amely az eSegélyhívó szabványosítási követelményeit is magában foglalta. Az Európai Távközlési Szabványügyi Intézet (ETSI) keretében elért haladás azonban meglehetősen lassú ütemű volt, mivel egy európai nyílt szabvány helyett egy törzskönyvezett változatra érkezett javaslat.

A helymeghatározási információk szükséges pontossága és az igényelt lefedettség a globális navigációs műholdas szolgáltatás (GNSS) használatát teszi szükségessé, ami először a GPS-rendszeren, később a Galileo európai műholdas navigációs rendszeren keresztül valósul meg, amely utóbbi nagyobb pontosságot és rendelkezésre állást nyújt.

2.1.2. Az ESC széles körű elterjesztése az új személygépkocsikban

Az elektronikus stabilitásvezérlés (ESC) az ütközések elkerülését segítő járműbiztonsági technológia, amely a halálos kimenetelű közúti balesetek legalább 40%-ának fő okát jelentő megcsúszás veszélyét csökkenti. Az EuroNCAP szerint minden évben 4000 életet lehetne megmenteni Európa közútjain, ha minden autó rendelkezne elektronikus stabilitásvezérléssel, továbbá 100 000 súlyos baleset is elkerülhető lenne. Európa számára a kihívást az jelenti, hogy továbbra is kevés a beépített ESC az új személygépkocsikban (40% az EU-25 tagállamaiban 2005-ben), és piacunként változó arányú (85% Svédországban, 31% Olaszországban), mivel az autógyártók eltérő kereskedelmi stratégiákat követnek, és a hatóságok támogatása is különböző. Sok esetben az új autohoz felajánlott ESC-opció további és drága opciókat foglal magában. Ezt a kereskedelmi gyakorlatot követi számos gyártó, amivel gátolják az ESC elterjedését a kisebb kategóriás autókban.

Az USA-ban a Nemzeti Közúti Közlekedésbiztonsági Hivatal 2006 szeptemberében olyan szabályozási javaslatot tett, amely minden gyártótól megköveteli, hogy a 2009-es modellektől kezdődően lássák el a személygépkocsikat ESC-vel. A 2012-es modellévben az elektronikus stabilitásvezérlés az USA piacán szereplő összes autó számára kötelezővé válik. Európa célja ugyancsak az, hogy az elektronikus stabilitásvezérlés a 2012. modellévben már 100%-ban hozzáférhető legyen. Európa eddig az önkéntes megközelítést támogatta, amelyben a gyors piacra jutás érdekében a felhasználói igényekre helyezte a hangsúlyt. Jelenleg tárgyalások folynak az USA-val egy, az elektronikus stabilitásvezérlés követelményeit is érintő, globális műszaki szabályozásra vonatkozó nemzetközi megállapodásról, amely az ESC új autókba történő beszerelésének előkészítő lépése. Az aSAfetyAware! első, jelenleg folyó kampánya az elektronikus stabilitásvezérlésre irányul. A kampány hivatalos megnyitója 2007 májusában volt. Végezetül a Bizottság 2007-ben internetes konzultációt indított arról, hogy hogyan gyorsítsák fel az ESC elérhetővé tételét a járművek széles körében, beleértve a technológia kötelező beszerelését is.

2.1.3. Baleset-elkerülő rendszerek elterjesztésének felgyorsítása (ADAS)

Az IKT-k központi alkotóelemei azoknak a megelőző és aktív biztonsági rendszereknek, amelyek valósidejű segítséget nyújtanak a vezető számára a balesetek elkerülésében és a következmények enyhítésében.

Egy nemrég kiadott tanulmány szerint, ha a személygépkocsik vezetőinek 0,5 másodperccel több idejük lenne a reagálásra, akkor a hátsó ütközések közel 60%-a megelőzhető lenne. 1 másodperccel

hosszabb reakcióidő a hátsó ütközések 90%-át előzhetné meg. Ugyanezen gyártó szimulátorral végzett tanulmánya kimutatta, hogy a hátsó ütközések száma 80 km/h-s sebességnél 75%-kal csökkenthető lenne fékrásegítés és baleset-elkerülő technológiák használatával. A Bizottság konzultációt indított 2007-ben a fékasszisztenciát és a baleset-elkerülő technológiákat kombináló rendszerek kötelező beszerelésére vonatkozó javaslatokról. Egy Svédországban végzett tanulmány szerint az állítható fényszórókat is magukban foglaló, láthatóságnövelő rendszerek akár 30%-kal is csökkenthetik a halálos gyalogos-, illetve 15%-kal a halálos kerékpáros-balesetek számát.

E komoly lehetőségek ellenére az eBiztonsági Fórum útitervvel foglalkozó munkacsoportjának eredményei és az eIMPACT projekt²³ előzetes eredményei azt mutatják, hogy ha semmit sem teszünk, az intelligens autós rendszerek és alkalmazások penetrációs aránya nagyon alacsony lesz, a bennük rejlő életmentő lehetőségekhez viszonyítva. Az eBiztonsági Fórum ajánlásokat fogadott el az érdekelt felek számára az említett baleset-elkerülő technológiák piaci elterjedésének felgyorsítása érdekében, illetve tevékenyen elősegíti, hogy az ajánlásokból 2008 végére egy megvalósítható elterjesztési tervet dolgozzanak ki.

2.1.4. A piaci megvalósítás szűk keresztmetszeteinek megszüntetése

Az „Intelligens autó” első pillérjének kulcsfontosságú eseménye volt a 2007. június 5–6-án Berlinben tartott eBiztonsági workshop, amelyet a német elnökség szervezett. A workshop következtetéseit értékes útmutatással szolgálnak a valósidejű forgalmi és utazási információs (RTTI) és az eSegélyhívó szolgáltatás európai szintű megvalósításához, illetve az ember-gép interakció (HMI) és a kapcsolódó jogi kérdések megoldásához.

Az eBiztonsági Fórum elfogadta a fejlett gépjárművezetést támogató rendszerek (ADAS) fejlesztésére és tesztelésére vonatkozó európai gyakorlati szabályzatot, amelyet a RESPONSE-projekt keretében dolgoztak ki. A fejlett gépjárművezetést támogató rendszerek segítik a vezetőt abban, hogy elkerülje a baleseteket vagy enyhítse azok következményeit. Sajnálatos módon számos jogi akadály – mint például a felelősség kérdése – lassítja e rendszerek elterjedését. A RESPONSE-projekt keretében kidolgozták a fejlett gépjárművezetést támogató rendszerek gyorsabb piaci bevezetésének gyakorlati szabályzatát. Ez segíteni fogja a gyártókat, hogy az emberre, a rendszerre és a jogi kérdésekre vonatkozó integrált szemlélet keretében vezessék be az új biztonsági alkalmazásokat. A gyakorlati szabályzat elfogadásáról jelenleg tárgyal az autóipar.

Az adatvédelem kérdésével is komolyan foglalkozni kell, hogy így biztosítható legyen a felhasználók bizalma a járműbe épített telematikai rendszerek iránt. A Bizottság 2007 februárjában workshopot szervezett, az európai adatvédelmi tisztviselők részvételével. A workshop eredményei alapján az eBiztonsági Fórum gyakorlati szabályzatot dolgozott ki 2007-ben. A járműbe épített vezérlő- és távközlési rendszerekkel kapcsolatos üzembiztonsági igények felmérésére az eBiztonsági Fórum az elektronikus üzembiztonsággal foglalkozó új munkacsoportot hozott létre 2007 januárjában. Ennek célja, hogy ajánlásokat tegyen a hálózatokkal, az architektúrával, a rendszerekkel és a rendszerelemekkel és azok kölcsönhatásával kapcsolatos kutatási igényekre vonatkozóan, valamint, hogy felmérje a jogi rendelkezések és a szabványosítás szükségességét.

Az intelligens gépjárműrendszerek lassú elterjedésének egyik fő oka a fogyasztói igények kereslet hiánya. Ezért a Bizottság erősíteni szándékozik az „Intelligens autó” kezdeményezés ismeretterjesztési pillérjét az eSAfetyAware!-rel további kampányokban végzett együttműködés, a témának szentelt külön weboldal, valamint a célcsoport-orientált dokumentumfilmek készítésének promóciója és egyéb ismeretterjesztő intézkedések ösztönzése révén.

A biztonságosabb járművek érdekében tett lépések:

- (1) Azok a tagállamok, amelyek még nem írták alá a Bizottság eSegélyhívó tárgyú egyetértési nyilatkozatát, ezt 2007 végéig megteszik. (megtörtént)
- (2) A tagállamok elvégzik az eSegélyhívó kísérleti tesztjeit a 2007–2008. közötti időkereten belül, illetve 2010-ig korszerűsítik a segélyhívó infrastruktúrákat, hogy azok képesek legyenek fogadni az eSegélyhívásokat.
- (3) Az európai szabványügyi szervezetek, az Európai Távközlési Szabványügyi Intézet (ETSI) és az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) kidolgozza az eSegélyhívó páneurópai elterjesztéséhez szükséges szabványokat. A tagállamok és az ipari szereplők együttműködnek e szabványok kidolgozásában a megadott időkereten belül. (folyamatban)
- (4) A Bizottság tárgyalásokat kezd az ACEA, JAMA és KAMA szervezetekkel az eSegélyhívó eszköz önkéntes bevezetésére a 2010-től gyártott minden új gépjármű alapfelszereléséként, és ennek eredményéről 2008 közepéig jelentést nyújt be. (megtörtént)
- (5) A fent említett intézkedések haladási ütemétől függően az eSegélyhívó megvalósítására irányuló új szabályozó lépésekre kerülhet sor 2008-ban. (megtörtént)
- (6) A Bizottság 2007-ben konzultációt indít arról, hogy hogyan gyorsítsák fel az elektronikus stabilitásvezérlés (ESC) elérhetővé tételét a járművek széles körében, beleértve a technológia kötelező beszerelését is. (megtörtént)
- (7) Az ITS elterjesztési útitervének részeként a Bizottság az intelligens gépjárműrendszerek ösztönzőire vonatkozó útmutatásokat dolgoz ki 2008 közepéig, amelyek megvizsgálják annak lehetőségét, hogy a tagállamok a közösségi adó- és állami támogatási jogszabályokkal összhangban lévő adórendszer vezessenek be, és az ösztönző rendszerek megvalósítására vonatkozó útitervet állítsanak össze. (megtörtént)
- (8) Az Európai Bizottság a 7. KP keretében 2008 közepéig megkezdheti a helyszíni üzemi tesztek végzését. A Bizottság biztosítja Európában a helyszíni üzemi tesztek kidolgozásának, lefolytatásának és értékelésének integrált megközelítését, valamint a tagállamokkal folytatott koordinációt.
- (9) A Bizottság együttműködik az eSafetyAware! platformmal a ChooseESC! (Válaszd az ESC-t!) kampányt követő újabb kampányok megszervezésében, egy „Intelligens autó” tematikájú weboldalt hoz létre, továbbá támogatja az intelligens autós rendszerekről szóló célcsoport-orientált dokumentumfilmek készítését.

2.2. A TISZTÁBB GÉPJÁRMŰVEK FELÉ**2.2.1. Az IKT szerepének értékelése, a Közösség éghajlat-változási célkitűzéseivel kapcsolatban**

A mobilitás iránti növekvő igény nagy kihívást jelent az Európai Unió környezetpolitikái számára. Ennek ellenére érték el jelentős haladást néhány területen. A közúti közlekedésből származó káros kibocsátások szintje például jelentősen csökkent az utóbbi évek során. Az autóhasználat azonban továbbra is az üvegházhatást okozó gázok egyik kiemelkedő forrása: a teljes uniós CO₂-kibocsátás közel 12%-a keletkezik így. Az energiafogyasztást illetően a közlekedési ágazat felelős az Unió teljes energiafogyasztásának 30%-áért, illetve teljes olajfogyasztásának 71%-áért (ebből 60%-ot tesz ki a közúti közlekedés).

2007 februárjában a Bizottság elfogadott egy felülvizsgált stratégiát, amely a régóta fennálló 120 g/km értékű CO₂-kibocsátás uniós célkitűzését integrált megközelítés keretében kívánja megvalósítani. A javasolt jogszabályi keret a szén-dioxid-kibocsátás kötelező csökkentésére összpontosít, amely magában foglalja az új autók számára kitűzött kilométerenkénti átlagos 130 g-os szén-dioxid-értéknek a gépjármű-technológia fejlesztése révén

való elérését és további 10 g-os, vagy ezzel egyenértékű csökkenésnek – ha műszakilag szükséges – más technológiai újítások (kis súrlódási ellenállású abroncsok és abroncsnyomás-ellenőrzés, légkondicionálás, sebességváltás-jelzők, könnyű haszongépjárművek) és a bioüzemanyagok nagyobb mértékű használata általi megvalósítását.

A gépjárművekben végrehajtandó újításokra összpontosító uniós stratégián túlmenően az „Intelligens autó” kezdeményezés az eBiztonsági Fórum keretében az energiahatékonyság és kibocsátáscsökkentés javítását célzó új technikákra tesz javaslatot. Ez a megközelítés nemcsak a gépjárművel foglalkozik, hanem a közúti közlekedési rendszer egészével is. Az eBiztonsági Fórum keretében a tiszta és hatékony mobilitást célzó IKT-val foglalkozó új munkacsoport jött létre 2006-ban. Fő célja a Bizottság munkájának segítése az IKT által, a közúti közlekedési ágazat CO₂-kibocsátására kifejtett hatások számszerűsítési módszerének kidolgozásában. Ezt követheti adott esetben az IKT és az intelligens autók szerepének értékelése, a Közösség éghajlatváltozási célkitűzéseivel kapcsolatban.

2.2.2. A tiszta gépjárművek számára elérhető leghatékonyabb technológiák terve

Számos kutatási projekt bizonyította, hogy az IKT-alapú rendszerek a tisztább és hatékonyabb mobilitás tekintetében jelentős hatást ígérnek, és a CO₂-kibocsátást csökkentő kiegészítő eszközök valós alternatíváját jelenthetik. Az automatikus sebességszabályozó (ACC) például összességében az üzemanyag-fogyasztás 3%-os csökkenését eredményezi. Egy másik tanulmány kimutatta, hogy az üzemanyag-fogyasztás 8,5%-kal, a szennyezőanyag-kibocsátás pedig 8–18%-kal csökkent – a forgalomáramlásra kifejtett káros hatás nélkül –, amikor csak a gépjárművek 10%-a volt felszerelve ACC-vel. A modern városi forgalomirányító rendszerek – a jobb forgalomszervezés révén – akár 30%-kal is csökkenthetik a késéseket, és akár 13%-kal is növelhetik a gépjárművek átlagos sebességét, ami alacsonyabb üzemanyag-fogyasztást és szennyezőanyag-kibocsátást eredményez.

Az IKT által a CO₂-kibocsátásra kifejtett hatások mérési módszerének kidolgozását követően az Európai Bizottság az érdekelt felekkel folytatott konzultáció révén kidolgozza a leghatékonyabb IKT-technológiák megvalósítási tervét, a járművek, az útrendszer és az IT-infrastruktúra tekintetében.

2.3. AZ INTELLIGENSEBB JÁRMŰVEK FELÉ**2.3.1. Biztonságosabb használat és szabványosított kapcsolódási pontok biztosítása a vándorló eszközök számára**

Olyan hordozható készülékek, amelyeket a vezető az autóban használ és támogatási, segítségnyújtási, kommunikációs és szórakoztatási célt szolgálnak. A gépjárművek információs és kommunikációs rendszereinek megbízhatónak, könnyen használhatónak és biztonságosnak kell lenniük. Emellett tekintettel kell lenniük az adatbiztonsági szempontokra is. Az „Intelligens autó” kezdeményezés egyik kulcsfontosságú területe az ember-gép interakció (HMI) javításával foglalkozik. 2006 decemberében a Bizottság elfogadta a járműbe épített információs és kommunikációs rendszerek alapelvei európai nyilatkozatának frissített változatát. A 2006–2008. közötti időkeretben a Bizottság szorosan figyelemmel kíséri ennek végrehajtását.

Az utóbbi években széles körben elterjedtek a navigációs készülékek Európában. A beágyazott, járműbe épített navigációs készülékek piaca folyamatosan nő, míg a személyi navigációs eszközök (PND-k) és a navigációra képes intelligens telefonok tekintetében valódi robbanás tapasztalható, amelyek esetében a piac a 2005. évi 3,8 millió készülékről több mint 9 millióra emelkedett 2006-ban. E terjeszkedés hátterében az Európai Unió keretprogramjai keretében rendelkezésre álló KTF-támogatások vannak.

2.3.2. A biztonságosabb és hatékonyabb közlekedést célzó együttműködési rendszerek

A valósidejű adatátvitel tekintetében az együttműködési rendszerek a jármű-jármű és a járműinfrastruktúra közötti kommunikáción alapulnak. A közlekedési rendszer hatékonysága, az úthasználók biztonsága és a mobilitás kényelme tekintetében az ugrásszerű javulás ígérteit hordozzák. Az együttműködési rendszerekkel kapcsolatos munka Európában az 5. és a 6. keretprogramban kezdődött meg. Az iparág megalapította a Car2Car konzorciumokat, amelyek az egész iparágra kiterjedő közös megközelítést segítik elő. A kulcsfontosságú előfeltételek és a legfontosabb bizottsági célkitűzések a következők: harmonizált és átjárható rendszerarchitektúra kidolgozása, a köz- és a magánszektor igényeit egyaránt kielégítő közös távközlési architektúra, és a megfelelő rádióspektrum rendelkezésre állása. E célból a 6. KP által finanszírozott COMeSafety36 elnevezésű támogatási intézkedés távközlési architektúra munkacsoportot hozott létre. A munkacsoport más kulcsfontosságú kezdeményezés mellett az európai és a nemzeti projektek koordinációját és egységesítését végzi, valamint az ISO-nál és más szabványügyi szervnél jelenleg végzett szabványosításban tölt be kapcsolattartó szerepet. Az együttműködési rendszerek további beruházásokat tesznek szükségessé a K+F területén. Az Európai Közúti Közlekedési Kutatási Tanácsadó Tanács (ERTRAC) stratégiai menetrendjével összhangban az eBiztonsági Fórum 2006 decemberében olyan stratégiai kutatási menetrendet fogadott el a mobilitást célzó IKT területén, amely tükrözi ezeket a K+F igényeket, és lefekteti az e területen végzett jövőbeli kutatás alapjait. Az együttműködési rendszereknek a rövid távú és várakozási idejű kommunikációhoz rádióspektrumra van szükségük. Az iparág az 5,9 GHz-es frekvenciasáv kiosztását kéri; ezt a rádióspektrum bizottság keretében vitatják meg. A Bizottság támogatja az iparág igényeit, tekintettel az együttműködési rendszerek társadalmi-gazdasági előnyeire.

Irodalom

- [1] COM(2006) 59.
- [2] COM(2007) 146.

- [3] COM(2005) 431 és COM(2006) 723
- [4] Az Európai Parlament jelentése a közúti biztonságról: az eSegélyhívó megismertetése a polgárokkal; ref. A6-0072/2006
- [5] http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/forum/ecall/index_en.htm
- [6] Európai Távközlési Szabványügyi Intézet
- [7] http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm
- [8] Európai Újautó-értékelési Program: <http://www.euroncap.com>
- [9] http://www.chooseesc.eu/en/media/information_about_the_campaign/
- [10] Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottságának közlekedési osztálya, 29. munkacsoport
- [11] www.esafetyaware.eu/
- [12] www.fiafoundation.com
- [13] Daimler-Chrysler Hightech Report (Daimler-Chrysler csúcstechnológiai jelentés) 2005. évi 2. szám.
- [14] www.esafetysupport.org/en/esafety_activities/esafety_working_groups/implementation_road_map.htm
- [15] www.esafetysupport.org
- [16] www.prevent-ip.org
- [17] http://ec.europa.eu/transport/transport_policy_review/index_en.htm
- [18] COM(2007) 22 és COM(2007) 19
- [19] COM(2006) 314.
- [20] COM(2007) 22.
- [21] G. Bootsma; L. Dekker, Rijkswaterstaat, NL, Road to the Future (Út a jövőbe), 2007. április
- [22] <http://repositories.cdlib.org/its/path/reports/UCB-ITS-PRR-2001-13/>
- [23] http://www.smart-nets.napier.ac.uk/finalbrochure_120804.pdf
- [24] A Bizottság 2007. december 22-i 2006/78/EK ajánlása
- [25] www.car-to-car.org
- [26] COM (2007) 541 végleges

Szeretnék/nem szeretnék ingyenes példányt kapni „A jövő járműve – Járműipari innováció” folyóiratból.

.....
Dátum

.....
Aláírás

1. VÁLLALATI ADATOK

A cég neve

Címe

Telefon

Fax

E-mail

Weboldal

2. SZEMÉLYES ADATOK

Név

Foglalkozás

Telefon

Fax

E-mail

Milyen szakterületen dolgozik?

Termékfejlesztés ☐

Kutatás és fejlesztés ☐

Műszaki tudományok, engineering ☐

Gyártástervezés ☐

Szerszám- és eszközfejlesztés ☐

Beszerzés ☐

Egyéb (nevezze meg)

3. A VÁLLALAT PROFILJA

Mi a vállalat fő terméke vagy szolgáltatása?

.....

Mely tevékenység tartozik a vállalat profiljába?

Gyártás ☐

Kutatás-fejlesztés ☐

Értékesítés ☐

Lerakat / forgalmazó ☐

Műszaki mérnökség, tervezés ☐

Kiadványszerkesztés ☐

Más (nevezze meg)

A vállalat alkalmazottainak száma

Vannak még kollégái ezen a címen, akik szeretnének ingyen példányt kapni a folyóiratból?

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

Név

Foglalkozás

A vezetői asszisztensek fejlődése

Petrók János

A vezetői asszisztensek célja a járművezető és az utasok tehermentesítése, a nyugodt és éber célbaérés. A megvalósítás eszközei a műszaki haladással finomodnak. Egy-egy új minőség határán érdemes az eredményekre vissza és a célokra előre tekinteni. A jármű aktív és passzív biztonsági elemeinek közös hálózattá egyesítése megfelelő alkalomnak tűnik a számvetésre.

The aim of the driver assistance systems is to relieve the passengers and to ensure the safe and calm arriving. The instruments of the implementation are improving along with the technological progress. At the verge of a new quality it is worth looking back to the achievements and looking forward to the aims. The combination of the active and passive safety elements of a passenger car into a common network seems to be the right occasion for a reckoning.

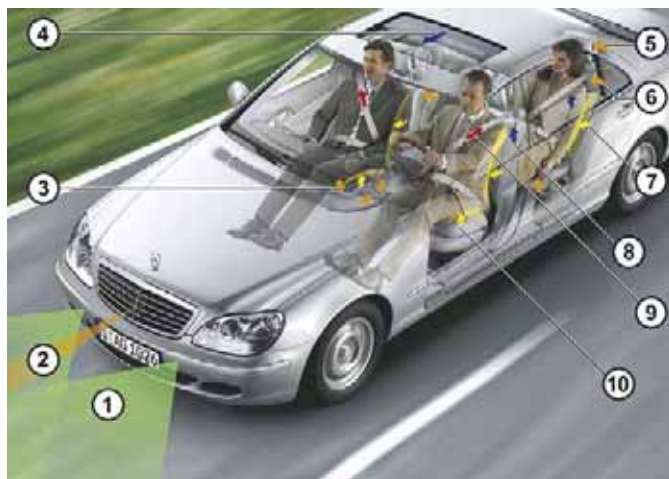
VISSZATEKINTÉS ÉS HELYZETKÉP

Amikor a mobiltelefon a gépkocsiba betette a „lábát”, csak idő kérdése maradt, hogy a rohanva fejlődő elektronikára épülő kommunikáció mikor és mennyire lendíti tovább a gépkocsik fejlesztését. A részegységek jelentős része ugyanis már akkor is elektronikus irányítású volt.

Az eltelt időben már nem csak egyedi vezetői asszisztensekkel veszik birtokba a járművezetés eddigi funkcióit, hanem hálózatként formálják át a jármű aktív és passzív rendszer-szolgáltatásait.

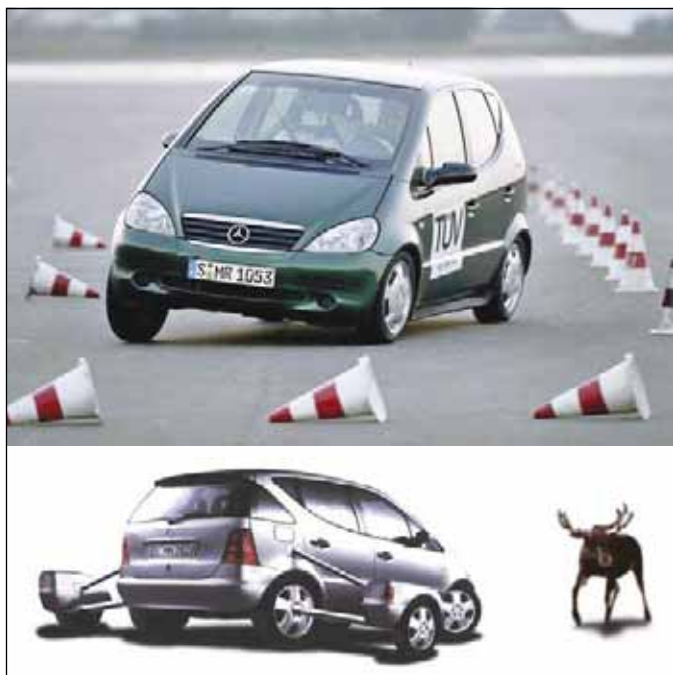
A folyamat előnyös, mert időközben kötelező tartozékként növelik a nagyobb kockázatú járművek forgalombiztonságát. Úgy ahogyan az ESP és a légzsák-elektronika információinak egyesítése hasznos ezredmásodpercekkel rövidíti az ütközési energiának, az övfeszítők és a légzsákok korábbi aktiválásának, és az utasvédelem javításának lehetőségét.

Az asszisztensek közeli jövőjének a baleseti gyakorisággal leginkább alátámasztott és a legnagyobb piaci érdeklődést kiváltó



Mercedes-Benz S-osztályának prediktív védelmű utasbiztonsági rendszere. 1. és 2. Távoli és közeli radarérzékelő. 3. Első ülés hátracsúszató és utasmegtámasztó rendszer. 4. Tolótetőzár. 5. Fejtámla-készenléti rendszer. 6. Utasmegtámasztó rendszer a hátsó ülésen. 7. Háttámlapárna-felfújó rendszer. 8. Ablakemelő rendszer. 9. Övelőfeszítő rendszer. 10. Utasmegtámasztó, fejtámla és háttámlapárna-felfújó rendszer, az első ülésen

2. ábra: a Mercedes-Benz PRE-SAFE nevű biztonsági rendszere számos vezetői asszisztenset foglal magába



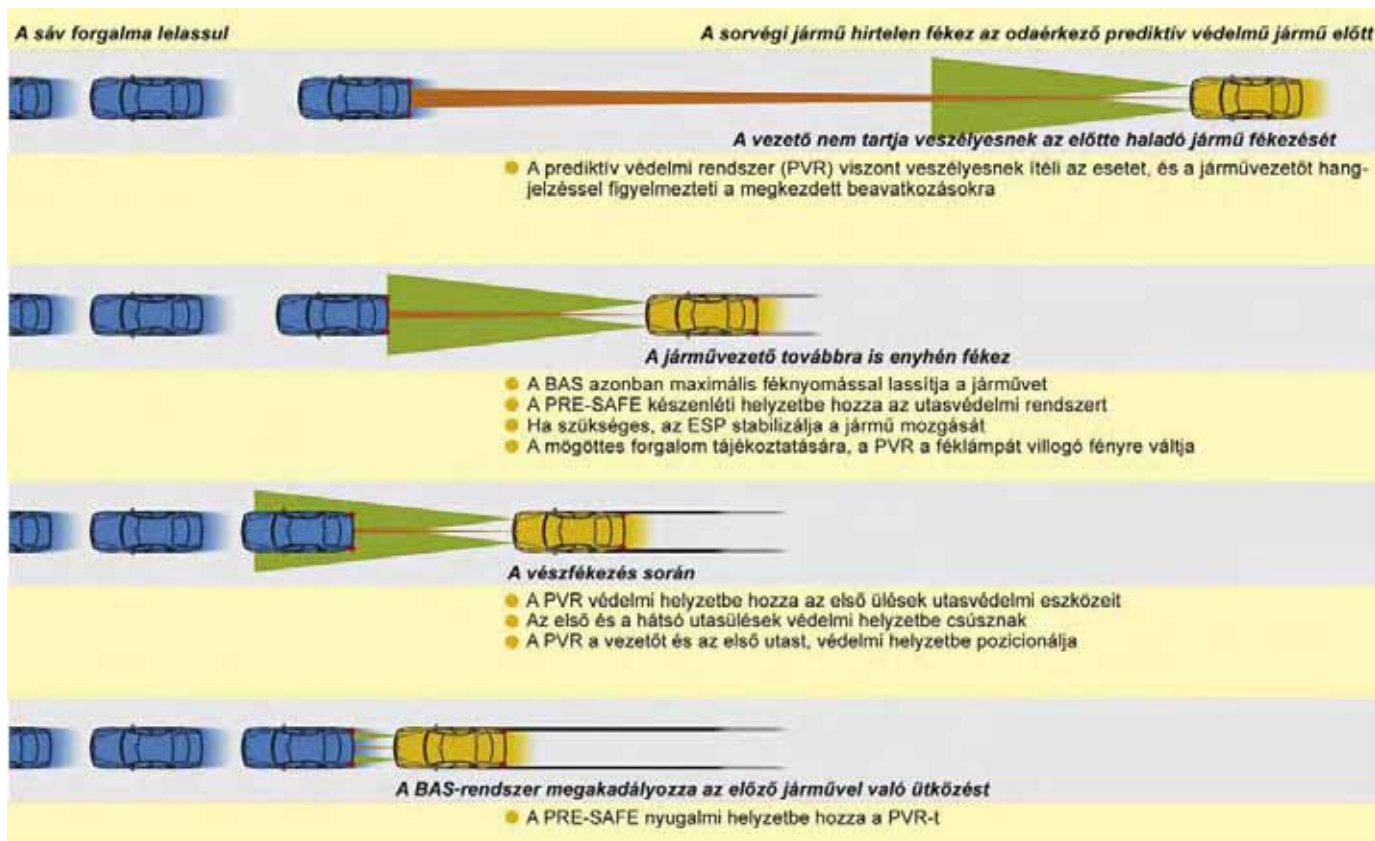
1. ábra: a Mercedes-Benz A osztályú járműveinek a nevezetes rénszarvasveszteszten bekövetkezett felborulása döntő lökést adott az ESP-k sorozatgyártású elterjedésének

fejlesztések mutatnak irányt. Jelenleg a bevezetés előtt álló keresztvezetői asszisztensek, a forgalmi helyzethez igazodó adaptív sebességasszisztensek és a távolsági közlekedés ütközésjelző asszisztensének a legnagyobb a balesetcsökkentő hatása.

A baleseti gyakoriságelemzések során az is igazolást nyert, hogy a vezetői információs rendszereknek önmagukban nem jelentős a balesetcsökkentő hatása. A balesetek egyharmada ugyanis csak aktív beavatkozást végző asszisztensek használatával csökkenthető.

AKTÍV BEAVATKOZÓRENDSZEREK

A bevezetésre váró, aktív beavatkozó-asszisztensek jellegzetesége, hogy a használatuk megfelelő jogi előkészítést, nagyfokú bonyolultságuk pedig nagy megbízhatóságú részegységek és áramköri elemek használatát igényli. Kedvező jel, hogy a bevezetés előtt álló beavatkozó-asszisztensek többsége kellőképp piacérett, és a használatuk nagy biztonsági nyereséget jelent a forgalmi résztvevők számára.



3. ábra: néhány jellegzetes mozzanat a PRE-SAFE biztonsági rendszer működéséből

Ütközés akkor következik be, ha az érkező és az ütköző jármű közötti távolságtól, és az érkező jármű sebességétől függő, ütközésig eltelt idő kisebb a vezető helyzetértékelő képességének időigényénél. Közelebről a kéz-kar és a lábfej-láb végtag-rendszer motorikus mozgatásának időigénye jelentősen kisebb a reflexidőként ismert válaszütdőnél. Ez az időigény 40 év fölött az életkor függvénye. 60 éves korban átlagosan a duplája a 30 éves korinak.

Maga a járművezetői munka navigációból, vezetésből, stabilizálásból áll. Időigényük eltérő, ezért vezetői asszisztensek beavatkozó tevékenységi folyamatát ezekhez igazodva kell megtervezni.

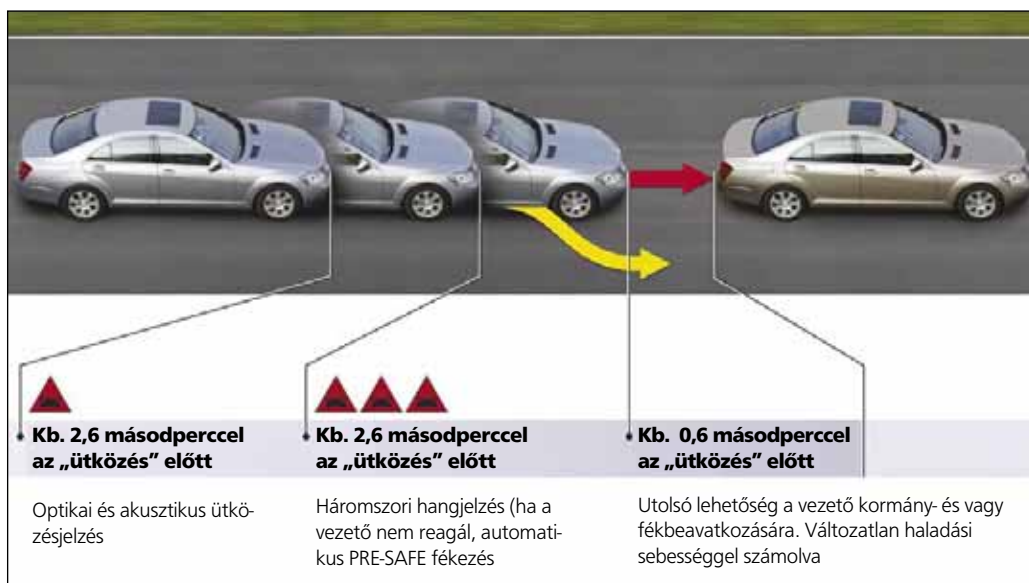
Általánosnak tekinthető, hogy amíg a vezetés egy-két másodperc időtartamú folyamatlemekekből épül fel, a stabilizáló beavatkozás nagyságrenddel kisebb, egy-két tizedmásodperc időigényű. Nyilvánvaló, hogy ilyen beavatkozásra csak automaták alkalmasak. Olyanok, mint a világszerte bevált ABS, ASR és ESP, amelyek az út és a kerekek közötti erőzár, fékezéssel és kormányzással végzett együttes beavatkozásával veszik át a tizedmásodperces akciókra képtelen vezető manipulációs lehetőségeit.

A kétféle biztonsági rendszer egymáshoz közelítésével, a balesetek enyhébb lefolyásán túl, azok előfordulásának csökkentése az elérendő cél.

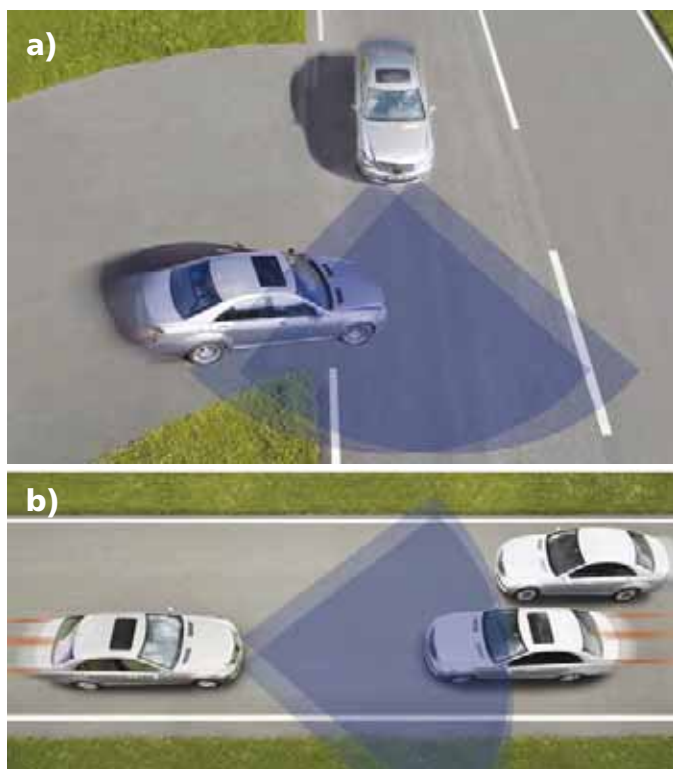
PREDIKTÍV FÉKEZŐASSZISZTENS

Reaktív helyett (amelynek során a kerék megcsúszása a beavatkozás indítójele) az elől haladó jármű gyors közeledését érzékelő prediktív fékezőasszisztens alkalmazása, több műveletből álló folyamattá bővíti a ráfutásos ütközések elhárítását. Lehetőséget adva a rendszer kiépíthettségének és a beavatkozás mélységének növelésével végzett skálázására.

