

Versenyben a kutatásban



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 autó- és motorfejlesztés szakembereinek ezért naprakésznek kell lenniük a kutatásfejlesztés legújabb eredményeiben, tendenciáiban.

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

Kérjen ingyenes próbaszámot!

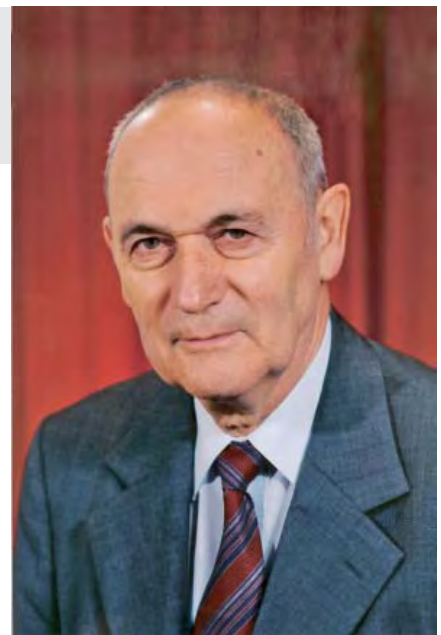


További információkat a www.atzonline.com honlapon, az autóiipari mérnökök tudásportálján olvashat, ahol az ön munkáját egyedülálló on-line szaccikkarchívum is segíti.



Dr. Czinege Imre

a JRET elnöke



Köszöntő

A Pázmány Péter Program eredményeként létrejött regionális egyetemi tudásközpontok első hároméves ciklusa lezárult. Az országban működő 19 tudásközpont minden területen erősítette a kutatási tevékenységet, és számos értékes eredmény létrejöttét segítette. A két járműipari tudásközpont, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen működő EJJT, és a Széchenyi István Egyetem által létrehozott JRET egymást kiegészítve és kölcsönösen támogatva az iparág elismert kutatóhelyévé vált. A közösen létrehozott és kiadott folyóirat, A jövő járműve minden járműipari vállalathoz eljut, és szakmai fórumot teremt az iparág innovatív eredményeinek a megismertetésére.

Az elmúlt három évben a JRET a hazai járműgyártás meghatározó kutatási bázisa lett. A Széchenyi István Egyetem kutatási infrastruktúrája és humán erőforrása hatékonyan szolgálja ki nem csupán a konzorciumi partnerek igényeit, hanem a többi járműipari vállalatot is. A program megvalósítása során létrehozott és bevezetett új technológiák, termékek, termelő- és kutatási eszközök olyan tudáskoncentrációt eredményeztek, mely a továbbiakban is ha-

tékonyan tud működni. További hozadéka a projektnek, hogy az egyetemi kutatások lényegesen eredményorientáltabbá váltak, mint korábban voltak.

A vállalati partnereknél kiépített új termelő- és vizsgáló kapacitások, technológiák és tervezési módszerek alkalmazása mindhárom konzorciumi tag – a Rába Futómű Kft., a Visiocorp Hungary Bt. és a Borsodi Műhely Kft. – működésében jelentősen növelte a versenyképességet. A projekt fontos eredménye az is, hogy a vállalatok életébe beépült a kutatási tevékenység, amely ma már nem csupán a saját termelőbázist szolgálja ki, hanem kifelé is értékesíthető szolgáltatássá vált. A három vállalati partner a közös kutatási tevékenység eredményeként 4,75 milliárd Ft-tal tudta növelni árbevételét, ebből 2,2 milliárd volt az exportnövekmény. Mindez növekvő foglalkoztatottsággal járt, pozitív vonásként pedig az átlagnál jobban nőtt a kutató alkalmazottak száma.

A program számos eredménye közül kiemelkednek a Rába új közúti és traktor-futóművei, a Visiocorpnál bevezetett gáz ellennyomósos fröccsöntés teljes körű technológiai adaptációja, az új laboratórium

és fejlesztőközpont alapítása, a Borsodi Műhelynél pedig a légijármű-alkatrész technológiák meghonosítása és a légi jármű beszállítói minősítés elnyerése. Mindezen gyakorlati eredmények létrejöttét a Széchenyi István Egyetem elméleti-tudományos háttere támogatta.

A JRET kisugárzó hatása a régió többi vállalatát is motiválta az innovációra. A technológiatranszfer fórumként szolgáló Tech4Auto konferencia és kiállítás évről évre több látogatót vonzott, ezek száma 2008-ban már meghaladta a háromszázat.

Összefoglalva megállapítható, hogy a projekt minden kitűzött célját elérte, ezek eredményeként nőtt a régió versenyképessége és a magasabb hozzáadott értékű termékek piacra vitele. A projekt sikerességét az is visszaigazolja, hogy a konzorcium közel változatlan összetételben a következő három évre újabb jelentős támogatást nyert el, mellyel a megkezdett tevékenységek magasabb szinten folytathatók. Ennek eredményeként a két tudásközpont továbbra is meg fogja jelentetni A jövő járműve folyóiratot, reményeink szerint az olvasók meglegedésére.

Tartalomjegyzék

3	Köszöntő – Dr. Czinege Imre
5	Változtatható kompresszióviszonyú járműmotor-konstrukció fejlesztése és megvalósítása – dr. Tóth-Nagy Csaba
8	Alakváltozási munkaszükséglet optimalizálása kovácsoláskor CAD-CAE módszerekkel – Halbritter Ernő, Tancsics Ferenc, Gergye Tamás
12	Korszerű számítógépes csapágyméretezési program kialakítása haszonjármű-futóművek és erőátviteli berendezések csapágyki-választásához – Herczeg Imre, dr. Horváth Péter, Nagy Attila, Légmán László, Rákóczy Kálmán, Szekendy Dezső
16	Döntéstámogató rendszer (DSS) szerszámanyagok és felületi bevonatok kiválasztásához – Réti Tamás, dr. Czinege Imre, Felde Imre
19	Gyártási és logisztikai folyamatok tervezése szimulációs eljárással – Jósvai János
22	Számítógépes szimulációk ipari alkalmazhatósága – dr. Kardos Károly, Buczkó Attila
26	Tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezése speciális hálózati gráffal – dr. Péter Tamás
30	Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analizésére és tervezésére – dr. Péter Tamás, Stróbl András, Fazekas Sándor
34	Városi közúthálózat objektumainak video- és GPS-alapú felmérése – dr. Péter Tamás, dr. Bécsi Tamás, Aradi Szilárd
39	Flottamenedzsment-rendszerek adatátviteli módszerei – Aradi Szilárd, dr. Bécsi Tamás
44	Jármű-karosszériaelemek kvázi-interferometrikus alakvizsgálata – Antal Ákos, Fekete Róbert Tamás
48	Sztereo gépi látórendszer forgalmi sávok automatikus detektálásához és követéséhez – Bódis-Szomorú András, Virágh Bálint, Wahl István, dr. Fazekas Zoltán, dr. Dabóczi Tamás
56	A proporcionális féklámpák hosszú távú hatásai – Fekete Róbert Tamás, dr. habil Ábrahám György
61	A gépkocsihajtás villamosítása 1. rész – Petrók János
67	A Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai – Bári Gergely
73	Formula Student versenyautó négyhengeres benzinmotorjának modellezése és optimalása – Dudás Zoltán
77	NABI 45 C-LFW CompoBus – Balvin Nándor
83	Személygépjárművek radarhálózatának alkalmazhatósága és azok mérés technikai tulajdonságai – dr. Oláh Ferenc, Horváth Richárd
94	Személygépjárművek folytonos üzemű biztonsági radarjai – dr. Oláh Ferenc, Horváth Richárd

Változtatható kompresszióviszonyú járműmotor-konstrukció fejlesztése és megvalósítása

**Dr. Tóth-Nagy
Csaba**

Széchenyi István Egyetem,
Audi Hungaria Belső Égésű Motorok
Tanszék, Járműipari
Regionális Egyetemi
Tudásközpont

A jelen értekezés bemutatja a Széchenyi István Egyetemen fejlesztett VSE (változtatható löke-tű) motort, ami HCCI (homogén töltés kompresszió gyújtás) üzemmódot valósít meg. A motor egy bolygóműhöz hasonló megoldással állít egy a forgattyús csap és a hajtókar közé illesztett excentrikus perselyt, ami a VSE-motor forgattyúsugarát változtatja, ezáltal változtatva a motor kompresszióviszonyát. A cikk bemutatja a két kifejlesztett állítási módot és a VSE-motor prototípusát.

The present study introduces the VSE (variable stroke engine) developed at Széchenyi István University. The VSE realizes HCCI (homogeneously charged compression ignition). The VSE applies a planetary gear system like adjusting mechanism and an eccentric hub fit to between the crank journal and the big end of the connecting rod to vary stroke length and through that compression ratio. Two adjusting methods developed are also presented in the paper, as well as the prototype variable stroke engine.

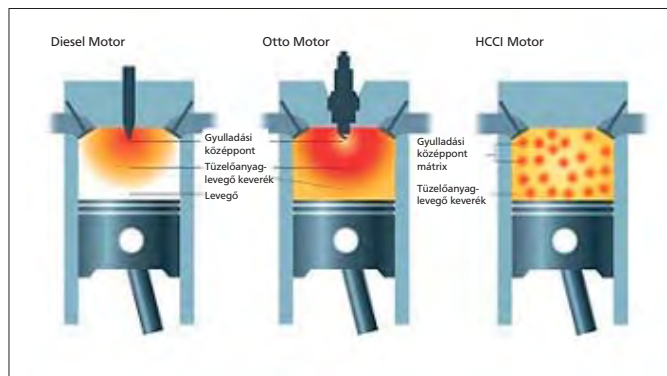
BEVEZETÉS

A sokat vitatott globális klímaváltozás, a városok levegőjének szennyezettsége és az egyre apadó kőolajforrások mind arra sarkallják a motorfejlesztő mérnököket, hogy jobb hatásfokú és kevesebb káros anyagot kibocsátó motorokat fejlesszenek és gyártsanak. A legutóbbi évek nagy ígérete a HCCI-motor, amely javulást ígér mind a motorok hatásfoka, mind a káros anyag kibocsátása terén.