A prediktív fékezőasszisztens a Bosch cég fejlesztése, amely elsőként az Audi A6-on került bevezetésre. Balesetveszélyes helyzetben a prediktív fékrendszer azzal segíti a járművezetőt,



4. ábra: a PRE-SAFE biztonsági rendszer többszöri figyelmeztetéssel jelzi a vezetőnek az ütközést elkerülő beavatkozást



5. ábra: PRE-SAFE preventív utasvédő rendszer működése baleset-kutatási ismereteken alapul. Felismeri az ütközésközeleli helyzeteket (a és b) és előkészítő beavatkozásokat tesz a veszélyes következmények csökkentésére. Ily módon hídaz az aktív és passzív biztonság között



6. ábra: a DISTRONIC Plus sebességhatároló asszisztense folyamatosan figyeli a közúti jelzőtáblákat és sebességtűllépés esetén figyelmezteti a vezetőt



7. ábra: az Active Body Control használata oldalszél esetén, minimálisra csökkenti a vezető ellenkormányzó beavatkozásának igényét

hogy a gépjármű fékrendszerét vészfékezésre kész állapotba helyezze. A prediktív fékrendszer az ütközésközeleli helyzet érzékelésekor a vezetőtől független beavatkozással megnöveli a jármű féknyomását. Úgy, hogy a fékbetéteket a féktárcsákhoz közeleli állapotba állítja, és „beélesíti” a hidraulikus féket, hogy a fékezésre kényszerülő vezető számára minimálisra csökkenthesse a fékutat.

Az előrejelző biztonsági rendszerek (Predictive Safety Systems) a Bosch cég CAPS-konceptiójának részét képezik. A CAPS a gépjármű már meglévő biztonsági és komfortrendszereinek vezérlőegységeiből és érzékelőiből (pl.: ESP, ACC, Airbag-vezérlés) álló hálózat.

A baleseti statisztikák alapján beláthatók az új biztonsági rendszerekben rejlő lehetőségek. A gépjármű-balesetek mintegy egyharmadát ütközések és útakadályok okozzák. Még a veszélyes közlekedési helyzetekben is mindössze a gépjárművezetők alig harmada fékez teljes erővel, a vezetők kétharmada félig sem meríti ki a maximális lehetőséget.

Ezekben az esetekben segít a „Predictive Brake Assist” a balesetek elkerülésében, illetve azok következményeinek lényeges mértékű csökkentésében. A rendszer ezt kétféle módon hajtja végre. Egyrészt az elektronika a hidraulikus fékasszisztens segítségével minimalizálja a fékutat, a vészfékezés lehetőségét is magában foglalva. Másrészt a teljes fékerő 30 ezredmásodperc korábban kerül kifejtésre, mert a rendszer vészfékezésre előkészített állapot után hozza működésbe a fékeket. Ezzel a módszerrel a frontális ütközések száma 2,5, a kereszteződésekben bekövetkezőké 3,5, a ráfutásos ütközéseké pedig 5,0 százalékkal csökkenthetők.

A „Predictive Brake Assist” az ACC-rendszert egyszerű komfort funkcióból biztonsági rendszerré lépteti elő. Az ACC-rendszer alapfunkciója észleli az előttünk haladó gépjárművet, felméri annak sebességét, és betartja a biztonságos követési távolságot. Az ACC-rendszer lelke a szenzor-ellenőrző egység, amely kompakt egységként magába foglalja a radarszenzort, valamint a vezérlőelektronikát. A radarszenzor észleli az előttünk haladó gépjárműveket akár 200 méteres távolságig is. A vezérlőelektronika kiszámítja azok sebességét és távolságát. A motor és a fékrendszer szabályozásával az ACC gépjárműnk sebességét a forgalom üteméhez igazítja. Amint szabadabbá válik az útpálya, az ACC újra a vezető által megválasztott sebességre gyorsítja az autót.



1. A sebesség, a hosszanti és az oldalgyorsulás jeleiből felismeri a járművezető vezetési stílusát, 2. Felismeri az esetleges vezetőcserét, 3. Felismeri a kormányzási jellemzőket, 4. A hosszanti és az oldalgyorsulás, valamint a kormánykezelés jeleiből felismeri a vezető sávváltási jellemzőit, 5. A hosszanti és az oldalgyorsulás jeleiből felismeri az utazási helyzetet, 6. Névleges-tényleges adat-összehasonlítással megállapítja az útburkolat állapotát 7. A gyűjtött jellemzők összegzésével megállapítja a jármű kezelését, 8. Az időjelekből megállapítja az utazási körülményeket

8. ábra: az éberségfigyelő asszisztens (Attention Assist) a következő információkból ismeri fel a vezetői figyelem lankadását

AZ S-OSZTÁLY VEZETŐI ASSZISZTENSEI

A járművezetés az S-osztályban olyan asszisztensek felügyelő irányítása alatt áll, amelyek az utazás biztonsága érdekében, kritikus helyzetben maguk veszik át a vezetés kulcsműveleteit. Természetesen úgy, hogy eközben nem korlátozzák a vezetői döntés szabadságát, de nem is veszik át a vezetés felelősségét. Ezért a vezetői hibák következményeit, a legújabb asszisztensek használata esetében is neki kell viselnie. De lássuk a példaként választott S-osztályjellemző rendszereit.

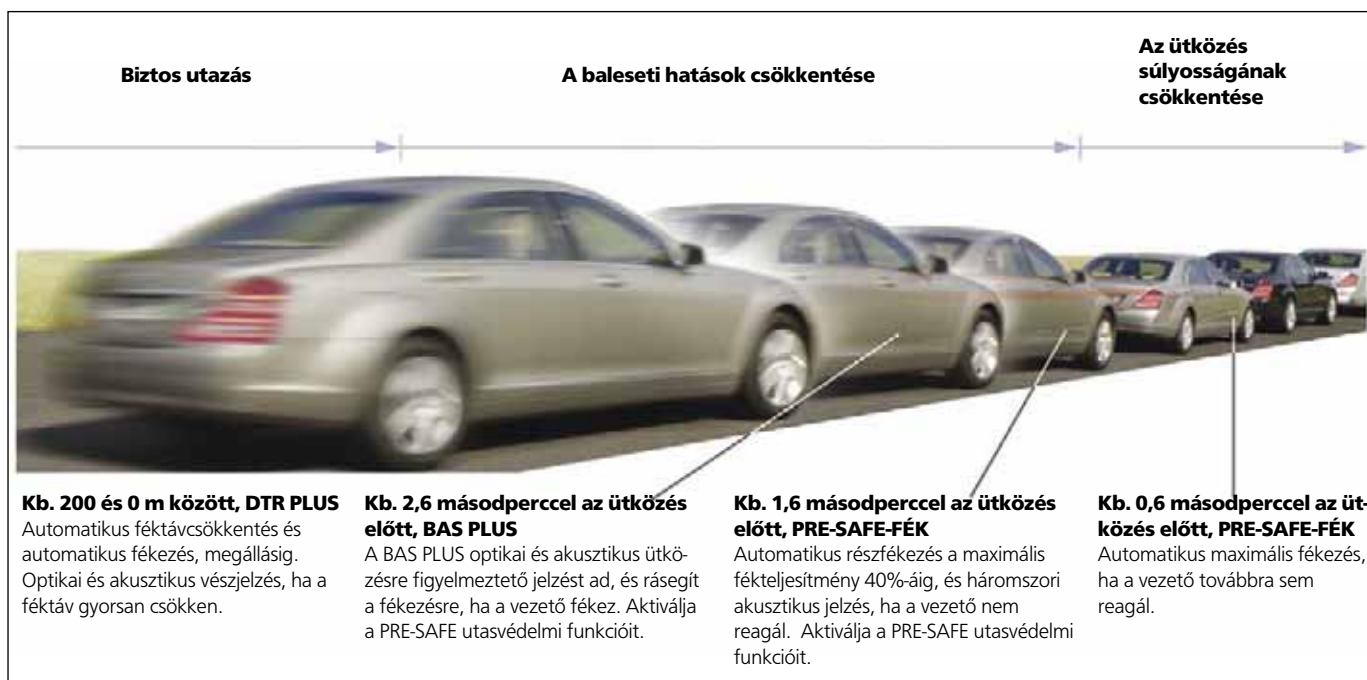
Az **éberségfigyelő asszisztens** (Attention Assist) a bóbiskolások és a mikroelalvasók éber őre. A gyártók azért épp ilyen rendeltetésű asszisztent fejlesztettek ki, mert német statisztika



10. ábra: a SplitView elnevezésű képszűrő rendszer ugyanannak a képernyőnek a használatával szelektálja az utas és a vezető képernyő-használatát



11. ábra: az S-osztály éjjellátó rendszere külön képernyőn jeleníti meg az infrasugár képét



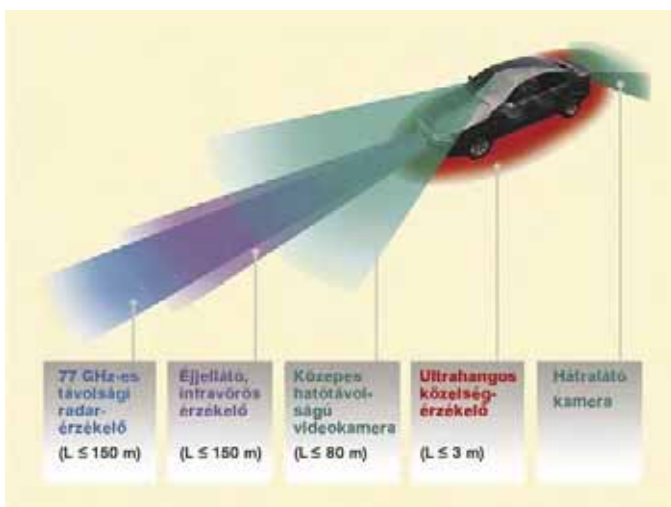
9. ábra: vészfékezéskor az S-osztály DTR PLUS és BAS PLUS rendszerei támogatják a vezetőt. Ha ő nem reagál, a PRE-SAFE-FÉK, az ütközés elkerülése érdekében automatikusan, maga fékezi le a járművet

ABS	Használatával, a jármű fékezés közben is megőrzi kormányozhatóságát
ESP	Csökkenti a kisodródás kockázatát és stabilizálja a járművet
BAS fékasszisztens	Vészfékezéskor villámgyorsan maximálisra növeli a fékerőt
Figyelmeztető asszisztens	A folyamatosan érzékelt vezetési jellemzőiből ellenőrzi a vezető éberségét. Alvás közeli helyzetben riasztójelzéssel ébreszti a vezetőt
Intelligens világítórendszer	Opció tartozék; ötféle, időjárástól függő világítást kapcsol
Adaptív távolsági világításasszisztens	Opció tartozék; intelligens világítórendszert kapcsol és a szemben jövőéhez igazítja a jármű világítását
Sávtaró asszisztens	Opció tartozék; detektálja a burkolatjeleket, és jelzi, ha a jármű átlépni készül a forgalmi sáv határát
Sebességhatároló asszisztens	Opció tartozék; kamerával figyeli a sebességjelző táblákat, és a kijelzőn, km/h-ban jeleníti meg az aktuális megengedett sebiséget
Holtérasszisztens	Opció tartozék; radarsugárral ellenőrzi az S-osztály melletti és mögötti teret, és villogással jelzi a tükörben felbukkanó, közeledő járművet.
Distronic Plus	Opció tartozék; radarsugárral mér, és figyelmeztet, ha gyorsan csökken az S-osztályú jármű, és az előtte haladó jármű közötti távolság
A BAS Plus fékasszisztens Distronic Plus közelségjelzésére végzett beavatkozás	Opció tartozék; radarsugárral mér, vészjelzést ad, és lassít, ha gyorsan csökken az S-osztályú jármű, és az előtte haladó jármű közötti távolság
A Pre-Safe-fékasszisztens Distronic Plus közelségjelzésére végzett beavatkozás	Opció tartozék; vészfékezéssel reagál, ha ütközésközelire lecsökken az elől haladó jármű közötti távolság, és a járművezető nem fékez
Parkolóasszisztens	Opció tartozék; a parkolóasszisztens ultrahang-érzékelőkkel méri a parkolásra alkalmas hely hosszát, és kijelzőn jelzi, ha az kényelmes parkolásra elegendő
Az Active Body Control (ABC) oldalszélen végzett iránystabilizálása	Opció tartozék; az S-osztály aktív futóműve jelzi a jármű egyik oldalán lévő rugók, oldalszél okozta benyomódását, majd a rugóelemek felkeményítésével korrigálja a kocsiszekrény oldalbillenését

1. táblázat: a Mercedes-Benz S-osztály asszisztensi funkcióinak áttekintése (fekete: sorozatgyártású, kék: opcióként vásárolható, zöld: opció, az S400 H-n és S600-on sorozatgyártású)

ikai adatok szerint a súlyos kimenetelű autópálya-balesetek egynegyede hasonló okokra vezethető vissza, és ez gyakrabban fordul elő, mint az ittas vezetés. A mikroalvásos néhány másodperces tudatkieséssel és növekvő gyakorisággal járnak. A jármű eközben hosszú métereket tesz meg kontrollálatlanul. Az éber időszakokban a reakcióidő, a vezetés időtartamával progresszíven romlik. Négyórás nonstop vezetés után a felére csökken, hat óra után pedig a nyolcszorosára nő, a baleseti kockázat hasonló arányú növekedésével.

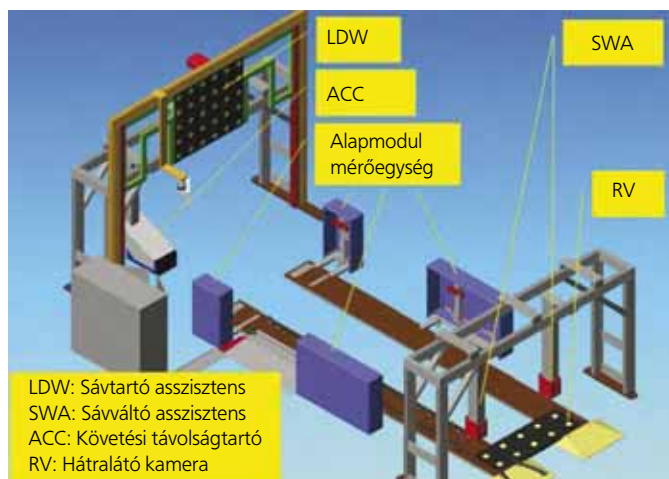
Az éberségfigyelő asszisztens lelke a kormányozdulatok és a kormányzási sebesség pontos megfigyelésére alkalmas, nagy felbontóképességű érzékelő, amely az utazás első percétől min-



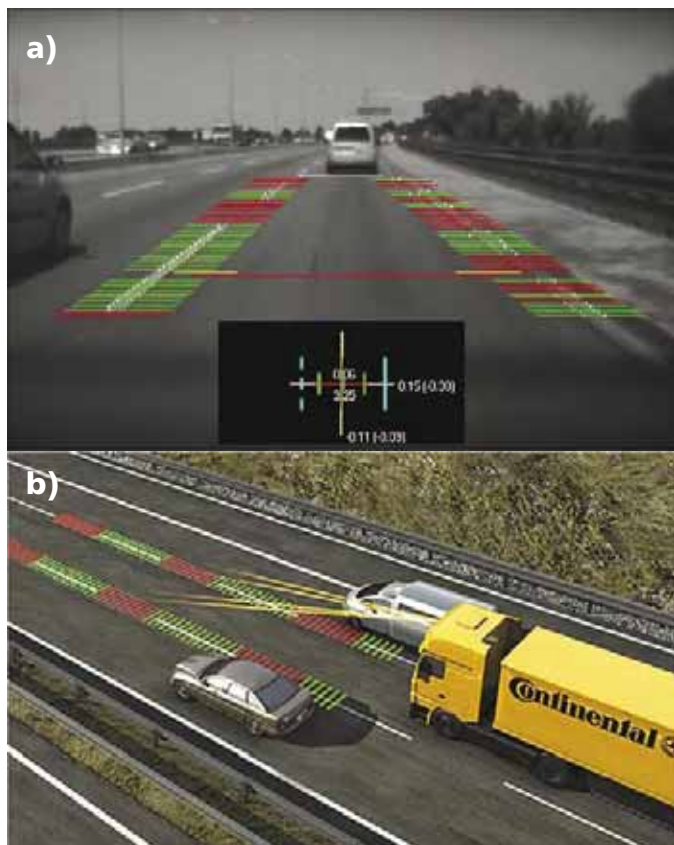
12. ábra: a vezetői asszisztensek érzékelői különböző hatótávolságú sugarakkal tapogadják le az úton haladó jármű környezetét. Ideértve a legújabb alkalmazott előrelátó kamerát is, amivel a megfigyelt hatótávolság 200 m-re bővült

	Sávváltás-jelzés	Fékezés	Sávhagyás-jelzés
Rendszerállapot be vagy kikapcsolása			
Tárgy-felismerés	Járműfelismerés 	Lassú jármű felismerés 	Sávhátár-felismerés
Figyelmeztető jelzés	Tűkörlámpa-villogás	Jelzőlámpa-villogás	Kormánykerék-rezgetés

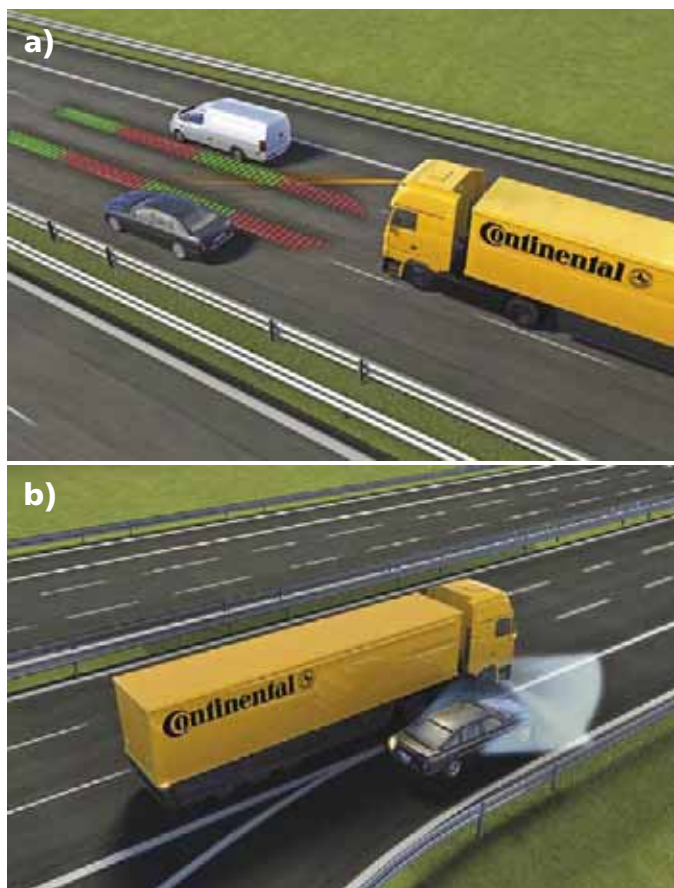
13. ábra: automatikus beavatkozások, amivel a mai közép-kategóriájú gépkocsik vezetői asszisztensei segítik a járművezetőt



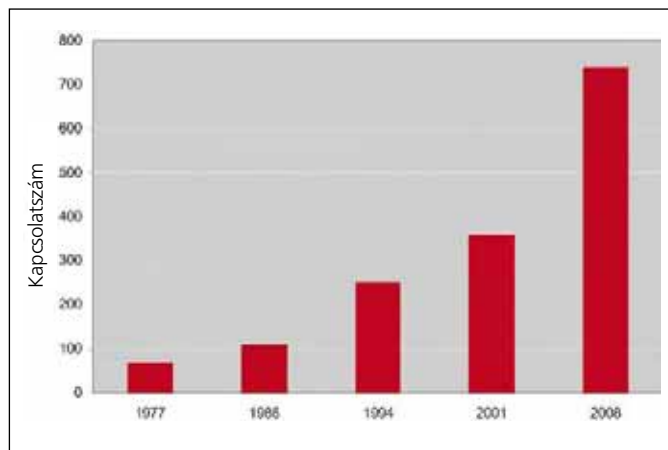
14. ábra: vezetői asszisztens rendszerek beállítóhelye, amivel ma már a közép-kategóriájú gépkocsik gyártósora és javítóbázisa is kiegészül



15. ábra: a sávtartóasszisztens ma már a személy- (a) és haszongépjárművek (b) sorozatgyártású tartozékává vált



16. ábra: a sávtartó- (a) és az oldaltérfigyelő asszisztens különösen jó szolgálatot tesz a haszongépjármű-balesetek elkerülésében

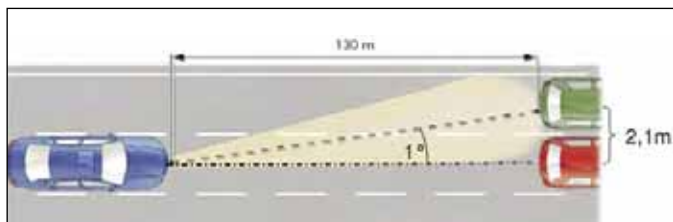


17. ábra: a prémium luxus kategória járművein már 800 fölé nőtt az elektronikus irányított kapcsolatok száma

tajeleket küld az adatbázisának a vezető kormánykezeléséről, és további 70 paraméterről. Az éberségfigyelő vezérlőegysége összehasonlítja a későbbi utazás során gyűjtött adatokat a korábbiakkal, és különbséget képez az első percben gyűjtöttekből. Adott küszöböt meghaladó különbség esetén, akusztikus és vizuális jellel figyelmezteti a vezetőt pihenő közbeiktatására. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a hosszú utazások pihenői életmentőek lehetnek. Az éberségfigyelő 80 és 180 km/h sebességtartományban működik. Úgy, hogy a hosszanti és az oldalgyorsulás, valamint a kormánykezelés jeleiből felismeri a vezető sávváltási jellemzőit. Ezekből, és a gyűjtött adatokból vezetői profilt képez. Megfelelő számú kritikus adat esetén figyelmeztető jelzést ad, és „Vezetési szünet” feliratot jelenít meg a sebességmérőn.

A holtérfigyelő asszisztens a veszélyes sávváltások kiküszöbölésének figyelmeztető eszköze. Veszélyes sávváltás a szomszédos sávban haladó forgalom észlelésének hiányára, és a figyelmetlen sávba sorolásra vezethető vissza. Ilyen esetek egyedül Németországban 9500 súlyos balesetet idéznek elő, évente. A biztos sávváltás a jármű adott helyére szerelt jeladók jeleinek érzékelése és megfelelő algoritmus alapján végzett vezetői figyelmeztetés kezdeményezése. A Mercedes-Benz S-osztály erre kifejlesztett közeli radarjeladói a jármű hátsó lökhárítójára úgy vannak felszerelve, hogy sugaraik mindkét szomszédos sávot befogják. Más érzékelők a fék, az irányjelző és a kormánykerék működéséről vesznek jelzéseket. A sávkövetés feltételét a jármű első kerekeinek sávban tartózkodása jelenti. Ha az érzékelt jelek alapján ez a kritérium nem teljesül, és a külső tükrökben érkező jármű képe jelenik meg, a rendszer a beléjük épített lámpa villogásával és akusztikus jelzéssel figyelmezteti a vezetőt. A holt térben érzékelt veszélyre figyelmeztető jelzések észlelésére a vezető elhagyja a forgalmi sáv elhagyását.

Distronic Plus sebességtartó vezetői asszisztens az úgynevezett ráfutásos balesetek kiküszöbölésére kifejlesztett járműtartozék, speed control és tempomat néven is ismert. Működése a sávban elől haladó járműről visszaverődő radarjelek felhasználásán alapul, a követési távolság tartására vagy lassító fékezés kezdeményezésére. Használata a német autópályákon bekövetkező utolérési balesetek húsz százalékának kiküszöbölésére, a megállásig végzett fékezésre is alkalmas asszisztensváltozat az ilyen esetek 36%-ának csökkentésére ad lehetőséget. A Distronic Plus abban különbözik Distronic nevű elődjétől, hogy a használatával a fékezés 200 km/h-tól a jármű megállásáig, kontrollált folyamat. Ha a rendszer az elől haladó járműtől mért távolságot túlságosan rövidnek és a közeledését túlságosan gyorsnak értékeli – alapkövetésben –, akusztikus jelzéssel figyelmezteti a vezetőt, az ütközés fékclassitással végzett elkerülésére. A Distronic



18. ábra: szemléltető példa a sugárnyalábbal mérő asszisztensek beállításának fontosságára. A sugárkéve ugyanis 130 méteres távolságban, már a másik sáv foglaltságáról ad nem kívánt jelzést

Plus fejlettebb változata, ha az elől haladó jármű közeledését olyan gyorsnak itéli, hogy az ütközés csak fékezéssel kerülhető el, fékbeavatkozást kezdeményez. Ennek érdekében – ha kell – maximális értékig növeli a féknyomást. A DISTRONIC Plus mai változatai közeli és távoli radarérzékelőkkel méri az elől haladó jármű távolságát, sebességét és (kitörését) nem szándékolt sáv-elhagyását. Ez utóbbi 60, a távoli radar 200 méteres távolságból alkalmas az elől haladó jármű megfigyelésére. A DISTRONIC Plus, **BAS fékvezetőasszisztenssel** végzett kiegészítése az asszisztens funkció, korábbinál fejlettebb beavatkozású változatát jelenti. Olyan rendszert, amely a biztonság érdekében, autonóm módon avatkozik be az ütközés elkerülésébe, vagy annak súlyosságának csökkentésébe.

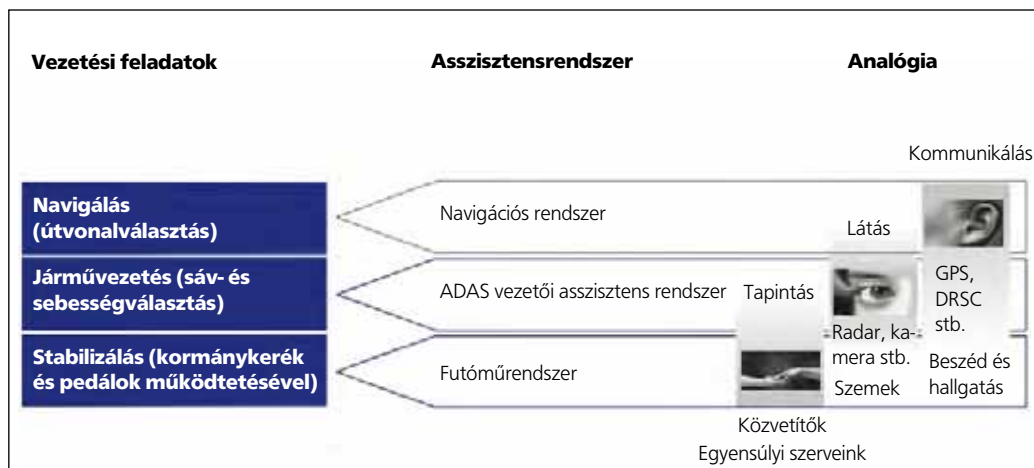
Pre-Safe fékvezetőasszisztens, a DISTRONIC Plusénál hatékonyabb szolgáltatás kínáló beavatkozó rendszer. A rendszer a jármű aktív és passzív biztonsági elemeit közös hálózatban, egyes részleteiben autonóm módon működteti, ami új minőséget jelent a járműbiztonságban. Ezt úgy éri el, hogy érzékelői a haladás közben folyamatosan figyelik a jármű mértékadó környezetét. Kritikus helyzet érzékelésekor a biztonsági rendszer több lépésben avatkozik be a járművezetésbe. Ennek mozzanatai a következők:

1. Az ütközési kockázat csökkentése érdekében (folyamatosan érzékeli a jármű mértékadó környezetét).
2. Az ütközési kockázat növekedése esetén (fékbeavatkozást készít elő).
3. Az ütközési kockázat további növekedése esetén (figyelmezteti a vezetőt a közelgő ütközésre, az ütközés csökkentésére).
4. Az ütközés elkerülhetetlennek ítéltése esetén (előkészület tesz az ütközésre).
5. Az ütközési folyamat közben (gondoskodik a járműben utazók védelméről).
6. Az ütközést követően a mentéshez információkat szolgáltat az ütközésről.



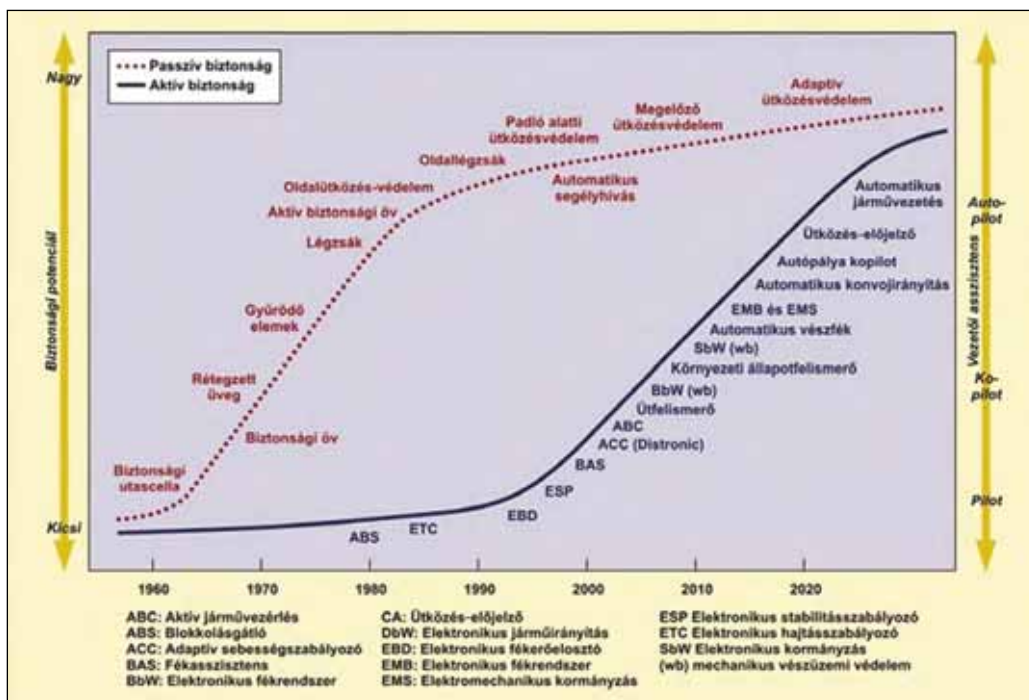
19. ábra: a DARPA Challenge verseny, sofőr nélküli járművein antenna erdő (a) érzékeli a városi forgalmat (b)

Az autonóm beavatkozás kétfokozatú. A **PRE-Safe-Fék működése**: az autonóm beavatkozás első fokozatában (1,6 másodperccel az elkerülhetetlen ütközés bekövetkezése előtt) a rendszer optikai és akusztikus ütközéssel jelzést ad. Ha a járművezető nem reagál a jelzésekre, a rendszer a maximális fékteljesítmény 40%-ával automatikus részfékezést végez (ez megközelítőleg 4 m/s² fék lassulásnak felel meg). Az autonóm beavatkozás második fokozatában (0,6 másodperccel az elkerülhetetlen ütközés bekövetkezése előtt) ha a vezető továbbra sem reagál a háromszor megismételt jelzésekre –, elektronikus gyűrdőző zónaként működve – a rendszer maximálisra növeli a kifejtett fékteljesítményt.



20. ábra: a vezetői asszisztensek használatát, miként a járművezetést, hármass hierarchia jellemzi

A DISTRONIC Plus, a BAS fékvezetőasszisztens és a PRE-Safe-Fék együttes működtetésére, a Mercedes-Benz fejlesztői az USA, Németország autópályáin és a cég berlini szimulátorában nagyszámú kísérletet végeztek. A kísérletek azt mutatták, hogy a három rendszer használatának és a vezetők gyors reagálásának köszönhetően a próbák, vizsgált esetek 70%-ában ütközés nélküliek maradtak. A Mercedes-Benz S-osztályú járművein használt, hasonló rendeltetésű, de különböző beavatkozási szintű asszisztenseinek bemutatásával példáját



21. ábra: a vezetői asszisztensek fejlődése az aktív és a passzív biztonság egyesítése irányába mutat

kívántuk mutatni a járműbiztonsági védelmi rendszerek skálázhatóságának. Ez persze csak része annak a nagy egésznek, amire ma a nagy beszállító cégek képesek. Szándékunk szerint, lapunk következő számában, a ma legszélesebb választékú Bosch példáján tervezzük bemutatni a gépkocsi biztonsági rendszerkinálátát.

A JÖVŐ?

A mai asszisztens rendszergenerációk fejlesztésének jelszava: arccal a környezet felé. A bevált radar- és ultrahang érzékelő-

nik. Vegyük észre, hogy a részrendszereiben egyre inkább önálló beavatkozásra képes vezetői asszisztensek jelentik a jövőt, az autonóm irányítású járművek felé.

Lapzártakor érkezett az a Bosch bejelentés, amely az EU tagországok új személy és haszonjárművein 2009. november 24-étől elrendeli a fékasszisztens kötelező bevezetését. A fékasszisztens és az ESP használata 2011. február 24-től minden új gépkocsin kötelezővé válik. 2015-től ezeken a gépkocsikon a vészfékező rendszereket sávtartó asszisztenssel kell kiegészíteni, felszerelni.

kön kívül videó- és lézerezékelők segítik információkkal a járművezetőt. Az adaptív sebességszabályozók pedig a megállásig fékezik a vele felszerelt gépkocsikat. Automatikus. Előbb-utóbb a parkolórendszerek is automatikussá válnak. Az aktív beavatkozásokat prediktív biztonsági rendszerek végzik, amelyek hatékonyabban avatkoznak be az eddigi reaktív rendszerekénél. Az aktív és a passzív védelmi eszközök közös hálózatu rendszerré integrálása új minőséget jelent a közúti járműbiztonságban. A vezetői asszisztensek aktív eszközeinek autonóm beavatkozásokkal végzett bővítése új célt vetít előre. A távlati cél a balesetmentes közlekedés, ami a század közepére prognosztizált autonóm járművezetés elérésével, a mai víziójából nagyon is valószínűs lehetőségnek tű-

Autószalonok, járműipari szakkiállítások 2010-ben

Az alábbi táblázat a 2010-es év legfontosabb járműipari szakkiállításainak, illetve vásárainak – nem teljes körű – felsorolása. A feltüntetett időpontok tájékoztató jellegűek, a rendezők a változtatás jogát fenntartják.

Időpont	Helyszín	Rendezvény
Január 5–11.	Új-Delhi, India	Auto Expo
Január 11–24.	Detroit, Egyesült Államok	North American International Auto Show
Január 13–24.	Brüsszel, Belgium	International Motorcar-Motorcycle Show
Január 14–17.	Bécs, Ausztria	Vienna Autoshow
Január 20–24.	Kairó, Egyiptom	International Motor Show
Február 10–21.	Chicago, Egyesült Államok	Chicago Auto Show
Február 11–14.	Róma, Olaszország	Automechanika Roma
Március 3–7.	München, Németország	Internationale Handwerksmesse
Március 2–14.	Genf, Svájc	International Motor Show
Március 18–28.	Zágráb, Horvátország	International Auto Show
Március 22–27.	Belgrád, Szerbia	International Motor Show
Március 24. – április 6.	Bangkok, Thaiföld	International Auto Show
Április 10–14.	Lipcse, Németország	AMITEC
Április 10–18.	Lipcse, Németország	AMI
Április 13–18.	Pozsony, Szlovákia	Autosalon Bratislava
Május 13–15.	Győr, Magyarország	19. Autó-DIGA Autófenntartó Ipari Szakkiállítás
Május 25–27.	Dubai, Egyesült Arab Emírátsok	Automechanika Middle East
Június 1–4.	Essen, Németország	Reifen
Június 4–10.	Brno, Csehország	Autotec
Június 22–24.	Stuttgart, Németország	Engine Expo / Automotive Testing Expo / Vehicle Dynamics Expo / European Automotive Components Show
Július 14–16.	Mexikóváros, Mexikó	PAACE-Automechanika
Július 22–augusztus 1.	Jakarta, Indonézia	Indonesian International Motor Show
Augusztus 25–29.	Moszkva, Oroszország	Automechanika Moscow
Augusztus 25–szeptember 5.	Moszkva, Oroszország	Moscow Auto Salon
Szeptember 8–13.	Nyitra, Szlovákia	Motor Show
Szeptember 14–19.	Frankfurt am Main, Németország	Automechanika Frankfurt
Szeptember 21–30.	Hannover, Németország	IAA Nutzfahrzeuge
Szeptember 30–október 17.	Párizs, Franciaország	Mondial de l'Automobile
Október 5–8.	Kijev, Ukrajna	International Motor Show
Október 14–24.	Sydney, Ausztrália	International Motor Show
Október 25–november 7.	Sao Paulo, Brazília	International Automobile Trade Show
Október 28–november 7.	Isztambul, Törökország	International Auto Show
November 3–6.	Buenos Aires, Argentína	Automechanika Argentina
November 27–december 5.	Essen, Németország	Essen Motor Show
December 2–12.	Bologna, Olaszország	Bologna Motor Show

Forrás: OICA

Torziós lengéscsillapítóban alkalmazott viszkózus folyadék modellezése

Kőkuti Zoltán

Dr. Kokavec János

Holczér István

Danyi Antal

Gábor Zoltán

Dr. Cziráj Attila

Prof. Dr. Szabó Gábor

Szegedi Tudományegyetem,
Műszaki és Anyagtudományi
Intézet

Dr. Ailer Piroska

Pézsza Nikolett

Dr. Németh Huba

Prof. Dr. Palkovics

László

Budapesti Műszaki és Gaz-
daságtudományi Egyetem,
Gépjárművek Tanszék

A járműiparban, a dugattyús motor főtengelyének szabad végén elhelyezett torziós lengéscsillapítóban használatos szilikonolajok reológiai szempontból nem newtoni, viszkoelasztikus folyadékok. A mérnöki gyakorlat szempontjából fontos, hogy anyagi paramétereik minél pontosabban ismeretek legyenek. Rotációs reométerrel végzett mérések alapján kidolgoztunk egy 5-elemű Maxwell-modellt, amely nagy pontossággal adja meg az általunk vizsgált szilikonolajok viszkozitását és rugalmassági tulajdonságait az alkalmazások szempontjából fontos hőmérsékleti tartományban. A modellt szimulációkkal teszteltük. A mérések során feltérképeztük a lineáris modell határait is. A szilikonolajok dinamikai viszkozitásának a nyírási sebességtől való függését megállapítottuk, hogy követi a Cox–Merz szabályt, és a White–Metzner modellel pontosan leírható.

In the vehicle related industry the silicon oils are used in torsional dampers located at crankshaft free end of internal combustion engines are from rheology point of view non-Newtonian, viscoelastic fluids. From the point of view of engineering practice the more accurate knowledge of their material parameters is essential. Based on the measurements on a rotational rheometer a 5-mode Maxwell model has been developed, which is able to describe the viscosity and the elastic properties of the investigated silicon oils in a very accurate way in the temperature range of applications with high importance. The model has been tested in simulations. The linearity border of the model has been discovered during the tests, as well. About the shear rate dependence of the dynamic viscosity of the silicon oils we found out that it follows the Cox-Merz rule and it can be accurately described by a White-Metzner model.

BEVEZETÉS

A különféle szilikonolajokat a járműipar elsősorban lengéscsillapító anyagként használja. Speciális alkalmazási területe a dugattyús motorok főtengelyének szabad végén elhelyezkedő torziós viszkózus lengéscsillapító, ahol a szükséges magas viszkozitást a szilikonolaj biztosítja. A szilikonolaj előnyös tulajdonságai közé tartozik többek között a magas hőálló képesség, kémiai stabilitás, az alacsony egészségi és környezeti kockázat, továbbá a kedvező beszerzési ár.

A gyártók a szilikonolajok csillapító képességét jellemzően a DIN 53018 szabvány szerint, 25 °C hőmérsékleten mért kinematikai viszkozitásukkal adják meg, azonban jól ismert, hogy a viszkozitás általában függ a hőmérséklettől, az úgynevezett nem newtoni folyadékok esetén pedig a nyírási sebességtől is. Mindez a szilikonolajokra is igaz, sőt ezek a folyadékok elasztikus tulajdonságokkal is rendelkeznek: nagy erőhatásra rövid ideig rugalmas anyagként viselkednek. Nyilvánvaló, hogy az anyagi tulajdonságok elegendően pontos ismerete nélkülözhetetlen a mérnöki gyakorlatban ezen anyagok felhasználása esetén. Jelen munkánkban ezekkel kapcsolatos vizsgálataink eredményeit ismertetjük.

VISZKOELASZTIKUS FOLYADÉKOK REOLÓGIAI TULAJDONSÁGAI

A nyírásnak kitett viszkoelasztikus folyadékok leírására a Maxwell-modell az egyik leggyakrabban használt anyagi egyenlet. Ha az áramlás paraméterei olyanok, hogy a nyírási sebesség nem függ a helytől (mint pl. egy reométerben), akkor jó közelítéssel alkalmazhatunk koncentrált paraméteres leírást: a folyadékréteg egymáshoz képest elcsúszó határoló felületeit ideális csillapító tag és vele sorba kapcsolt ideális rugó, azaz egy Maxwell-elem köti össze [1], amint azt az 1. ábra szemlélteti.

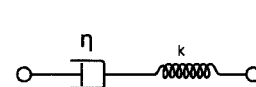
A $\tau(t)$ nyírófeszültség és a $d\gamma/dt$ nyírási sebesség közötti összefüggést a következő konstitutív egyenlet adja meg:

$$\tau(t) + \frac{\eta}{k} \frac{d\tau}{dt} = -\eta \frac{d\gamma}{dt}, \quad (1)$$

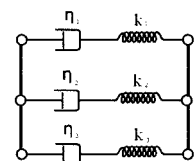
ahol η a viszkozitást, k pedig az rugalmassági modulust jelöli. A lineáris viszkoelasztikus folyadékok pontos leírására azonban igen gyakran nem elég egyetlen Maxwell-elem, ilyenkor szokás egymással párhuzamosan kapcsolt Maxwell-elemeket, azaz több-elemű Maxwell-modellt alkalmazni [2]. A 2. ábra egy 3 elemű Maxwell-modellt szemléltet.

A Maxwell-modellben szereplő viszkozitási és rugalmassági paramétereket a következőképpen határozhatjuk meg rotációs reométerrel végzett mérésekből.

Kis amplitúdójú oszcillációs nyírást (SAOS) hajtunk végre a reométerrel, előírt nyírási sebességgel, miközben a készülék nagy pontossággal méri a nyírási feszültséget az idő függvényében. Ebből kiszámítható két fontos reometriai mennyiség, a tárolási (G') illetve a veszteségi (G'') modulus: ezek a nyírófeszültségnek rendre a megnyúlással, illetve a nyírási sebességgel fázisban lévő komponensei [3]. Ezeket a mennyiségeket az oszcilláció körfrek-



1. ábra: a Maxwell-elem a legegyszerűbb koncentrált paraméterű modell egy viszkoelasztikus folyadék jellemzésére



2. ábra: a 3 elemű Maxwell-modell. Párhuzamosan kapcsolt Maxwell-elemekkel sok viszkoelasztikus folyadék jól leírható

enciája függvényeként megmérjük, majd az alábbi formulákat illesztjük a mért értékekhez [4]:

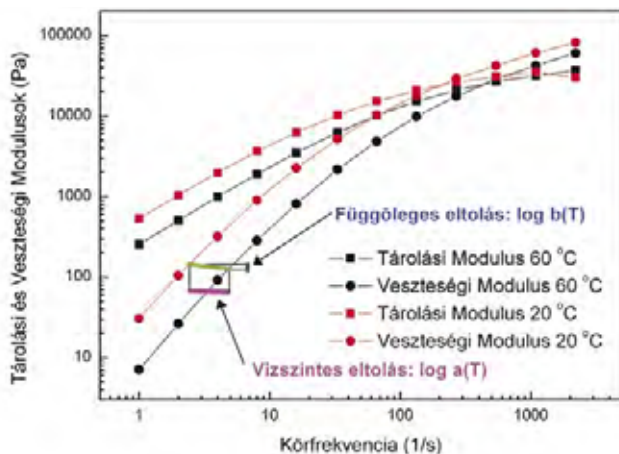
$$G'(\omega) = \sum_i \frac{\frac{(\eta_i)^2}{k_i} \omega^2}{1 + \left(\frac{\eta_i}{k_i}\right)^2 \omega^2} \quad (2)$$

$$G''(\omega) = \sum_i \frac{\eta_i \omega}{1 + \left(\frac{\eta_i}{k_i}\right)^2 \omega^2} \quad (3)$$

ahol az összegzés a Maxwell-elemek fut végig. Látható, hogy az anyag Maxwell-modelljében szereplő viszkozitási és rugalmassági állandók ennek az illesztésnek a paraméterei, tehát ilyen módon kiszámíthatók.

A tárolási és a veszteségi modulus segítségével egy további fontos reometriai mennyiség, a komplex viszkozitás (η^*) is kiszámítható, ami a nyírási feszültség amplitúdójának és a nyírási sebesség amplitúdójának hányadosa. Ez a komplex szám a két mennyiség relatív fázisát is tartalmazza.

A fenti SAOS-méréseket különböző hőmérsékletű mintákon elvégezve gyakran azt tapasztalják, hogy az anyag teljesíti az úgynevezett TTS („Time-Temperature Superposition”) elvet, másként fogalmazva az anyag termoreológiai szempontból egyszerű [4]. Ez azt jelenti, hogy a különböző hőmérsékleten végzett SAOS-mérések eredményeit (azaz a tárolási és veszteségi modulusokat a körfrekvencia függvényében) log-log skálán ábrázolva, a görbék nem változtatják meg alakjukat a hőmérséklet-változtatás hatására. A hőmérséklet-változtatás csak egy $\log[a(T)]$ nagyságú vízszintes, illetve egy $\log[b(T)]$ nagyságú függőleges eltolást eredményez mindkét modulus grafikonján, melyeket a 3. ábrán szemléltetünk saját mérési eredményeinkkel.



3. ábra: a TTS-elv szemléltetése

A különböző hőmérsékleten mért SAOS-görbéket a zöld színnel jelölt eltolás vízszintes fedésbe, ennek vízszintes komponensét lila, függőleges komponensét kék szín jelöli. (A veszteségi modulus görbéit ugyanezek az eltolások vízszintes fedésbe.) Az ábra adatai AK500 000 mintára vonatkoznak.

A TTS-elvet úgy használhatjuk, hogy kiválasztunk egy referencia hőmérsékletet (T_{ref}) és az összes különböző hőmérsékleten mért SAOS-görbét erre a T_{ref} hőmérsékletértékre toljuk. Ha a TTS elve érvényes, akkor a görbék át fogják fedni egymáson, és az így kapott „eredő” görbét mestergörbének nevezzük. Ez a görbe a vízszintes eltolások miatt szélesebb frekvenciatartományban ismert, mint amit a reométerrel mértünk, ami igen hasznos eredmény.

Mind a vízszintes, mind a függőleges eltolási paramétereknek léteznek analitikus meghatározásai. Munkánk során a vízszintes eltolási faktorra vonatkozó Williams–Landel–Ferry (WLF) formulát használtuk [4]:

$$a(T) = \exp\left(\frac{c_0(T - T_{ref})}{c_1 + (T - T_{ref})}\right) \quad (4)$$

ahol c_0 és c_1 a mérésekből meghatározandó konstansok. A TTS elve azt is lehetővé teszi számunkra, hogy a mestergörbéhez illesztett Maxwell-modell k_i és η_i paramétereiből egy más hőmérsékleten érvényes Maxwell-modell $k_i(T)$ és $\eta_i(T)$ paramétereit kiszámítsuk az alábbi képletek segítségével:

$$k_i(T) = b(T) \cdot k_{i,ref} \quad (5)$$

$$\eta_i(T) = b(T) \cdot a(T) \cdot \eta_{i,ref} \quad (6)$$

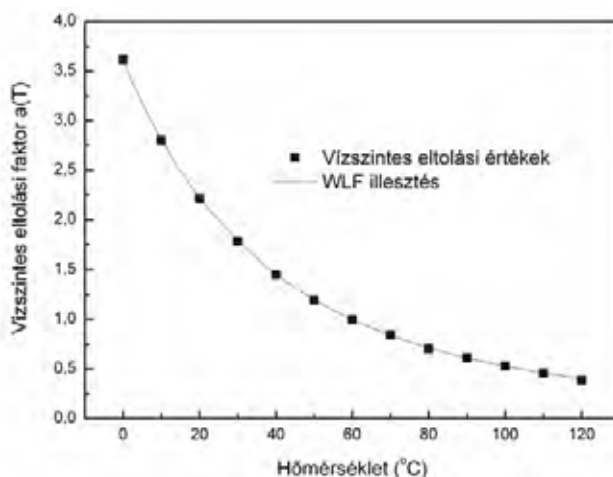
Ezen formulák hasznossága az alkalmazások szempontjából nyilvánvaló.

A MÉRÉSEK SORÁN HASZNÁLT MINTÁK ÉS ESZKÖZÖK

A vizsgált szilikonolaj-minták a Wacker Chemie AK terméksorozatának tagjai voltak. Az itt közölt eredmények az AK500 000 és az AK1 000 000 mintára vonatkoznak, itt a számérték az anyag névleges kinematikai viszkozitása mm^2/s egységekben, 25 °C hőmérsékleten. Az anyag kémiai neve poli-dimetil-sziloxán (PDMS), amely hosszú láncmolekulákból áll, ezeknek az alakváltozása biztosítja a folyadék elasztikus tulajdonságait.

A reometriai méréseket egy Physica MCR-101 (Anton Paar) rotációs reométerrel végeztük a Szegedi Tudományegyetem Gyógy-szertechnológiai Intézetében. A reométer maximálisan 100 Hz frekvenciára képes oszcillációs tesztekre, a minimális frekvenciát méréseink során a tárolási modulus mérési pontosságának figyelembevételével 0,1 Hz-re állítottuk be. A reométer megbízhatóan képes tartani a minta beállított hőmérsékletét.

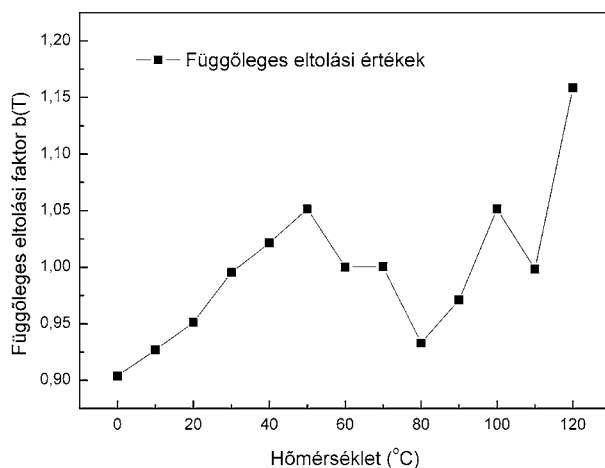
A dinamikai viszkozitás mérése állandó nyírási sebesség beállításával, nagy pontossággal lehetséges. Az ilyen méréseinket azonban a minta viszkoelasztikus tulajdonságai a kb. 20 1/s alatti nyírási sebességtartományra korlátozták: e felett az úgynevezett Weissenberg-hatás miatt a minta kifolyt a mintatartóból. A Weissenberg-hatás [5] annak a következménye, hogy nyírás közben a nyírási irányra merőlegesen is, húzó-nyomó irányú feszültség alakul ki.



4. ábra: a TTS-elv szerinti $a(T)$ eltolás faktor értékei AK500 000 minta esetén, referencia hőmérséklet 60 °C

MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS A LINEÁRIS MODELL

SAOS-méréseket végeztünk többféle szilikonolaj-mintára a 0 °C és 120 °C közötti hőmérséklet-tartományban 10 °C lépésekkel. Tapasztalataink szerint az AK500 000 és az ennél nagyobb viszkozitású mintákra a TTS elve a fenti hőmérséklet-tartományban elég pontosan teljesül. Ez alapján meghatároztuk a mestergörbéket, referencia hőmérsékletként a 60 °C-t választottuk. Az erre vonatkozó $a(T)$ paramétereket a 4. ábrán adjuk meg a WLF-illesztéssel együtt, a $b(T)$ paramétereket az 5. ábra mutatja a hőmérséklet függvényében.



5. ábra: a TTS-elv szerinti $b(T)$ eltolás faktor értékei AK500 000 minta esetén, referencia hőmérséklet 60 °C

A mestergörbék nagy pontossággal (3%-nál kisebb hibával) leírhatóak egy 5-elemű Maxwell-modellel, amelynek általunk illesztett paramétereit az 1. táblázat tartalmazza az AK500 000 minta esetére. A mestergörbe frekvenciatartománya több mint háromszorosa a reométerrel mérhető frekvenciatartománynak. A mestergörbéket a 6. ábra piros és fekete görbéi mutatják.

Maxwell-elem sorszáma (i)	k_i [Pa]	η_i [Pa*s]
1	64 178	21
2	10 593	90
3	1978	70
4	27 301	54
5	120	20

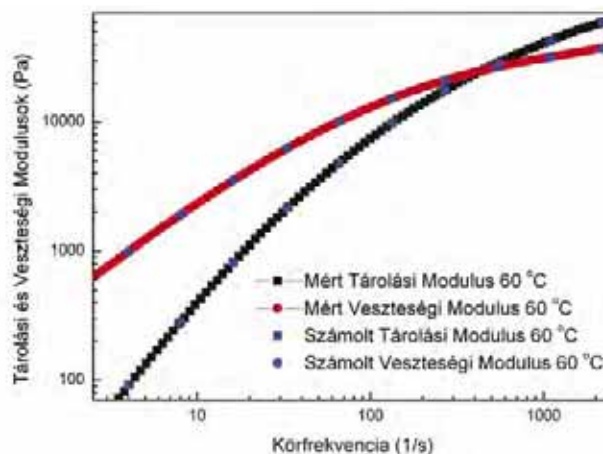
1. táblázat: az AK500 000 minta 60 °C hőmérsékleten érvényes mestergörbéhez illesztett 5-elemű Maxwell-modell paraméterei

A Maxwell-modell elmélete szerint a viszkozitási paraméterek összege megegyezik a kis nyírási sebességnél (azaz a newtoni tartományban) mért dinamikai viszkozitással. Méréseink szerint 60 °C hőmérsékleten az AK500 000 minta dinamikai viszkozitása 254,5 Pas a newtoni tartományban, az 1. táblázatban szereplő viszkozitási paraméterek összege pedig 255 Pas, ami kiváló egyezést mutat.

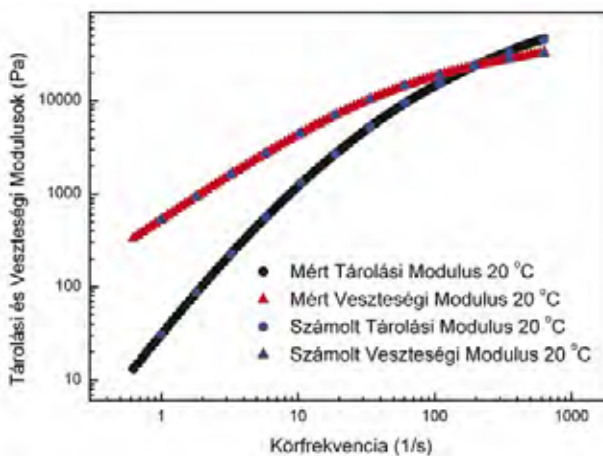
A fent leírt lineáris modellt egy „virtuális reométer” segítségével teszteltük. Ez egy általunk kifejlesztett MATLAB-program, melynek segítségével egy valódi reométer által elérhető tesztek (állandó sebességű nyírás, oszcillációs teszt stb.) eredményét lehet kiszámítani. A virtuális reométerben tipikusan nyírási sebességet írunk elő az idő függvényében, majd a szimuláció során a vizsgált anyagra jellemző konstitúciós egyenlet felhasználásával meghatározzuk, hogy mi lenne a valódi reométer által mért nyírófeszültség. Ebből

a definíciók szerint kiszámítjuk a releváns reometriai mennyiségeket, mint pl. a tárolási és veszteségi modulusokat, vagy a komplex viszkozitást, amelyeket ezután összevethetünk a valódi reométer által mért értékekkel.

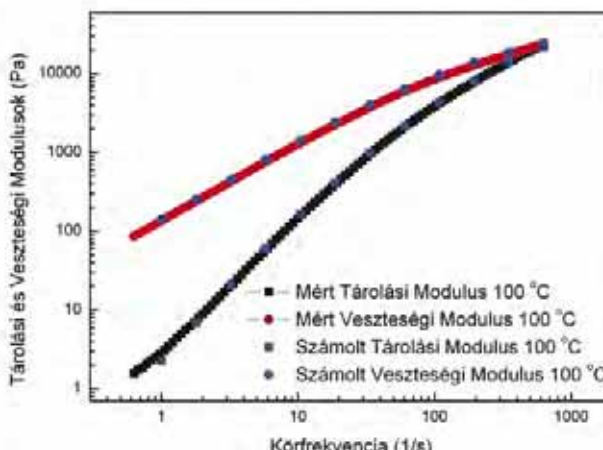
A 6. ábrán az 5-elemű Maxwell-modell pontosságát is szemléltetjük. Itt a 60 °C hőmérsékleten érvényes mestergörbéket vetettük össze a virtuális reométer által szimulált SAOS-tesztből származó



6. ábra: az 5 elemű Maxwell-modell pontossági tesztje. A piros és fekete görbék a reométeres mérésekből a TTS segítségével kapott mestergörbék. Az ezekhez illesztett 5 elemű Maxwell-modell alapján számítógépes szimulációval kiszámított értékeket a kék szimbólumok jelzik. A minta AK500 000, 60 °C hőmérsékleten



7. ábra: az 5 elemű Maxwell-modell pontossága 20 °C hőmérsékleten



8. ábra: az 5 elemű Maxwell-modell pontossága 100 °C hőmérsékleten

tárolási és veszteségi modulus értékekkel. A szimuláció során a Maxwell-modell paraméterei az 1. táblázatban szereplő értékekre voltak beállítva. A mért és a számított adatok igen jól illeszkednek egymáshoz.

A 7., illetve 8. ábrák az 5 elemű Maxwell-modell pontosságát mutatják 20 °C, illetve 100 °C hőmérsékleten. A „virtuális reométer” először átszámítja a viszkozitási és rugalmassági paramétereket a beállított hőmérsékletre az (5) és (6) formulák szerint, majd ezek segítségével végrehajtja a szimulációs tesztet. A számított értékeket a mért értékekkel összevetve továbbra is jó egyezést kapunk.

A LINÁRIS MODELL KORLÁTAI, COX-MERZ SZABÁLY, WHITE-METZNER MODELL

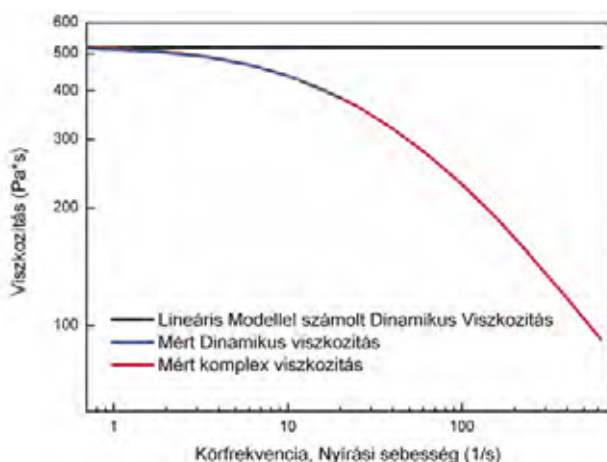
A fentiekben ismertetett lineáris modell csak addig érvényes, ameddig a folyadék dinamikája a lineáris viszkoelasztikus tartományban marad. Ennek felső határát az általunk vizsgált minták esetében gyakorlatilag a nyírási sebesség kb. 1-2 1/s értéke jelenti. Magasabb nyírási sebességek esetén figyelembe kell venni, hogy a Maxwell-modellben levő csillapítók viszkozitása csökken, azaz a folyadék pszeudoplasztikus („shear thinning”) [6], továbbá a rugalmassági modulus növekszik.

Méréseink szerint az összes általunk vizsgált szilikonolaj-minta (AK100 000–AK2 000 000) az általunk mérhető nyírási sebességtartományban követi a Cox–Merz szabálynak nevezett empirikus összefüggést: a dinamikai viszkozitás ugyanolyan függvénye a nyírási sebességnek, mint a komplex viszkozitás abszolút értéke a körfrekvenciának [7]. Azonos számértékű argumentumnál a kétféle viszkozitás számértéke is megegyezik, azaz:

$$|\eta^*(\omega)| = \eta(\dot{\gamma}) \Big|_{\dot{\gamma}=\omega} \quad (7)$$

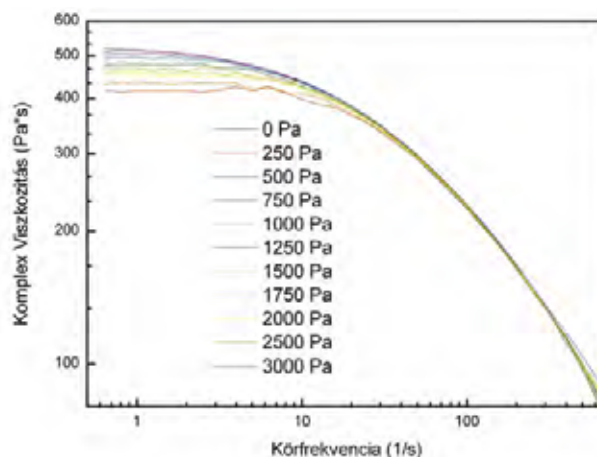
A Cox–Merz szabályt a 9. ábra szemlélteti. Érvényessége igen jelentős a viszkoelasztikus minták esetében, mert mint már említettük, a Weissenberg-hatás korlátozza a dinamikai viszkozitás mérési tartományát. Ha igaznak tekintjük a Cox–Merz szabályt, akkor SAOS-méréseken keresztül jóval nagyobb nyírási sebességtartományban meg tudjuk határozni az anyag dinamikai viszkozitását.

A lineáris modell azonban nem képes számot adni arról, hogy a dinamikai viszkozitás függ a nyírási sebességtől. Ez az egyik olyan tény, ami szükségessé teszi a szilikonolaj reológiai modelljének továbbfejlesztését.



9. ábra: a Cox–Merz szabály szemléltetése. Az AK1 000 000 minta 60 °C hőmérsékleten mért dinamikai viszkozitásának a nyírási sebességtől való függése megegyezik a komplex viszkozitása abszolút értékének a körfrekvenciától való függésével. A lineáris modell által jósolt dinamikai viszkozitás (azaz a newtoni tartományban érvényes dinamikai viszkozitás) nem függ a nyírási sebességtől.

A másik ilyen kísérleti tapasztalathoz akkor jutunk, ha a SAOS-méréseket úgy végezzük, hogy eközben egy állandó értékű nyírást is megvalósítunk a szilikonolajon: a nyírófeszültség egy konstans eltolási („offset”) érték és egy (ehhez képest kis amplitúdójú) oszcilláció összege. Az ilyen mérést szuperponált („superimposed”) tesztnek nevezzük. A 10. ábra mutatja be, hogy növekvő eltolási nyírófeszültség értékek esetén a komplex viszkozitás abszolút értékének a körfrekvenciától való függése jelentősen megváltozik. A lineáris modell erről nem képes számot adni: lineáris viszkoelasztikus anyagnál a komplex viszkozitás nem függ az eltolási nyírófeszültségtől.

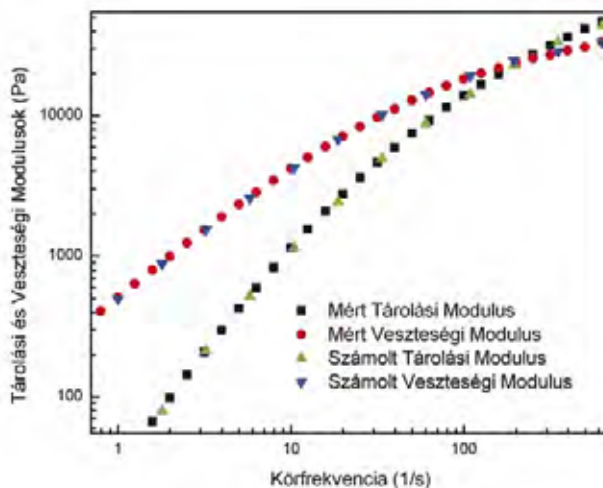


10. ábra: szuperponált mérés során a komplex viszkozitás abszolút értéke nemcsak a körfrekvenciától, hanem az eltolási feszültségtől is függ. Az eltolási feszültség növekedésével a komplex viszkozitás csökken, a letörés pedig egyre nagyobb frekvenciánál következik be. A minta AK1 000 000, 60 °C hőmérsékleten.

A legegyszerűbb nemlineáris viszkoelasztikus modell a White–Metzner modell [8], amely az 1 elemű Maxwell-modell egyszerű továbbfejlesztése: feltesszük, hogy a csillapítóelem dinamikai viszkozitása függ a nyírási sebességtől. Így a konstitúciós egyenlet a 8-as egyenletnek megfelelően alakul:

$$\tau(t) + \frac{\eta(\dot{\gamma})}{k} \dot{\tau}(t) = -\eta(\dot{\gamma}) \cdot \dot{\gamma}(t) \quad (8)$$

A Cox–Merz szabály figyelembevételével könnyen megkapható a szilikonolaj dinamikai viszkozitása a nyírási sebesség függvényeként: ez ugyanis megegyezik a komplex viszkozitás körfrekvencia



11. ábra: a White–Metzner modell alapján szimulált SAOS-teszt eredménye jól egyezik a mért értékekkel. A minta AK1 000 000, 60 °C hőmérsékleten.

függésével, a körfrekvenciát egyszerűen kicseréljük a nyírási sebességre a (7) formula szerint. Ez az 1-elemű White–Metzner modell azonban nyilván nem elég pontos.

Ha egy több elemű Maxwell-modellt szeretnénk úgy átalakítani, hogy dinamikai viszkozitása is függjön a nyírási sebességtől, akkor először el kell döntenünk, hogy milyen módon változtassuk az egyes elemek viszkozitási paramétereit a nyírási sebesség függvényében. Mi az alábbi egyszerű módszert választottuk:

$$\eta_i(\dot{\gamma}) = \frac{\eta_i}{\sum \eta_j} \cdot |\eta^*(\omega)|_{\dot{\gamma}=\omega} \quad (9)$$

Az így készült 5-elemű White–Metzner modell pontosan leírja a dinamikai viszkozitás nyírási sebesség függését, másrészt kis amplitúdójú oszcillációs tesztek esetén úgy viselkedik, mint az 5-elemű Maxwell modell (11. ábra).

Az 5 elemű White–Metzner modell tehát már eleget tesz a Cox–Merz szabálynak, azonban jelen formájában még nem képes a szuperponált mérések (10. ábra) pontos leírására. Bár a Maxwell-modellhez képest a helyes irányban módosítja a szimulációk eredményét, jelentős eltérést kapunk a tárolási modulus nagy eltolási

nyírófeszültség esetén számított értékeinél. Ezt a 12. ábra mutatja be. A modell további fejlesztése folyamatban van.

ÖSSZEGZÉS

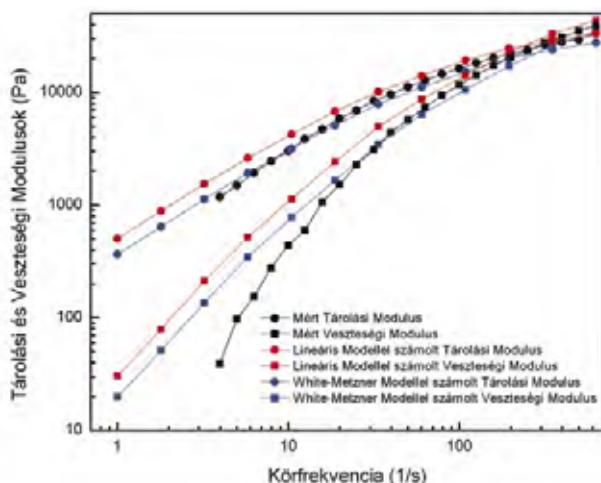
Szilikonolajok viszkoelasztikus tulajdonságait vizsgáltuk rotációs reométerrel végzett mérések alapján. Feltérképeztük a lineáris viselkedés határait, megalkottunk egy 5 elemű Maxwell-modellt, amely a járműipari alkalmazások szempontjából fontos hőmérsékleti tartományban nagyon pontosan leírja a viszkoelasztikus tulajdonságokat. A White–Metzner modellre alapozva sikerült továbbfejleszteni az anyagmodellt, ezzel már a dinamikai viszkozitásnak a nyírási sebességtől való függése is pontosan modellezhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk dr. Erős István professzor úrnak (SZTE GYTK Gyógyszer technológiai Intézet) a reométer használatában nyújtott segítségével. A kutatás az Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal „K+F munkaerő megőrzése és fejlesztése” pályázati támogatásával készült, pályázati azonosító: VISCODAM.

Irodalom

- [1] R. B. Bird, R. C. Armstrong és O. Hassager: Dynamics of Polymeric Liquids [Volume 1: Fluid Mechanics]. New York, Wiley, 1987
- [2] R. G. Larson: Constitutive Equations for Polymer Melts and Solutions. Butterworth-Heinemann, 1988, pp. 364
- [3] J. D. Ferry: Viscoelastic Properties of Polymers. New York, Wiley, 1980
- [4] F. A. Morrison: Understanding Rheology. Oxford University Press, 2001
- [5] S. M. Freeman and K. Weissenberg, In: Conf. British Rheologists' Club, 36 (1946)
- [6] K. Yasuda, R. C. Armstrong, and R. E. Cohen: Shear Flow Properties of Concentrated Solutions of Linear and Star Branched Polystyrenes. In: Rheologica Acta, 20 (1981) 163-178. p.
- [7] W. P. Cox and E. H. Merz: Correlation of dynamic and steady flow viscosities. In: Journal of Polymer Science, 28 (1958). 619-622
- [8] J. L. White és A. B. Metzner: Development of constitutive equations for polymeric melt and solutions. In: Journal of Applied Polymer Science, 7 (1963). 1867-1889



12. ábra: szuperponált mérési eredmények összehasonlítása a Maxwell-modell, illetve a White–Metzner modell által számított értékekkel. A minta AK1 000 000, 60 °C hőmérsékleten, az eltolási nyírófeszültség értéke 4000 Pa.

Sűrített levegős motorfeltöltés haszonjárművek számára

Dr. Németh Huba

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Belső égésű motorok sűrített levegős feltöltésével kapcsolatos törekvések már régóta ismeretesek, azonban ezek a próbálkozások eddig nem jártak sikerrel, mert az alkalmazott komponensek túl lassúak voltak. Ennek következményeképp nagy volt a sűrített levegő fogyasztásának mértéke, amelyet a sorozatgyártásban található kompresszorok nem tudtak kielégíteni. Az utóbbi évek fejlődésének eredményeképpen két jelentős technológia az (1) elektromos vezérlésű dízelbefecskendező rendszerek, pl. common rail befecskendezőrendszerek és a (2) nagy dinamikájú elektromosan irányított sűrített levegős haszonjármű-fékkomponensek segítségével sikerült kifejleszteni egy sorozatgyártású komponenseken alapuló sűrített levegős motorfeltöltő rendszert, amely a motor feltöltő ágába szerelhető és jelentős javulást hoz a turbótöltött haszonjármű-dízelmotorok dinamikájában. A minimalizált sűrített levegő ellátása pedig optimalizált, szintén sorozatkivitelre alapuló légellátó rendszer segítségével megoldható.

Efforts to improve the dynamic response of supercharged internal combustion engines by adding compressed air are well known. These efforts exhibited however no success, since the response of the applied components was too slow. This resulted in a large demand of additional compressed air, which the serial production compressors could not deliver. By an advantageous combination of two parallel technical developments within the last years: (1) Electronic Diesel injection systems at commercial vehicles, e.g. Common Rail, (2) High dynamic electrically controlled components within the air brake systems of commercial vehicles, it was possible to develop a system, based on serial production parts, which could be installed into the engine charge air system and provides a significant improvement to the response and the acceleration of the engine and the vehicle. The minimized additional compressed air can be provided by an optimised serial production compressed air system.

BEVEZETÉS

Az autóipari fejlesztések állandó nyomás alatt állnak, részben a hatósági emissziós előírások, részben pedig az egyre fokozódó tüzelőanyagfogyasztás-csökkentési elvárások miatt, amelyek csak magas technológiai színvonallal és tudással valósíthatók meg. Ezek a kihívások tovább bővülnek a piacok eltérő regionális elvárásai és az egyre emelkedő energiaárak miatt.

A fejlesztések fő mozgatója, így a fogyasztás csökkentése és az egyre szigorúbb kipufogógáz-előírások teljesítése. Ez különösen igaz a haszonjármű-szektorra, ahol a hatékonyság mindig is a legfontosabb szempont volt.

Ennek megfelelően a jövő haszonjárműve amellet, hogy teljesíti az új emissziós előírásokat, magasabb hatásfokot, tehát alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztást fog felmutatni, úgy, hogy a járművek mobilitása elérje legalább a mai szintet, vagy tovább növekedjen.

A jövőbeli CO₂-kibocsátások teljesítéséhez egy hatékony módszer az ún. downsizing elv. Azonban ez a motor feltöltőnyomásának további emelését igényli, hogy elkerüljük a motor nyomatékának vagy a teljesítményének csökkenését. A motor feltöltésére egy kompakt és költséghatékony módszer a turbófeltöltés. Azonban ez magasabb feltöltőnyomásokat esetén tovább növekvő késedelemmel reagál a terhelés növekedésekor. Ezt a késedelmi időt nevezzük turbókésedelemnek, vagy „turbólyuknak”. Ez a késedelem jelentősen rontja a jármű vezethetőségét, különösen elindulásnál, fokozatváltásnál, előzésnél, illetve emelkedőn való gyorsítás esetén, amely részben ellensúlyozható gyakoribb fokozatváltással, illetve kuplungcsúsztatással.

A tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése mellett további indokok szolgálnak a feltöltőnyomás emelése érdekében. Erre jó példa, hogy a következő generációs emissziós előírások (Euro 6 vagy EPA 10) nem, vagy csak nagyon nehezen teljesíthetők nagy terhelés, vagy teljes terhelés esetén is működő kipufogógáz-vissavezetéssel a NO_x-emisszió csökkentése érdekében.

A fenti eljárások további jelentős feltöltőnyomás-növelést igényelnek, amely a motor dinamikus reakcióját jelentősen rontja. Így új módszerek szükségesek a motordinamika jelentős javítása érdekében.

Ezen cikk tárgya egy, a fenti problémát orvosló, újonnan kifejlesztett rendszer, melynek kereskedelmi neve Pneumatic Booster System (PBS), azaz sűrített levegős feltöltés rásegítő rendszer. Ez kompressziógyújtású motorok dinamikájában jelentős javulást tesz lehetővé, különösen haszongépjárművek és buszok esetében, ahol a szükséges sűrített levegős infrastruktúra eleve rendelkezésre áll [1, 2, 5–9].