A HCCI – (Homogeneously Charged Compression Ignition), homogén töltés kompressziós gyújtással kombinálva, egy viszonylag új égéstechnológia [0-0]. Az eljárás sajátossága, hogy egy hagyományos Otto keverékképzésű és egy dízel kompressziógyújtású motor hibridje. A motor a hengerbe tüzelőanyag-levegő keveréket szív be, amelyet a felfelé mozgó dugattyú összenyom. A homogén töltet hőmérséklete eléri a gyulladási hőmérsékletet, öngyulladás lép fel, közel egyszerre ég el, így egyenletesebben terheli a hengerfejet, elosztva abban a hőt. Egyúttal a tüzelőanyag energiájának nagyobb része munkává alakul, és nem távozik feleslegesen a kipufogógázzal, ami hatásfokjavulást eredményez. Ugyanakkor csökken a károsanyag-kibocsátás, a korom-, szén-monoxid-, elégetlen szénhidrogén- és nitrogén-oxid-emisszió is.

Számos fejlesztő kísérletezik alternatív megoldásokkal, és vannak, amelyeket már alkalmaznak a napjainkban használt gépjárművek prototípusaiban is. Hasonló problémára keres megoldást pl. a Saab változtatható kompresszióviszonyú motorja [0], a General Motors a Bosch céggel és a Stanford egyetemmel fejlesztett HCCI-motorja [0-0], a Nissan újonnan fejlesztett dugattyú – kurbilis megoldása [0], az FP-3 lineáris motor [0-0], a GO-Engine, amely Miller-ciklust valósít meg [0], az MCE-5 [0] vagy a Daimler DiesOtto motorja [0].

Egy hagyományos szikragyújtásos vagy dízelmotortól eltérően a HCCI-égés inhomogén zónák és lángfrontok nélkül zajlik, spontán és homogénen [0-0]. Ez kiküszöböli a heterogén levegő-tüzelőanyag keverék régiókat. A HCCI-eljárás során, a henger átlaghőmérséklete és nyomása magasabb, mint a dízel- vagy Ottomotoroké, viszont a lokális pontokban a hőmérséklet alacsonyabb. A reakciók alacsonyabb helyi égési hőmérsékleten mennek végbe, ezért számottevően csökken a nitrogén-oxid-emisszió. Mivel a motor többnyire légfelesleggel dolgozik, a korom-, elégetlen szénhidrogén- és a szén-monoxid-kibocsátás is praktikusán zéró. Az 1. ábra bemutatja a dízel, Otto- és a HCCI-égést.



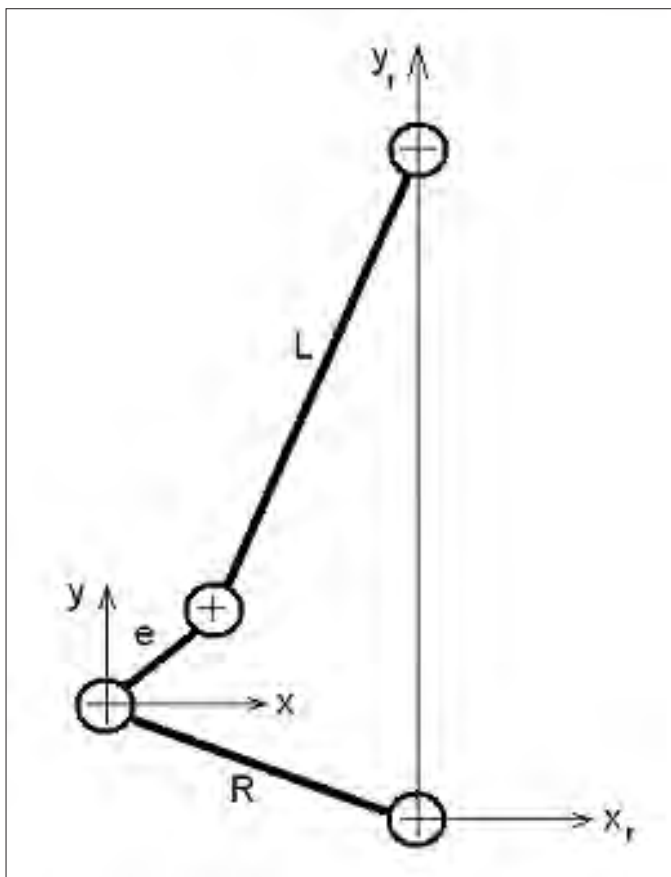
1. ábra: dízel-, Otto- és HCCI-motorokban történő hőfelszabadulás elve

A felsorolt előnyök mellett a kihívást az jelenti, hogy hagyományos motorok HCCI-üzemmódban, csak egy szűk működési tartományban képesek működni. Számos különböző megoldás született a motor működési tartományának kibővítésére, úgymint: keverék tüzelőanyagok használata, töltethőmérséklet-változtatás vagy változtatható kompresszióviszony.

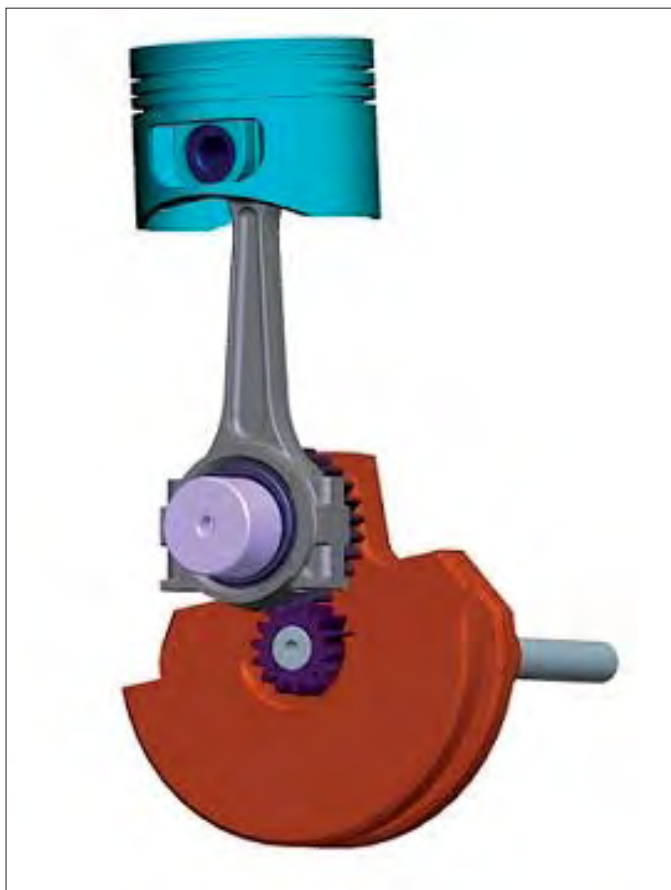
A VSE-MOTOR TECHNIKAI LEÍRÁSA

A Széchenyi István Egyetem munkatársai a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont és az Audi Hungaria Belső Égésű Motorok Tanszék együttműködésének eredményeként, kifejlesztettek egy változtatható löketű motort, VSE (variable stroke engine), ami változtatható kompresszióviszonyával célozza megoldani a HCCI-motor működési tartományának kiterjesztését a motor teljes működési tartományára.

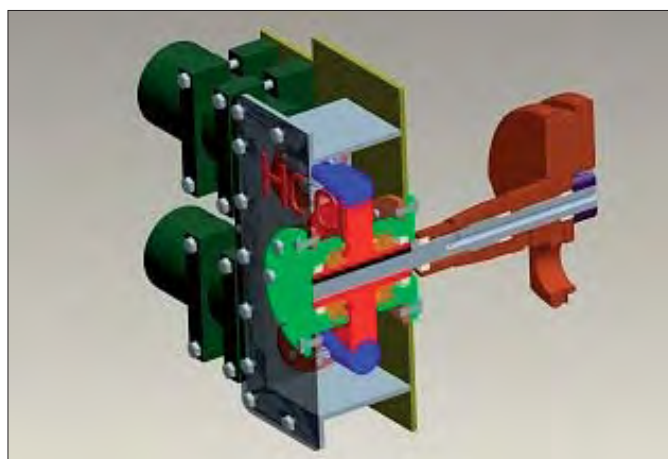
A 2. ábra bemutatja a VSE-motor sematikus modelljét és a 3. ábra bemutatja a VSE-motor 3D CAD-modelljét. A fejlesztés során fő cél volt, hogy a motor-kompresszióviszony változtatását a motor legkisebb mértékű áttervezésével meg lehessen oldani, és a lehető legtöbb alkatrész a mai motorokból változatlanul átvethető legyen. A tervezés során módosított és legyártatott főtengely forgattyús csapjára egy excentrikus persely illeszkedik, aminek egyik végére egy fogaskerék van munkálva. Erre az excentrikus perselyre illeszkedik a hajtókar. Mind a persely a forgattyús csapon, mind a hajtókar a perselyen meg van csapágyazva, nyomó olajzással van ellátva, és képes egymáson elfordulni.



2. ábra: a VSE-motor sematikus modellje



3. ábra: a VSE-motor 3 dimenziós CAD-modellje



4. ábra: az 1. állítási koncepciónál az állítómű a főtengelyhez van rögzítve

A főtengely lendítőkerek felőli nyugvócsapjába kimunkált furatba egy állítótengely van csapágyazva, amelynek a végére a forgattyús csapon lévő fogaskerék kapcsolódó párja van rögzítve. Ennek eredménye, hogy az állítótengely állításával változik a főtengely forgattyúsugara, ezzel a dugattyú felső holtpontja és a motor kompresszióviszonya.

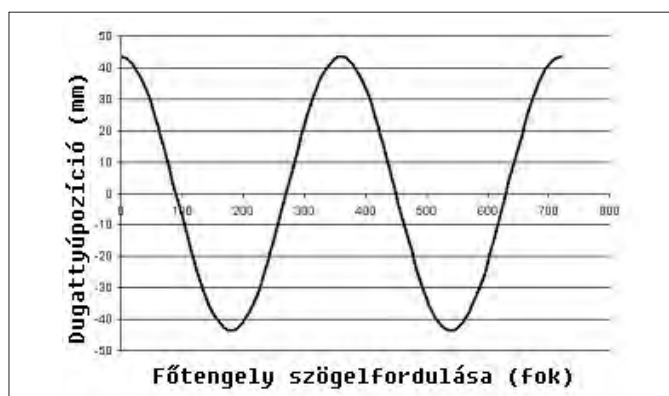
KOMPRESSZIÓVISZONY-ÁLLÍTÁSI KONCEPCIÓK

Két koncepció lett kifejlesztve a kompresszióviszony állítására. Az 1. állítási koncepció esetén az állítótengely pozíciója a főtengelyhez képest változik. Az állítótengely elforgatása egy állítómechanizmus segítségével történik. Az állítómechanizmust egy csigahajtás valósítja meg, kihasználva a csigahajtás önzáró mivoltát, biztosítva ezzel, hogy amikor a VSE-motor kompresszióviszonya megfelelő, akkor a kompresszióviszony megtartása nem igényel energiabefektetést. Amikor a VSE-motor kompresszióviszonya nem megfelelő, akkor a csigahajtás csigáira illesztett szervomotorok elforgatják az állítótengelyt, ezzel változtatva a kompresszióviszonyt a kívánt értékre. A 4. ábra bemutatja az állítómechanizmust.