KONCEPCIÓS FEJLESZTÉS

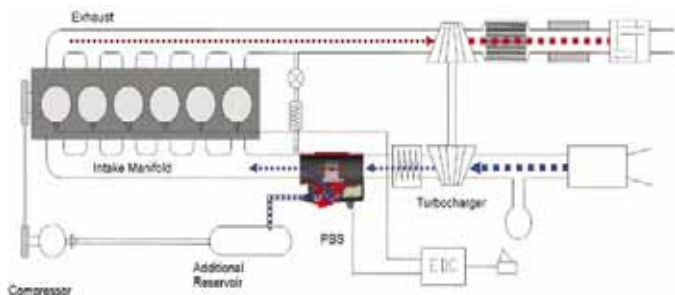
A koncepcionálás során a fő cél a motor alacsony fordulatszáma esetén jelentkező alacsony töltési fokának sűrített levegő befúvásával való jelentős növelése volt, amikor a turbófeltöltő ezt a feladatot még nem tudja ellátni. A megnövelt levegőtöltettség magasabb tüzelőanyag-dózis adagolható, így a motor nyomatéka azonnal növelhető, valamint egyidejűleg a turbófeltöltő turbínája számára elérhető kipufogógáz-entalpia is jelentősen megemelkedik, ami a feltöltőnek egy gyors fordulatszám-növekedést tesz lehetővé. Ezáltal a turbófeltöltő rövid sűrített

levegős befúvás után újra átveheti a feltöltés feladatát. A befúvás alatt gyorsan növelendő tüzelőanyag-dózisok csupán a modern, elektromosan vezérelt befecskendezőrendszerekkel (pl. common rail) valósíthatók meg.

A feltöltőrendszer fejlesztése során a fő követelmények a sűrített levegő hatékony, alacsony mennyiségű felhasználása, magas megbízhatósági szint, és a rendszer különböző motorokra való egyszerű applikálhatósága voltak. Ebből kifolyólag a sűrített levegő közvetlenül a hengerbe való befúvásának módját figyelmen kívül hagyjuk a motor hengerfejének jelentős változtatási igénye miatt, holott elvileg ez biztosítaná a sűrített levegő leg-hatékonyabb kihasználását.

Az alapötlet így a sűrített levegő a motor szívószelepeihez minél közelebbi bejuttatása volt. Ezáltal kisebb térfogatokat kell feltölteni, valamint a cél a motor nyomatékának proaktív növelése volt (a változó geometriájú turbinával rendelkező feltöltővel szemben, ami csupán reaktív viselkedésű). Továbbá a befúvás minél nagyobb mértékben kell hogy gyorsítsa a feltöltőt, így csökkenthető a levegőfogyasztás mértéke. Különböző megoldási elvek értékelése folytán az 1. ábrán látható felépítés biztosította a legjobb megoldást a fenti követelményekre. A különböző koncepciók ellenőrzése motorszimulációkkal és dinamikus fékpadi mérésekkel történt [3]. A szimulációk hullámjelenség alapú 1 dimenziós tranzien্স motormodellek formájában készültek el [4].

A kiválasztott koncepció esetén a sűrített levegőt a motor szívó oldalán a levegőhűtő után juttatjuk be, amely a befúvás alatt a motor negatív töltetcsere munkája révén is biztosít tovább teljesítménynövekedést a gyorsítás során.



1. ábra: a sűrített levegő szívócsőbe való bejuttatásának vázlata

A sűrített levegős befúvóegység (PBS) moduláris kialakítású, azaz a motor szívócsője és a feltöltő levegőhűtője közé beépíthető egység. A modul fő elemei az elektromosan kényszer-működtetett visszaáramlás-gátló pillangószelep, valamint egy vagy több sűrített levegős befúvószelep, amelyeket egy külön sűrített levegős tartályból táplálunk.

Normál motorüzem esetén, amikor nincs szükség jelentős gyorsításra a motor által igényelt levegőt a turbófeltöltő kompresszora szállítja, a PBS pillangószelepe teljesen nyitott állapotban van, a befúvószelep pedig zárva van. A motornak nagy dinamikájú gyorsításakor, amikor a turbófeltöltő nem tudja ellátni a motort megfelelő levegőtöltettel, a pillangószelep lezár, mialatt a levegőbefúvó-szelep a szükséges mértékben kinyit és feltölti a motort, ezáltal felgyorsítva a turbófeltöltőt is.

A bemutatott koncepció a levegőfogyasztás szempontjából is optimális, mivel a zárt pillangószelep esetén a turbófeltöltő kompresszorának tömegárama, így teljesítményfelvétele lecsökken, ezzel elősegítve a gyors felfutást és a rövid levegő-befúvást.

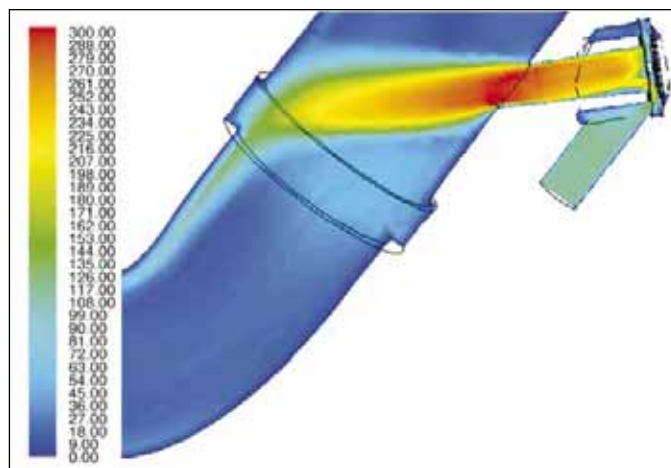
Ebben a gyorsan működő visszaáramlás-gátló pillangószelepnek is jelentős szerepe van, mivel így a befúvott levegőnek csak elhanyagolható része jut ki a levegőszűrő felé a szabadba.

A SŰRÍTETT LEVEGŐ BEFÚVÁSA

A sűrített levegő bejuttatását biztosító szelep feladata a levegő mennyiségének megfelelő adagolása. Ez magas dinamikai követelményeket támaszt a szelep kialakításával szemben, hogy a befúvott mennyiséget rugalmasan módosíthassuk a motor igénye szerint.

Mivel a haszonjárművek sűrített levegős rendszereiben a tápnyomás rendszerint 8–13 bar, ezért a szelepnek viszonylag nagy keresztmetszettel kell rendelkeznie, egyidejűleg viszont nagyon gyors kapcsolási időt kell hogy biztosítson. Erre a célra membrános szelepkialakítás került kifejlesztésre, amelyet mágnesszelep vezérel.

A szelep kialakításakor nagy figyelmet kapott az áramlás eloszlása a szívócsőben, amely megfelelő kialakítása révén csökkenthető az egyes hengerek között jelentkező töltési fok ingadozása. Mivel a befúvásnál nagyjából hangsebességű az áramlás, ezért egy a szívócsőbe közvetlen bevezetés jelentős hengerenkénti ingadozásokat okozott volna, így a szembe levő falra való befúvással jóval előnyösebb eredmények érhetők el (2. ábra).



2. ábra: a levegő sebességének eloszlása a szívócsőben a sűrített levegő befúvása során

ELEKTRONIKUS VEZÉRLŐEGYSÉG

A befúvás és a pillangószelep dinamikus működését egy integrált elektronikus vezérlőegység végzi, amely csupán az elektromos tápellátáshoz és a jármű erőátviteli CAN-kommunikációs vonalához kapcsolódik.

A benne található nyomtatott áramkört tartalmazza a mért jelek kondicionálásához szükséges kapcsolásokat, teljesítmény-elektronikát a mágnesszelepek és a pillangószelep motorjához, valamint a kommunikációs illesztést.

A pillangószelep két oldalán levő nyomásokat integrált nyomás-szenzor érzékeli. A motor pozícióját szintén a motorba épített érintkezésmentes helyzetérzékelő méri.

MODULKONCEPCIÓ

A PBS modulméretei úgy lettek kialakítva, hogy lehetőleg széles motorméret-tartományt átfedjenek, így egy adott méretű modul egy teljes járműkategóriában alkalmazható, csupán paraméter-módosítás révén. Ezért elegendő két különböző modulméretet a haszonjárművek és buszok motorjainak teljes lefedésére (3. ábra).

A modulok fő méreteit a pillangószelep és a befúvószelepek méretei határozzák meg elsősorban, valamint ezek befolyásolják a szükséges beavatkozók méreteit is. A vezérlőelektronika egységesen használható a különböző modulokban.



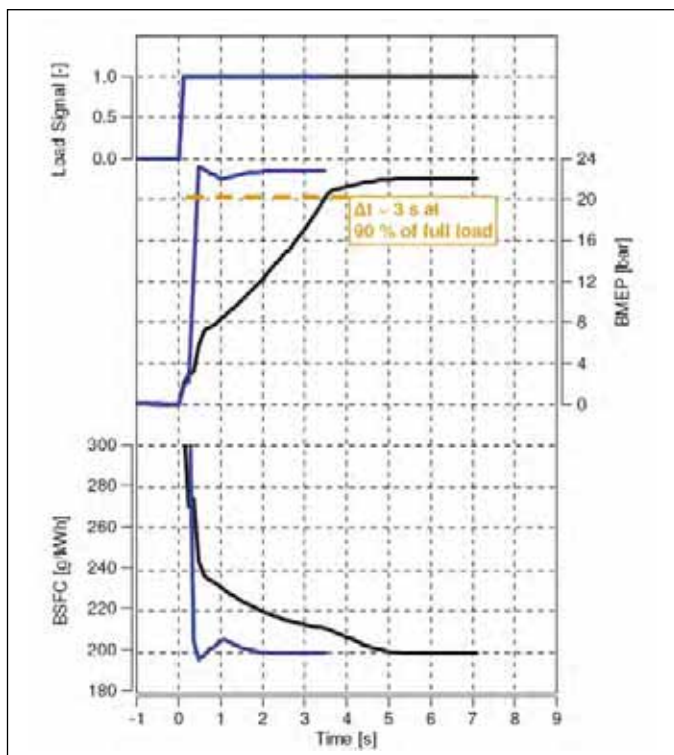
3. ábra: PBS feltöltőmodulok, balról a nehéz kategóriák számára, jobbról a könnyebb járműkategóriák részére

TELJESÍTMÉNY

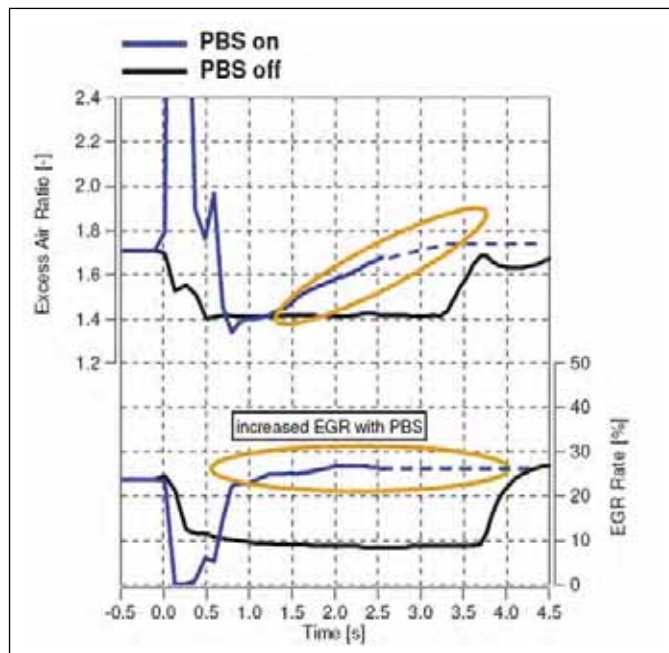
A dinamikus viselkedés érékelésére egységugrástesztet szolgálnak, amelyeket többek között egy Euro 6-os nehéz kategóriás teherautó prototípusmotorján is elvégeztünk. A motor kétlépcsős turbófeltöltést tartalmaz a teljes terhelés melletti kipufogógáz-visszavezetés miatt, valamint nyomástárolós befeckendezőrendszert.

A 4. ábrán a motor 1000 1/min fordulattal melletti teljes gázadásra adott egységugrás-terhelés válasza látható.

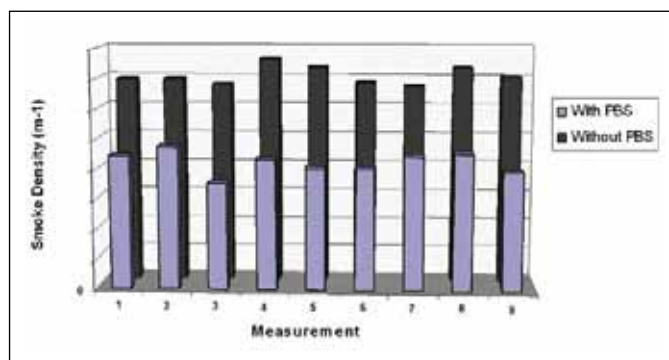
Mivel a motor feltöltőnyomása a 0 s-tól kiadott sűrített levegős befúvás révén azonnal megemelkedik, a tüzelőanyag-dózist a füstkorlátozó kevésbé korlátozza, így az megemelkedik, aminek eredményeképp a motor effektív középnyomása és a nyomatéka 0,3 s után eléri a maximális érték 90%-át, szemben az eredeti 4 s-mal szemben, ami több mint 3,5 s javulást jelent, ezzel egy szívómotorszerű dinamikus reakciót kölcsönözve a motornak. A motor fajlagos fogyasztása szintén jelentősen csökken ezalatt, ami a légfelesleg növekedésének köszönhető.



4. ábra: egységugrás válasz 1000 1/min esetén, gázpedál helyzete, az effektív középnyomás és a fajlagos fogyasztás alakulása



5. ábra: a légfelesleg tényező és a kipufogógáz visszavezetésének részaránya az egységugrás-gyorsítás során



6. ábra: a koromkibocsátás különböző teljes gázadásos gyorsítások során

KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS

Mivel a PBS befolyásolja a motor légfeleslegét és a visszavezetett kipufogógáz mennyiségét, ezért befolyással van a motor károsanyag-kibocsátására is.

A NO_x -kibocsátást elsősorban a beszívott levegő hőmérséklete, a légfelesleg és a visszavezetett kipufogógáz (EGR) mennyisége befolyásolja. A PBS-beavatkozás során a légfelesleg növelhető a füstkorlátozó beállításának megfelelően. Ezzel egyidejűleg az EGR mennyisége korábban megnövelhető a gyorsítás alatt, mivel a szívó- és kipufogórendszerben a tranziensek gyorsabban lezajlanak (5. ábra). Ezen túl a befúvás alatt a motorba jutó levegő hőmérséklete is alacsonyabb lesz, így a fenti tényezők a megnövekedett légfelesleg ellenére a NO_x -kibocsátás csökkenését okozzák.

Mivel a légfelesleg közvetlen befolyással van a korom- és füstki-bocsátásra, ezért a gyorsítás során megnövekedett légfelesleg ezt nagymértékben, kb. 40%-kal csökkenti (6. ábra).

Összefoglalva a tranziensek során a PBS hatására a legfontosabb káros anyagok kibocsátása jelentősen csökken a megnövekedett dinamikus motorteljesítmény ellenére.

TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁS

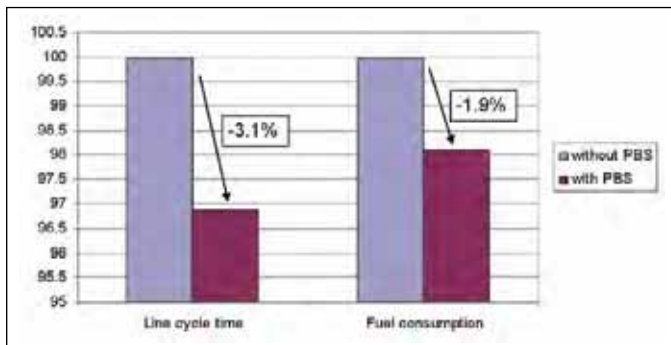
A jármű sűrítettlevegő-fogyasztásának növekedése természetesen maga után vonja a kompresszor teljesítményfelvételének növeke-

dését is, amely a motor teljesítményének nagyjából 3–5%-a. Ennek megfelelően fogyasztásnövekedést várunk.

Azonban további tényezők is befolyásolják a tüzelőanyag-fogyasztást. A jelentősen javult motordinamika lehetővé teszi a jármű vezetését alacsonyabb fordulaton is, így a sofőrök automatikusan adaptálódva kisebb motorfordulatokat részesítenek előnyben. Ezért a motor fogyasztása csökken, annak ellenére, hogy a jármű gyorsulása javul. Ez a tényező automatizált sebességváltó esetén különösen nagy potenciált biztosít. A fogyasztás csökkenésének másik oka a 4. ábrán bemutatott fajlagos fogyasztás csökkenése.

A fentiek eredményeképp egy városi busznál mért útvonalfogyasztás 2%-kal csökkent, miközben a vonali ciklusidő 3%-kal csökkent a jobb gyorsulások miatt (7. ábra).

Általánosságban elmondható, hogy a rendszer 2–4%-os fogyasztáscsökkentést tesz lehetővé.



7. ábra: városi busz vonali ciklusidejének és tüzelőanyag-fogyasztásának változása

ÖSSZEFOGLALÁS

A tüzelőanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás csökkentésére való törekvések további intézkedések nélkül a járműdinamika jelentős romlását okozhatják. Ennek kiküszöbölésére a sűrített levegő befúvása egy attraktív alternatívát jelent.

Az újonnan kifejlesztett Pneumatic Booster System (PBS) alkalmazása a következő előnyöket nyújtja:

- Jelentős javulás a motor dinamikus válaszában (a turbókécsdelem megszüntetése)
- A downsizing-elv támogatása
- Megnövekedett vezetési komfort a fokozatváltások számának csökkenése miatt
- Jobb elindulási képességek, különösen emelkedőn
- Tüzelőanyag-fogyasztás csökkenése a fordulatszám csökkentési lehetősége és a fajlagos fogyasztás javulása révén

- Előnyösebb károsanyag-kibocsátás, különösen a korom, CO és NO_x esetében.

A fenti előnyök sikeres megvalósíthatóságát igazolja több tucat fékpadi, haszonjárművön és buszon elvégzett kísérlet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző és projekt résztvevői köszönetüket fejezik ki a BME EJJT 4.3-as projekt keretében kapott támogatásért.

Irodalom

- [1] Hitziger, H., Gerum, E. (2004) Verfahren und Vorrichtung zum Steigern eines Drehmomentes einer Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine, ins besonders eines Motors in Diesel- Ausführung; Offenlegungsschrift DE 10 2004 047975.5.
- [2] Németh, H., Gerum, E. (2005) Device for supplying fresh air to a turbocharged piston internal combustion engine and method for operating the same; Offenlegungsschrift WO2006089779.
- [3] Flierl, R., Weiske, S. (2005) Bericht 05, Turboaufladung mit Druckluftunterstützung, VKM, TU Kaiserslautern, 2005.
- [4] Németh, H., Kristóf, G., Szente, V., Palkovics L. (2006) Advanced CFD Simulation of a Compressed Air Injection Module; Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'06), The 13th International Conference on Fluid Flow Technologies Budapest, Hungary, September 6-9, 2006.
- [5] Németh, H., Ailer, P. (2006) Turbo lag reduction for improving commercial vehicle dynamics; 10th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, November 6-8, 2006.
- [6] Németh, H., Ailer P., Palkovics, L. (2007) Diesel Engine Response Improvement by Compressed Air Charging; 11th EAEC Congress, Budapest, Hungary, May 30 - June 1, 2007.
- [7] Németh, H. (2007) Aufladung mit Luftunterstützung an NFZ-Motoren, 1er MTZ Konferenz, Ladungswechsel im Verbrennungsmotor, Stuttgart, 9-11. November 2007.
- [8] Németh, H., Palkovics, L., Hitziger, H., Gerum, E., Flierl, R. (2008) PBS, Ein neuer Ansatz zur Verbesserung des Drehmoment-verhaltens aufgeladener Dieselmotoren durch Lufteinblasen; Internationales Wiener Motorensymposium 2008, Wien, Österreich, 24-25. April 2008
- [9] Marx, M., Németh, H., Gerum, E. (2009) Improving the Torque Behaviour of Turbocharged Diesel Engines by Injecting Compressed Air / Verbesserung des Drehmomentverhaltens aufgeladener Dieselmotoren, durch Drucklufteinblasung, MTZ - Motortechnische Zeitschrift, Wiesbaden, Deutschland, 2009-6, 70. Jahrgang, pp. 472-479.

Kombinált mechatronikai komponens jóváhagyási metodika

Dr. Szalay Zsolt
egyetemi adjunktus, BME
Gépjárművek Tanszék

Miklán Attila
laboratóriumvezető mér-
nök, BME Elektronikus
Jármű és Járműirányítási
Tudásközpont

A BME EJJT keretein belül kialakított Mechatronikai Vizsgáló Laboratórium modern, nagy teljesítményű eszközökkel felszerelve végzi az egyes járműipari alkatrészek, illetve komponensek jóváhagyási célú vizsgálatát. A legmagasabb technikai színvonalon kialakított mérési körülmények megfelelnek az autóiipari elvárásoknak, a vizsgálati eljárásokat és azok végrehajtását minősített folyamatok szabályozzák.

The Mechatronics Testing Laboratory of BME EJJT is equipped with state-of-the-art, high-performance devices that perform the approval tests of automotive mechatronic components. The measurement circumstances were developed on the highest technical standards that even meet the requirements of the automotive industry. Qualified processes control the test procedures and the execution of the measurements.

BEVEZETÉS

A technológiai fejlődés eredményeként a járművekben új, összetett feladatokat ellátó intelligens részegységek jelentek meg. Ezek a mechatronikai komponensek vegyesen tartalmaznak gépészeti és elektronikai alkatrészeket, így önmagukban is összetett rendszernek tekinthetők. A többalkotós rendszer élettartam- és meghibásodási sajátosságai már nem modellezhetők a gépészetben, illetve az elektronikában megszokott módszerekkel, ezért ezek meghatározására speciális vizsgálati módszereket alkalmazunk. A mechatronikai komponensvizsgálat jellemzően valamely környezeti paraméter (hőmérséklet, páratartalom, tápfeszültség, mechanikai terhelések, elektromágneses besugárzás) változtatásával terheli az adott komponenst, miközben automatikus rendszer figyeli az előírás szerinti működést. A vizsgálat lefedi a vizsgált paraméterre megadott teljes üzemi tartományt. A vizsgálatok általában egy paraméter változtatására terjednek ki, de léteznek kombinált vizsgálatok ahol egyszerre több paraméter egy időben változtatható (pl. Agree-teszt). A mechatronikai komponensekre jellemző üzemi tartományokat az autóiipari szabványok, illetve a gyártó cég belső előírásai alapján határozzák meg.

Az ipari igényekre reagálva a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem keretein belül 2007-ben létrejött az Elektronikus Jármű- és Járműirányítási Tudásközpont Mechatronikai Vizsgáló Laboratóriuma. A vizsgálólaboratórium eredeti célkitűzése szerint a járműiparra koncentrálna végez tudásintenzív mechatronikai vizsgálatokat; a kisméretű elektronikai alkatrészekről kezdve a személy- és haszongépjármű mechatronikus komponensein keresztül egészen a nagyméretű vasúti részegységekig. A laboratóriumi eszközök kiválasztásánál kiemelt szempont volt a nagyméretű alkatrészek vizsgálatának lehetősége, illetve a kombinált vizsgálatok (pl. Agree-teszt) végrehajtása. Minden vizsgálóeszköz alkalmas ún. aktív tesztek elvégzésére is, ahol a vizsgálat teljes időtartama alatt a mechatronikai alkatrész folyamatosan működtethető.

ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI FOLYAMATOK ÉS ELJÁRÁSOK

Az autóiipari követelmények nemcsak a komponensekre vonatkozóan, hanem a vizsgálati eszközökre, eljárásokra és folyamatokra vonatkozóan is szigorú előírásokat fogalmaznak meg. A vizsgálatok előírás szerinti végrehajtásához elengedhetetlen a megfelelő eszközpark, a szabványok ismerete, valamint a jól definiált folyamat alapú működés.

Az EJJT mechatronikai vizsgálólaboratórium számos autóiipari szabvány szerinti mérésre alkalmas eszközparkkal rendelkezik. Az egyes eszközökre alkalmazható vizsgálati szabványokat a készülékek ismertetésénél részletesen bemutatjuk. Az eddigi gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott szabványok:

- sóködkamrás mérések: ISO6988, DIN50018, ISO9227, JIS D00203, JIS D 0205, SES N3133
- rázóhengeres mérések: EN61373 / IEC61373
- hősokk-kamrás mérések: DIN50016, „Bosch Norm” N42AP

A vizsgálólaboratóriumban olyan eljárásrendet dolgoztunk ki, ami megfelel az autóiipari jóváhagyási követelményeknek. A vizsgálólaboratórium kidolgozta az ISO9001 előírásainak megfelelő folyamat alapú eljárásrendet és folyamatban van az ISO17025 szerinti akkreditációs eljárás előkészítése is.

A mechatronikai vizsgálólaboratórium felszerelésének főbb elemei a klímakamra, a hősokk-kamra, a rázóhenger és a sóködkamra. A mérésekhez használt segédberendezések a LIN, CAN és FlexRay próbapadok és hálózatszimulátorok, a Gutmann, illetve Bosch járműgyártó független diagnosztikai műszerek, az ESD újraforrasztó-állomás, a sztereo mikroszkóp és az infravörös tartományban működő thermokamera.

A BME EJJT Mechatronikai Vizsgáló Laboratóriumában jelenleg végzett vizsgálatok két nagy csoportba sorolhatók:

- élettartam-, illetve tartóssági vizsgálatok,
- funkcionális, működési vizsgálatok.

Az élettartam-, illetve tartóssági vizsgálatokra legtöbbször gazdasági, ritkábban biztonsági megfontolásból van szükség. A mérés során több komponenst vizsgálunk egyszerre, egymással párhuzamosan. Aktív tesztek esetén a minták folyamatosan működnek a tesztkörnyezetben, míg passzív tesztek esetén csak a tesztek befejezését követően kerül sor a működőképesség ellenőrzésére. A mérés során tapasztalt meghibásodások alapján lehet az élettartam-szórás képek statisztikai értékelését elvégezni. A gyorsított élettartam-vizsgálatok során a vibráció, a hőmérséklet (-változás), a páratartalom és a sópermet okozta igénybevételek, valamint ezek kombinációinak hatása vizsgálható. A vizsgálatok legnagyobb része valamely szabvány szerint történik az autóiipari alkatrészekre vonatkozó, kötelező jellegű eljárásokat alkalmazva a szabványban lefektetett paraméterek alapján. A mérés végén az alkatrész használhatóságát, illetve a károsodás mértékét vizsgáljuk és a gyártó szükség szerint változtat a konstrukción, az anyagösszetételén vagy a gyártástechnológián. A már létező szabványokon kívül lehetőség van

VIZSGÁLATTÍPUSOK ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

újabb módszerek akkreditálására, így folyamatosan bővül a vizsgálóberendezések alkalmazási területe.

A funkcionalitásvizsgálatok keretében az alkatrészek működését elemző, átfogó mérések történnek. A mérés célja az alkatrész működésében a környezeti terhelések hatására bekövetkező változások felderítése. Az eredmények alapján elvégezhetők a szükséges konstrukciós módosítások, illetve meghatározható az alkatrész alkalmazhatóságának határa.

A funkcionális vizsgálatokhoz a teljes járműves környezetet szimulálni kell, ezt a CAN-szimulátor és különböző jelgenerátorok segítségével lehet biztosítani.

A vizsgálatok kapcsolódhatnak már kész termékek jóváhagyás célú ellenőrzéséhez, de egyre nagyobb szerepet kapnak a nagy hozzáadott értékű termékfejlesztést támogató vizsgálatok (Design for Quality).

A mechatronikai vizsgálólaboratórium működését az ISO9001 szabványban rögzített előírásoknak megfelelően kialakított folyamatok irányítják. A folyamatleírás a vevői megkereséstől kezdve a jegyzőkönyv átadásáig, illetve a teljesítésigazolás átvételéig részletesen meghatározza az egyes lépéseket. A teljes folyamatban a mérések végrehajtásának szabályozása külön alfolyamatként jelenik meg. Az egyes vizsgálatokat a részletesen kidolgozott mérési utasításokban leírtak szerint kell végrehajtani. A folyamat szerint minden újonnan jelentkező mérési feladatra első lépésként kell kidolgozni a mérési utasítást. Ezzel biztosítható, hogy minden mérés pontosan definiált lépések szerint történjen, ami a mérés reprodukálhatósága és az eredmények kiértékelése szempontjából alapvető fontosságú.

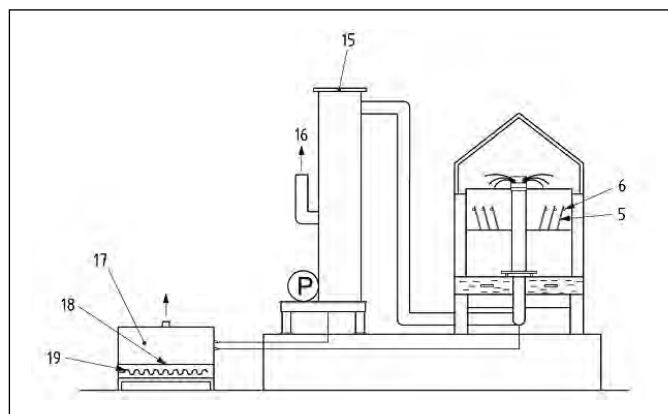
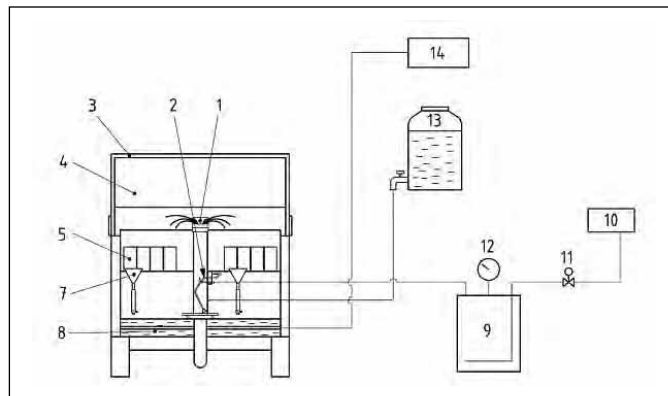
Minden folyamatlépésnek kijelölt felelőse és vele együttműködő partnerei vannak. A folyamatleírás részletesen megadja az egyes lépésekhez tartozó be- és kimeneti dokumentumokat is. Fontosabb dokumentumok például a részletes vevői igénylista (RI), az árajánlat (AA), a megkötött szerződés (SZ), a mérési utasítás (MU), a minták átadását-átvételét igazoló dokumentumok (AV), a mérési jegyzőkönyv (MJ) valamint a teljesítésigazolás (TI). A vizsgálatok technikai kivitelezésével párhuzamosan fut a BME adminisztrációs rendszeréhez igazított pénzügyi alfolyamat, mely biztosítja a pénzügyek előírás szerű kezelését és dokumentálását.



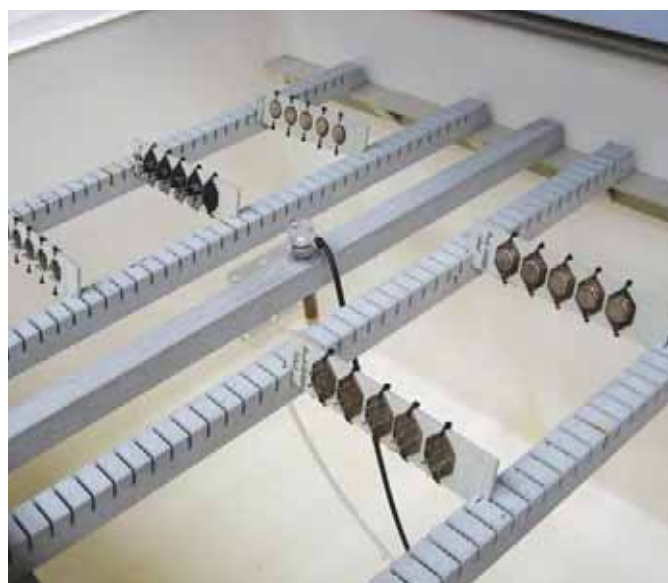
1. és 2. ábra: a mechatronikai vizsgálólaboratórium működését leíró főfolyamat lépései

Korrózióvizsgálatok

A vizsgálatok célja az alkatrészek gyorsított korróziójának szimulációja. Az alkatrészeket a szabványban megadott ideig kell tárolni, pontosan meghatározott összetételű sós vízpára előírt adagolása mellett. Az alkatrészek elhelyezését a szabvány definiálja. Az alkatrészek vizsgálat előtti és utáni állapotát a vizsgálati jegyzőkönyvben fényképekkel dokumentáljuk.



3. és 4. ábra: sóködkamra vázlata, elől- és oldalnézet: 1–szórófej, 2–porlasztó, 3–fedél, 4–vizsgálókamra, 5–a vizsgált alkatrészek, 6–alkatrésztartók, 7–lecsapódásgyűjtők, 8–kamra, 9–légnedvesítő, 10–kompresszor, 11–mágnesszelep, 12–nyomásmérő, 13–oldattartály, 14–hőmérséklet-érzékelő, 15–kifolyó tároló, 16–szellőző, 17–száraztároló, 18–sópárna, 19–fűtés



5. ábra: sóködkamrában elhelyezett alkatrészek

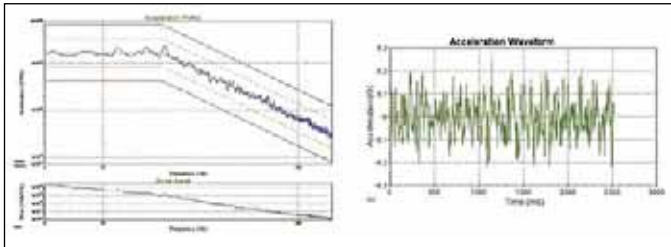
Vibrációs vizsgálatok

Az IEC 61373 szabvány szerint végzett rázóvizsgálatok során a járműben jellemző mechanikai terhelésnek tesszük ki az alkatrészt. A szabványban előírt lépések a gyorsulásspektrummal megadott folyamatos terhelést és hirtelen jelentkező, rövid idejű impulzusokat tartalmaznak.

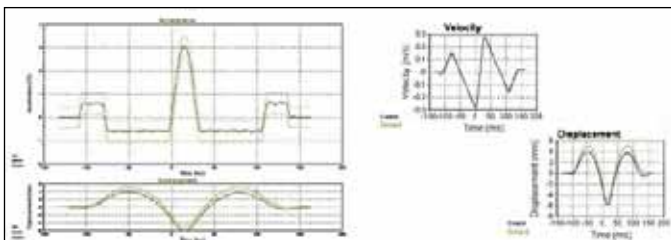
A vizsgálati jegyzőkönyv a tesztelrendezés mellett bemutatja a valódi (érzékelővel visszamért) gyorsulásspektrumot, a rázóhengert meghajtó impulzussorozat idő- és frekvenciafüggvényét, valamint a mért mennyiségekből számított RMS-értékeket. A vizsgálati technológia alkalmas a különböző valós körülmények (például motortér-vibráció, városi és városon kívüli vagy autópálya-üzemben, stb.) laboratóriumban történő reprodukálására, az előzetesen felvett vibrációs profilok alapján. A vibrációs profilokból adatbázis készíthető, mely lehetővé teszi a teszt típusok beazonosítását és flexibilis kiválasztását.



6. ábra: rázóhengerre szerelt pneumatikus alkatrész



7. ábra: gyorsulásspektrummal adott terhelés jellemző ábrái (gyorsulásdiagramok)

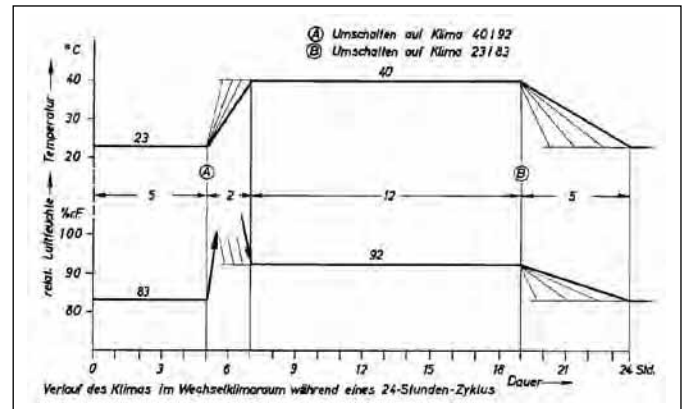


8. ábra: shock-vizsgálat jellemző ábrái (elmozdulás-, sebesség- és gyorsulásdiagramok)

Hőszokk vizsgálatok

A hőszokk vizsgálatok során az alkatrész hirtelen hőmérséklet-változások okozta igénybevétel elleni ellenálló képességét vizsgáljuk. A hőszokk-kamra felső kamrája fűthető, az alsó kamra hűthető vagy fűthető. A két kamrában az alkatrész szempontjából szélsőségesen magas, illetve alacsony hőmérsékleteket beállítva és a vizsgálandó alkatrészt az egyik kamrából a másik kamrába rövid

idő alatt (<10 s) átemelve az alkatrészt termikus fárasztásnak lehet kiténi. Az egyes szabványokban megadott hőprofil részletesen tartalmazza a vizsgálat paramétereit, például a DIN50016 szerinti vizsgálat hőprofilját az alábbi ábra mutatja:



9. ábra: szabványban megadott hőszokk vizsgálati paraméterek

Klimatikus (hőmérséklet és páratartalom) vizsgálatok

A klimatikus vizsgálatok során az alkatrészt hőkamrában elhelyezve programozottan lehet annak hőmérsékletét és a környező levegő páratartalmát szabályozni.