A csigahajtás háza a főtengelyre van szerelve, és vele együtt forog. A csigahajtás természetesen helyettesítheti a lendítőkereket. A csigakerék az állítótengelyhez illeszkedik, így biztosítva az állítótengely főtengelyhez viszonyított pozícióját. A villanymotorok energiaellátása és a szabályozójelek átvitele csúszógyűrűkön keresztül történik.

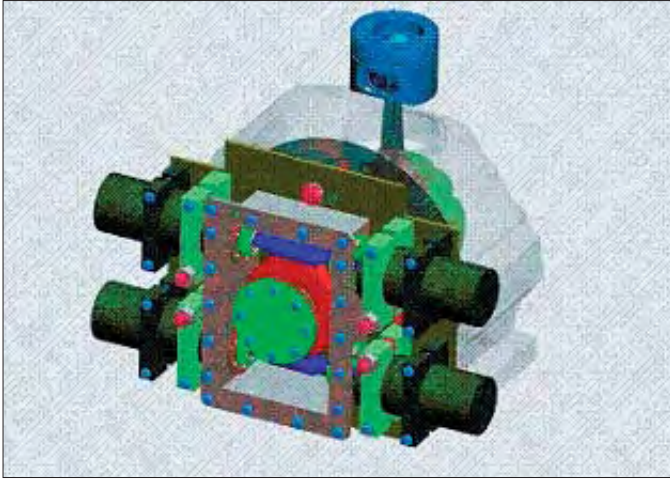
Az 5. ábra bemutatja a dugattyú mozgását az 1. állítási koncepció esetén. A löketek egyformák, és a kompresszióviszony állításával a lökethosszok egyaránt változnak mind a négy löket esetében.

A 2. állítási koncepció esetén az állítótengely pozíciója a forgattyús házhoz képest változik. A csigahajtás háza a forgattyús házhoz van rögzítve, a csigakerék pedig továbbra is az állítótengelyhez. Ez a 6. ábrán látható.



5. ábra: az 1. állítási koncepció, amikor az állítótengely pozíciója a főtengelyhez képest változik

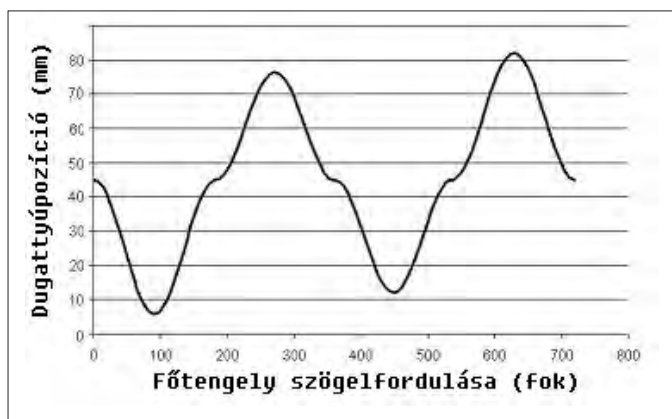
Az eredmény egy olyan dugattyúmozgás, amely esetén a szívás, kompresszió, terjeszkedés és kipufogás ütemek mind más löket-hosszt vesznek fel. Ennek eredményeképpen a 2. állítási koncepció Miller-ciklust képes megvalósítani, ami további hatásfokjavulást eredményez. A 7. ábra a dugattyú mozgását mutatja a 2. állítási koncepció esetén. Megfigyelhetők a különböző lökethosszú ütemek.



6. ábra: a 2. állítási koncepciónál az állítómű a forgattyús házhoz van rögzítve

A VSE-motor kompresszióviszonyának állítása visszacsatolt szabályozással van megoldva, amely a hengerben elhelyezett piezolit kristályos nyomásérzékelő jelén alapul. A szabályozást egy LabView-ban írt program valósítja meg National Instruments kommunikációs kártyákkal. Amikor alacsonyabb a kompresszióviszony, mint ami az öngyulladásához szükséges, akkor kihagy a motor, a szabályozóegység növeli a kompressziót, amikor magasabb, akkor a motor kopogva jár, a szabályozóegység csökkenti a kompressziót.

A VSE-motor szimulációs kinematikai elemzését a [0] hivatkozás írja le. Összehasonlítja a motor két állítási koncepcióját és azt vonja le konklúzióként, hogy az 1,3 mm-es excentricitású persely esetén a két üzemmód között nincs számottevő különbség. Mindazonáltal nagyobb excentricitású persely alkalmazásakor, a különböző ütemek lökethosszáinak különbségét megfelelően kihasználva, részterhelésen, hatásfokjavulás érhető el.

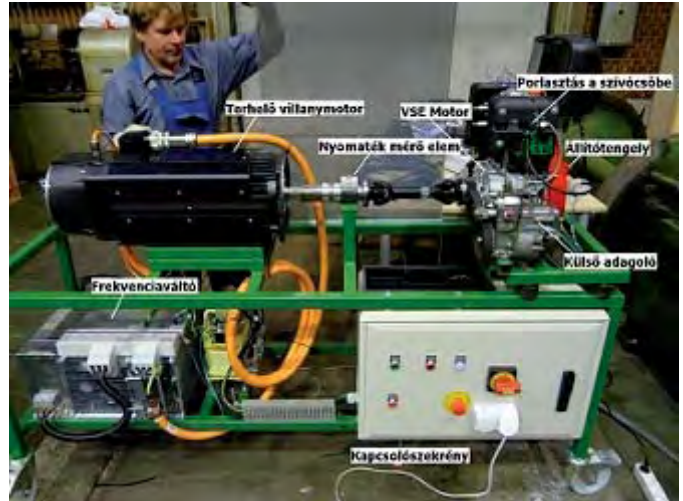


7. ábra: a 2. állítási koncepció, amikor a 2. állítótengely pozíciója a forgattyús házhoz képest változik

A VSE-MOTOR ÁLLAPOTA

A VSE-motor módosított főtengelye tervei elkészültek, a főtengely legyártásra került, és a motor összeszerelése megtörtént. A csigahajtásos állítómechanizmus tervei szintén elkészültek,

és az állítómechanizmus legyártásra került. A szabályozó és az adatgyűjtő rendszerek tervezése, gyártása megtörtént. A motor építésével párhuzamosan, egy motorvizsgáló próbapad építése vált szükségessé a motoron történő vizsgálatok elvégzéséhez. A motor hidegjárata és az adatgyűjtő rendszer kipróbálása megtörtént. A 8. ábra bemutatja a próbapadot és a padra szerelt motort.



8. ábra: a VSE-motor próbapadra szerelve

JÖVŐBENI FELADATOK

A VSE-motor kész a beindításra. A motor beindítása után kezdődhet a motor feltérképezése és vizsgálata, a szimulációs eredmények és a vizsgálatokból kapott mért eredmények összehasonlítása, és a szabályozóprogram tökéletesítése. Miután ez megtörtént, a motor károsanyag-kibocsátásának tesztelésére is sor kerülhet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton mond köszönetet a VSE-motor fejlesztésében, tervezésében és beüzemelésében részt vevő kollégák és hallgatók segítségével. Külön köszönet a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontnak a projekt finanszírozásáért.

Irodalom

- [1] Pántye Balázs, Dr. Tóth-Nagy Csaba, „Változtatható löketű motor szimulációs elemzése”, OGÉT konferencia, Brassó, Románia, 2008
- [2] www.me.berkeley.edu/cal/HCCI, 2008
- [3] www.sussex.ac.uk/automotive/1-6-3.html, 2008
- [4] <http://public.ca.sandia.gov/crf/research/combustionEngines/die.php>, 2008
- [5] www.saabnet.com/tsn/models/2002/pr19.html, 2008
- [6] www.a5.hu/cikkek/1/12173.shtml, 2008
- [7] <http://totalcar.hu/magazin/hirek/?main:2005.08.18.&233358>, 2008
- [8] www.nissan-global.com/en/technology/introduction/details/vcr/index.html, 2008
- [9] www.freepistonpower.com/fp3.aspx, 2008
- [10] www.stormingmedia.us/81/8134/A813492.html, 2008
- [11] www.gomecsys.com/uk, 2008
- [12] www.mce-5.com, 2008
- [13] <http://totalcar.hu/magazin/hirek/?main:2007.07.26.&321895>, 2008
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Adiabatic_process, 2008

Alakváltózási munkaszükséglet optimalizálása kovácsoláskor CAD-CAE módszerekkel

Halbritter Ernő
egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem

Tancsics Ferenc
kovácstechnológiai vezető,
Rába Futómű Kft.

Gergye Tamás
egyetemi hallgató,
Széchenyi István Egyetem

Többüregű kovácsolásnál az alakváltóztatás munkaszüksége, a szerszám élettartama függ az előalak geometriájától. Az előalak kedvező geometriája meghatározható korlátozott szélsőértékszámítással és végelelemes szimulációval.

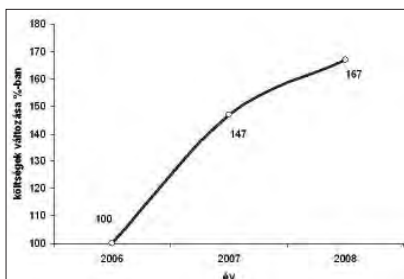
By multiple die forging the work expenditure of strain and tool life depend on the geometry of preshape. The auspicious geometry of preshape can be defined by using bounded-extremum account and finite element simulation.

BEVEZETÉS

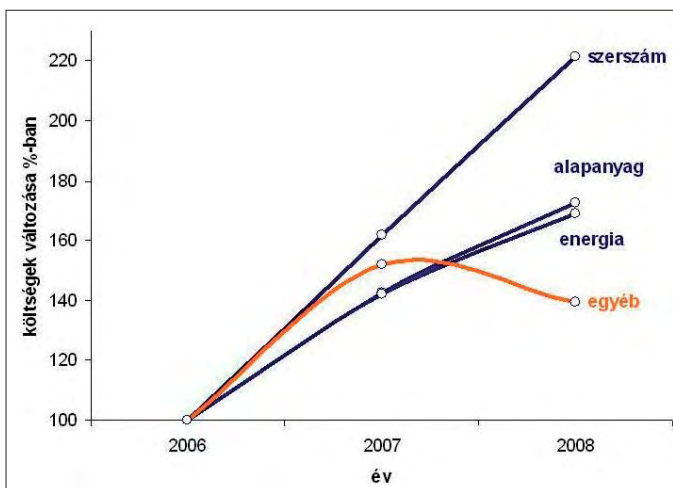
Kovácsolásnál a gazdaságos gyártást egyre nagyobb tömegű, integráltabb és bonyolultabb munkadaraboknál kell megoldani. A feladatok megoldása megkívánja a célirányos kutatásokat, a technológiai fejlesztéseket, a költségelemzéseket. A költségelemzések gyakran az alakítás munkaszükségletére és a szerszámköltségekre terelik a figyelmet.