Az egyes programlépésekben az összetartozó hőmérséklet- és páratartalom-értékeket, valamint az adott állapot elérésének módját kell megadni (adott idő alatt, teljes sebességgel stb.), a kamra a memóriájában tárolt lépéseket automatikusan végrehajtja. Ezzel a módszerrel hosszú idejű, extrém környezeti hatásokat tartalmazó teszteknek lehet az alkatrészt kiténi.

A kamra viszonylag gyorsan képes a légterének hőmérsékletét változtatni (10°/perc), de az itt végzett vizsgálatoknál általában az alkatrész hőmérsékletének változtatása a cél, ezért az egyes lépések között megfelelő időt kell hagyni a teljes alkatrész hőmérsékletének beállítására.



10. ábra: hőkamrában elhelyezett alkatrész

Kombinált vizsgálatok (hőmérséklet+pára+rázás egyszerre)

Az ún. „Agree Test” során a vizsgált alkatrészt kombinált terhelésnek tesszük ki. A tesztet eredetileg katonai alkalmazások vizsgálatára fejlesztették ki. Az ANYVIB 1200-10 hőkamrát a TV 5500 LS rázóhengerrel kombinálva az EJJT Mechatronikai Vizsgáló Laboratóriumban is végrehajthatók Agree-tesztek. Az alkatrészt egyidejűleg erő klimatikus (hőmérséklet és páratartalom) és mechanikus terhelés (vibráció) megsokszorozza az igénybevételt, így

segítségével hatékonyan vizsgálhatók a bekövetkező elhasználódási és öregedési folyamatok.

A LABORATÓRIUMBAN TALÁLHATÓ VIZSGÁLÓBERENDEZÉSEK

TV 5500 LS rázóhenger

A rázóhenger segítségével az alkatrészeket különböző frekvenciájú és amplitúdójú függvény szerint lehet vibrációs fárasztásnak kitenni. Lehetőség van sokkteszt végrehajtására, illetve a pulzator elforgatásával a függőleges tengelyhez képest akár 90°-ban történő mérésre.

- Maximális terhelhetőség: 54 kg
- Maximum löket: 50,8 mm
- Működési frekvencia: DC – 3000 Hz
- Legnagyobb erők: 4000 N (szinusz), 4000 N (random), 8000 N (sokk)
- Össztömeg: 750 kg



11. ábra a TV5500 LS rázóhenger

CST320 / 2T hőszokk-kamra

- Méretek: 700×700×650 mm
- Hőmérséklet-tartomány: felső kamrában: +70 °C ... +220 °C, alsó kamrában: +60 °C ... -80 °C
- Hőmérséklet-pontosság: ±1 °C
- Kosár mérete: 320 liter
- Kosár mozgatási ideje: <10 s

A kamrával elvégezhető szabványos vizsgálatok: JESD22-A104-B; MIL-STD 883G; MIL-STD 202F; MIL-STD 810D



12. ábra: a CST320 / 2T hőszokk-kamra

ANYVIB 1200-10 hőkamra

- Méretek: 1000×1090×1130 mm
- Hőmérséklet-tartomány: -75 °C ... +180 °C
- Hőmérséklet-pontosság: ±0,1 °C ... ±0,8 °C
- Hőmérséklet-változási sebesség: 10 °C/min
- Nedvességtartomány: 10% ... 98%
- Kombinálható: TV 5500 LS rázópaddal



13. ábra: az ANYVIB 1200-10 hőkamra

A kamrával elvégezhető szabványos vizsgálatok: BS 2011; DIN 40046; DIN 50014; DIN 50016; IEC 60068; IEC 60721; MIL-E-5272; MIL-STD-202; MIL-STD-331; MIL-STD-750; MIL-STD-810; MIL-STD-883; MIL-T-5422; VG95210; VG 95332

SHEEN FMS-1000 sóködkamra

- Méretek: 1120×780×935 mm
- Névleges kapacitás: 1000 liter
- Vizsgálati mód: ciklikusan programozható
- Hőmérséklet-tartomány: környezeti ... +60 °C



14. ábra: a Sheen FMS-1000 sóködkamra

A kamrával elvégezhető szabványos vizsgálatok: DIN 50021; GS95003-4; MIL-STD 202; MIL-STD 750; MIL-STD 810; JIS-H-8502 1.4; IEC 60068-2; ISO 3768; ISO 3769; ISO 3770; ISO 7253; ISO 9227; DIN 50017; DIN 50018; DIN 50016; DIN 70040

LIN / CAN / FlexRay próbapad és szimuláció

Az EJJT mechatronikai vizsgálólaboratórium valódi járműkomponensekből felépített próbapadokkal rendelkezik a LIN és a CAN kommunikáció vizsgálatára, illetve többszintű szimuláció végrehajtására képes CAN és FlexRay hálózatokban. A Vector CANoe eszközrendszer kiegészítve a megfelelő interfészekkel lehetőséget teremt komplex CAN-hálózatok szimulációjára, valódi CAN, illetve FlexRay üzenetek generálására és szabványos üzenetsomagok előállítására. A szimulált hálózaton hibákat lehet generálni és azok hatását vizsgálni.

Az Inventure WeCAN eszközzel a CAN-hálózatok működését lehet hatékonyan elemezni, vagy a járművek CAN kommunikációját lehet laboratóriumi körülmények között reprodukálni.

- Alkalmazási területek: reziduális Busz Szimuláció, CAN kommunikáció hibatűrő képességének elemzése
- ECU-szimulációk: CAN-üzenetek generálása (funkcionális tesztek), saját CAN-kommunikációs eszközök fejlesztésének támogatása, CAN-busz analízis



15. ábra: CAN-próbapad

ESD újraforrasztó állomás

Kamerával és mikrométer pontosságú ($\pm 10 \mu\text{m}$) mozgatómechanizmussal felszerelt BGA forrasztó, kiforrasztó és újraforrasztó-állomás. A vezérlőprogramban tetszőleges hőprofil beállítható. Kombinálható az Olympus az SZT-61 mikroszkóppal.

- Alkalmazási területek: integrált áramkörök, vezérlőegység-alkatrészek újraforrasztása-javítása, forrasztások minőségének ellenőrzése



16. ábra: ESD-védett újraforrasztó állomás

OLYMPUS SZT-61 mikroszkóp

Trinokuláris zoom sztereomikroszkóp ESD (elektrosztatikus kisülés) elleni védelemmel, 0,67x–4,5x nagyítási tartománnyal, 6,7:1 zoom aránnyal, FN 22, 45° döntésű beépített trinokuláris tubus, beépített 0,5x c-menetes adapterrel. Legfeljebb 2 kg tömegű kamerák csatlakoztathatóak; munkatávolság: 110 mm, beállítható felső és alsó zoom határolóval, 52 és 76 mm között állítható szemtávolsággal.

GUTMANN MEGAMACS55 járműdiagnosztikai állomás

Komplex diagnosztikai eszköz a járművekben alkalmazott intelligens vezérlőrendszerek (fékrendszer, hajtáslánc, kényelmi berendezések stb.) soros diagnosztizálására.

- Alkalmazási területek: járműdiagnosztikai mérések, CAN üzenetek kiolvasása, törlése, OBD, EOBD, WPM kommunikáció, ECU programozása, ajtózárok, központi zárok programozása (immobiliser), beépített oscilloszkóp.

Bosch KTS 570 járműdiagnosztikai és környezetvédelmi tesztter

- Adatátviteli rendszer tulajdonságai: Bluetooth kapcsolat, 100 m-es hatótáv
- OBD illesztési lehetőségek: K és L vonal, SAE és CAN
- Illesztett modulok: ESI[tronic] műhelyszoftver, váltóadapter egység

THERMOVISION SC 4000HS termikus kamera

320x256 pixel felbontású, 430 Hz (kisablakban 48 kHz) mintavételi sebességig használható, 18 mK (InSb) érzékenységu hőkamera. Jellemző alkalmazási területe: alkatrészek hőeloszlásának megfigyelése az idő függvényében.



17. ábra: Gutmann Megamacs 55



18. ábra: Bosch KTS570



19. ábra: Thermovision SC4000HS hőkamera

- Felbontás: 320x256
- Pixelméret: 30x30 μm
- Teljes frekvenciatartomány: 1 Hz–420 Hz
- Hőmérséklet-tartomány: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hőmérséklet-pontosság: $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$

ÖSSZEFOGLALÁS

A BME EJJT keretein belül kialakított mechatronikai vizsgálólaboratóriumban modern, nagy teljesítményű eszközökkel végezzük az egyes járműipari alkatrészek, vagy akár teljes részegységek összetett vizsgálatát. A legmagasabb technikai színvonalon kialakított mérési körülmények megfelelnek a hatályos előírásoknak, a vizsgálati eljárások és folyamatok ISO előírások szerint szabályozottak. A vizsgálatok eredménye segít a járműalkatrész élettartamának megtervezésében, a várható meghibásodások és az élettartam előzetes megbecsülésében. Az eredmények alapján optimalizálható a konstrukció, az anyagösszetétel vagy a gyártástechnológia.

Önerősítő mechanizmusok fejlesztése fékrendszerekhez

Balogh Levente

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Dr. Németh Huba

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont egyik megvalósíthatósági tanulmányaként folytatott projekt 3 éves fejlesztési ideje alatt több koncepció szerinti önerősítő elektromechanikus kerékfék-prototípus került megvalósításra. E folyamat mentén elkészült a rendszer szimulációja, a fékmechanizmus és az integrált elektronikai komponensek. A rendszerhez szabályzó készült, melynek tesztelése mind szimulációs, mind pedig valós környezetben megtörtént.

During the development of an Advanced Vehicle and Vehicle dynamic Control knowledge Center feasibility study, the prototypes of the self-energised electro-mechanic brake wheel-end have been realised based on several concepts. It means that the system simulation, the brake mechanism and the integrated electrical components have been prepared. A controller has been built up for the system which has been tested and verified both in software and hardware in the loop environment.

BEVEZETÉS

Az elektronikai rendszerek terjedése gépjárműveinkben egyértelmű tendencia napjainkban. Mindezt a biztonság növelése és a járműrendszerek méretének és költségeinek csökkentése indokolja. Ugyanakkor a fékrendszerek esetében a hidraulikus vagy pneumatikus működtetés elektronikus rendszerrel való kiváltása problémát jelenthet a nagy energiaszükséglet miatt. További kérdések merülnek fel, mint a 42 V-os elektromos hálózat, magas áramszükséglet, elektromágneses sugárzás. Tipikusan a fékrendszer az egyik fő terület, ahol hangsúlyosan jelennek meg az újabb alkalmazások.

A beavatkozási erő csökkentésének egyik lehetősége az önerősítő hatás beépítése a fékrendszerekbe. Az önerősítő fékrendszer vizsgálatához egy – a súrlódási viselkedést részletesen leíró – mechanikai modell megalkotása szükséges. Az eredmények figyelembevételével a megvalósítható konstrukció kiválasztása és a prototípus megtervezése lehet a következő lépés. Majd pedig a prototípuson végzett mérések segítségével validált modell alapján a szabályzót kell megtervezni. Végül a rendszer két szinten verifikálható:

- A mintát és környezetét szoftveresen szimulálva
- A prototípus mintán, annak környezetét szimulálva.

KONCEPCIÓ

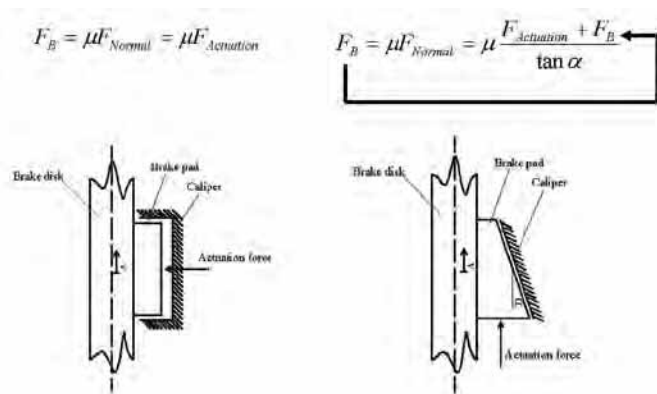
Az ék már az ősidőkben ismertté vált mint egyszerű gép. Segítségével egy nagy úton megvalósult kis erejű munkát rövid, nagy

erejű munkavégzéssé transzformálhatunk. Különös érdekessége a menetes orsóknál is kihasznált önzárási hajlam, amely alapvetően az ék szögének tangense és az egymáson elcsúszó felületek súrlódási együtthatója aránya szerint alakul.

Tárcsafékek esetében a tárcsa – valamint az általa közvetített további elemek – mozgási energiáját kell egy, a mozgásra merőleges irányú erővel súrlódási energiává alakítani. Figyelembe véve ezeket a kondíciókat, az ék számításba jöhet mint lehetséges megoldás a feladat megvalósítására. Az 1. ábra a konvencionális

Szempont	Nyomó-húzó elv	Tisztán nyomó elv
Ékszög	A súrlódási együttható arkusztangense	Nagyobb, mint a súrlódási együttható arkusztangense
Energiaigény	Alacsony	Magas
Önoldási hajlam	Külön mechanizmussal biztosítható	Biztosított
Stabilitás	Kicsi	Nagy
Érzékenység beavatkozó holtjátékra	Nagy	Kicsi
Érzékenység a beavatkozó hatásokra	Nagy	Kicsi

1. táblázat: az önerősítés elvi megvalósításának hatásai



1. ábra: a hagyományos és az önerősített ékfék működése

Szempont	Tárcsával párhuzamos	Ékkel párhuzamos	Tárcsára merőleges
Írányíthatóság	Teljes	Teljes	Részleges
Belső súrlódás	Nagy	Közepes	Kicsi
Önoldási hajlam	Kicsi	Nagyobb	Legnagyobb
A beavatkozás iránya a tárcsaforgás irányától	Függ	Függ	Nem függ
Fékerő álló tárcsánál	Kicsi	Közepes	Nagy
Érzékenység a beavatkozó hatásokra	Közepes	Kicsi	Nagy

2. táblázat: a beavatkozás irányítottságának hatásai

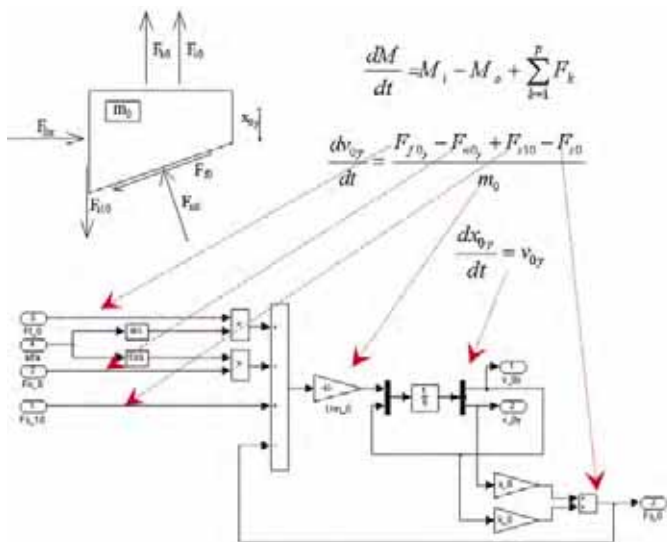
és az önerősített fék működését mutatja be. Jól kivehető, hogy ez utóbbi esetében a tárcsát összeszorító erő nagy része – az ék segítségével – magából a fékező súrlódó erőből keletkezik. Mindez azt jelenti, hogy az eldisszipálendő mozgási energiát használjuk fel fékezési energiaként.

A konstrukció szempontjából két fontos területet kell figyelembe venni, melyeknek döntő hatása van a mechanizmus működésére. Egyrészt az önerősítés mértékét meghatározó ékszög kiválasztásakor kell az egyes – 1. táblázatban foglalt – hatások optimauma szerint eljárni. [1]

Másrészt a kisebb energiaigényű, szabályozó beavatkozás irányítottasága eredményez viselkedésbeli eltéréseket, ahogy a 2. táblázat is mutatja.

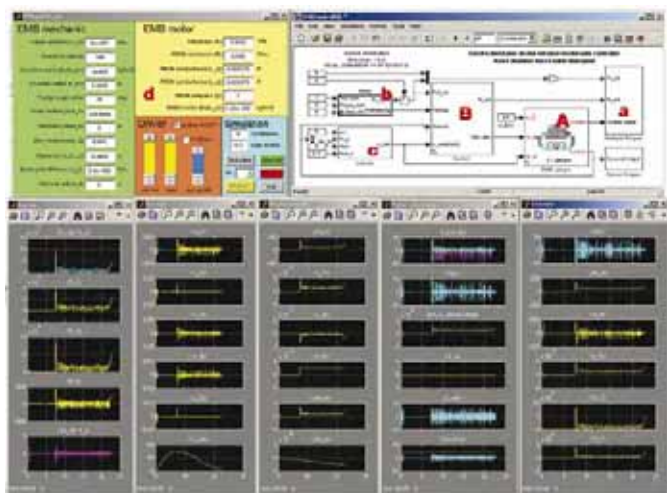
SZIMULÁCIÓS MODELL

Az önerősítő mechanizmus dinamikai egyenleteinek felhasználásával a rendszer komponensei könnyen leírhatóak az erre alkalmas Matlab/Simulink szimulációs környezetben. Az egyenletek felírását és az implementáció metódusát a 2. ábra az ék mint komponens példáján mutatja be.



2. ábra: a szimulációs modell felépítése

A szenzorokat és beavatkozókat tartalmazó EMB modell (A) implementálása után, azt a szabályzóval (B) kell összekötni az előre definiált csatlakozási pontok (interfész) segítségével.



3. ábra: az önerősítő fék szimulációja

Hogy igazán hasznos eszközt készítsünk, néhány kiegészítő blokkot is szükséges lehet az eddigiekhez adni:

- Az eredmények megjelenítésére diagramokat csatlakoztathatunk a külső és belső változókhoz (a)
- Az időben lefutó kívánt fékerőfüggvényt elő kell állítani az erre alkalmas jelgeneráló blokkban (b)
- A teljesebb környezeti visszahatás érdekében egy egyszerű járműmodell segítségével állítható elő a keréke sebesség (c)
- A bemenetek és a paraméterek a grafikus kezelői felületen keresztül módosíthatóak (d)

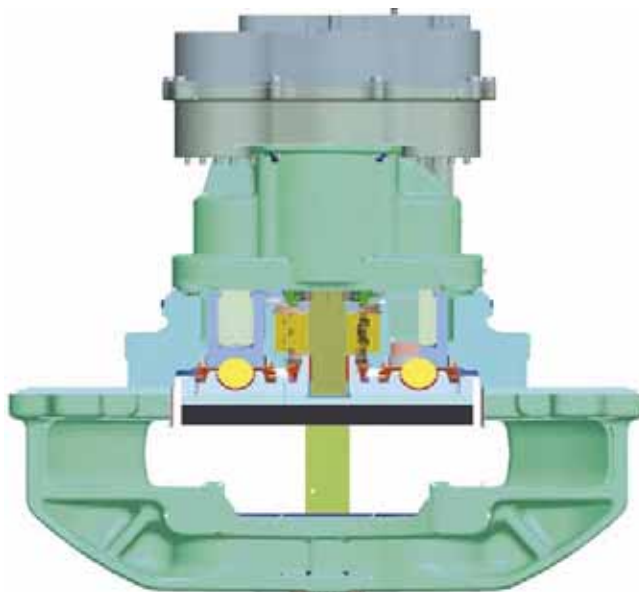
A felépített szimuláció a 3. ábrán látható.

PROTOTÍPUS

Néhány koncepció vizsgálata után az excentrikusan hajtott koncepció [2] került megvalósításra. Ez a koncepció nem tartalmaz vészönoldó mechanizmust, az ékszög 26° . Ez azt jelenti, hogy a fék oldódik – legalábbis részlegesen – amennyiben az energiaellátás megszűnik. A kiegészítő funkciók és tervezési feladatok a következők:

- Automatikus utánállító, melynél a hajtás – mechanikus kuplunggal – kapcsolható át a forgattyúról az orsóra
- Osztott hajtómű elektromechanikus tengelykapcsolóval kapcsolva mind az excenter, mind az orsók számára
- Orsókön keresztül megvalósított parkolófék funkció
- Integrált bolygódmű, motor- és végfok-elektronika a féknyeregben. Járműre szerelhetőséget biztosító kompakt tokozás, külső szabályzás.

A prototípus terv a 4. ábrán látható.



4. ábra: az önerősítő fék prototípusa

Az orsók tekintetében két verzió készült el, melyek a menetirány szerint bal és jobb oldalra szerelhetőek a járművön. E két külön verzió azért szükséges, hogy az excenter és az orsók forgási iránya szinkronban legyen a jármű előrehaladásának irányával.

Az elektromos motor integrálva van a féknyeregben. Ez a beavatkozó egy kefe nélküli, állandó mágneses gerjesztésű szinkrongép, melyre nagy energiasűrűség és mágneses fluxus jellemző. Az elektronikus kommutáláshoz a keféket enkóder helyettesíti.

SZABÁLYZÓ

Három kontroll stratégiát vizsgáltunk meg a szabályozási cél szempontjából. A feladat és a megvalósíthatóság figyelembe

vételével a kiválasztott metódus a következő kritériumok szerint került meghatározásra:

- Alkalmazhatóság nemlineáris rendszerekre
- A szabályzónak robusztusnak kell lennie a modell bizonytalanságaira és paraméterváltozásaira
- Alacsony számítási igény.

PID: Ezt a kontrollt lineáris rendszerekre alkalmazzák. Nemlineáris esetben a robusztusság nem garantált. Ezzel szemben a számítási igénye alacsonyabb más lineáris és nemlineáris szabályzókhoz képest.

LQ szervo: az LQ szervo egy kiegészített változata az LQ (Lineáris négyzetes) kontrollnak. Ez a szabályzó a be- és kimenő energia minimuma alapján ad optimális visszacsatolást, így a bemeneti energiát kell figyelembe venni a tervezés során. Az LQ szervo alkalmas speciális nemlineáris és robusztus lineáris modellekhez. Számítási igénye a PID-val hasonló mértékű. Ugyanakkor a nem mért állapotok meghatározásához szükséges becslők jelentősen megnövelik a számítási igényt.

SMC: A csúszó mód szabályzó a rendszer mozgását robusztussá teszi még változó paraméterek, nem modellezett dinamikák és külső zavarások mellett is. Ráadásul a technológia hatékony szabályozást tesz lehetővé lineáris és nemlineáris rendszerekre. Másik megkülönböztető jegye a modell rangjának csökkenthetősége, mely lehetőséget ad az egyszerűsítésre és szétcsatolásra. A számítási igény azonban nagyobb, mint az előző esetekben.

Összefoglalva a csúszó mód szabályzást választottuk, mivel biztosítja a robusztusságot, kezeli a nemlinearitásokat, és elfogadható a számítási igénye.

A paraméterérzékenységen túl a rendszer hibrid viselkedésének kezelése is a szabályzó feladata. Azonban a következő (1) és (2) szerinti egyszerűsítést alkalmazva, a pofa felfektetés alatti pozíciószabályozás és a tárcsa érintése utáni erőszabályozás megvalósítható ugyanazon SMC-kivitelezéssel.

$$\dot{F}_{n2} = \frac{d}{dt} \left(s_0 \left(\frac{h}{2 \cdot j \cdot \pi} x_a - x_{2,yc} \right) \right) = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \dot{x}_a =$$

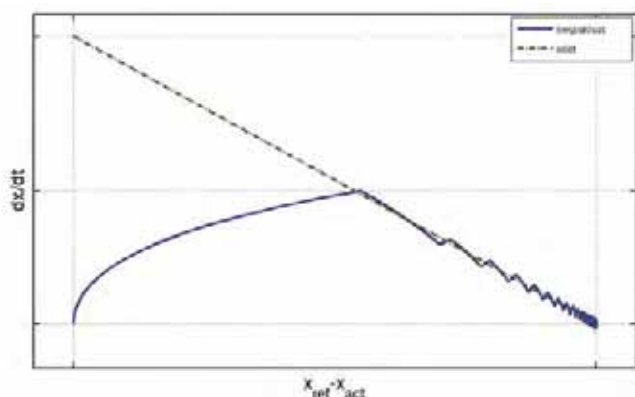
$$\frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot v_a = C \cdot v_a \quad (1)$$

$$\ddot{F}_{n2} = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \ddot{x}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot \dot{v}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) =$$

$$C \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) \quad (2)$$

A stabilitás a helyes csúszófelület kiválasztásával biztosítható. A szabály, hogy a (3) egyenlet a paraméterének negatívnak kell lennie.

$$\sigma = \dot{F}_{n2} + a \cdot (F_{n2d} - F_{n2}) \quad (3)$$

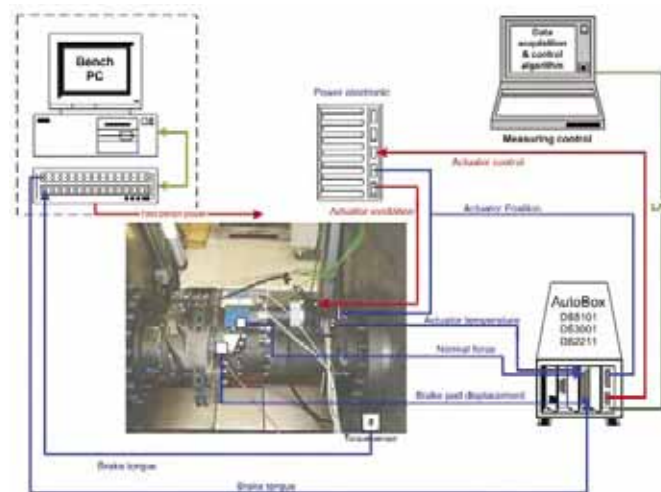


5. ábra: a sebesség trajektória futása a csúszófelületen

Az a paraméter helyes meghatározásával [3] a szabályozott változó gradiense az előírt görbét fogja követni, ahogy az 5. ábra is mutatja. Ez a görbe a szabályozott változó kívánt és az aktuális értékek különbségének függvénye.

VERIFIKÁCIÓS TESZTEK

Az önerősítő fékprototípust kétféle tesztpadon teszteltük. A szabályzó beállításához és a hosszabb idejű fékezésekhez egy ún. cyclo padot használtunk, amely nagyobb nyomatékot biztosít a féknyomaték maximumánál, de alacsony sebesség mellett. A dinamikus tesztekhez lendkerekes fékpadra telepítettük a mintát. Az integrált szenzorokon kívül a féknyomatékot, kiegészítő elmozdulásokat és hőmérsékleteket mértünk. Az adatgyűjtés és a szabályzó gyors szabályzó implementálása dSpace AutoBox segítségével valósult meg. A mérőrendszer a 6. ábrán látható.



6. ábra: mérőrendszer

A 3. táblázat a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítását mutatja. Az első 4 értéket a specifikációhoz, az ötödiket a kívánt erőhöz, míg az utolsót a pneumatikus rendszerhez normáltuk. Jól látható, hogy az elektromechanikus hajtás rosszabb a gyorsítási fázisokban (felfektetés, irányváltás). Ez a mozgó komponensek rájuk ható erőhöz képest relatív nagy tehetlensége miatt adódik így. Ugyanakkor az állandó sebességű részekben konstans gradiens biztosítható az önerősített fékkel. Ez magyarázza a gyors erőfelfutást és -lefutást. A sebesség azért nem csökken a növekvő terhelés hatására, mert az önerősítési jelenség kompenzálja azt.

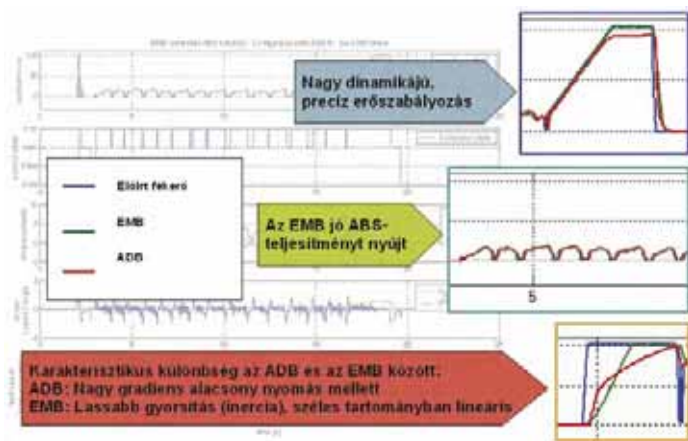
	Légfék	Önerősítő fék
Felfektetési idő	166%	233%
Erőfelfutás 90%-ra	288%	84,6%
Erőlefutás 10%-ra	307%	56,5%
Irányváltási idő	70%	140%
Pontosság	13,6%	7,1%
Energiafogyasztás	100%	9,3%

3. táblázat: a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítása

A megnövekedett pontosság az integrált elektronikának, jelfeldolgozásnak és az erőmérő szenzoroknak köszönhető. Ugyanakkor az elektromos motor nagy pontossága és fokozatmentes beavatkozása is előny a pontosság szempontjából.

Végül a várt beavatkozási energiacsökkentés könnyen bizonyítható, ha két rendszer energiafogyasztását összehasonlítjuk az utolsó sorban. Noha az elektromechanikus fék relatíve jelentős energiát használ fel a fék oldása alatt is, ez az energia messze alacsonyabb, mint a hagyományos féknyereg esetében.

A 7. ábra az előbb említett karakterisztikus különbségeket emeli ki.



7. ábra: a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítása

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont önerősítő fék projektjének három éve alatt a definiált célokat elértük. A teória várt előnyei bizonyítást nyertek, és megállapítható, hogy az ehhez hasonló elektromechanikus fékek a jövő fékrendszer fejlesztésének irányába mutatnak. Noha a prototípusnak vannak hátrányos tulajdonságai a hagyományos rendszerhez képest, a jövőbeli fejlesztések bizonyára megoldják ezeket is. Számítani lehet arra, hogy az önerősítő fék sorozatgyártási technológiája elkészül arra az időre, amikor az alkalmazáshoz szükséges redundáns elektromos energiaellátás kifejlesztésre kerül a teherautó-gyártásban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők és projekt résztvevői köszönetüket fejezik ki a BME EJJT 4.5-ös projekt keretében kapott támogatásért.

Irodalom

- [1] H. Hartmann, M. Schautt, A. Pascucci, and B. Gombert: eBrake – the mechatronic wedge brake In: SAE Paper 2002-01-2582
- [2] J. Baumgartner, M. Seidenschwang, D. Bieker and D. Ganzhorn: Scheibenbremse in selbstverstärkender Bauart und Ansteuerverfahren für eine selbstverstärkende Bremse DE102005030617 A1, 2006
- [3] Slotine, J.J.E., and W. Li: Applied Nonlinear Control In: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991

Aktív kormányzással támogatott ESP

Hankovszki Zoltán
PhD-hallgató, BME
Gépjárművek Tanszék

Kovács Roland
fejlesztési csoportvezető,
Knorr-Bremse
Fékrendszerek Kft.

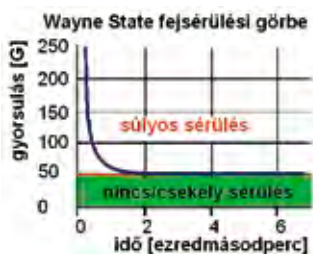
A jelenlegi fékalapú ESP-rendszerekhez képest jelentős továbblépés a kormányműves beavatkozási lehetőséggel kiegészített ESP-rendszer. Ezen opcióval a beavatkozás minősége javítható, valamint számos eddig nem kezelhető szituáció, illetve funkció is megvalósíthatóvá válik. Mindennek haszonjárműves implementálásával foglalkozunk.

The actual fundamental actuators of the ESP systems are the braking units. The next milestone is the active steering enhanced ESP. With this new option, a higher quality of interventions can be ensured, and a lot of situations and functions will be achievable. In this paper the commercial vehicle solutions are investigated.

AZ AKTÍV BIZTONSÁGRÓL ÁLTALÁBAN

Napjainkban a közlekedés soha nem látott méreteket ölt. Az egy konszern által egy évben eladott autók száma 1978 óta nem került megdöntésre a közelmúltig, akkor a General Motors 9,55 millió darab eladott járművel állította be az abszolút csúcst. Ezután az eladási számok többek közt az olajválságoknak köszönhetően is estek, de manapság már az akkori szintet meghaladó számokat produkálnak ismét a gyárak, a Toyota pedig 2008-ban évi 10,4 millió eladott járművel számolhat, még ha ismét egy megtorpanásnak lehetünk szemtanúi. Ennek a volumennek jó részét a személygépjárművek teszik ki, de nem elhanyagolandók a haszongépjárművek sem.

Önmagában a közlekedésben részt vevők számának növekedése is magával vonzza a balesetek számának növekedését, de ezzel egyidejűleg az úthálózat bővítése sem tud lépést tartani a járművek számának növekedésével, így ez is tovább növeli a balesetek gyakoriságát. Ezért egyre fontosabbak a járművek biztonsági tulajdonságai. A passzív biztonsági rendszereknek azonban van fizikai korlátjuk: még ha az ütközéskori mozgási energia elnyelését meg is lehetne oldani technikailag, az emberi szervezet egy bizonyos mértékű lassulásnál nagyobbat nem képes már jelentős és maradó károsodások nélkül elviselni. Kutatások szerint maximum 50 G-s (lásd 1. ábra) gyorsulást képes tartósabban és súlyos sérülések nélkül elviselni az emberi test, optimistán számolva 0,8–1 m gyűrődő zónahosszt és konstans lassulást feltételezve ez 100–110 km/h-t jelent [1].



1. ábra: fejsérülési kockázatokat ábrázoló görbe

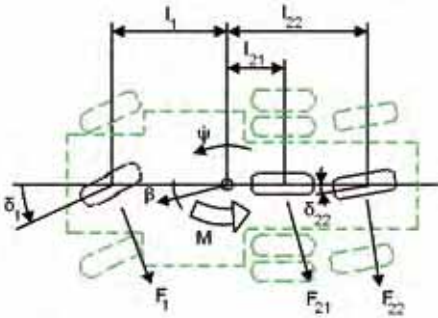
Így egy bizonyos sebesség felett önmagában a passzív biztonság már nem elegendő [1], de természetesen igyekezni kell minél magasabb szinten tartani azt így is. Az aktív biztonsági rendszerek egyik első megjelenése az ABS (anti-lock braking system) volt [2]. Fékezéskor az ABS megakadályozza a kerekek blokkolását, ezáltal biztosítva a jármű irányíthatóságát az utolsó métereken is, valamint optimális körülmények között jó eséllyel csökkentve ezzel a fékutat is.

Haszonjárműveket vizsgálva az aktív biztonság még fokozottabb jelentőséget kap. Egy nyerges vontatóval ellátott járműszerelvénnyel összefüggésben már akár több mint negyvenszerese is lehet egy személygépkocsiénak, súlypontja jóval magasabban helyezkedik el, valamint a vontatmány csuklóval való kapcsolata a vontatóval is fontos tényező. Jelentkeznek olyan mozgások is, amik egy személygépjármű esetén nem állnak fent: lehetséges az úgynevezett „bebicskázás”, amikor a csukló körül az együttes összecsuklik, továbbá a vontatmány oszcillációja léphet fel, valamint nagyobb az esélye a borulásos baleseteknek, sokkal nehezebben akadályozható meg egy kisodródás, és bekövetkezhet hirtelen farolás is [3]. Ezek megakadályozása nehezebb, mint négykerekű társaik szabályozása.

További tényként említhető a haszonjárművek esetén a használatukat ösztönző körülmények alakulása [4]. Azért is érdemes egyre nagyobb figyelmet szentelni ennek a kategóriának, mert az áruszállítás egyre nagyobb része folyik közúton. Egyre több gyár alkalmazza a „just-in-time” elvet, minek következtében gyakorlatilag az áruszállító járművek karakterei válnak a raktárakká. Tehát gazdaságilag egyre inkább megtérülő, sőt szükséges befektetéssé válik a menetdinamikai rendszerek magasabb szintre emelése. Mindezek eredményeképpen haszonjárművek esetén már elterjedtek évek óta az EBS (electronic braking system) alapú fékrendszerek [5]. Ez a rendszer elektronikus működésének köszönhetően sokkal gyorsabban képes reagálni a vezető fékigényére. Hagyományos esetben egy légfékes rendszer a fékpedál lenyomásakor a fékpedáltól a vontatmányok fékszerkezetéig pneumatikus úton viszi a „fékjelet”. Ez a fékjelet sajnos kompresszibilis, így terjedése jelentős idővesztéssel jár. Ezt a fékjelet elektronikus úton továbbítva kisebb késéssel juthatunk el a szükséges fékdugattyúkhoz. A helyben rendelkezésre álló nagynyomású levegőt relészelepeken keresztül vezérli a rendszer az elektronikus jelek alapján. Így módon az aktiválási idő nagymértékben csökken, könnyedén megoldható a vontatmány fékezésének előlétése, és hasonló módon egyszerűen integrálható számos új funkció a rendszerbe (ABS, TCS – traction control system, ESP – electronic stability program, CFC – coupling force control, RSP – roll stability program stb.).