A többüregű süllyesztékes kovácsolásnál a készrealakító üregbe kerülő előalak alapvetően befolyásolja az alakítás erő- és munkaszükségletét, a kész kovácsdarab szálelrendeződését. Az előalak geometriája bizonyos korlátok között szabadon megválasztható, de a különböző megoldásoknál biztosítani kell a kiinduló térfogat állandóságát. Az azonos térfogatú, de eltérő geometriájú előalakokat a Pro/Engineer szoftver optimalizáló moduljának felhasználásával határoztuk meg. Az

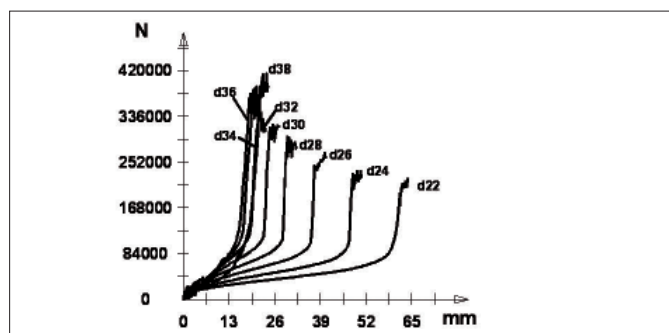
alakítás erő- és munkaszükségletét a Deform, illetve a SuperForge végelelemes szoftverekkel vizsgáltuk, és megállapítottuk, hogy a vizsgált előalakok mellett mikor lesz a teljes alakítási folyamat munkaszüksége minimális. Az alakítás munkaszüksége befolyásolja a szerszám élettartamát is.



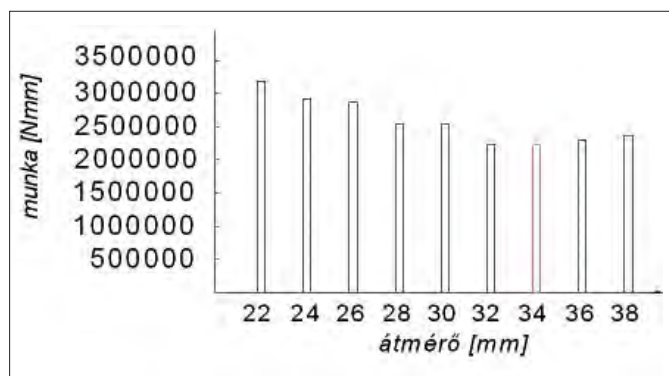
1. ábra: 1 kg kovácsdarab teljes előállítási költségének alakulása az utóbbi három évben



2. ábra: 1 kg kovácsdarab előállítási költségösszetevőinek alakulása az utóbbi három évben



3. ábra: az erő-út diagram különböző átmérőjű, állandó térfogatú előalaknál



4. ábra: az alakítás munkaszüksége különböző átmérőjű, állandó térfogatú előalaknál

A KÖLTSÉGEK ALAKULÁSA AZ ELMÚLT HÁROM ÉVBEN

Az elmúlt években látványosan nőtt a kovácsolt munkadarabok ára (1. ábra). Ez főleg a nagyobb műszaki követelményekkel, az energiaköltségek és az anyagárak növekedésével magyarázható (2. ábra). A tendenciákat ismerve a versenyképesség megőrzése érdekében a költségcsökkentés fontos feladat.

EGYSZERŰ SZEMLÉLTETŐ PÉLDA AZ ALAKÍTÁS MUNKASZÜKSÉGLETÉNEK MINIMALIZÁLÁSÁRA

Az egyszerű példánál az előalak hengeres rúdanyagból lett darabolva, majd a darabolt rúdsüllyesztékben $R=20$ mm sugarú golyóvá (gömbbé) kovácsolva. A kiinduló rudak átmérőit ($d = 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38$) a kereskedelmi méretválasztéknak megfelelően választottuk ki. A darabolt rúd hossza a térfogat-állandóság alapján kiadódott. A Pro/Engineer szoftvernél a térfogat-állandóság alapján az előalakok geometriai modellje könnyen előállítható tervezői összefüggések alkalmazásával. Az előalakok geometriai modelljével elvégeztük a golyók kovácsolásának szimulációját végeselemes módszerrel. A szimulációs vizsgálatoknál felvettük az alakítások erő – út diagramját. (Sorjavastagság 2 mm nyitott sorjacsatornánál, a kiinduló henger térfogata a golyó térfogatának 105%-a, az alakítás kezdeti hőmérséklete $T=1000$ °C, a Coulomb-féle súrlódási tényező $\mu=0,3$, a szerszámok hőmérséklete 200 °C, a szerszám mozgási sebessége 250 mm/s, anyag Cr4 DIN-41 szerint – 1. ábra).

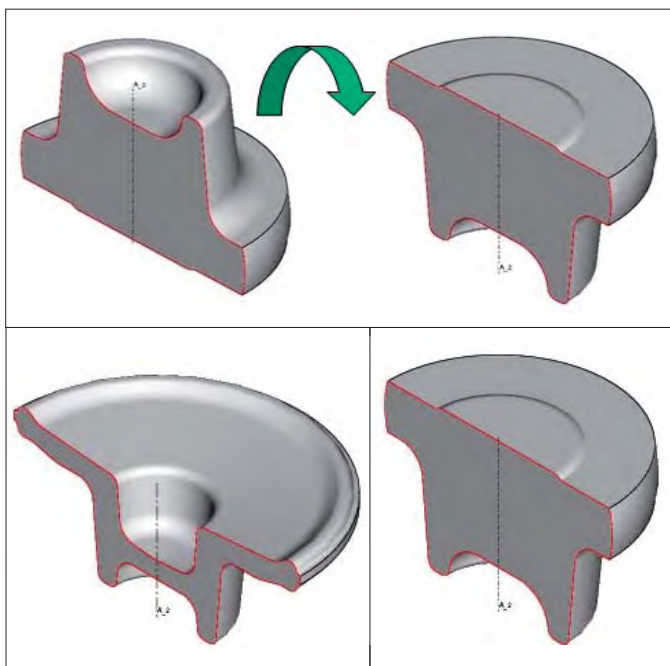
Az alakítás munkaszükségletét az erő–út diagram alapján, a görbe alatti területtel határoztuk meg.

A 4. ábrán megfigyelhető, hogy az alakítás munkaszükségletének az adott feladatnál van szélsőérték-minimuma. Természetesen az alakítás munkaszükségletének minimalizálása nem mindig ilyen egyszerű, de a koncepció sok esetben hasznosítható. Az alkalmazhatóság egyik feltétele, hogy bonyolult darabok esetén is előállítható legyen az előalakok geometriai modellje állandó térfogattal. A vizsgálat további menetét a Deform vagy a SuperForge végeselemes szoftverek képességei már lehetővé teszik.

ÁLLANDÓ TÉRFOGAT BIZTOSÍTÁSA KORLÁTOZOTT SZÉLSŐÉRTÉK-SZÁMÍTÁSSAL

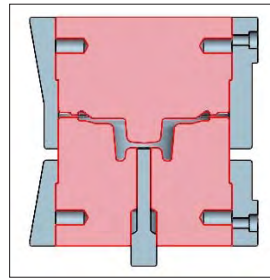
Az előző példánál az állandó térfogatú, de különböző méretű előalakok geometriai modelljét egyszerű tervezői összefüggéssel hoztuk létre. Általános megoldásként a különböző előalakok esetén az állandó térfogatot korlátozott szélsőérték-számítással lehet biztosítani. A korlátozott szélsőérték-számításnak az alkalmazhatóságát a Pro/Engineer szoftvernél módszeresen vizsgáltuk [1, 2].

Az alábbiakban összegezzük a szükséges ismereteket, tapasztalatokat.



5. ábra: a koszorúgyi közbszű darabjai

A parametrikus szoftvereknél a geometriai modell módosítható, és a módosított méretek egyértelműen meghatározzák az új geometriát, illetve annak térfogatát. A változtatható méretek és a modell

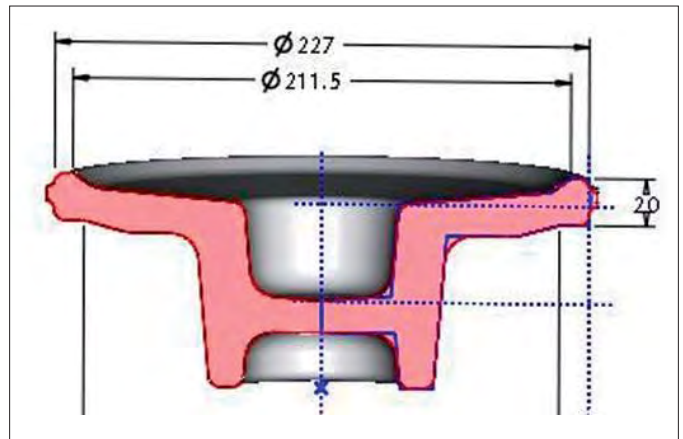


6. ábra: a készrealakítás szerszáma

térfogata között tulajdonképpen függvénykapcsolat van. A függvénykapcsolat a Pro/Engineer szoftvernél csak úgy kezelhető, ha a függvény értékét mérjük és a mérés eredményéről egy építőelemet veszünk fel.

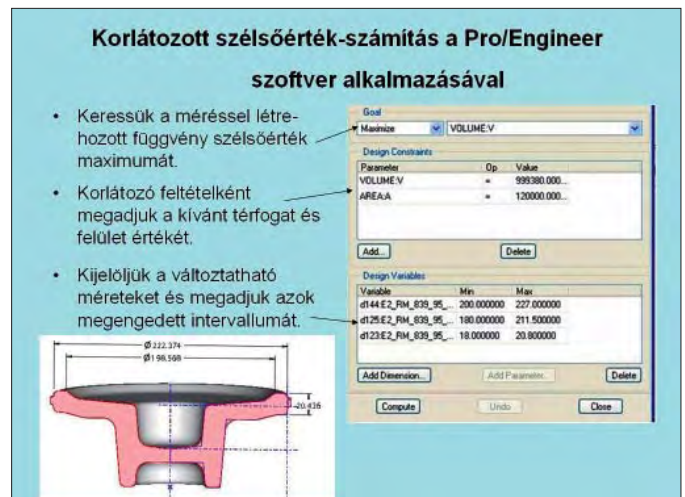
Az előalak geometriáját általában sok méret jellemzi. A méretek közül szakmai szempontok alapján ki kell választani azokat, amelyek a különböző előalak-változat eléréséhez szükségesek.

A korlátozott szélsőérték-számításnál a Pro/E a kiválasztott értékek módszeres változtatásával keresi a térfogatméréssel létrehozott függvény szélsőérték-maximumát, de csak addig, amíg közben el nem éri a korlátozó feltételként megadott térfogaterteket.

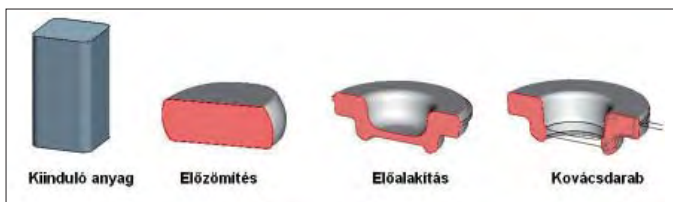


7. ábra: az előalak kiválasztott méretei ($V=999\,378\text{ m}^3$ $A=123\,180\text{ m}^2$)

A korlátozó feltételként megadott értéket a szoftver több méret-kombináció esetén is elérheti. A lehetséges megoldások közül kell kiválasztani a szakmai szempontból a legkedvezőbbet. Többnyire ez továbbra is bonyolult feladat. A célirányos megoldást elő lehet segíteni egy-egy fogással (trükkkel), de ezek csak bizonyos körülmények között alkalmazhatók.

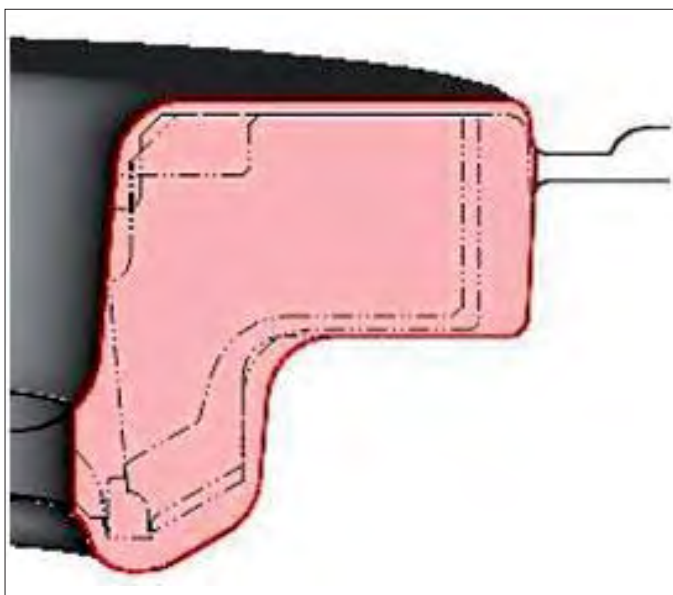


8. ábra: az előalak módosított méretei ($V=999\,380\text{ m}^3$ $A=119\,999\text{ m}^2$)



9. ábra: peremes csomk többüregű kovácsolása

Gyakran előfordul például az, hogy az egyik elképzelt előalak szabályosabb, mint a másik. Itt azt értjük szabályosabbnak, amelyiknek az adott térfogat mellett a felülete kisebb. Ilyenkor korlátozó feltételként a kívánt térfogat mellett meg kell adni a módosított felület értékét is. Ennek alkalmazását egy példán keresztül szemléltetjük. RÁBA Futómű Kft. kovácsüzemében a koszorúagy kovácsdarabját többüregű kovácsolással állítják elő. A munkadarab kovácsolás közbeni alakját a 3. ábrason, a készrealakító szerszám metszeti képét a 4. ábrán figyelhetjük meg.



10. ábra: az eltérő geometriájú peremes csomk szelvényei

A készrealakításnál a munkadarab magassága csökken, az átmérők pedig növekszenek. Az adott feladatnál az előalak átmérői nagyon közel estek a kész munkadarab átmérőihöz. A változtatni kívánt méreteket, az előalak térfogatának, felületének értékét az alábbi ábrán közöljük.

A változtatásnál a felület értékét 120 000 m²-re vettük fel. A módosított előalak térfogata gyakorlatilag megegyezik az eredeti térfogattal (7. ábra).

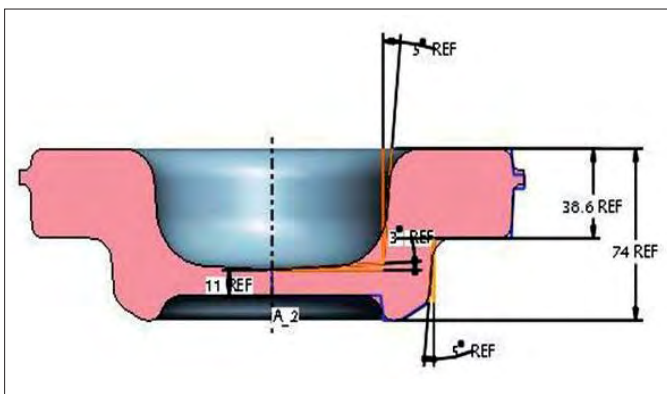
A geometriai változás nagyságát befolyásolni lehet a változtatni kívánt értékek minimálisan, illetve maximálisan megengedett értékével is.

SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Teljes alakítási folyamat vizsgálatát a peremes csomk többüregű kovácsolásánál végeztük el [3, 4].

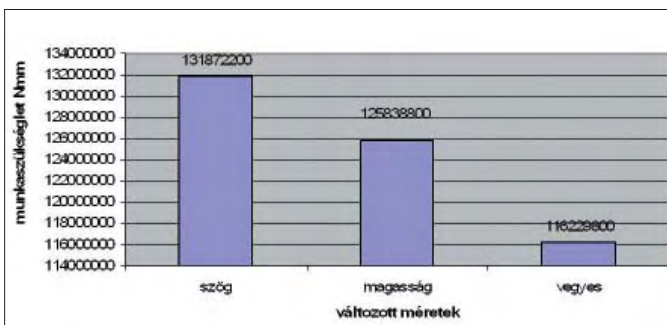
Ennél a feladatnál a hasonló geometriájú kovácsdarabok egyszerűsítését is meg kellett oldani.

A kiinduló darabok zömítési magasságánál három méretet (H= 60, 65, 70 mm) választottunk. Az előzömített darabok a zömítés végén az előalakító üregbe kerültek. Az előalakító üregbe kerülő darabok tulajdonságai öröklődtek. Az öröklött tulajdonságok a hőmérséklet, a hálósűrűség, az anyagminőség, a peremfeltételeknél előírtak és természetesen a geometria.



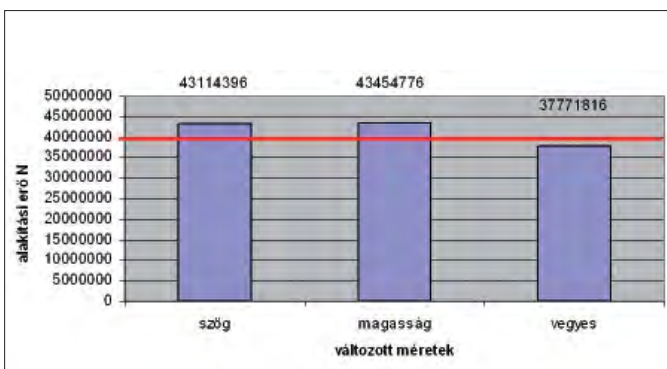
11. ábra: a bázistest változtatott szögei és/vagy magassági méretei

Az előalakított geometriánál is többféle változatot vizsgáltunk. Az állandó térfogatú, különböző geometriájú előalakokat korlátozott szélsőérték-számítással biztosítottuk a Pro/Engineer szoftver felhasználásával. A korlátozott szélsőérték-számításnál egy térfogathiányos bázistestből indultunk ki. A bázistest módosítását – a bázistest térfogatának kívánt növelését – az oldalferdeségek és/vagy a magassági méretek egy részének változtatásával végeztük el (11. ábra).



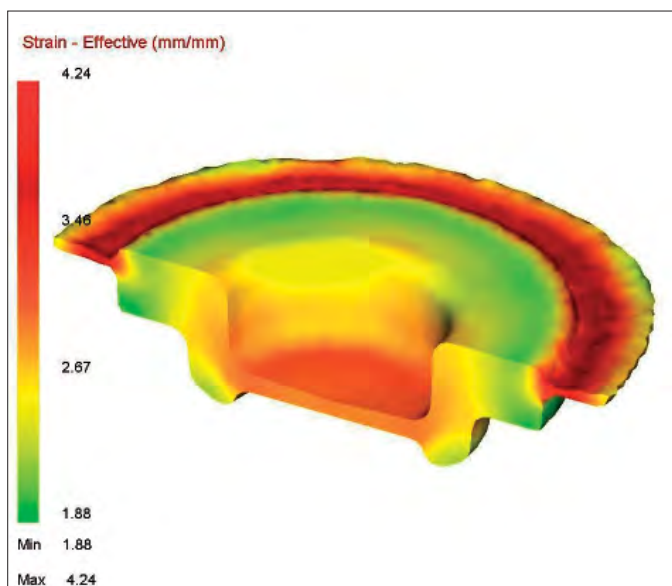
12. ábra: az alakítás munkaszüksége a 65 mm-es előzömítéshez tartozó különböző előalakok esetén

Amikor a kívánt térfogatot csak a feltüntetett oldalferdeségek módosításával biztosítottuk, akkor a 11. ábra szerinti eredeti szögek megváltozott értékei balról jobbra haladva 5,79°, 8,94° és 6,87° lettek.