AKTÍV KORMÁNYZÁSSAL TÁMOGATOTT ESP

A jelenleg forgalomban lévő haszongépjárműves elektronikus menetstabilizáló rendszerek (ESP) mind fék alapú beavatkozást végeznek. Ennek lényege a jármű egyik kerekének (illetve jármű-együttes esetén a pótkocsi összes kerekének) fékezésével elért perdítónyomaték generálása [3], 2. ábra, (3–5), 1. táblázat. Az ábrán egy ún. biciklimodell látható, az oldalirányú dinamikai egyenletek felírása is erre épül. Ez egy virtuális egynyomú modell, melyhez a felírt egyenletek linearizálás útján keletkeznek.



2. ábra: háromtengelyes vontató biciklimodellje

$$a_y = m \cdot v_x \cdot \left(\frac{d\beta}{dt} + \frac{d\dot{\psi}}{dt} \right) = F_1 + F_{21} + F_{22} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{v_y}{v_x} \quad (2)$$

$$J_z \cdot \frac{d\dot{\psi}}{dt} = F_1 \cdot l_1 - F_{21} \cdot l_{21} - F_{22} \cdot l_{22} + M \quad (3)$$

$$F_{ij} = c_{ij} \cdot \alpha_{ij} \quad (4)$$

$$\alpha_{ij} = -\beta + \delta_{ij} + (-1)^i \cdot \frac{l_{ij}}{v_x} \cdot \dot{\psi} \quad (5)$$

Jelölés	Jelentés
t	Idő [s]
m	Járműtömeg [kg]
a_y	Oldalgyorsulás [m/s ²]
v_x	Hosszirányú sebesség [m/s]
v_y	Oldalirányú sebesség [m/s]
β	Oldalkúszás [-]
$d\psi/dt$	Legyezési szögsebesség [rad/s]
F_{ij}	Oldalirányú erő [N]
J_z	Függ. járműinercia [kg.m ²]
l_{ij}	Tömegkp. – tengelytáv [m]
M	Korrigáló nyomaték [Nm]
c_{ij}	Oldalirányú erőátad. eh. [N/rad]
α_{ij}	Kerék oldalkúszási szög [rad]
δ_{ij}	Kormányzási szög [rad]

1. táblázat: az alkalmazott jelölések

Az előállított M nyomaték értékére felmerülhet pozitív, illetve negatív előjelű igény is a legyezési szögsebességet optimalizálандó a kialakult helyzettől függően. A jármű mozgásállapotának másik fő jellemzője az oldalgyorsulás (1–2), ennek értéke viszont általában csak negatív irányban szokott eltérni a szükségstől külső ráhatások (pl. oldalszél, nyomvályú) vagy a hátsó kerekek kanyarban való tapadásvesztése nélkül.

Az M perdítőnyomaték generálása (3) két részből tevődik össze fékező beavatkozásokkor:

- közelítéssel az aktuális nyomtáv feléből (mint erőkar) és a fékerőből álló (mint erő) szorzat által generált nyomatékból,

- valamint az aktuális tengelynek a tömegközépponttól vett távolságából és a kiesett oldalról (abban az esetben, ha a megnövekedett hosszirányú erő miatt az abroncs nem tudja az addigi nagyságú oldalról átvinni) számolt nyomatékból.

Ezek alakulása legyezési szögsebesség növelési igény esetén, együttesen növelik a szögsebességet (3), és az oldalról kiesése csökkenti az oldalgyorsulást (1). Legyezési szögsebesség csökkentési igény esetén mindkét komponens csökkenti a legyezési sebességet, és az oldalról kiesése csökkenti az oldalgyorsulást. Összefoglalva: a fékalapú beavatkozás közvetlenül segíti a járművet annak tömegközéppontja körül elfordulni, de csak közvetve az oldalirányú elmozdulását – sőt, közvetlenül még akadályozza is azt, valójában a sebesség csökkenésével éri el a rendszer ilyen szempontból a kívánt hatását. Viszont ez a sebességcsökkenés a rendszer pótolhatatlan előnye, mint a fékalapú beavatkozás legtriviálisabb jellemzője. Az aktív kormányműves beavatkozáskor a jármű lassulása elhanyagolható; ha még az egyébként erőteljesebben beavatkozó fékrendszer kezdeti beavatkozása eredménytelen is, lelassíthatja a járművet oly módon, hogy az eredményesen korrigálható legyen immár – mint közismert az oldalgyorsulása a sebességtől négyzetesen, a legyezési szögsebesség pedig lineárisan függ.

Tehát kormányműves beavatkozásokkal csak kiegészíteni szabad az aktuári optiólístát (kis eltérések esetére), leváltani nem. Ennek még jobban való megértéséhez vizsgáljuk meg a kormányműves beavatkozás hatását.

Megjegyeznénk, hogy aktív kormányműves beavatkozás esetén nem feltétlen az első kormányműre kell mint beavatkozási pontra gondolni. Haszonjárművek esetén gyakran több kormányzott tengely is található a járművön, és ezek vezérlése sok esetben már ma sem közvetlen megoldás. Ilyetén e tengelyek kormányzásának vezérlése egyszerűen megoldható, és a meghibásodás következményei sem olyan súlyosak, mint az első tengely esetén.

Visszatérve a kormányzó változtatásának hatására, a legyezési szögsebességre való optimalizálás nem feltétlen csökkenti az oldalgyorsulást, így lehetőség nyílik esetenként erre a paraméterre tekintve eredményesebb beavatkozásra, mint az aszimmetrikus fékezésnél. Ez a rendszer úgy képes mindettől eltekintve, csupán a dinamikai szempontból lényegesebb szögsebességet kompenzálni, hogy nem lassítja a járművet. Ez egyrészt előnyt jelenthet olyan szituációkban, ahol a fék még nem szólalt volna meg (elkerülendő a túlzottan gyakori, akár ciklikus erőteljes beavatkozásokat, ugyanis kormányművel kismértékű folyamatos korrigálás is lehetséges), illetve másrészt hátrányt, mivel a határhelyzet kitolásával a fékrendszer impulzuszerű beavatkozásával már nagyobb sebesség – és így nagyobb mozgási energia és oldalról – mellett kell hogy operáljon.

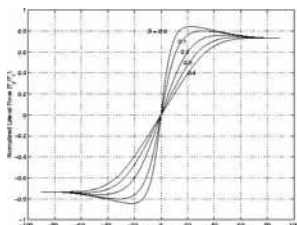
Felmerülhet a kérdés, hogy ha már két ponton (fék és kormány) is be tudunk avatkozni az (1) és (3) egyenletekbe, akkor miért nem optimalizálunk mindkét jellemzőre egyidejűleg – hiszen matematikailag ez akár lehetséges is lenne. Ez sajnos azonban nem minden esetben lehetséges, és ennek okai több felől eredeztethetőek.

Egyfelől – mint fentebb említettük – az aktív kormánymű abban a zónában lép működésbe (mint ESP-beavatkozó), ahol a fékrendszer még nem avatkozik be, így kis eltéréseknél csak a kormánymű avatkozik be. Ugyanakkor ez a működés elvileg továbbra is fennállhatna fékinterakció esetén is. Erre csak korlátozott lehetőségek vannak, melynek két oka van.

Az egyszerűbb ok a beavatkozások sebességéből adódik. Egy fékalapú beavatkozás akár ESP-igényű, akár csak üzemi fékezés okú, milliszekundumokban mérhető idő alatt beavatkozásmentes állapotból majdnem teljes határfokra tud jutni. A kormányrendszernek viszont jóval nagyobb tehetetlensége van, mint a fékrendszernek, így a kívánt korrigáló pozíció felvétele e rendszer esetén időigényesebb. Ez a két rendszer együttműködését a következőképpen befolyásolja: abban az esetben, ha a korrigálási igény fellépésének vagy változásának gyorsasága például meghaladja

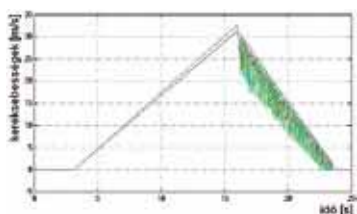
a kormányműves beavatkozás reakcióidejét, akkor lehetséges a kormányrendszer pozícióba állásáig a fékrendszerrel a megfelelő irányba segíteni a járművet. Ez hasonló az EBS-rendszerek retarder és fékrendszer együttműködésének „blending” funkciójához. Tehát időbeli stratégia felépítésére lehet szükség a fékalapú beavatkozás be- és kiléptetésének esetére.

Másfelől a fékrendszer beavatkozása egyszerűen „elrontja” a kormányrendszer alapú beavatkozáshoz szükséges jelek stabilitását, melyek az (1) és (3) egyenletekben is szerepelnek.



3. ábra: oldalkúszási szög – oldalirányú erő összefüggése, befolyásoló paraméter: hosszirányú szlip

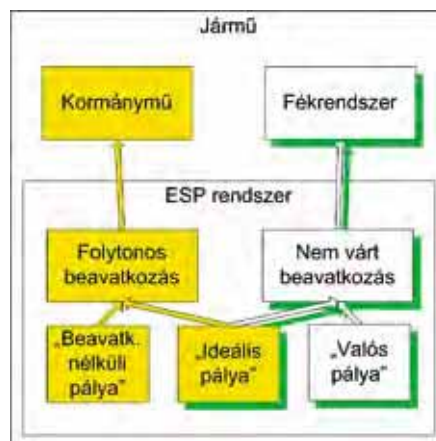
Mindezek legegyszerűbb magyarázatához tekintünk a 3. ábrára. Ez egy átlagos gumibroncs-oldalkúszás (α , vízszintes tengely) – relatív oldalero (F_y/F_z , függőleges tengely) karakterisztikáját mutatja, a görbesereg harmadik paramétere pedig a hosszirányú szlip. Amit fontos észrevennünk, az nem más, mint az oldalirányú erőátadási együttható (a (4) egyenletben c_{ij} paraméter, értéke az oldalirányú erő, és az oldalkúszási szög aránya: F_y/α_{ij}) érzékenysége a hosszirányú szlipre. Továbbra is (4) egyenletet tekintve, egyértelművé válik, hogy e paraméter erősen befolyásolja közvetlenül az oldalero mértékét, és ezen keresztül az (1) és (3) egyenletek alakulását, vagyis alapvető befolyással bír a jármű keresztirányú dinamikájára. Egy fékalapú ESP-beavatkozás esetén a fékezett kerek gyakran ABS-aktív lesz, vagyis a blokkolásgátló [2] az aktuális kerekre életbe lép – 4. ábra.



4. ábra: szimulált μ -szplit ABS-fékezés keréke sebességei [6]

A fenti ábra egy szimulációs modellel végrehajtott oldalanként eltérő tapadási felületen történő fékezéses teszt keréke sebességeit mutatja. A modell felépítésében nem kapott szerepet a fékrendszer fizikai felépítése, az ABS által kivezérelt fékerők késedelem nélkül kerültek megvalósításra, vagyis a keréke sebességek ingadozása jóval kisebb, mint ahogyan az a valóságban alakulna (ugyanakkor a kerek, illetve a hajtáslánc kapcsolatait és tehetetlenségi paramétereit megfelelően modelleztük). A féklogikát illetően a Knorr-Bremse ABS 8.0 rendszerét alkalmaztuk. Az ábráról látható, hogy a keréke sebességek ingadozása egészen intenzív, vagyis ha a 3. ábrára visszatekintünk, az érvényes görbe igen gyakran változik. Ez az ideális kormányzó értékére tekintve is igen intenzív beavatkozási értékváltozást von maga után. További minőségromló hatása van a fékezéses beavatkozásnak a kormánymű működéséhez szükséges mért jelekre, ha a (3) egyenletet tekintjük. Nemcsak az oldalero ingadozása befolyásolja ilyenkor az egyenletek alakulását, hanem az M nyomaték nagysága is, szintén jellemző ez a bizonytalanság, instabilitás.

A KORMÁNYZÁSSAL TÁMOGATOTT ESP VEZÉRLÉSE



5. ábra: aktív kormányzással támogatott ESP logikai felépítése

Az aktív kormányzással támogatott ESP-rendszerek esetén célszerű véleményünk szerint különbséget tenni a folytonos igényű beavatkozások, és a nem várt beavatkozások között (5. ábra). Előbbi esetén főleg kismértékű és hosszú idejű korrekciós igényekről beszélhetünk – mint például a jármű alulkormányzottsága –, melyet egy kormányrendszer alapú beavatkozás kiválóan le tud követni mind reagálási idő, mind fokozatmentes skálázhatóság szempontjából. Utóbbi esetén is lehetséges ugyan kormányrendszer alapú korrigálás végrehajtása, de a nem várt beavatkozásokhoz tipikusan olyan helyzeteket sorolunk, melyek hirtelen fellépő, nagy korrekciós igényű eltérések az ideális pályától – például hirtelen tapadásvesztés. Ilyenkor a kormánymű tehetetlensége miatt korlátozottan alkalmazható, valamint az általa kifejezhető korrekciós hatás is jóval kisebb, mint egy fékalapú beavatkozásé. Ezért ezekben az esetekben inkább a fékrendszer alapú beavatkozást jelöljük meg tipikus beavatkozónak, de természetesen a fizikai keretek adta lehetőségek között kormánymű alapú korrigálás használata is lehetséges ebben az esetben is.

Mindezekhez a mi rendszerünk három pályát vesz figyelembe, melyből egy a mért „valós pálya”, másik kettő pedig az oldalirányú tapadási tényezőkből (lásd később) és a kormányzószögből számolt „ideális pálya”, és „beavatkozás nélküli pálya”. Mivel utóbbi kettő csak egy átlagos tapadási tényezőt, a járműsebességet, valamint a kívánt kormányzószöveget vesz figyelembe, így nem jelenítik meg a külső zavarokat. Ez biztosítja nekünk azt, hogy ennek a két pályának a különbsége a folytonos idejű korrekciók mértékéről adjon nekünk információt.

Mint fentebb említettük, a fékalapú beavatkozás és a kormányzó-változtatásos korrigálás együttes alkalmazása problémákba ütközik. Először azonban tekintünk át önmagában a kormánymű vezérlésének alapjait egy általunk készített rendszeren keresztül. Mivel rendelkezésünkre áll a szinte fokozatmentes beavatkozás a kivezérelhető kormányzószögeket illetően, így a minél pontosabb állapotkép alkotása elősegíti a megfelelő beavatkozást. Mindehhez nem használunk fel más jelet, mint az ESP-szenzorok eddig is mért jeleit, vagyis keréke sebességeket, legyezősi szögsebességet, oldalgyorsulást és a kormányzószöveget. Ezen jelekből az (1–5) egyenletek felhasználásával adódnak az aktuális oldalirányú erőátadási együtthatók (melyek a rendszerünk alapjai). Az eddigi két hátsó tengelyt összevonva (matematikai okokból, mivel az (1) és (3) által alkotott egyenletrendszer csak két ismeretlen számolását teszi lehetővé), egy kéttengelyes esetre (a hátsó tengely a két eddigi hátsó tengely mértani középpontján található) a következő egyenletrendszer (6–12) adódik:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \cdot \underline{x} + \underline{B} \cdot \underline{\delta} + \underline{C} \cdot M$$

$$\dot{\underline{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \ddot{\beta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} -\frac{c_1 + c_2}{m \cdot v_x} & -1 - \frac{c_1 \cdot l_1 - c_2 \cdot l_2}{m \cdot v_x^2} \\ \frac{c_2 \cdot l_2 - c_1 \cdot l_1}{J_z} & -\frac{c_1 \cdot l_1^2 + c_2 \cdot l_2^2}{J_z \cdot v_x} \end{bmatrix}$$

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \beta \\ \dot{\beta} \\ \psi \end{bmatrix}$$

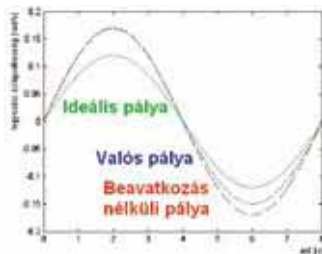
$$\underline{B} = \begin{bmatrix} \frac{c_1}{m \cdot v_x} & \frac{c_2}{m \cdot v_x} \\ \frac{c_1 \cdot l_1}{J_z} & -\frac{c_2 \cdot l_2}{J_z} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ J_z \end{bmatrix}$$

A matematikai levezetést nem részletezve, ezen egyenletrendszer átrendezve c_1 és c_2 paraméterekre könnyen adódnak a szükséges egyenletek az oldalirányú erőátadási együtthatók számításához, ha minden más az egyenletekben szereplő értéket ismertnek tekintünk. Mindebből pedig egyszerű iterálással (13) adódik a két hátsó tengelyre azok függőleges terhelő erőiből a közelítő paraméterbecslés:

$$c_2 = \frac{F_{Z21}}{F_{Z21} + F_{Z22}} c_{21} + \frac{F_{Z22}}{F_{Z21} + F_{Z22}} c_{22} \quad (13)$$



6. ábra: a két számított pálya és a valós pálya

Ezek után következik az oldalirányú erőátadási együtthatókra kapott paraméterek különféle feldolgozása. Ezt több okból is meg kell tenni. Egyrészt megalkotjuk az „ideális” pályát, melyet a járműnek követnie kell és a „beavatkozás nélküli” pályát, melyet a jármű eredetileg bejárt volna külső hatások (korrekciók) nélkül (6. ábra). Előbbi a környezet általános becslése alapján aktuálisan hozzuk létre (így a tapadási viszonyok között semleges viselkedő járművet tudunk mindig ideálisnak tekinteni). Lényege, hogy az erősen szűrt kalkulált oldalirányú erőátadási együtthatókból meg-

állapítja a rendszer minden tengelyre az adott tengelyből kiindulva az ideális együtthatókat. Ezután kiválasztásra kerül a legnagyobb együtthatókat eredményező (vagyis a legjobban tapadó tengelyből megállapított) semleges viselkedést produkáló paramétersor, és ezt tekinti a rendszer az ideális pálya kiindulási alapjának, majd az (1) és (3) egyenletek alapján a rendszer legenerálja az ideális pályát.

Egy másik ok, amiért a paramétereket fel kell dolgozni, az a kormányalapú beavatkozás esetén megváltozott kerékszög, amely az oldalkúszási szöget is megváltoztatja. Így a 3. ábrán is láthatóan a megváltozott szögérték miatt más együtthatót eredményezhet (amennyiben kilép a görbe kezdeti közel lineáris szakaszából) az aktuális szög alapján becsült állapot, mint ami az eredeti kerékszög esetén lépett volna fel. Ez az „ideális pálya” és a „beavatkozás nélküli” pálya megalkotásakor jut szerephez.

Ahogy említettük, egy erősen szűrt vektor alapján alkotja a rendszer az „ideális” pályát és a „beavatkozás nélküli” pályát (illetve az ezt jellemző paramétereket). A szűrés oka, hogy ne jelenjenek meg a rövid idejű zavarok ebben a két pályában, mint például egy szennyeződésen való megcsúszás, vagy hirtelen oldalszél fel-lépése. A „beavatkozás nélküli” pálya az eredetileg beavatkozások nélkül történő jármű viselkedését adja vissza (a zavarok nélkül). Mindezen eljárásokat az indokolja, hogy a rendszer az eredeti viselkedést és az ideális viselkedést leíró pályát mindig ismerje, így egy egyszerű különbségképzéssel adódhat a szükséges beavatkozás mértékének megállapítása, valamint a külső hirtelen bekövetkező behatások kezelését egy másik rendszerre lehet így bízni, és az állandó beavatkozás igényű eltéréseket ezektől külön tudja a kormánymű folyamatosan kezelni.

Mivel az ideális és az eredeti pályát számolva sem kerül seholy figyelem-bevételt a hirtelen fellépő behatások érvényesülése, valamint mivel nincs még a jármű tényleges pályája sem visszacsatolva, a rendszer figyelembe veszi még a „valós” és az „ideális” pálya különbségét is. Azáltal, hogy ebben az esetben a beavatkozás visszahat a „valós” pályára, vagyis a beavatkozás alapjára, másfajta szabályozóra van szükség, mint az első esetben (ahol az „ideális” és „beavatkozás nélküli” becsült pályák nem változnak a beavatkozástól).

A rendszer további felépítését nem tárgyalva, egyszerűen felírhatóak egy és több változóra (például első és hátsó kormánysszög egyidejű állítása) is az ideális kerékszögeket adó egyenletek. Példaként nézzük meg csak első kerék aktív kormányzására az ideális szöget megadó egyenleteket (14–17), melyben a jármű oldalkúszása és legyezési szöge, illetve ezek deriváltjai például az „ideális” pálya, illetve a „beavatkozás nélküli” pályák különbségeiből adódnak:

$$\delta_1 = E \cdot \beta + F \cdot \dot{\psi} + G \cdot \ddot{\psi} \quad (14)$$

$$E = \frac{c_1 \cdot l_1 - c_{21} \cdot l_{21} - c_{22} \cdot l_{22}}{c_1 \cdot l_1} \quad (15)$$

$$F = \frac{c_1 \cdot l_1^2 + c_{21} \cdot l_{21}^2 + c_{22} \cdot l_{22}^2}{c_1 \cdot l_1 \cdot v_x} \quad (16)$$

$$G = \frac{J_z}{c_1 \cdot l_1} \quad (17)$$

Maradva az eddigi példánál, az első kormánysszög aktuális értékének megállapítása két helyről érkezik. A 6. ábrán láthatjuk egy túl-kormányzott jármű legyezési szögsebességeinek alakulását, szinusz-hullámokkal szemlélítve. Az ideális pálya megalkotása ilyenkor az első tengelyre számolt oldalirányú erőátadási együtthatóra alapul, hiszen a hátsó tengely tapadásvesztése kisebb együtthatókat eredményez (vagyis nagyobb oldalkúszási szög szükséges ugyanazon oldalról előállításához hátul, ez kisebb kanyarsugarat eredményez,

nagyobb legyezési szögsebességgel). A mért adatokból a rendszer megállapítja az „ideális” pályát egy semleges (vagyis a tömegközéppontoktól vett távolságukkal fordítottan arányos tengelyenkénti oldalirányú erőátadási együtthatókkal rendelkező) járműre vonatkozóan, valamint előállítja a „beavatkozás nélküli” pályát is (melyben nem szerepelnek a külső nem várt hirtelen behatások), és a kettő különbsége adja a túlkormányzásból adódó állandóan szükséges korrekciót. Ez az említett ábrán a zöld és a piros (részben fedve a kék görbe által) görbék különbségeként jelentkezik. A piros és kék görbék pedig már a külső behatásból vagy hirtelen fellépő tapadásváltozásból adódó különbséget szemléltetik. Ezt, ahogy említettük feldolgozhatja a kormánymű beavatkozója is egy kissé módosított formában, mint az előző esetben (de a beavatkozás alapegyenlete ugyanaz). Ha olyan mértékű és intenzitású az eltérés fellépése, hogy a kormánymű azt nem képes sem lekövetni sem teljesen korrigálni, akkor a fékrendszer léphet működésbe.

Fontos ugyanakkor, hogy a várható és a nem várható korrigálási igények összegzése után se haladjon meg az additív elkormányzás mértéke egy előre meghatározott határt. Ennek a határnak a megállapítása szubjektív módon történik, nagyságrendileg 5°-os kormányzott kerékszög az, ami még biztonságosnak mondható. Ennek két fő indoka van: egyrészt a kormánymű – tehetetlensége miatt – hirtelen beavatkozási igényváltozás esetén késedelemmel valósítja meg a kívánt állapotát, másfelől egy ekkora mértékű beavatkozás is jelentősen „meghamisítja” a vezetőben a jármű állapotáról kialakult képet. Fékalapú beavatkozás esetén a jármű lassulása és a fék durva és hirtelen megszólalása által generált fellépő perdítőnyomaték hatása is mind egyértelműen érzékelteti a sofőr felé a helyzet kritikusságát. Ha viszont csak elkormányzással avatkozik be a rendszer, ezek a hatások elmaradnak.

Ide kapcsolódó probléma még, hogy abban az esetben, ha nem tudunk a kormányrendszerben aktív elkormányzást megvalósítani, akkor mit tekinthetünk eredeti szögértéknek. Ugyanis jelenleg is még kikerülhetetlen feltétel, hogy a kormánykerék és a kormányzott kerék mechanikus összeköttetésben legyen. Személyautós esetekben például a BMW által alkalmazott bolygómuves szerkezet jelenthet megoldást erre a problémára, ám haszonjárművek esetén a nagyobb erőhatások és a fokozottabb költségérzékenység miatt ez nem jöhet szóba. Ennek eredményeként, haszonjárműves aktív kormányzásra (nem hidraulikus vezérlés esetén) két reális konstrukció lehet: a drágábbik és jövőbe mutatóbb megoldás a steer-by-wire rendszer alkalmazása. Az olcsóbb és aktuálisabb lehetőség pedig az aktív szervokormány alkalmazása. Ezzel ösztönözni lehet a sofőrt a megfelelő irányba való elkormányzásra, viszont kérdés, hogy így mit tekintünk eredeti kormányzógállásnak, ami alapján a fékrendszer beavatkozását lehet vezérelni. Nyilván ebben a becslésben szerepet fog játszani a servo additív nyomatéka, de figyelembe kell venni a létrejött szögelfordulás mértékét is.

Mint említettük, a fékalapú beavatkozással a mért jelek – melyek a kormánymű beavatkozási alapját nyújtják – minőségromlást szenvednek. Ilyenkor tapasztalataink alapján még szimulált környezet esetén sem mindig érdemes már a kormánymű vezérlését ezen úton vezérelni, bár ilyenkor a szimulált környezet kizárja a különféle valós hibalehetőségeket. Ekkor célszerű lehet tapasztalati alapú vezérlést (ne pedig szabályzást) alkalmazni az additív kormányzóg meghatározására, erre mutat példát a 2. táblázat.

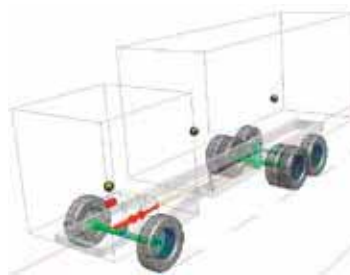
	Egyező irány	Eltérő irány
2° additív szög alatt	2° additív szög állás	0° additív szög állás
2° additív szög felett	0,5° additív szögnövelés	1° additív szög-csökkentés

2. táblázat: kormánymű vezérlési lehetőségei

A megoldás két dolgot vesz figyelembe: egyfelől, a beavatkozó legyezési szögsebességre való hatásának irányát, másfelől az additív elkormányzás mértékét abban a kezdeti állapotban, amikor a fékrendszer is megszólal az aktív kormánymű mellett. Ha az additív elkormányzás mértéke kevésnek bizonyul és ugyanilyen irányú legyezési szögsebességet módosító fékalapú beavatkozás válik szükségessé, akkor a táblázat „Egyező irány” oszlopa a mérvadó. Ilyenkor a 2°-os tapasztalati küszöb (mint még nem jelentősen befolyásoló szögérték) alatt az elkormányzás mértéke erre az állapotra igyekszik jutni – tovább segítve a fékrendszert. E határ felett már csak félfokonként (tapasztalati érték) növeli a rendszer az elkormányzási értéket, ugyanis már az aktív elkormányzás kezdeti mértéke is „viszonylag jelentős”, és ilyenkor egy hirtelen beavatkozási igény fellépése előrevetítheti további hirtelen igényfellépések bekövetkezését, akár ellentétes irányban is. Az elkormányzás ilyenkor másik irányba történő átvitele pedig a kormánymű tehetetlensége miatt korlátozott gyorsaságú, ez az oka a nagyobb elkormányzások esetén történő fékezésekkor a megfontoltabb beavatkozásnak. A kormánymű általi korrekció hatásától eltérő irányú fékalapú beavatkozási hatás esetén fellépő kényszervezérlés szintén ezt a határzöveget alkalmazza. Kis szögknél az additív elkormányzás megszüntetése a cél, az említett 2° felett pedig az előzőekhez hasonló okok miatt 1°-os (szintén tapasztalati) szögcsökkentést vezérel ki a rendszer.

AZ EREDMÉNYEK

Két tesztsorozat egyes tesztjeinek eredményeit mutatjuk be. Elsőként az aktív első-, valamint hátsókerék-kormányzás vizsgálatkor és összehasonlításakor [6], majd a fék és kormányrendszer együttműködésének vizsgálatokor [7] nyert eredményeket látjuk. Az első esetben az általunk készített rendszer tesztelésére egy a SIMPACK programban létrehozott, a 2. ábrának megfelelő 6x2-es tengelyrendezésű és első- és hátsókerék kormányzású haszonjármű modellt alkalmaztunk – 7. ábra. A járműmodell főbb fizikai paramétereit a 3. táblázat foglalja össze. A fék és kormánymű együttműködésére egy kéttengelyes 4x2-es hajtásképletű modellt vettünk igénybe, ennek adatai szintén a 3. táblázatban találhatóak.



7. ábra: a SIMPACK modell grafikus megjelenítése

	6x2-es modell	4x2-es modell
Tömege [kg]	7212	3367
Tömegkp. – első teng. távolsága [m]	2,960	3,164
Tömegkp. – középső teng. távolsága [m]	2,025	–
Tömegkp. – hátsó teng. távolsága [m]	3,225	2,421
Első tengelyterhelés [kg]	3122	1460
Középső tengelyterhelés [kg]	3321	–
Hátsó tengelyterhelés [kg]	769	1907
Függőleges tengely körüli inercia [kg.m ²]	57099	34566

3. táblázat: a járműmodellek fizikai jellemzői

Először egy kormányzóg-egységugrás szimulációs teszt eredményeit mutatjuk be a 4. táblázatban, a 6x2-es modellre. A teszt lényege, hogy előre rögzített sebesség mellett egyenes vonalú haladásból hirtelen egy konstans kormányzóg minél gyorsabb kivezérlésével a járművet olyan manőverre készítsük, melynek során az oldalgyorsulása közelítőleg $4\text{--}5\text{ m/s}^2$ körül alakul (ez valós teszteken alapuló tapasztalati érték). A teszt során érdemes figyelni az átmenet alakulását, valamint a beállt kvázi stacionárius állapot értékeit. A teszt ezután a hirtelen elkormányzás megszüntetésével ér véget, itt szintén érdemes az egyenes menet állapotba visszatérés lezajlását megfigyelni. A bemutatott eredmények 40 km/h sebesség és 180° -os kormánykerékszög megválasztása mellett készültek. A táblázat az elkormányzás idején beállt értékeket mutatja oldalgyorsulás és legyezési szögsebesség szempontjából. Beavatkozás nélkül („Eredeti”), aktív első kerékkormányzással („Első”), aktív hátsó kerékkormányzással („Hátsó”), és mindkét rendszer együttes használatakor („Mindkettő”) készültek a szimulációs mérések. Az „Ideális” értékek, az egyes állapotokban a rendszer által eredetileg bejárando pályára vonatkozó adatok számításából adódnak, vagyis mi az, amit a rendszer célként kezel. Fontos, hogy minden esetben az eredeti „ideális” pályát jól elő tudja állítani a rendszer, mert ezt próbálja elérni majd.

	Legyezési szögsebesség [rad/s]		Oldalgyorsulás [m/s^2]	
	Ideális	Valós	Ideális	Valós
Eredeti	0,40	0,35	4,9	4,3
Első	0,40	0,40	4,8	4,8
Hátsó	0,40	0,40	4,9	4,8
Mindkettő	0,40	0,43	4,7	5,0

4. táblázat: kormányzóg-egységugrás teszt eredményei 6x2-es modellel

Az eredményekből látható, hogy az elérendő legyezési szögsebességet minden beavatkozási mód mellett jól számolja a rendszer, az oldalgyorsulásnál viszont vannak eltérések, de elfogadható mértékűek. Ebben az esetben mind az első, mind a hátsó kerék aktív vezérlésekor kielégítő korrekciót tudott végezni a vezérlés, a két beavatkozó együttes használatát viszont rontott a helyzeten. Ennek oka egyrészt a mért adatok feldolgozásában rejlik (az oldalirányú erőátadási együtthatók helyes meghatározásában), másrészt a beavatkozási stratégia tökéletlenségében. Egy példát mutat a 8. ábra, a legyezési szögsebességet mint legmérvadóbb keresztirányú járműdinamikai paramétert szemlélítve az idő ellenében.



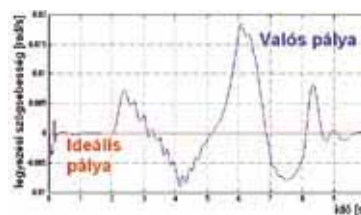
8. ábra: kormányzóg-egységugrás teszt kapott legyezési szögsebesség alakulása aktív első kerékkormányzás esetén

Ezen teszt során viszonylag kis eltérést kellett a rendszereknek kompenzálnia – ahogy azt láthattuk, főleg ez is a működés céltartománya. Azonban, hogy kiderítsük mik a beavatkozási lehetőségek határai, illetve hogy nem determinisztikus hatásokra hogyan reagál az általunk készített logika, külső zavaró erők fellépését szimuláltuk. Ennek során a jármű egyenes vonalú haladásakor 500 N értékű oldalero hat ez első felfüggesztés, valamint a leghátsó felfüggesztés bekötési pontjaira. Az erő lineárisan

növekedve lép fel, majd néhány másodperces értéken maradás után csökkenve eltűnik. Vizsgáljuk azt is, hogy az első, illetve hátsó kerekek aktív vezérlésének hatására mennyire van befolyással az erő támadáspontjának távolsága a beavatkozó helyétől. Ezért az egyes tesztek elvégztük csak előre definiált zavarással, csak hátra definiált zavarással, és mindkét pontra definiált eltérítő erővel. Az eredmények azt mutatják, hogy nincs hatással a beavatkozás minőségére az eltérítő erő támadáspontjának helye. Ha például a hátsó kerekek aktív elkormányzásával korrigálunk, akkor lényegtelen, hogy a támadó erő az első vagy a hátsó felén hat a járműváznak. Az együttes zavaró erővel kapott teszt eredményeit szemlélve (5. táblázat, a maximálisan elért értékeit tartalmazza az egyes jellemzőknek) kiderül, hogy az első kerék elkormányzása oldotta meg legjobban a feladatot, ez majdnem teljesen ki tudta szűrni a zavarok hatását. A hátsó kerékek végzett korrekció ebben az esetben kevésbé hatásos, az itt be nem mutatott további vizsgálatok szerint kisebb zavarok esetén valamivel jobb a hatásfoka, de még mindig az eltérések számban mért értékének körülbelül $1/3$ -os csökkentését tudja csak legfeljebb elérni. A két kormánybeavatkozó együtt túlkompenzálást végez, ennek oka az adatfeldolgozás pontatlanságában, valamint ismét a beavatkozó stratégia tökéletlenségében rejlik. Az ideális állapotokat a rendszerek itt minden esetben az egyenes vonalú haladásnak megfelelő értékekre vezetik vissza, hiszen nincs beemelő kormányzógérték, mely a járművezető szándékát jelezné (vagyis, hogy egyenesen akar menni), így a tapadási viszonyoktól függetlenül is jól számítható az ideális pálya. Ez a gondolatmenet kis kormányzógokra is érvényes még, ilyenkor a tapadási viszonyok esetleges hibás becsléséből adódó eltérések sem jelennek meg abszolút értékben jelentősen.

	Legyezési szögsebesség [rad/s]		Oldalgyorsulás [m/s^2]	
	Ideális	Valós	Ideális	Valós
Eredeti	0,00	0,26	0,0	2,8
Első	0,00	0,02	0,0	0,4
Hátsó	0,00	0,24	0,0	2,7
Mindkettő	0,00	-0,03	0,0	-0,7

5. táblázat: első és hátsó ponton is támadó külső zavaró erő korrigálására végzett teszt eredményei 6x2-es modellel

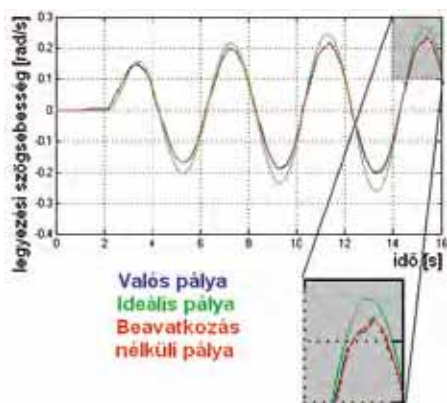


9. ábra: külső zavaró erőket előre és hátulra definiálva végzett teszt kapott legyezési szögsebesség alakulása aktív első kerékkormányzás esetén

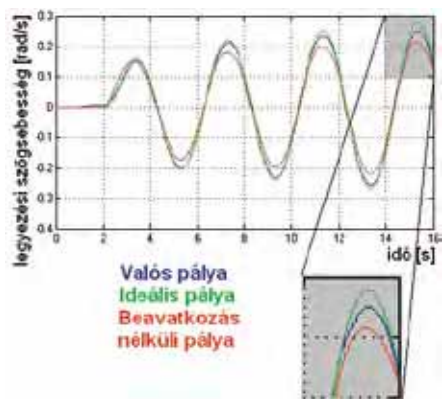
A 9. ábra szintén egy példát mutat a teszteredményekre, legyezési szögsebesség az idő ellenében. Két dolgot érdemes észrevenni rajta: egyrészt a rendszer oda-vissza iterálását az ideális zéró tengely körül, másrészt, hogy az eredmény kissé bizonytalanak tűnhet. De a táblázatra tekintve látszik, hogy egy nagyságrenddel kisebbek az eltérések, mint a beavatkozások nélkül, tehát a bizonytalanság mértéke elfogadható. Az iteráló jellege a rendszernek, mint már említettük, abból adódik, hogy itt a beavatkozás visszahat a beavatkozás mértékét megállapítani segítő forrásokra. Az előbbi kormányzóg-egységugrás teszt során az előállított „ideális” és „beavatkozás nélküli” pályák számítására nem volt számottevően

hatással a kormány alapú beavatkozás, így azok alapján be lehetett avatkozni közvetlenül. Itt viszont a „valós” és az „ideális” pálya adja a beavatkozó alapját, de ha korrigálás történik, akkor a „valós” pálya közelít az „ideálshoz”, és ez kisebb mértékű beavatkozó hatást fog eredményezni. Végeredményben beállna egy köztes állapot. Ezt elkerülendő, a rendszer kissé másképp működik, minden esetben figyelembe veszi az előző lépésben megállapított korrekció mértékét, és ezzel is számol. Végeredményben ez adja az iteráló jellegét a véletlen hatások korrigálásánál, a várható beavatkozások esetén pedig az „ideális” a „beavatkozás nélküli” pálya miatt lehet közvetlen jellegű beavatkozást végezni.