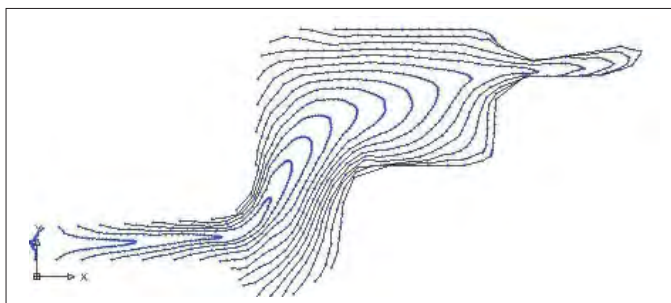
13. ábra: az alakítás erőszüksége a 65 mm-es előzömítéshez tartozó különböző előalakok esetén

Ha a kívánt térfogatot csak a feltüntetett magassági méretek módosításával biztosítottuk, akkor a 11. ábra szerinti eredeti magasságok megváltozott értékei 75,69, 39,68 és 11,03 mm lettek. A szögértékeket és a magassági méreteket is változtatva a kapott értékek: 75,54 mm, 39,58 mm, 11,03 mm, 3,11°, 5,44°, 5,21°.



14. ábra: az alakváltozás eloszlása a peremes csomk készrealakításán

A végelelemes szimuláció célja elsősorban a teljes alakítási folyamat munkaszükségletének csökkentése, optimalítása volt. A vizsgált eseteknél a munkaszükséglet legkisebb értékét a 65 mm-re zömített, és az oldalferdeségi szögben és magassági méretben változtatott (a 12. ábrán vegyes felirattal) előalaknál kaptuk [3, 4].



15. ábra: a peremes csomk szálrendeződése a Deform szoftverrel végzett szimuláció alapján

Külön vizsgáltuk az alakítás erőszükségletét is, mert a rendelkezésre álló géppark korlátozta azt. A 65 mm-re zömített darabok közül ugyancsak annak az előalaknak volt a legkisebb az alakítási erőszükséglete, ahol a bázistest geometriai módosítását vegyes adatokkal oldottuk meg.

A 13. ábrán látható az is, hogy nem minden előalak felelt meg a piros színnel jelölt erőkorlátnak (40 MN).

A peremes csomk kovácsolásánál vizsgáltuk az alakváltozás eloszlását és a szálrendeződést is. Ezeknél a vizsgálatoknál szintén a teljes alakítási folyamatot vettük alapul.

A szálrendeződés vizsgálata programfejlesztéssel vált lehetővé [6].



16. ábra: a peremes csomk próbagyártási darabja

ÖSSZEFOGLALÁS

A kidolgozott módszer alkalmazásával a peremes csomk többüregű kovácsolásánál biztosítva lett az alakítás erő- és munkaszükségletének kedvező értéke, a megfelelő szálrendeződés. A különböző változatok tervezésénél az előalakok térfogatának állandóságát többváltozós korlátozott szélsőérték-számításnál határoztuk meg a Pro/Engineer szoftver felhasználásával. A végelelemes szimulációk elvégzésére a Deform szoftver állt rendelkezésünkre. Az egységesített kovácsdarab próbagyártása megtörtént (16. ábra).

Az alakítás munkaszüksége befolyásolja a szerszám élettartamát is. Ennek vizsgálata folyamatban van.

Irodalom

- [1] Halbritter Ernő: Többváltozós optimalizálás korlátozó feltétellel a Pro Engineer szoftver felhasználásával, – Multivariate optimization problem with a constraint sing the Pro Engineer software, ISSN 1454 – 0746 Műszaki Szemle – Technical Review – XV: OGÉT 2007. Kolozsvár, 38/ 2007, pp.: 135–139.
- [2] Halbritter Ernő: Korlátozott optimalizálás a Mathcad, illetve a Pro/Engineer szoftver felhasználásával, elfogadott elektronikus publikáció, UNITIS , 11. oldal.
- [3] Gergye Tamás: Problémamegoldási példák a többüregű süllyesztékes kovácsolásnál. XXVIII: Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Műszaki Tudományos Szekció, Képlékenyalakítás és kohászati technológiák tagozat, Győr, 2007. április 2–4.
- [4] Gergye Tamás: Peremes csomk előgyártmányának konstrukciós és gyártástechnológiai tervezése, Diplomamunka, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2007. június.

Korszerű számítógépes csapágyméretezési program kialakítása haszonjármű-futóművek és erőátviteli berendezések csapágy kiválasztásához

Herczeg Imre
konstruktor, RÁBA Rt.

Dr. Horváth Péter
egyetemi docens, Széchenyi
István Egyetem

Nagy Attila
PhD hallgató, Széchenyi
István Egyetem

Légmán László
vezető tervező, RÁBA Rt.

Rákóczy Kálmán
konstrukciós team vezető,
RÁBA Rt.

Szekendy Dezső
vezető tervező, RÁBA Rt.

A RÁBA Rt. és a Széchenyi István Egyetem közös fejlesztésű számítógépes programja alkalmas hármas ágyazású kúpkerék axiálisan előfeszített csapágyainak élettartam-számítására, amit a csapágy alakváltozásának figyelembevétele tesz lehetővé. Az eljárás időtartománybeli szimulációt alkalmaz az erők és deformációk számítására. A csapágyak kenésének hatása az a_{SKF} tényezővel lett számításba véve.

RÁBA Ltd. and Széchenyi István University have developed a computer program for lifetime calculation of three-bedded pinion bearings with axial preload. Calculation takes into consideration deformations during a time-domain simulation procedure. Lubrication of bearings is considered applying coefficient a_{SKF} .

ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

A RÁBA Rt. és a Széchenyi István Egyetem egy 3 éves JRET együttműködési megállapodás keretében több közös kutatási projektben vett részt. Ezek egyike az „Optimalizált konstrukciós eljárások kutatása járműfőegységek méretezéséhez” című projekt volt, melynek részét képezte a „Korszerű számítógépes csapágyméretezési program kialakítása haszonjármű-futóművek és erőátviteli berendezések csapágy kiválasztásához” című alprojekt.

A projekt célja egy olyan számítógépes algoritmus elkészítése volt, aminek segítségével járművekben – elsősorban futóművekben – alkalmazott csapágyazások előméretezése, kiválasztása, esetileg csapágyazások élettartamának kiszámítása végezhető el. A projekt tervezett munkamegosztása szerint az algoritmus elkészítése a SZE munkatársainak a feladata, míg a RÁBA a szoftver elkészítéséhez szükséges információkat, számítási szempontokat dolgozza ki, valamint az elkészült szoftver számítási eredményeinek ellenőrzését és validálását végzi el. A projekt első szakaszában az előzetes tervek alapján elkészült a projekt időterve, és a költségterv, valamint a projektben részt vevő személyek és szervezetek körének meghatározása.

A következő szakaszban a program bemenő és kimenő paramétereinek meghatározása történt meg. Mivel a programmal elsősorban futóműves csapágyazások élettartam-számítását kell tudni elvégezni, ezért bemenő paramétereknek a jármű fő paramétereinek kell szerepelni.

A számítás kimenő értékei: a csapágyak élettartama üzemóraban és kilométerben, szükség esetén geometriai elhelyezés függvényében. A szoftver készítésénél célként lett kitűzve olyan algoritmus kialakítása, amellyel megbízhatóan lehet

számolni mind az előfeszített, mind a játékkal szerelt csapágyazásokat, kiemelten a futóművek kerékagy- és főhajtómű-csapágyazásait.

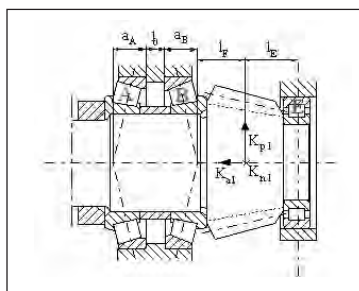
A program fejlesztésének részletesebb célkitűzései az alábbiak voltak:

- A meglévő csapágyméretező program szolgáltatásainak megtartása.
- Esztétikusabb, testreszabott kezelőfelület kialakítása, a szükséges bemenő adatok egyszerű értelmezése és meghatározása.
- Megteremteni a lehetőségét az axiális csapágy-előfeszítés figyelembevételének mind a kerékcsapágyazás, mind a főhajtómű-csapágyazás esetében.
- Korrektül meghatározni a hármas ágyazású kúpkerék csapágyerőit.
- Figyelembe venni a legújabb csapágyméretezési számításokban alkalmazott a_{SKF} tényezőt a kenési állapot pontosabb meghatározásához.
- A programok ellenőrzése érdekében lehetőséget biztosítani az $a_{SKF}=1$ értékkel számított élettartam meghatározására is.
- Az adatbázis-kezelés korszerűsítése.

A következőkben a legnagyobb műszaki kihívást jelentő feladattal, a hármas ágyazású kúpkerék csapágyazásának kérdésével foglalkozunk.

A MEGOLDANDÓ MŰSZAKI FELADATOK

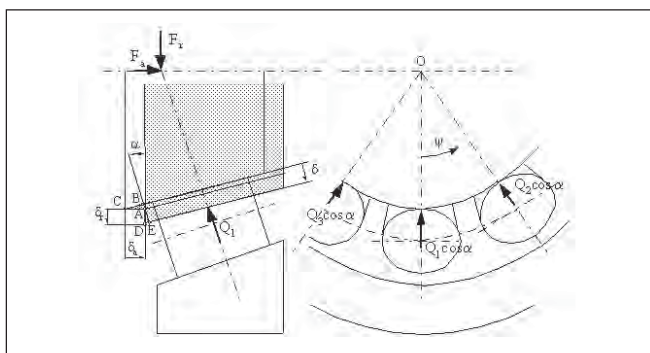
A főhajtómű kúpkeréke a merevség fokozása érdekében sok esetben három helyen kerül ágyazásra: az „A” és „B” jelű kúpgörgős, valamint az „E” jelű hengergörgős csapágyakkal.



1. ábra: a hármas ágazású kúpkerekék

A csapágyerők meghatározása statikailag határozatlan feladat, mely az alakváltozások figyelembevételét is igényli. A régi program az „A” és „B” csapágyakat egy egységként kezelte, mely közelítés a szakirodalom szerint bizonyos esetekben megengedhető, de mindenképpen csak közelítő eredményt szolgáltat. A csapágy élet-tartamát számító új program ezzel szemben a csapágyak globális és lokális alakváltozásait is figyelembe veszi, miáltal pontosabb eredmények érhetők el.

Kúpgörgős csapágyak esetében a csapágy belső gyűrűjének a külső gyűrűhöz képesti axiális és radiális elmozdulásának számítása válik szükségessé. Az alakváltozások számítása a következő alapegyenleteken nyugszik [1],[2]:



2. ábra: kúpgörgős csapágy deformáció

a) A maximálisan terhelte gördülőelem Q_m terhelése és δ_m normálirányú deformációja közötti összefüggés:

$$Q_m = c \delta_m^{4/3} \quad (1)$$

b) A maximálisan terhelte gördülőelem normálirányú deformációja a csapágy radiális és axiális deformációjának függvényében:

$$\delta_m = \delta_a \sin \alpha + \delta_r \cos \alpha \quad (2)$$

c) Az terheléeloszlási tényező az axiális és radiális deformáció függvénye:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\delta_a \tan \alpha}{\delta_r} \right) \quad (3)$$

d) A csapágyat terhelő axiális erő:

$$F_a = N \sin \alpha Q_m J_a(\varepsilon) \quad (4)$$

e) A csapágyat terhelő radiális erő:

$$F_r = N \sin \alpha Q_m J_r(\varepsilon) \quad (5)$$

Az egyenletekben alkalmazott jelölések a következők:

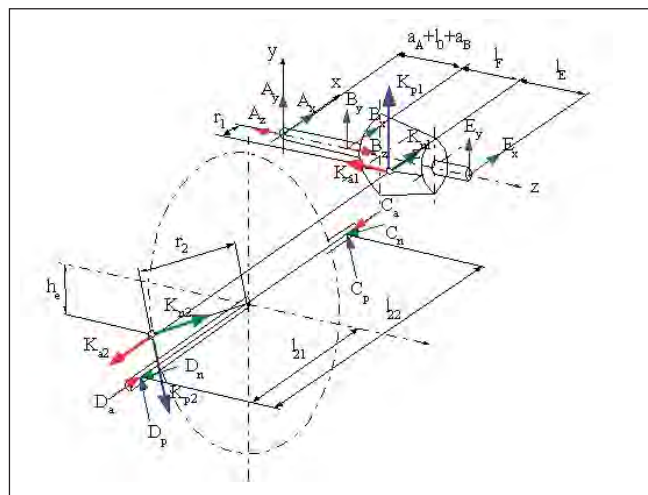
α a csapágy hatásszöge

$$(\alpha = \arctan(\frac{0,4}{Y}))$$

δ_a a csapágy belső gyűrűjének axiális elmozdulása a külső gyűrűhöz képest
 δ_r a csapágy belső gyűrűjének radiális elmozdulása a külső gyűrűhöz képest
 N gördülőelemek száma
 Q_m a maximálisan terhelte gördülőelemre ható normálirányú erő
 $J_a(\varepsilon)$ axiális Sjóvall-integrál
 $J_r(\varepsilon)$ radiális Sjóvall-integrál
 c konstans,
 $c = 78420 \cdot I_g^{2/3}$, ahol I_g a görgő effektív hossza mm-ben

Az alakváltozások analitikus meghatározása bonyolult, nemlineáris egyenletrendszer numerikus megoldását tette volna szükségessé. Ehelyett a sokkal egyszerűbben áttekinthető időtartománybeli szimuláció mellett döntöttünk. A terhelő erőt és az előfeszítési deformációt a vizsgálati idő első hatod részében zérusról lineárisan változtatva növeltük fel maximális értékükig. A vizsgálati idő végére az esetleges lengések elhaltak és a csapágyerők beálltak statikus értékükre, a kúpkerek nyugalmába (egyensúlyba) jutott. Ezek az állandósult erőértékek szolgálták alapul a csapágy élet-tartamának számításához.

A számítás során a kúpkereket a K pontban terhelő erő (K_{p1} , K_{n1} , K_{a1}) ismert. A 3. ábrán a hármas ágazású hypoid kúpkerekpárra ható fogerőket és csapágyerőket láthatjuk.



3. ábra: erőhatások a fogaskereken

A fogerő-komponensek előjelszabályai:

- Az axiális fogerő pozitív, ha a kúp csúcsa felől hat (pl. K_{a1})
- A radiális (normál) fogerő pozitív, ha az erő a tengely felé mutat (pl. K_{n1})
- A kerületi a forgási iránnyal ellenkező értelmű.

A fogerők számításai összefüggései a következők:

$$F_{a1} = K(-x \cdot \cos \alpha \sin \beta_1 \cos \delta_1 + \sin \alpha \sin \delta_1 + x \cdot \mu \cos \beta_1 \cos \delta_1)$$

$$F_{n1} = K(x \cdot \cos \alpha \sin \beta_1 \sin \delta_1 + \sin \alpha \cos \delta_1 - x \cdot \mu \cos \beta_1 \sin \delta_1)$$

$$F_{a2} = K(x \cdot \cos \alpha \sin \beta_2 \cos \delta_2 + \sin \alpha \sin \delta_2 - x \cdot \mu \cos \beta_2 \cos \delta_2)$$

$$F_{n2} = K(-x \cdot \cos \alpha \sin \beta_2 \sin \delta_2 + \sin \alpha \cos \delta_2 + x \cdot \mu \cos \beta_2 \sin \delta_2)$$

Az összefüggésekben

K fogfelületre merőleges normálerő

α normálirányú kapcsolószög

β fogferdeségi szög

δ kúpszög (kúpkereken fejkúpszög, tányérkereken láb-kúpszög)

- x=1 forgásirány és fogferdeségi szög azonos irányú és vonó üzemmód
- x=1 forgásirány és fogferdeségi szög ellentétes irányú és toló üzemmód
- x=-1 forgásirány és fogferdeségi szög azonos irányú és toló üzemmód
- x=-1 forgásirány és fogferdeségi szög ellentétes irányú és vonó üzemmód

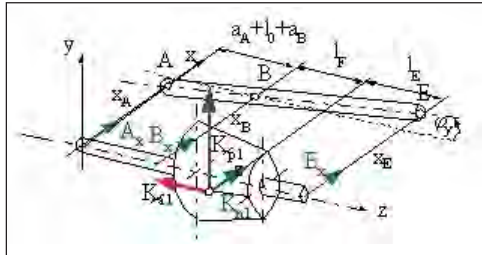
A szimulációs számítás a következő lépéseket követi:

1. A kúperék „A” és „B” csapágyára meghatározzuk az axiális csapágy-előfeszítésből származó axiális deformációkat (δ_{A0} , δ_{B0}).
2. A fogazat által kifejtett aktív erőket és az axiális csapágyelőfeszítést fokozatosan növeljük zérusról a maximális értékig, hogy a lengéseket minimális értéken tartsuk. A stabilitás növelése érdekében kellő csillapítást is alkalmaztunk.
3. Minden egyes Δt lépésköz után kiszámítjuk a test súlypontjának (közelítőleg B pont) x, y és z irányú gyorsulásait és szöggyorsulásait, majd azokat kétszer integrálva a súlypont elmozdulásának komponenseit és a szögelfordulásokat nyerjük.

$$\ddot{x}_B = \frac{A_x + B_x + K_{n1} + E_x}{m} \rightarrow \int \rightarrow \dot{x}_B \rightarrow \int \rightarrow x_B$$

$$\ddot{\varphi}_y = \frac{-A_x(a_A + l_0 + a_B) - K_{n1}r_1 + K_{n1}l_F + E_x(l_F + l_E) - cs_1\dot{\varphi}_y}{\Theta} \rightarrow \dot{\varphi}_y \rightarrow \varphi_y$$

A súlyponti értékekből merev tengely feltételezésével egyszerűen számíthatjuk az A, B és E csapágy deformációkomponenseit. Például x-irányban a 4. ábra szerint



4. ábra: az X-irányítású deformációk kapcsolata

$$x_A = x_B - \varphi_y(a_A + l_0 + a_B) \quad \text{és} \quad x_E = x_B + \varphi_y(l_F + l_E)$$

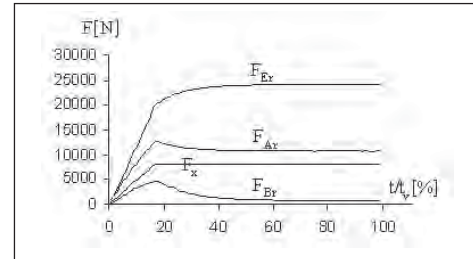
Hasonló módon felírt mozgásegyenletekkel határozzuk meg az y és z irányú deformációkomponenseket is.

5. A csapágyak deformációkomponenseiből (3) segítségével kiszámítjuk a csapágyak $\varepsilon_A, \varepsilon_B$ terheléseloszlási tényezőit, valamint a maximális gördülőelem-terhelést (2), majd (4) és (5) segítségével az egyes radiális és axiális csapágyerőkomponenseket (A_x, A_z, B_x, B_z, C_x).
6. Megismételjük a 3. pontbeli eljárást, vagyis az új erőkomponensekből kiszámítjuk az új gyorsuláskomponenseket és deformációkat. Az eljárást a vizsgálati idő végéig hasonló módon folytatjuk.

Az eljárásban $t=0,6$ s vizsgálati időt vettünk alapul, $\Delta t=0,000\,001$ s időlépésközzel. A kis lépésközt a csapágyak nagy merevségéből adódó magas sajátfrekvencia indokolta. Egészen extrém esetben (különlegesen merev csapágy) a numerikus integrálási eljárás instabillá válhat, ekkor az időlépésköz csökkentése válik szükségessé. A stabilitás növelése, a lengések csökkentése érdekében a gyorsulások és szöggyorsulások számításakor sebességarányos csillapítást (cs_1, cs_2 csillapítási tényező) alkalmaztunk a haladó és a forgó mozgásokra egyaránt.

A program fejlesztése során vizsgáltuk a csapágyerők időbeli lefolyását. A vizsgálati idő végére a lengések minden esetben lecsillapodtak

és a csapágyerők az állandósult, statikus értékekre álltak be. Az 5. ábrán a radiális irányú erőkomponensek időbeli változását láthatjuk. A csapágyak élettartamának számítása ezen állandósult csapágyterhelések alapján a hagyományos csapágymeretezési összefüggésekkel történt.

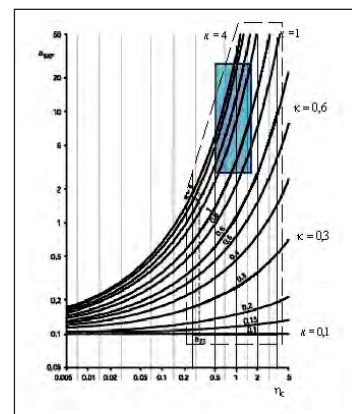


5. ábra: a radiális erőkomponensek változása az idő függvényében

A KENÉS HATÁSÁNAK PONTOSABB FIGYELEMBEVÉTELE

A legújabb csapágykatalógusokban alkalmazott a_{SKF} tényező a kenés hatását pontosabban veszi figyelembe. Érdekes megjegyezni, hogy a hagyományos és az új számítás szerint az élettartamok akár egy nagyságrenddel is eltérhetnek! A számítás a katalógusokban fellelhető görbeseregek használatára épül, melyek segítségével először a kenőanyag üzemi hőmérsékleten mért viszkozitását határozzák meg, amit összehasonlítanak a ν_1 szükséges viszkozitással, mely a csapágy középátmérőjének és fordulatszámának függvénye. Az összehasonlítás eredményeként nyerjük a κ tényezőt. Az új kenésméleti módszer a kenőanyag tisztaságát is figyelembe veszi egy η_c tényezővel, mely vagy szöveges információk alapján választható ki táblázatból, vagy a szennyező részecskék száma és mérete alapján határozható meg. Az a_{SKF} tényezőt végül az η_c és κ függvényében lehet a görbeseregből kiválasztani.