A fék és a kormány mű beavatkozóinak együttes hatását a 4x2-es járművel kapott eredményekkel szemléltetjük. A fékalapú beavatkozás egy egyszerű algoritmussal működik: egy bizonyos eltérés felett lép életbe, és egy alacsonyabb szintig történő visszakorrigáláskor hallgat el (10. ábra). A korrekció során ABS-aktívá válik sok esetben az aktuálisan fékezett kerék, így a maximálisan kivezérelhető fékerővel történő beavatkozást tekintjük beavatkozási módnak. A kormány mű ezzel az előbb mutatott kényszervezérlési móddal működik együtt. A szemléltető teszt során lineáris gyorsítás történik, és közben szinuszos kormányzóg (hozzávetőleg 90°-os amplitúdóval) kerül kivezérlésre. A jármű egy darabig követi a kívánt irányt, majd egyre alulkormányzottabbá válik.

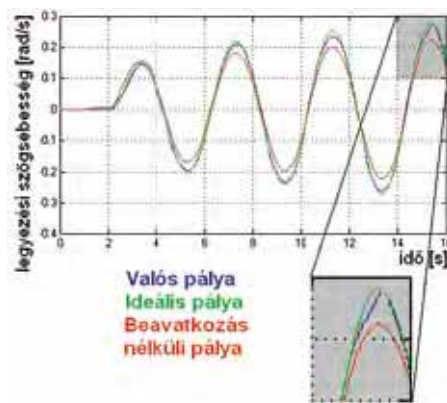


10. ábra: szinuszos kormányzóg mellett lineáris gyorsítás tesztel kapott legyezési szögsebesség alakulása fékbeavatkozás esetén



11. ábra: szinuszos kormányzóg mellett lineáris gyorsítás tesztel kapott legyezési szögsebesség alakulása aktív első kerékkormányzás esetén

Aktív első kerékkormányzással ez az eltérés a sebesség növekedésével egyre kevésbé kompenzálható (11. ábra), ilyenkor kapcsolódik be a fékrendszer is a korrigálásba (12. ábra).



12. ábra: szinuszos kormányzóg mellett lineáris gyorsítás tesztel kapott legyezési szögsebesség alakulása aktív első kerékkormányzás és fékbeavatkozás esetén

Összegzésként elmondható, hogy ahol a fékrendszer önmagában még nem válik aktívvá, ott a kormány mű eredményesen kompenzál, és ahol az utóbbi már nem elegendő, ott a fékrendszer eredményesen bekapcsolódik a munkába. Mindezzel kapcsolatban fontos megjegyezni az aktív kormányzás egyik legfőbb veszélyét, a megnövekedett mozgási energiát fékalapú beavatkozás kezdetekor. Paradox módon, a fékrendszer beavatkozási küszöbértékét ezen okból az eddigieknél alacsonyabbra kell állítani. Ugyanis aktív kormány műves korrekció esetén, még ha a sofőr kap is figyelmeztető jelzést, képes lehet tovább gyorsítani a járművet a kormányzóg-höz viszonyított pályán maradás mellett. Ekkor, ha a fékrendszer alapú beavatkozás eléri a megszólalási küszöbét, már a megnövekedett sebesség miatt nagyobb energiákat kell korrigálnia, ami nagyobb veszélyeket rejt magában. Ha az általunk alkotott „beavatkozás nélküli” és „ideális” pályákat tekintjük, akkor ezt a küszöbértéket meg kell növelni, mivel egy darabig a kormány mű kompenzál. Ugyanakkor ennek a rendszernek nincs visszacsatolása a valós állapotról, valamint mivel hosszú távú, kismértékű folyamatos korrigálásra szeretnénk használni, nem is érdemes a fékrendszer működését ide integrálni. Sokkal célszerűbb az „ideális” és a „valós” pálya különbségeként jelentkező értékek alapján vezérelni a fékrendszert. Itt viszont, ha a kormányzással támogatott ESP eredményes, akkor sokáig a fékrendszer felé nem fog jelentős pályaeltolás jelentkezni, ezért kell a beavatkozási küszöböt lentebb szorítani. A kormány műves beavatkozás határait túllépve már megnövekedett járműsebességgel kell a fékrendszernek szembenéznie, ami hagyományos esetekben már rég megszólalt volna, így a megszólalási küszöböt célszerű a minél eredményesebb beavatkozás miatt csökkenteni.

KONKLÚZIÓ

Fontos, hogy mindenképpen különbséget tegyünk a kormány- és fékrendszer beavatkozási tartománya között. Kormány művel elsősorban hosszú távú és kismértékű módosításokat, míg fékalapú beavatkozásokkor rövid idejű és erőteljes korrekciót érdemes végezni. Megvan a két rendszer eredményes együttműködésének a lehetősége is, érdemes ezzel is élni. Tipikus példa lehet erre az oldalanként eltérő tapadási felületen történő fékezés: a jármű stabilitását aktív kormányzásos rásegítéssel a sofőr nagyobb eséllyel meg tudja őrizni, mint nélküle.

Haszonjárműves területen két reálisan megvalósítható út kínálkozik a közeli jövőt tekintve az aktív kormányzásos ESP-rendszerekre (főleg költség-hatékonysági okokból): az egyik a szöghozzáadás nélküli, aktív szervokormányos, nyomaték-rásegítéssel támogatott hagyományos kormány mű. A másik pedig, ha rendelkezésre áll hidraulikusan vezérelt kormány-

zott tengely, annak a vezérlésébe való beavatkozás. Utóbbi lehetőség bár nem áll rendelkezésre a haszonjárművek jelentős részénél, mégis mint első próbálkozás ilyen téren, fontos tapasztalati forrás lehet. Mindemellett ez a megoldás nem olyan biztonságkritikus, mint például az első kormányművön végrehajtott szöghozzáadás, hasonlóan az aktív nyomaték hozzáadásos megoldáshoz. A két rendszer további alkalmazási szempontja a gumikopásra gyakorolt hatásuk (melynél felmerül a beavatkozási gyakoriságuk vizsgálatának igénye is), mely haszonjárművek esetén szintén jelentős szempont. Ha folyamatos módon így csak korlátozottan is tud a steer-by-wire, ill. a nyomatékhozzáadásos kormányzási rendszer beavatkozni, vészhelyzetek esetén a fékrendszerrel való együttműködésük mindenképp eredményes és kívánatos lehet.

Irodalom

- [1] Vincze-Pap S.: Emberi tűrésértékek, biomechanika (1. rész), Járművek, 2001/10. szám, Budapest, 275–277. old.
- [2] Kőfalusi Pál – ABS-től ESP-ig, Maróti Könyvkereskedés és Kiadó, Budapest, 2005
- [3] Koleszár P. – Trencsényi B. – Dr. Palkovics L.: Vehicle dynamic control system with steering intervention for commercial vehicles, 2004, IFAC
- [4] Dr. Palkovics László – Járműirányítás és menetstabilizálás, Magyar Tudomány, 2005
- [5] <http://www.knorr-bremse.hu/magazin/zips/magazin20002.zip>, <http://www.knorr-bremse.hu/magazin/200002/hun-old5.htm>
- [6] Hankovszki Zoltán: Aktív kormányzással és erőátvitellel támogatott ESP, Diplomaterv, 2009, BME Gépjárművek tanszék
- [7] Hankovszki Zoltán: Aktív kormányzással támogatott ESP, OTDK dolgozat, 2008, BME Gépjárművek tanszék

A szoftverfejlesztés jövőbeni lehetőségei az autóiparban – SPEEDS

Aradi Szilárd

Dr. Fülep Tímea

Dr. Heimo Nakesch

BME

Közlekedésautomatikai

Tanszék

A cikk bemutatja a „SPEculative and Exploratory Design in Systems Engineering” (SPEEDS) projektet a beágyazott rendszerek fejlesztéséről, amely az Európai Unió 6. keretprogramjának része. A következő fejezetek vázolják az aktuális kihívásokat a beágyazott rendszerek tervezésében a projekt módszertanával és technikáival együtt. Végezetül tárgyalja a gyakorlati hasznosíthatóságot egy közös kísérleti feladat (pilot projekt) keretében a Magna Powertrain és a Knorr-Bremse részvételével.

The article presents the “SPEculative and Exploratory Design in Systems Engineering” (SPEEDS) project, which is the part of European Union 6th Framework Project in Embedded Systems Development. The following chapters outline the current challenges in the embedded system design, the SPEEDS methodology and techniques. Finally the practical usage of SPEEDS theory is introduced through a common pilot project of Magna Powertrain and Knorr-Bremse.

BEVEZETÉS, A PROJEKT HÁTTERE [1]

Az európai ipari fejlesztés egyik alappillére a beágyazott rendszerek fejlesztése. Az utóbbi évek fejlesztései a termelékenységre és a hatékonyságra helyezték a hangsúlyt, a folyamatos fejlesztés eredményei közé tartoznak a tervezési módszertanok, illetve a modellalapú tervezés során az ezeket támogató eszközök. Két tényre érdemes kiemelni: a növekvő ipari hatékonyság továbbra is a nemzetközi versenyképesség és a modellalapú tervezés középpontjában áll, és az ezt támogató eszközök ettől többnyire függetlenek. Az eszközállomány egyre inkább növekszik, azonban összhang és „közös nyelv” nélkül történnek a fejlesztések, ami a gyakorlatban nem növeli megfelelő mértékben a termelékenységet. A SPEEDS (Elméleti és feltáró tervezés a rendszerfejlesztésben) projekt alapvetően összhangba hozza az új generációs, ún. end-to-end módszertanokat, folyamatokat és támogató eszközöket a beágyazott rendszerek tervezéséhez. Ezek lehetővé teszik, hogy az európai rendszerfejlesztés a modellalapú hardver- és szoftverfejlesztéstől az integrált, komponensalapú, virtuális rendszermodell kidolgozásáig felépüljön.

BEÁGYAZOTT RENDSZEREK TERVEZÉSI MÓDSZEREI [1]

A szövegalapú, papírközpontú fejlesztés még mindig domináns helyet foglal el a fejlesztési irányításban, akármennyire is jelen van egy folyamatos elmozdulás a hagyományos rendszerfejlesztésben a cél-, modell- és meglátásalapú fejlesztés felé. Ez az új megközelítés vonzó, mert jól értelmezhető, változtatható, és az elemek újrafelhasználhatósága jellemzi. Az irodalomban rengeteg információ található az iparban használt összetett fejlesztési módszerekről és nyelvekről.

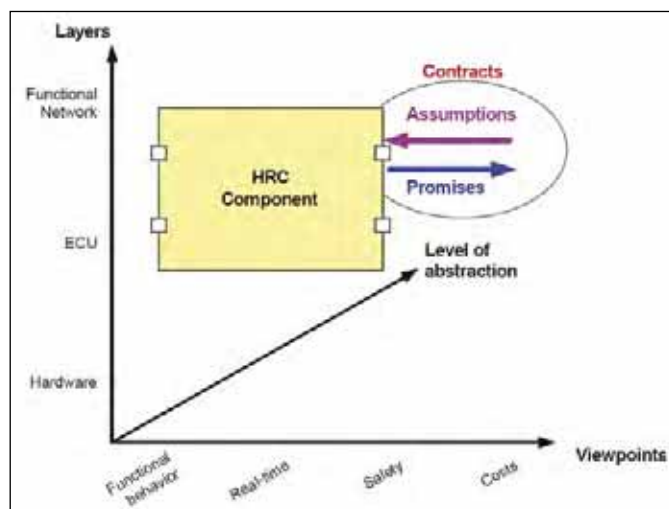
Napjainkban a modellalapú rendszertervezést (MBSE) egy olyan eszköznek tartják, amely képes kezelni egy rendszer összetettségét, világosan érthetővé és következtetéssé válik a rendszerleírás. Az MBSE rövidítés kisebb tartalmi eltérésekkel több különböző értelemben szerepel a terminológiában. Amíg egy irányítástechnikával foglalkozó mérnöknek az MBSE modellalapú rendszerleírás és kontrollerekkel kapcsolatos szimulációt jelent például Mathworks MATLAB/Simulink alkalmazásával, addig egy szoftverfejlesztőnek inkább szoftvermodellezést, valamint kódgenerálást (pl.: dSpace TargetLink vagy UML alapú eszközzel) a hagyományos IT-rendszerekhez.

A modellezés egyre inkább alapvető és elfogadott módszerré válik a rendszerleírásban, a tervezésben és az elemzésben. Ez nagyban különbözik a komplex rendszerek tervezésétől (SE), ahol egészen mostanáig a modellalapú fejlesztés inkább kivétel volt, mint előírás. Ez manapság megváltozni látszik az UML2, illetve különösen a SysML nyelvek megjelenésével, továbbá a rendszervizsgálat inkább elemzésre és szimulációra támaszkodik, mintsem drága tesztekre.

A SPEEDS-KONCEPCIÓ [1]

Komponensalapú tervezés (HRC)

A SPEEDS-konceptió egyik alapja az ún. HRC (Heterogeneous Rich Component) modell (1. ábra), amely lefedi az egész fejlesztési folyamatot a magas szintű rendszerleírástól a tervezési modellekig figyelembe véve mind a funkcionális, mind pedig az egyéb (architektúrális, biztonsági stb.) szempontokat. A HRC-komponenseket szabályos szerződések (kontraktus) írják le, amelyek többféle elemzési technikát kínálnak a tervezés jóváhagyására már a korai tervezési fázisban. Sőt, a HRC-alapú modell módszerei kiterjesztik a komponensalapú modellezési technikákat, biztosítva egy egyedülálló, többdimenziós keretet, amely minden fejlesztési fázisban alkalmazható.



1. ábra: HRC-modell

A HRC-modell a következő tulajdonságokkal jellemezhető:

– Kontraktsalapú tervezés

Míg a hagyományos statikus interfészek csak a komponensek kapcsolatait vizsgálják, addig jóval több információhoz jutunk a HRC-k viszonyaiból. A komponenshez elméleti (kontraktsok által definiált) előírások kötődnek mint követelmény-ígéret párok. Ez azt jelenti, hogy egy komponens által kezdeményezett ígéret csak akkor teljesül, ha a hozzátartozó, a környezet által elvárt követelmény megvalósul.

– Szempontok szerinti rendezés

Nemcsak funkcionális, hanem nem funkcionális karakterisztikával is rendelkezik a komponens, úgymint valós idő, biztonság, erőforrás. A HRC által biztosított tulajdonságok különböző szempontok szerint rendezettek. Minden egyes aspektus a komponens dinamikai kényszereinek egy részével foglalkozik egy bizonyos szempontból. A SPEEDS-projekt a következő szempontokat tartja szem előtt: funkcionalitás/viselkedés, valósidejűség és biztonság.

– Minden szinten egységes koncepció

A HRC-modelleknél használt különböző rétegek összhangban állnak a beágyazott rendszerek elméleti felépítésével. Ilyen alkotórétteg például a funkcionális réteg, amely elkülöníti a rendszer működését; az ECU-réteg, amely megadja a vezérlőegységek (a feladatokat együtt) és buszok (az üzenetekkel együtt) hálózatát.

Kontraktsalapú tervezés és elemzés

A HRC-konceptióban a kontraktsok fontos szerepet játszanak. Ezek tartalmazzák a komponens belső részeinek elméleti jellemzését, továbbá leírják egy komponens mind funkcionális, mind pedig nem funkcionális ígéreteit. Néhány példa az ígéretekre:

– Az out kimenet az n1 és n2 inputok összegéből adódik;

– Minden kérést kiszolgál a rendszer;

– Egy kérés 10 másodpercen belül kiszolgálásra kerül.

Egy komponens nem biztos, hogy minden körülmények között működik. Lehetnek akadályok, amelyek meggátolják a működését. Ezért az előírások csak biztosan bekövetkező ígéretekhez kapcsolhatók. Ilyen előírások a követelmények:

– Az n1 és n2 inputok egy adott tartományban kell hogy legyenek;

– Egy kérésnek egy adott ideig stabilnak kell lennie (érzékelhető legyen, hogy ez egy kérés);

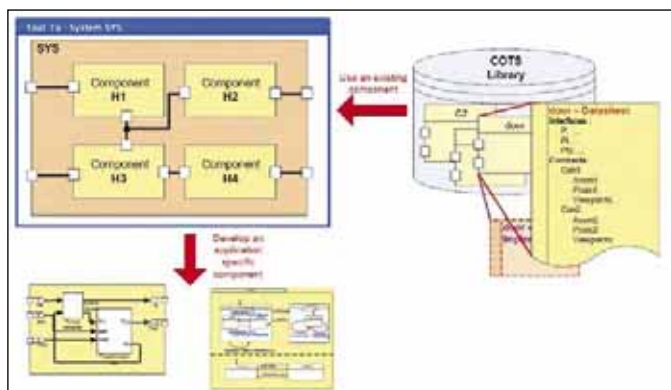
– A kérések x-nél nagyobb frekvenciával kerülnek kiszolgálásra.

Ezt követően egy kontraktus készül a követelmény és az ígéret alapján:

Kontraktus = (Követelmény, Ígéret)

A követelmény meghatározza a környezet néhány előírását (a környezet várható jellemzői), amelyben a komponens működik, az ígéret pedig azt, hogy a komponens mit biztosít a környezet számára, nem megsértve az adott feltételezést.

A következőkben tárgyaljuk a kontraktsok szerepét elosztott rendszerek tervezése esetén (2. ábra). Egy egyszerűsített rendszertervezés a következő tevékenységeket foglalja magába:



2. ábra: a rendszertervezés menete

1. Kontraktszerűen meghatározza a rendszer követelményeit

$C_1^{SYS}, \dots, C_k^{SYS}$

2. Alkomponenseire (H1, ..., H4) bontja a rendszert SYS, amelyeknek jól definiáltaknak kell lenniük.

3. Minden alkomponenshez H_i meghatározza a kívánt jellemzőket a kontraktus értelmében:

$C_1^{H_i}, \dots, C_k^{H_i}$

Ezen a szinten a SPEEDS megközelítés elemző módszerekkel támogatja a tervezőt, amely lehetővé tesz egy virtuális integrációs tesztet. A kontraktsok segítségével ellenőrizhető, vajon az alkomponensek kontraktusai – figyelembe véve a komponensek összekapcsolódásait – konzisztensek-e a teljes rendszer kontraktusaival. Ennél az elemzési eljárásnál a rendszer tervezője információt kap arról, hogy az alkomponensek elegendően definiáltak-e ahhoz, hogy a felépítés kielégítse a teljes rendszer igényeit. Amennyiben az alkomponensek leírhatók kontraktusokkal, függetlenül lehet őket tervezni. Sőt, a SPEEDS felépítése lehetővé teszi, hogy az alkomponenseket különböző eszközökkel tervezzék meg:

Minden alkomponens H részt vesz a következő folyamatban:

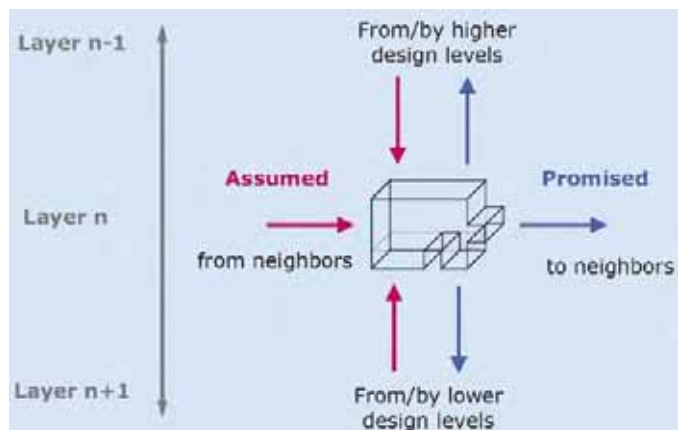
a) Folyamatosan ismétli a rendszer felbontását alkomponensekre, mint a 2. lépésben.

b) Együtt alkalmazza a komponens interfész leírását a kontraktussal, ahhoz, hogy a komponens egy tervezőeszközben implementálható legyen.

c) Választ egy megfelelő, már létező komponens.

Alkalmazva a jóváhagyás összes lépését a tervezési folyamat során, az integrálás után eljutunk a verifikált teljes rendszer kiépítéséhez.

A tárgyalt tervezési folyamat csak egy réteget fed le, ugyanis a kontraktsok nemcsak a horizontális környezeti kapcsolatok leírásával, hanem a vertikális megjelenéssel (3. ábra) is foglalkoznak.



3. ábra: egy komponens horizontális és vertikális interfészei/kontraktusai

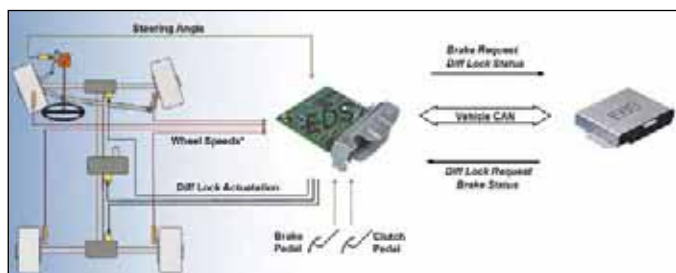
PILOT PROJEKTEK

Ez a rész bemutatja a a Magna Powertrain és a Knorr-Bremse közös kísérleti projektjét. A rendszer az automatikus szlip szabályozást (ASC) valósítja meg.

Automatikus szlipvezérlés (ASC)

A rendszer fő célja, hogy az ASC észlelje a rossz tapadási viszonyokat, amelyek túlzott kerékszlipet okoznak, majd a differenciálzár aktiválásával növelje meg a vonóerőt, így is növelve a jármű stabilitását. Továbbá a rendszer képes legyen kiküszöbölni azt a mechanikai problémát, amely megnehezíti a differenciálzár kioldását, miközben az nyomatókat továbbítja. Egy megfelelő nagyságú kerékféknyomatókkal a differenciálzár által átvitt nyomatók nullára csökkenthető, ami elősegíti a gyors kioldást.

Instabil jármű esetén az elektronikus menetstabilizáló program (ESP) parancsot adhat a hátsó tengely differenciálzárnak oldására, így a kerekek független fékezésével biztosítható a jármű stabilitása.

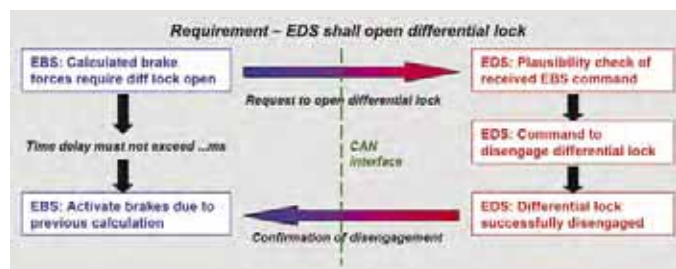


4. ábra: az ASC-rendszer felépítése

Az ASC rendszer (4. ábra) két alrendszerből áll, az egyik az elektronikus differenciálzár (EDS) a Magna Powertrain-tól, a másik az elektronikus fékrendszer a Knorr-Bremse-től.

A fejlesztés a következő két esetre terjed ki:

- Az EBS kérésére az EDS-nek oldania kell,
- Az EDS kérésére az EBS-nek aktiválnia kell a fékeket.



5. ábra: példa a rendszer működésére

Az egyik helyzet akkor adódik, amikor az EBS érzékeli a jármű instabilitását, és működésbe hozza a kerekenkénti fékezést. Ebben az esetben az EBS nyitási üzenetet küld a differenciálzár részére. A jóváhagyás után az EBS aktiválja a fékeket. Ez rendkívül időérékeny, mivel a jármű stabilitása kerülhet veszélybe.

A másik helyzet akkor adódik, amikor az EDS érzékeli túlzott kerékszlipet, és a differenciálzár aktiválására van szükség, hogy növelje a vonóerőt, vagy inaktíválja a differenciálzárát, amennyiben azt nem szükséges alkalmazni. Ebben az esetben az EDS küld fékezésre vonatkozó igényt az EBS-nek, hogy az átvitt nyomatókat csökkentse nullára.

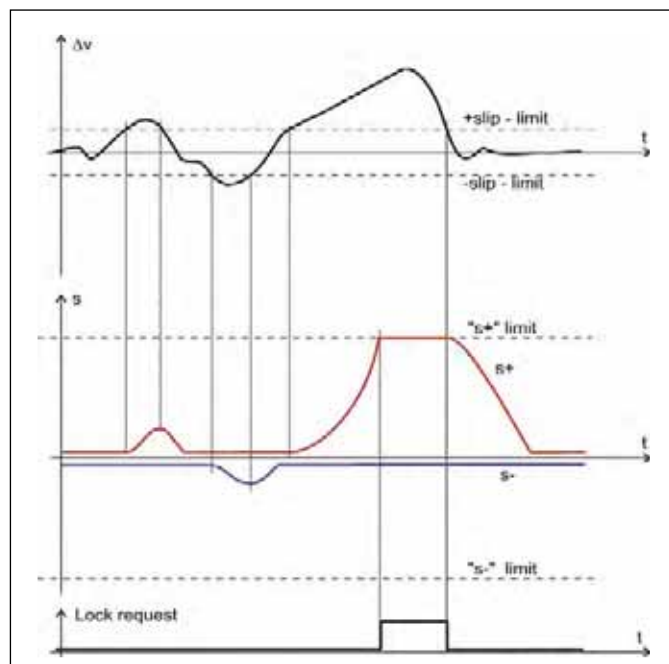
A projekt fő célja, hogy a SPEEDS módszertanát és eszköztárát alkalmazva integráljuk a két független rendszert egy magasabb funkcionalitású rendszerré.

Magna Powertrain Elektronikus Differenciálzár Rendszer (EDS)

Az EDS egy mikroprocesszor által vezérelt rendszer, amely támogatja a járművezetőt a differenciálzár kezelésében, így növelve a vonóerőt és a jármű stabilitását. A rendszer pneumatikusan meghajtott differenciálzárakból (4. ábra) és egy elektronikus vezérlőegységből áll. A differenciálzárak önzáró kialakításúak, ami azt jelenti, hogy fordulatszám-különbség esetén záródnak, amennyiben a központi vezérlő engedélyezte azt.

A differenciálzár automatikusan aktiválódik magas szlip esetén, szem előtt tartva a megadott biztonsági megfontolásokat. Az egyes differenciálzárak aktiválását a kerékebbességek és a számolt szlipértékek alapján vezérli a központi egység. A szabályozó algoritmus különböző szűrők segítségével állítja be a rendszer érzékenységet, hogy elkerülhető lehessen a differenciálzárak

nem kívánt aktiválódása. A 6. ábra a differenciálzár működését mutatja, amikor a szlip túllépi a megengedett „s+” értéket. A kerékebbesség és a jármű sebességének különbségét a Δv érték mutatja.



6. ábra: a differenciálzár működése [2]

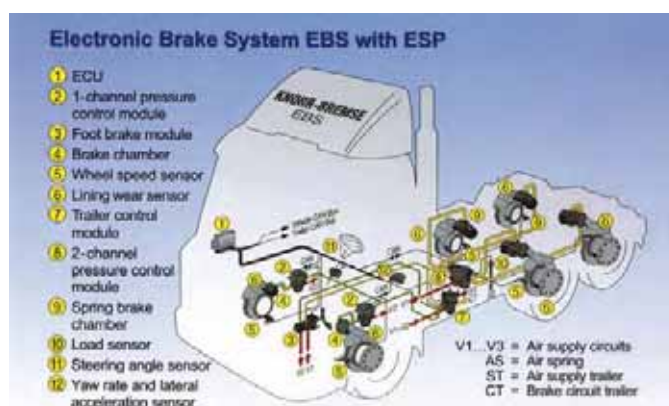
A differenciálzárak a mechanikai kialakításuk miatt zárva maradnak, amíg nyomatókat visznek át.

Bizonyos esetekben azonban előfordul, hogy a differenciálzárát úgy kell oldani, hogy közben nyomatókat ad át. A fékrendszerrel történő integráció nagyban segítheti a differenciálzár működését azzal, hogy ezt a nyomatókat lecsökkenti.

Knorr-Bremse Elektronikus Fékrendszer (EBS) [3]

Az EBS egy rendszerbe integrálja az alapvető fékfunkciókat, valamint az ABS (Anti-lock Brake System) és ASR (Anti-Slip Regulation) rendszerek előnyeit. A legfontosabb előnye az elektronikus vezérlésnek a hagyományos, pneumatikussal szemben, hogy lényegesen csökkenti a válaszütemeket. Ez a vezető szempontjából a sokkal jobban és gyorsabban szabályozható fékerőt jelent, így rövidebbek lehetnek a féktutak, ami növeli a közlekedésbiztonságot.

Az EBS alapvető működése a következő. Amikor a járművezető lenyomja a fékpedált, az érzékelőegység aktiválja a fékfunkciót. A központi vezérlő megkapja a pedálmodul által mért jelet, és



7. ábra: az EBS felépítése

parancsot küld az Elektropneumatikus Moduloknak (EPM) a fék CAN-en keresztül. Az EPM elektronikája vezérli a szelepeket, megvalósítja az ABS-funkciót, és feldolgozza a kereksebesség, valamint a fékbetét szenzorok jeleit. A nyomásszabályozó modulok beállítják a nyomásértéket a fékkamrákban, a szabályozóbemenetnek megfelelően. A központi ECU kommunikál a pótkocsi EBS-sel (TEBS) is, amely úgy szabályozza a nyomást a pótkocsi fékrendszerében, hogy minimalizálja a fellépő erőt a vontató és a pótkocsi között. A kétkörös pneumatikus rendszer biztosítja, hogy akkor is lehessen fékezni a járművet, ha az EBS meghibásodik.

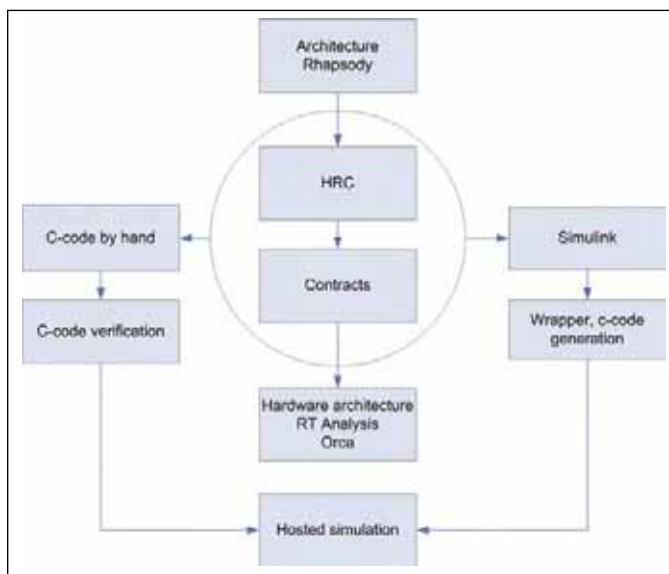
Az EBS rendelkezik egy Elektronikus Menetstabilizáló Programmal (ESP) is. Ez a rendszer csak akkor avatkozik be, ha különbséget talál a járművezető által óhajtott irány és a jármű tényleges mozgása között. Alulkormányozott esetben, amikor a jármű nagyobb sugarú íven mozog, mint ami várható a kormánykerék elfordulása alapján, az ESP az ívbelső, hátsó kerék fékezésével a helyes ívre állítja a járművet. Túlkormányzott esetben a vontató hátulja lesodródik az ívről. Ebben az esetben az ívkülső, első kerék fékezésével állítja vissza az ESP a járművet a helyes ívre.

Összekapcsolt járművek esetén az ESP csökkenti a felborulás esélyét is. A rendszer a különböző gyorsulásérzékelők segítségével korai fázisban felismeri a felborulás veszélyét, és a motornyomaték csökkentésével, valamint a fékrendszer segítségével beavatkozik. Ennek hatására a jármű a megfelelő sebességre lassul, és így a felborulás veszélye megszüntethető.

Az EBS és az EDS integrációjának előnyeként, az EBS-rendszer ASR-moduljának funkcionalitása nagyban növekedne.

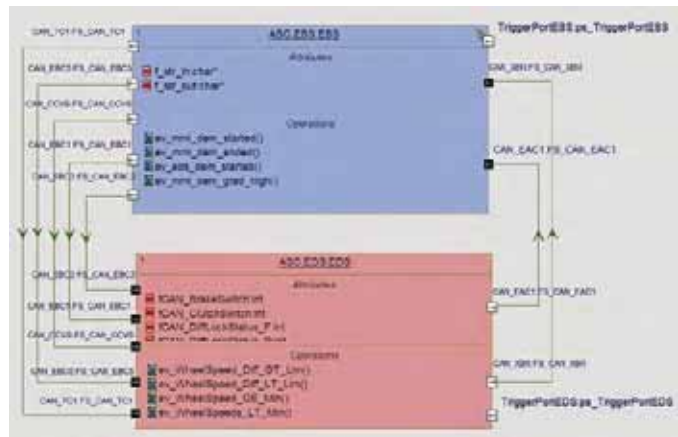
SPEEDS a gyakorlatban

A pilotprojektünk fő célja a szoftver- és hardverarchitektúra megtervezése, kontraktusok definiálása és a végén a teljes rendszer szimulációja. A tervezési munka folyamata a 8. ábrán látható.



8. ábra: a pilot projekt fejlesztési folyamata

Először megterveztük a rendszerarchitektúrát a Telelogic cég Rhapsody nevű szoftverével. Ezt a szoftvert rendszertervezők és szoftverfejlesztők használják, mind beágyazott, mind pedig valós idejű rendszerek tervezésére. A Rhapsody rendelkezik egy grafikus tervezői felülettel, ahol UML alapú rendszermodellek, valamint a kapcsolódó diagramok (pl.: állapotdiagram) tervezhetők. A pilot projekt során külön-külön elkészítettük a két alrendszer modelljét és utána integráltuk egy Rhapsody projektbe (9. ábra).



9. ábra: az ASC-rendszer felső szintű felépítése

Ezután átkonvertáltuk HRC-komponenssé a Sodiux HRC Exporter eszközzel, majd definiáltuk a kontraktusokat az OFFIS A/P Editor szoftverével. Ezzel az eszközzel lehet létrehozni az adott komponensre vonatkozó ígéreteket, követelményeket és a kontraktusokat, melyek integrálásra kerülnek a HRC modellben. A fejlesztés során valós idejű és funkcionális kontraktusokat definiáltunk. A valós idejű mintákat a CAN-üzenetek időzítéseire, valamint a válaszdíj követelményeinek előírására használtuk. Ilyen például az R1 kontraktusminta.



10. ábra: R1 kontraktusminta

R1: activation period on [P] each [N] (time unit [T])

Ez a minta leírja egy esemény periodikus lefutását, ilyen lehet például egy operációs rendszerben ciklikusan lefutó programegység (task).

A funkcionális kontraktusokat a jelek plauzabilitásvizsgálatára használtuk, valamint az aktuátorok állapotainak leírására speciális esetekben. A következő C1-es minta, erre mutat be egy példát.

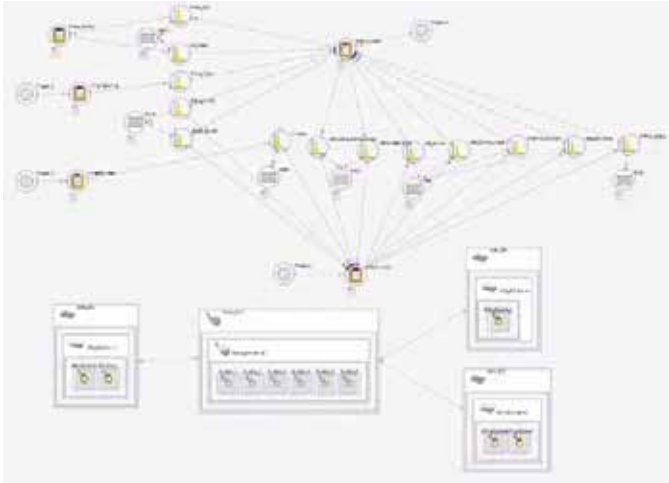
C1: whenever [E] occurs [SC] holds during [I]

Ez a minta a következőket jelenti. Amikor az E esemény bekövetkezik, akkor a komponens SC állapotban lesz az I intervallum által megadott ideig. Az SC állapotnak logikai kifejezésnek vagy folytonos függvénynek kell lennie, míg az I egy időtartam vagy egy logikai feltételekkel megadott intervallum lehet. Példaképpen a következő követelményt szeretnénk előírni az EPM-modulra vonatkozóan.

Követelmény 1: Ha a nyomásparancs nulla, akkor a backup szelep ki van kapcsolva.

C1: whenever [brake_dem==0] occurs [Vb==0] holds during [TRUE, brake_dem>0]

A következő lépésben magas szinten megterveztük a hardverfelépítést és a kommunikációs rendszert, majd valós idejű vizsgálatokat végeztünk a modellen. Ehhez az Offis Orca szoftvercsomagját használtuk. Az Orca egy integrált fejlesztői környezet az alkalmazások modellezéséhez és valós idejű analíziséhez. Az Orcában készített modell (11. ábra) tartalmazza a szoftver struktúráját, és az időzítésre vonatkozó információkat egy „task network”-nek elnevezett formátumban. A tervezés során a már megtervezett és HRC-formában tárolt komponenseket importáltuk az Orca szoftverbe. Az alapvető hardverstruktúrát központi vezérlőkre (ECU) és adatátviteli buszokra bontva adtuk meg.



11. ábra: Orca-modell

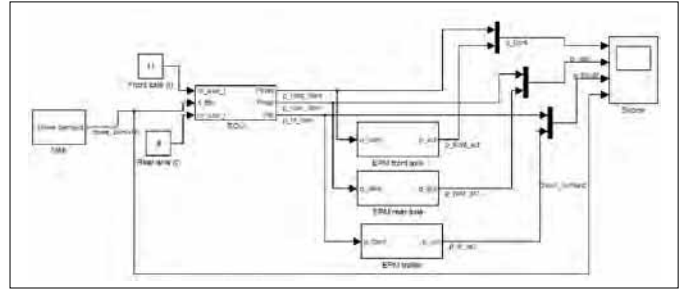
A modellünkben egy CAN-buszt használtunk a kommunikációhoz. Az EBS központi vezérlője, az EPM és az EDS központi vezérlője kommunikál ezen a buszon. Elkészítettük a szükséges programegységeket és jeleket, majd a jeleket CAN-üzenetekbe szerveztük. Ezekre a feladatokra jól használható grafikus tervezői felület áll rendelkezésre a szoftverben. Ezután kiválasztottuk a vezérlőkhöz a megfelelő mikrokontrollereket, és ennek megfelelően beállítottuk a hardverparamétereket a modellben. Végül hozzárendeltük a programegységeket az ECU-khoz, valamint a CAN-üzeneteket a CAN-buszhoz.

Végül elvégeztük a valós idejű analízist a szoftver segítségével, melynek eredményeül különböző idődiagramokat kaptunk. Ezek minden egyes komponensre megadják, hogy mely státuszban mennyi időt töltenek az egyes komponensek (pl.: operációs rendszer fut, programegység fut stb.) a program futása során. Ezek alapján következtetni lehet a processzor és a CAN-busz terheltségére.



12. ábra: az Orca által generált idődiagram

Párhuzamosan kifejlesztésre került az egyszerűsített funkcionális modellje az egyes alrendszernek. Ehhez a Mathworks MATLAB/Simulink eszközt használtuk. A HRC-modelleket a SPEEDS Simulink Adapter segítségével Simulinkbe is importálni lehet, így rögtön megkapjuk az egyes modulok ki- és bemenő portjait,



13. ábra: az EBS egyszerűsített Simulink modellje

valamint azok adattípusát. (Ezeket a tervezés elején a Rhapsody szoftverben definiáltuk.) Az EBS modellje (13. ábra) tartalmazza a központi vezérlő alapvető fékerösszámítási algoritmusát, és az EPM nyomásszabályozó modelljét.

Jelenleg eddig a fázisig jutottunk el a tervezési folyamat során. A következőkben szeretnénk kipróbálni az Extessy által fejlesztett Simulink wrapper eszközt, valamint a folyamatosan fejlesztett Orca új funkcióit. Az említett Simulink kiegészítő a Real-Time Workshop segítségével C kódot generál a modellből, majd kompatibilissé teszi azt a SPEEDS szimulációs API-jával (Application Programming Interface). Végül egy futtatható állományt generál a forráskódból. Így lehetővé válik, hogy a teljes rendszerünket a SPEEDS szimulációs környezetben futassuk, és verifikáljuk az implementált modellt, az előzetesen definiált kontraktsoknak megfelelően. Lehetőség van egyéb modellezőeszközök (pl.: SCADE) esetén is a SPEEDS szimulációs környezet használatára. Így lehetővé válik, hogy a különböző kereskedelmi szoftverekben készített modellek egyetlen szimulációs környezetben futhassanak.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatta a SPEEDS EU-projektben kifejlesztett tervezési módszereket, valamint egy kapcsolódó pilot projektet. Felvázoltuk a beágyazott rendszerek tervezése során jelenleg használatos módszereket és problémákat. Megadtuk az általános leírását a SPEEDS tervezési koncepciójának, a komponens alapú tervezésnek és a lehetséges vizsgálati eljárásoknak. Ezt követően bemutattuk néhány részét a fejlesztési folyamatnak a Magna Powertrain és a Knorr-Bremse közös pilotprojektjén keresztül. Végül összefoglaltuk a további szükséges fejlesztési lépéseket, melyeket a projekt folyamán el fogunk végezni.

Irodalom

- [1] Marc Enzmann, Gert Döhmen, Henric Andersson, Christian Härdt: SPEEDS Methodology – a white paper - http://www.speeds.eu.com/downloads/SPEEDS_WhitePaper.pdf
- [2] Gerhard Frühwirth: Electronic controlled Differential Lock in SPARC Truck in Results of the EC-project SPARC, July 2007
- [3] Knorr-Bremse: EBS 5 Product Information - <http://www.knorr-bremsecvs.com>, May 2008

Belső égésű motor átalakítása hidrogénüzemre

Dr. Emőd István

egyetemi docens, BME
Gépjárművek Tanszék

Budik György

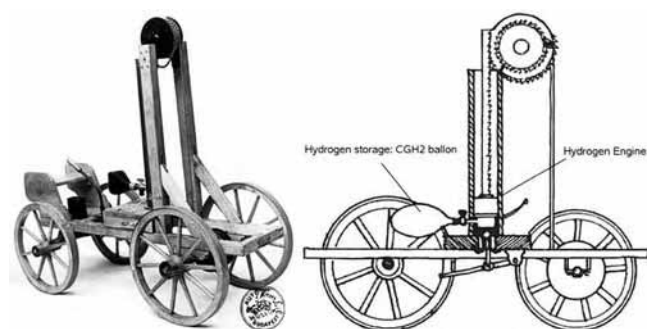
doktorandusz, BME Gépjárművek Tanszék

A tanulmány belső égésű kísérleti motor átalakítását tárgyalja benzinüzemről hidrogénüzemre. Röviden bemutatásra kerülnek a hidrogén mint motorhajtóanyag, tulajdonságai; felhasználásának lehetőségei belső égésű motorokban. A tanulmány tárgyalja a hidrogénüzem lehetséges égésproblémáit. Bemutatásra kerülnek a kísérleti motor, főbb paraméterei, mágnes tranzisztoros gyújtásrendszere, valamint tüzelőanyag-ellátó rendszere. Bemutatja a gyújtásrendszer átalakítását, a módosított előgyújtás állító szerkezet felépítését, működését, felszerelését. Részletesen bemutatásra kerül a hidrogénellátó rendszer átalakítása. Ismerteti az elvégzett kísérleteket, a hidrogénüzem optimalizálásának folyamatát, a referencia olajhőmérséklet felvételét, az indikátordiagram felvételét. Végül a közeljövőben tervezett kísérleteket, emisszió- és fogyasztásmérést körvonalazza.

The article deals with the conversion of an internal combustion engine from gasoline to hydrogen fuel. Detailed are the properties of hydrogen as a fuel for internal combustion engines. Dealt with are the ignition problems of hydrogen operation. Shown are the experimental engine, its main parameters, its magnet-transistor ignition system, and its fuel supply system. Described is the modification of the ignition system and the spark advance modifcator. Detailed is the modification of the fuel supply system. Reviewed are the experiments executed: the optimization of hydrogen operation, the recording of the reference oil temperature and the recording of the indicator diagram. Finally, the article details the experiments to be executed in the future, the emission and consumption measurement.

1. BEVEZETŐ

A legkorábbi hidrogénmotort 1807-ben Francois Isac de Rivaz fejlesztette ki. Maga a motor atmoszférikus szabaddugattyús gázgép volt, a hidrogén meggyújtása okozta terjeszkedés szabadon röpítette a dugattyút felfelé, a munkavégzés akkor történt, amikor a dugattyút a reá ható gravitációs erő és a külső levegő nyomása a kezdeti, alsó állásába nyomta vissza. A mozgást a dugattyúrúdón lévő fogasléc és a kilincsműves fogaskerék alakították forgó mozgássá. Ezzel a motorral 1813-ban több mint 100 métert tett meg egy jármű, ez volt az első, belső égésű motorral hajtott jármű.



1. ábra: a Rivaz-féle jármű

Ötven évvel később, az 1860-as '70-es években N. A. Otto, a később róla elnevezett körfolyamat és motor feltalálója olyan szintetikus gázzal működő motort mutatott be, amely több mint 50%-ban tartalmazott hidrogént. Otto benzinnel is kísérletezett, de használatát túl veszélyesnek találta, így visszatért a gáz halmazállapotú tüzelőanyagokhoz. A forradalmat a karburátor feltalálása hozta meg, mellyel a folyékony tüzelőanyagok alkalmazása is biztonságossá vált belső égésű motorokban, jó időre háttérbe szorítva más tüzelőanyagokat.

2. A HIDROGÉN MINT TÜZELŐANYAG TULAJDONSÁGAI

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

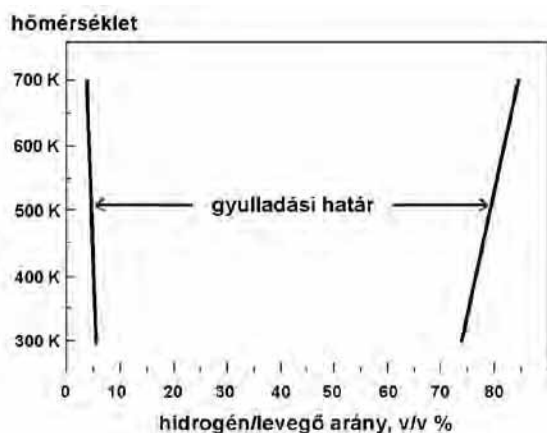
A hidrogéngáz sűrűsége 20 Celsius-fokon és légköri nyomáson 0,08376 kg/m³, folyékony állapotban légköri nyomáson 70,8 kg/m³. A folyékony és a gáz állapot közötti tágulási arány 1/848-hoz, azaz egységnyi tömegű hidrogén térfogat elpárolgás után 848-szorosára növekszik. A kis sűrűségből következik, hogy azonos hatótávolsághoz, a később tárgyalt alacsony energiasűrűség miatt nagyobb térfogatú hidrogén szállítására van szükség, mint hagyományos üzemanyagok használatakor.

A hidrogén fémekben könnyen elnyelhető, valamint felületen megkötődhet. Ezen tulajdonsága rendkívül fontos a fémkohászat számára, valamint ez egyik lehetséges módja jelenleg a hidrogén fedélzeti tárolásának is.

Anyag	Gőz/gáz sűrűség – 20 C-fok, 1 atm (kg/m ³)	Folyadéksűrűség – forráspont, 1 atm (kg/m ³)
Hidrogén	0,08376	70,8
Metán	0,65	422,8
Benzin	4,4	700

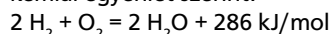
1. táblázat: hidrogén, metán és benzin sűrűségének összehasonlítása folyékony és gáz halmazállapotban

A hidrogéngáz rendkívül gyúlékony, jelenléte levegőben már 4 v/v %-ban is elégethető és meggyullad egészen 75 v/v %-ig. Ez a határ a hőmérséklet növekedésével jelentősen kitágul, ahogy azt a 2. ábra is mutatja.



2. ábra: a gyúladóképes hidrogén-levegő keverék koncentráció határának változása a hőmérséklet függvényében

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



A keveréket már nagyon kis energiájú gyújtóforrás is meggyújthatja, minimális gyújtási energiája 0,019 mJ, ami egytizede a propánénak. Egy csővezetékben akár egy áramló rozsdarészecske elektrosztatikus energiája is gyújtóképes szikrát tud eredményezni.

Égése rendkívül gyors, romboló hatású lehet, sztöchiometrikus keverék esetén 2,65–3,25 m/s, ami egy nagyságrenddel nagyobb, mint a benziné, lángja ennek megfelelően gyorsan kialszik. 585 Celsius-fokon öngyulladás lép fel. Öngyulladás hőmérséklete a többi tüzelőanyaghoz képest a legmagasabb, ezért kompressziógyújtású motorokban nehezen, vagy csak adalék tüzelőanyagként alkalmazható. A kompressziótűrésre jellemző mérőszám, az oktánszám a hidrogén esetében igen nagy, kísérleti úton meghatározva 130 feletti, szegény keveréket alkalmazva.

Az égés során kinyerhető energiára jellemző érték az alsó és felső fűtőérték, a kettő különbsége a párolgáshőt adja. Mivel a gáz halmazállapotú hidrogént nem kell elpárologtatni, valamint a végtermék is gőz formájában van jelen, ezért a kinyerhető munkát az alsó fűtőérték reprezentálja. Mivel a hidrogén a legkönnyebb elem, ezért tömegre vetített energiatartalma a legnagyobb. Ez magyarázza az ürepülőgépekben történő felhasználását is.

Hátránya, hogy térfogatra vetített energiasűrűsége azonban nagyon kicsi, kis sűrűsége miatt. Ez szintén fontos, hiszen megmutatja, hogy egy adott térfogatú tartályban mennyi energiát tudunk magunkkal vinni. Például egy 500 literes tartály körülbelül 400 kilogrammnyi gázolajával egyenértékű hidrogéngáz-mennyiség körülbelül egy 8000 literes tartályban férne el 250 bar nyomáson. Folyékony hidrogént használva ehhez körülbelül egy 2100 literes tartály kellene. Fémhidrid tárolása esetén a fő probléma a tömegnövekedés, a 400 kg dízelolaj energiájának tárolására szolgáló hidrogéntartály tömege körülbelül 1725 kg lenne. Hiába tehát a kis tömegre eső nagy energiamennyiség, a fedélzeti felhasználásnak korlátokat szabnak a tárolási lehetőségek.

3. ÉGÉSPROBLÉMÁK

3.1 Korai gyulladás, visszaégés

Belső égésű motorok esetén a visszaégés a keverék begyulladását,

berobbanását jelenti a szívócsőben, karburátorban, levegőszűrőben vagy a szívórendszer egyéb részeiben. Általában a visszaégés okozója a rossz gyújtási időpont vagy a helytelen (általában szegény) keverék-összetétel.

A korai gyulladás a keverék begyulladása a hengerben még a gyújtószikra előtt. Ezt a motorban található túlmelegedett részek okozhatják, melyek hőelvezetése nem megfelelő.

3.2 Kopogás

Kopogásos égés akkor jön létre, ha a lángsebesség meghaladja a helyileg mértékadó hangsebességet. A kopogásos égés kiugróan nagy nyomáscsúcsot eredményez, mely káros hatással van a terhelésnek kitett alkatrészekre, valamint növeli az égési csúcs-hőmérsékletet, valamint a károsanyag-kibocsátást. A motorok kopogástűrése magasabb oktánszámú tüzelőanyag, dúsabb keverék alkalmazásával (belső hűtés javítása), a gyújtási időpont későbbre állításával növelhető. A kopogás detektálására a korszerű motorokon a blokkra szerelt gyorsulásmérőket alkalmaznak, a vezérlőelektronika a gyújtási időpont későbbre állításával avatkozik be. A hidrogénmotorok kopogása a gyakorlatban a benzines motorokéhoz hasonlóan kezelhető, a hagyományos kopogásérzékelő és motorvezérlő technikák kiterjeszthetők hidrogénüzemre is kisebb változtatásokkal.

4. A KÍSÉRLETI MOTOR FELÉPÍTÉSE ÉS FŐBB JELLEMZŐI

A mérésekhez használt motor a fenti ábrán is látható Honda GX 390, amely a TR-7E típusú áramfejlesztő egységgel van egybeépítve. A 389 cm³-es motor négyütemű, egyhengeres, léghűtéses, kétszelepes felülvezérelt kivitelű, főbb adatai és jelleggörbéi a következő táblázatban és ábrán láthatóak.

Amint a jelleggörbékről leolvasható, benzinüzemben a motor nyomatékának maximuma 25,1 N·m 2500/perc-es fordulatszámánál, míg a maximális teljesítménye 8,2 kW 3600/perc-es fordulatszámánál. A javasolt üzemi fordulatszám-tartomány 2000 és 3600 1/perc közé esik. A motorhoz kapcsolt szinkrongenerátor 3000/perc fordulatszámon 50 Hz frekvenciájú váltakozó áramot termel. A motor jellemzői ennél a fordulatszámánál teljes terhelés esetén: 7,7 kW teljesítmény és 25,4 N·m forgatónyomaték.

4.1 A motor gyújtásrendszere

A motor gyújtásrendszere a kisebb egyhengeres motorokra jellemző tranzistorvezérlésű mágnesgyújtás. A rendszer előnye, hogy mozgó érintkezőket nem tartalmaz, ezért nincs alkatrészkopás, karbantartást nem igényel, a gyújtófeszültség pedig nagy, ami megkönnyíti az indítást. A gyújtásrendszert a hengerfejre rögzített vasmagos tekercs, a lendkerékre



3. ábra: a Honda GX 390 motor



4. ábra: a motor jelleggörbéi

Modell	GX 390
Motor típusa	Légűtéses négyütemű egyhengeres OHV benzinmotor, 25°-ban fekvő henger vízszintes forgattyús tengely
Furat x löket	88x64 mm
Lökettérfogat	389 cm ³
Kompresszió	8,0 : 1
Nettó teljesítmény	8,2 kW (11,2 LE) / 3600 1/perc
Tartós teljesítmény	6,0 kW (8,2 LE) / 3000 1/perc
	6,6 kW (9,0 LE) / 3600 1/perc
Max. nettó nyomaték	25,1 N•m / 2500 1/perc
Gyújtásrendszer	Tranzisztoros
Indítás	Indítószinór
	Opcionális önindító
Tüzelőanyagtank	6,1 l
Tü.a. fogyasztás	3,7 l/óra – 3600 1/perc
Olajmennyiség	1,1 l
Méreték (L x W x H)	405x450x443 mm
Száraz tömeg	31 kg

2. táblázat: a Honda GX 390 motor adatai

rögzített állandó mágnes, a gyújtókábel, a gyújtógyertya, valamint a gyújtáskapcsoló alkotják. A gyújtásrendszer felépítését és az alkatrészek elhelyezkedését az 5. ábra mutatja.

A tranzisztor és annak vezérlője a gyújtótekercsrel egybe van építve. A motor indítómotorral és olajnyomás-ellenőrzővel rendelkezik, az akkumulátort pedig töltőtekercs tölti.

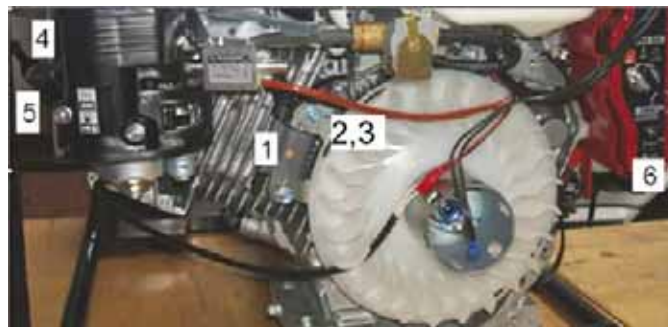
4.2 A motor tüzelőanyag-ellátó rendszere

A tüzelőanyag-ellátó rendszer felépítése a 6. ábrán látható:

A keverékképzést egytorkú, vízszintes áramú karburátor (1) végzi, indításkor a keveréket automatikus hidegindító mágnesszelep (2) dúsítja, az előfójtó szelep (5) zárásával. A (3) ütköztető csavar az alapjárat beállítására szolgál, az üzemi fordulatszám állandó értéken tartását a (9) rudazaton keresztül röpszerűs fordulatszám-szabályozó végzi. A keverék összetétele a (4) csavarral állítható, az alapjárat levegő a (7) nyíláson jut a motorba, a benzincsapot pedig elektromos szelep (8) nyitja. A pillangószelepet nyitó kar (6) alapesetben rögzített.



6. ábra: a tüzelőanyag-ellátó rendszer



5. ábra: a gyújtásrendszer: 1 vasmagos tekercs; 2 lendkerék; 3 mágnes; 4 gyújtókábel; 5 gyújtógyertya; 6 gyújtáskapcsoló

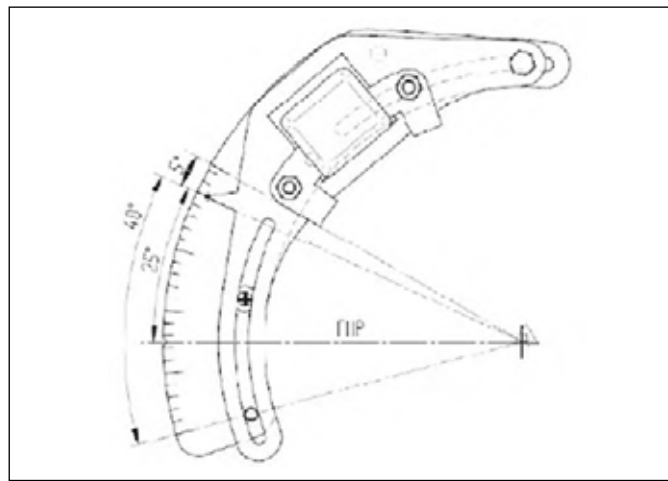
5. A MOTORON VÉGZETT ÁTALAKÍTÁSOK HIDROGÉNÜZEMRE

5.1 A gyújtásrendszer átalakítása

Az előgyújtási szög állíthatóságának érdekében a gyújtótekercset a kerület mentén elmozdíthatóvá alakítottuk át. Az elmozdítás következtében a lendkerékre rögzített állandó mágnes a felső holtponthoz (FHP) képest más helyzetben éri el a tekercset. Ezért a tekercsben a feszültség felfutása, ezzel pedig a gyújtás időpontja az elmozdítás szögértékének megfelelően változik. A motor jobbforgású, tehát a tekercset az óramutató járásával megegyezően elfordítva az előgyújtási szög csökken, azzal ellentétesen elfordítva pedig növekszik.

Mivel a kísérleti motort a Gépjárművek tanszék E85 üzemre is alkalmassá akarta tenni, olyan előgyújtás-állító berendezés tervezésére volt szükség, mely kielégíti mind a benzin, az E85 és a hidrogénüzem kívánalmait. Hidrogén használatkor a gyors égési sebességnek köszönhetően az optimális előgyújtási szögértéknek elméletileg kisebbnek kell lennie, mint benzines üzemben, E85 esetén az etanoltartalom miatt az ideális előgyújtási szögérték nagyobb. A gyári előgyújtásérték benzinüzemre: 25° FHP előtt. A tüzelőanyagtól és az üzemviszonyoktól függően felső holtpont utáni gyújtási időpont is szóba jöhet, ezért az előgyújtási szög állíthatósága a FHP előtti 40°-tól a FHP utáni 5°-ig került meghatározásra. A szerkezeten található szögskálán a kis beosztások 2°-ot, a nagy beosztások 10°-ot jelölnek főtengelyfokban mérve, a felső holtpontot kör, a gyári beállítást (25°) félkör alakú bemarás jelöli. Az előgyújtás-állító szerkezetet a 7. ábrán látható.

A motorra felszerelt előgyújtás-állító szerkezetet a 8. ábrán látható. A szerkezet a hengerfejen, a gyújtótekercs helyén került rögzítésre süllyesztett csavarokkal. A tekercs egy lemezre van erősítve, ahol egy sín mentén el lehet mozdítani, állítása pedig a síneket



7. ábra: az előgyújtás-állító szerkezet



5.2 A hidrogénellátó rendszer kialakítása

Technical drawing of a mechanical part, likely a shaft or axle, showing a cross-section A-A. The drawing includes dimensions in millimeters (mm) and inches (in). Key dimensions include: total length 183 mm, outer diameter 73 mm, inner diameter 61 mm, and various step diameters and lengths. A section line A-A is indicated at the bottom.

9. ábra: az 5 mm-es fúvóka beépítése a szívócsőben



Az előkísérletek során a hidrogénellátó rendszer további részei egymást követő sorrendben: a gázpalack, mely 200 bar nyomáson



tárolja a hidrogéngázt, a reduktor, mely a 200 bar nyomást 5 bar nyomásra redukálja, egy elektromos biztonsági szelep, valamint egy LPG-autóknál használatos reduktor, mely az 5 bar nyomást közel atmoszférikus nyomássá alakítja, és elektromos biztonsági szelepet is tartalmaz.

A motorba olajhőmérséklet-mérő műszert építettünk be, melynek érzékelőjét menetátalakítás után a motor olajleeresztő csavarjának helyére csavartuk be. Fontos volt elkerülni, hogy a kísérletek elvégzése közben a motor túlmelegedés okozta károsodást szenvedjen, ehhez pedig alapvető volt, hogy a motorolaj hőmérsékletét figyelemmel tudjuk kísérni.

6. AZ ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK BEMUTATÁSA

A motorral hidrogénüzemben számos mérést végeztünk. Ezen mérések során célunk volt olyan hidrogénüzem létrehozása, mely biztonságos, és megfelel a motorral szemben támasztott követelményeknek. Ezen követelmények a következők: elégséges teljesítmény leadása, károsodásmentes, tartós hidrogénüzem, kielégítő fogyasztás és a környezeti terhelés minimálisra történő csökkentése (halk, durrogásoktól mentes járás és kielégítő emissziós értékek).

6.1 Referencia olajhőmérséklet felvétele

A hidrogénellátó rendszer megtervezése és megvalósítása utáni első lépésünk referencia olajhőmérséklet felvétele volt. Benzinüzemben maximális terhelésen (5,4 kW/3000/perc fordulat-szám), a gyári beállításokkal végeztünk terhelési kísérletet, és a maximális hőmérséklet 75 °C volt. További kísérleteink során az olajhőmérséklet folyamatos regisztrálásával kerültük el azokat a beállításokat, melyek tartós üzeme esetén a motor túlmelegedéséhez vezettek volna.

6.2 A megfelelő fúvókaméret és előgyújtási szög kiválasztása

Első lépésként az LPG-reduktorból annak kimeneti átmérőjének megfelelő vastagságú, igen kis hosszúságú fúvókával kísérleteztünk. Ez olyan heves visszaégéshez vezetett, hogy új karburátort és szívócsövet kellett beszerezni, a visszaégés okozta magas hőmérséklet ugyanis tönkretette ezen alkatrészeket.

A következő lépéscélok egy 4 mm-es, hosszán, a pillangószelepig benyúló fúvóka volt, mely azonban a kielégítő motorüzem mellett üresjáratától eltérő terhelés esetén motorleálláshoz vezetett. Ezután a fúvóka hosszán már nem változtattunk, mert bebizonyosodott, hogy a megfelelő hosszúságú fúvóka alkalmazásával kiküszöbölhető a visszaégés. A következő hetekben aprólékos

munka következett, mely során 4 mm és 7 mm között számos fúvókát kipróbáltunk, mindegyiket több előgyújtási szögértéknél. A kapott optimalizálási folyamat végeredménye az lett, hogy jelenleg motorunk kielégítő motorüzemben 5 mm-es fúvókával, 26° előgyújtással üzemel. A benzinüzem gyári előgyújtásértéke 25°, így az 26° esetén is kielégítő marad. Korábbi kísérleteink tanúsága szerint E85 üzemanyaggal is kielégítő üzemet kapunk 26° előgyújtásérték mellett.

Az előgyújtás állandó volta lehetővé teszi számunkra a motor leállítása nélküli üzemváltását, azaz bármikor válthatunk a gáznemű (hidrogén) és a folyékony (benzin, vagy E85) üzem között.

6.3 Indikátordiagram vizsgálata

A hidrogénüzem optimalizálásához hozzátartozik az indikátordiagram vizsgálata. Kiugróan magas nyomáscsúcsok detektálása esetén a hidrogénüzem további optimalizálásra szorul.

A motor indikátordiagramjának vizsgálata kezdeti stádiumban van, további vizsgálatok szükségesek a pontos értékek meghatározásához.

7. A TOVÁBBI TERVEZETT KÍSÉRLETEK

7.1 Optimális keverékarány beállítása

A továbbiakban kísérleteink az optimális keverékarány beállítására vonatkoznak. Fogyasztásmérés és a pillangószelep szöghelyzet-mérésének segítségével számítható a légviszony.

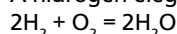
A fogyasztásmérést egy 0,1 gramm pontosságú mérlegre helyezett könnyített hidrogénpalackkal végezzük, különböző terheléseken. A pillangószelep szöghelyzetét a motorra szerelt skála értékét átszámolva kapjuk meg.

7.2 Emissziós értékek vizsgálata

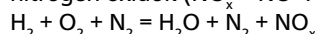
A finomhangolás része még az emissziómérés. Igen érdekes lesz megállapítani, hogy hidrogénüzemben a kenőanyag égése folytán milyen mértékű CO-, CO₂, HC-emisszió mutatható ki.

A hidrogénüzem legfontosabb emissziós paramétere azonban a nitrogén-oxidok mennyisége a kipufogógázban.

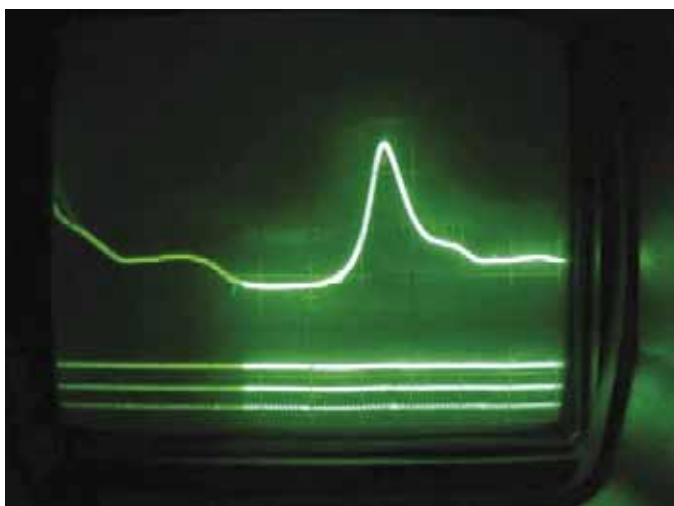
A hidrogén elégetése oxigénben csak vizet eredményez:



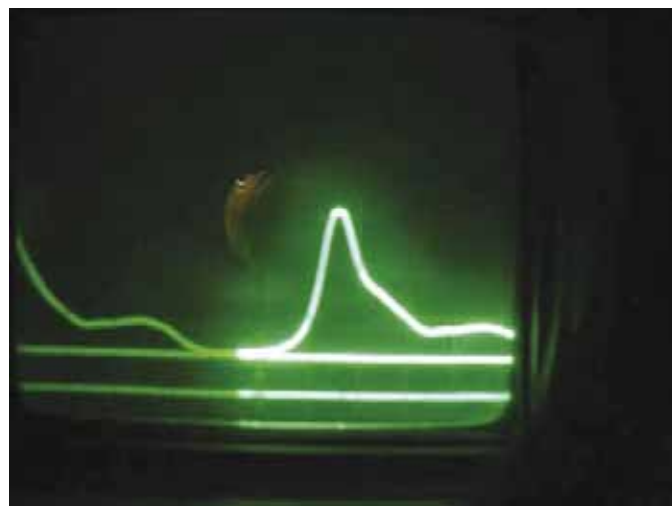
Ha azonban a hidrogén levegőben (nitrogén + oxigén) ég el, nitrogén-oxidok (NO_x = NO+NO₂) is keletkeznek:



Nitrogén-oxidok magas hőmérsékleten keletkeznek. A hőmérséklet nagyságától függ, hogy a beszívott levegő nitrogénjének mekkora hányada oxidálódik. Az NO_x mennyisége a következő tényezőktől függ:



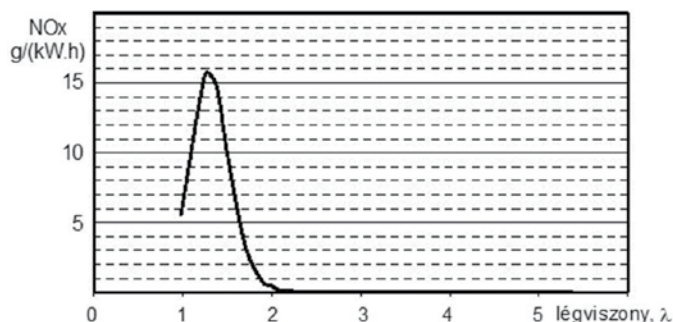
14. ábra: benzinüzem indikátordiagramja



15. ábra: hidrogén üzem indikátordiagramja

- a levegő/tüzelőanyag aránytól
- az égéstérnyomások nagyságától
- a motor fordulatszámától
- a gyújtás időzítésétől
- az esetlegesen alkalmazott belső hengerhűtés mértékétől.

A motor állapotától (olajégés) és az alkalmazott működési stratégiától (gazdag vagy szegény keverék) függően a hidrogénmotor károsanyag-kibocsátása a majdnem nullától a nagyobb értékekig változhat. A következő ábra a hidrogénmotorok tipikus NO_x -kibocsátás diagramját mutatja a λ légviszony (beszívott levegőtömeg/az égéshez elméletileg szükséges levegőtömeg) függvényében.



16. ábra: a hidrogénmotor károsanyag-kibocsátása

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A hidrogén tulajdonságai lehetőséget adnak az emberiségnek, hogy a villamosenergia-tárolás problémájának valódi megoldásáig alternatív energiahordozó legyen, megkönnyítve a jövőbeni átterét a fosszilis tüzelőanyagokról. Kísérleteinkkel egy olyan konzorcium munkájában veszünk részt, amely együttesen megoldást kínál az energia tárolásának és felhasználásának problémájára. Eddigi eredményeink egyértelművé tették, hogy munkánknak van létjogosultsága. Hidrogénmotorok tervezése során a fő cél olyan konstrukció kialakítása, amely a hidrogén mint tüzelőanyag tulajdonságainak előnyös oldalát maximális mértékben kihasználja, a káros következményeket minimálisra csökkentve.

Irodalom

- [1] Dr. Emőd István, Kádár Lehel. A hidrogén felhasználása belső égésű motorokban, Budapest, 2008.
- [2] Dr. Dezsényi Gy.–Dr. Emőd I.–Dr. Finichiu L. Belső égésű motorok tervezése és vizsgálata, 2. kiadás. Budapest, Tankönyvkiadó, 1992.
- [3] Dr. Emőd I. – Dr. Tölgyesi Z – Zöldy M. Alternatív járműhajtások, Budapest, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó, 2006.
- [4] Budik György: Hidrogén felhasználási lehetőségei belső égésű motorok üzemanyagaként, Járművek és Mobilgépek, II. évf. (2009) No. 1.
- [5] Váradi I.: Belső égésű motorok hidrogénüzeme. Diplomamunka, BME 2008.
- [6] Zsován N. Hidrogénüzemű járművek hajtóanyag-tárolási megoldásainak vizsgálata. Diplomamunka, BME 2008.
- [7] Mihály A.: Hajtóanyagok és járműrendszerek teljes energialánc-vizsgálata. Diplomamunka, BME 2008.
- [8] Boros B.: Alternatív motorhajtóanyagok. Diplomamunka, BME 2008.

IMPRESSZUM

A jövő járműve • Járműipari innováció

IV. évfolyam, 2009/3–4. szám • Alapítva: 2006 • Megjelenés: negyedévente • HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK:



ELEKTRONIKUS JÁRMŰ
ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI
TUDÁSKÖZPONT



JÁRMŰIPARI
REGIONÁLIS EGYETEMI
TUDÁSKÖZPONT
GYŐR



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

1111 Budapest, Stoczek utca 6., J épület 516. • Tel.: 1/463-1753 • Fax: 1/463-3255 • E-mail: info@ejjt.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 Rendezényszervező Kft.

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

KIADÓ:

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezényszervező Kft. • Felelős kiadó: Pintér Imre

SZERKESZTŐSÉG:

X-Meditor Kft. Autóinformatika üzletág

Felelős szerkesztő: dr. Nagyszokolyai Iván • Tel.: 96/618-062 • E-mail: nszi@xmeditor.hu

Szerkesztő: Onódi Gábor • Tel.: 96/618-083 • E-mail: at@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

Dr. Bercsey Tibor • Dr. Bokor József • Dr. 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, Víza utca 4.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.

[OLVASSON, MIELŐTT JAVÍT!]

[SZAKEMBEREKTŐL
SZAKEMBEREKNEK]

www.AUTOTECHNIKA.HU



Az Alternatív Hajtású Járőmősport Szővetség és az INNO-MOBIL Sportegyesület
a Széchenyi István Egyetem közremőködésével meghirdeti az

V. Széchenyi Futam[®]

Alternatív Hajtású Járőmővek Versenyét[®]



www.ahjv.hu



A versenyre egyetemi, főiskolai, középiskolai és egyéni csapatok
jelentkezését várjuk Magyarországról és határainkon túlról.

NEVEZZ TE IS ÉS ÉPÍTSD MEG A HOLNAP JÁRMŐVÉT!

Nevezési határidő: 2010. február 1.

NEVEZNI A HONLAPON KITÖLTÖTT PÁLYÁZATI ADATLAPOKKAL LEHET

Tervdokumentációk leadási határideje: 2010. február 28.

Az V. Széchenyi Futam[®] tervezett időpontja: 2010. április 23-25.

A verseny helyszíne: Győr, belváros

További információ: www.ahjv.hu