A program fejlesztésekor kikötés volt, hogy mellőzzük táblázatok és diagramok használatát. Mivel a görbeseregek egyenletei nem publikusak, ezért a csapágykatalógusokban fellelhető diagramokat szakaszonként linearizáltuk és a töréspontok koordinátáit eltároltuk. A program kétirányú lineáris interpolációval számítja közbeni paraméterek értékeit. A 6. ábrán példaként az $a_{SKF}(\kappa, \eta_c)$ függvény görbeseregének linearizálását láthatjuk a szaggatott vonallal jelölt területen belül.

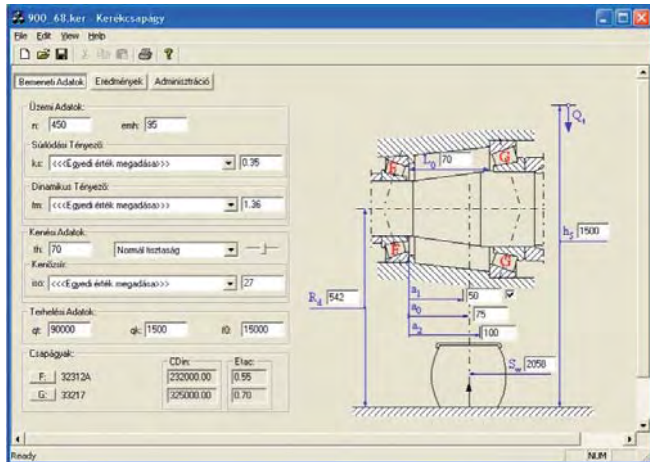


6. ábra: a görbesereg linearizálása

A PROGRAM KEZELŐFELÜLETE

A program kezelőfelületét úgy alakítottuk ki, hogy kezelése egyszerű legyen, mind a beviteli adatok, mind az eredmények

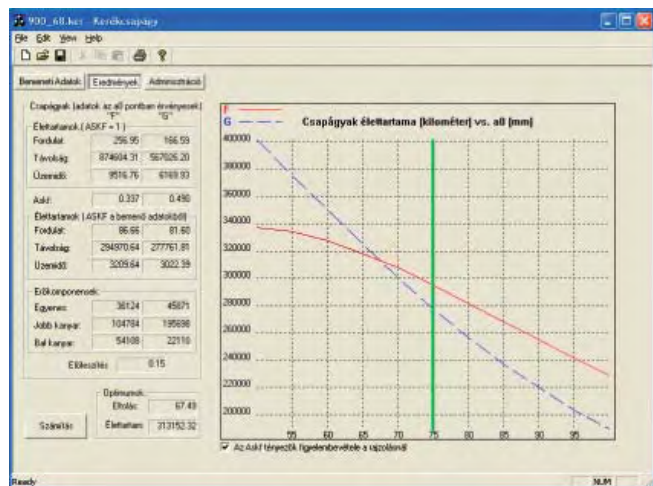
könnyen értelmezhetők legyenek. A főbb geometriai adatokat a megjelenő rajz méretvonalaira kell ráírni, míg bizonyos korrekciók és üzemi tényezők lenyíló ablakokból választhatók ki. A csapágyak kiválasztása rendezett adatbázisból történik, a szükséges csapágyadatokat a program innen veszi. Példaként kerékcsapágyazás bemeneti adatait és eredményeit tartalmazó képernyőket láthatunk a 7. és 8. ábrán.



7. ábra: kerékcspagyazás bemeneti adatai

ÖSSZEFOGLALÁS

A csapágyélettartam számítására kidolgozott program fejlesztése eredményesnek mondható. Az egyetem munkatársai valós ipari probléma megoldásával találkozhattak, minek eredményeként új tudományos eredmények is születtek [3]. A RÁBA reményeink



8. ábra: kerékcspagyazás eredményei

szerint egy egységes, könnyebben használható programmal gyarapodott. A program fokozatos finomításán a részt vevő partnerek a jövőben is együttműködést folytatnak.

Irodalom

- [1] Molnár, L.–Varga, L.: Gördülőcsapágyazások tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [2] Andréason, S.: Berechnung vorgespannter Kugellager. Kugellager Zeitschrift Nr 159-1968.
- [3] Horvath, P.: Advanced method for lifetime calculation of taper roller bearings. Proceedings of GÉPÉSZET 2008 conference. Budapest, 2008.

Döntéstámogató rendszer (DSS) szerszámanyagok és felületi bevonatok kiválasztásához

Réti Tamás
Széchenyi István
Egyetem, Győr

Dr. Czinege Imre
Széchenyi István
Egyetem, Győr

Felde Imre
Bay Zoltán Alkalmazott
Kutatási Közalapítvány,
Budapest

Az alakítási műveletek hatékonysága, a szerszám élettartama komplex módon függ a szerszámelemek geometriájától, felületi tulajdonságaitól, a szerszám- és az alakítandó anyag minőségétől, az alkalmazott gyártástechnológiai paraméterektől. A cikkben egy olyan számítógépes döntéstámogató rendszert (Decision Support System, DSS) ismertetünk, amely elsődlegesen arra hivatott, hogy elősegítse a megfelelő szerszámanyagok és felületkezelési eljárások célszerű kiválasztását a hidegalakító gyártási műveletek, valamint szerszámok tervezésekor.

The efficiency and the tool life of forming processes depend on the geometry and surface properties of tool elements, on the quality of tool and work piece material and on the applied parameters of manufacturing process in a complex way. The paper introduces a Decision Support System (DSS) which primarily helps the appropriate selection of tool materials and their surface treatment during the design process of cold forming operations and tools.

BEVEZETÉS

A járműipari alkatrészgyártásban meghatározó jelentőségű technológia a képlékeny hideg- és melegalakítás. Az alakítási műveletek hatékonysága, gazdaságossága, a szerszám élettartama komplex módon függ a szerszámelemek geometriájától, felületi tulajdonságaitól, a szerszám- és az alakítandó anyag minőségétől, az alkalmazott gyártástechnológiai paraméterektől.

Az autóiipari alkatrészek képlékeny alakítással való gyártásakor napjainkban számtalan új kihívással kell számolni. Ennek egyik jól érzékelhető megnyilvánulása, a különleges, nagyszilárdságú szerkezeti acélok (ún. HSS, IF, DP és TRIP acélok) növekvő mérvű felhasználása, ezek képlékeny alakítása nemcsak új technológiai megoldások kifejlesztését tette szükségessé, de egyúttal fokozott követelményeket támasztott a szerszámok, illetve szerszám-alapanyagok teljesítőképességével, minőségével szemben is.

A cikkben egy olyan számítógépes döntéstámogató rendszert (Decision Support System, DSS) ismertetünk, amely elsődlegesen arra hivatott, hogy elősegítse a megfelelő szerszámanyagok és felületkezelési eljárások célszerű kiválasztását, mindenekelőtt a hidegalakító gyártási műveletek, valamint szerszámok tervezésekor.

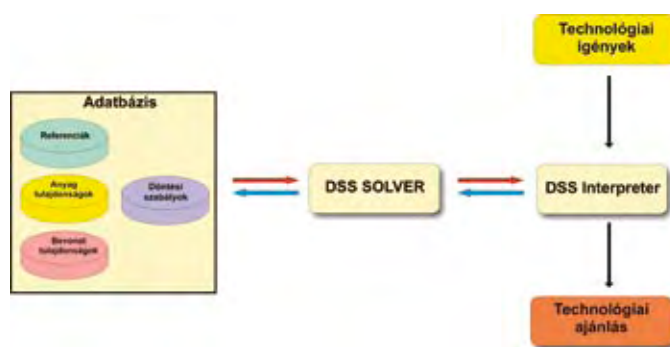
A SZÁMÍTÓGÉPES DÖNTÉSTÁMOGATÓ RENDSZER (DSS) KONCEPCIÓJA

Képlékeny hidegalakításhoz használatos szerszámok tervezésekor a konstruktőrök számára állandó problémát jelent az aktív szerszámelem (béllyeg, matrica stb.) alapanyagának célszerű kiválasztása. E feladat megoldása, amelynek jelentős költségvonzata van, napjainkban meglehetősen bonyolulttá vált, tekintettel arra, hogy megnövekedett a szerszám-alapanyagok választéka, továbbá előtérbe került a szerszámok teljesítményét fokozó kopásálló, sűrűlódáscsökkentő felületkezelő eljárások (termokémiai kezelések, bevonatolási technikák) fokozott alkalmazása.

A szerszám-alapanyag és a felületkezelési eljárás célszerű kiválasztása az alakítási művelet jellege (lemezalakítás, térfogat-alakítás), a szerszámgeometria, az igénybevétel módja és intenzitása, az alakítandó termék (fémötvözet) mechanikai-technológiai tulajdonságainak együttes figyelembevételét feltételezi. E komplex

feladat megoldásához egyrészt megfelelő adatbázisok kialakítása, másrészt szakszerűen definiált döntési alapelvek, stratégiák (algoritmusok) kidolgozása szükséges.

Az általunk kifejlesztett DSS-rendszer struktúrája megegyezik a klasszikus döntéstámogató rendszerekével, szolgáltatása három, egymástól elkülönített egység szinergikus együttműködésére épül (1. ábra). A felhasználó által megfogalmazott technológiai igényeket (input adatokat) a DSS Interpreter elnevezésű modul értelmezi, majd a keresési szempontokat a DSS Solver modulhoz irányítja, mely az adatbázisban tárolt numerikus adatok és a döntési szabályok figyelembevételével a lehetséges technológiai kombinációk egy véges halmazát állítja elő. A felhasználó az így létrehozott Technológiai ajánlás elnevezésű megoldáshalmazból választhatja ki a számára leginkább megfelelőt.



1. ábra: a döntéstámogató rendszer (DSS) felépítésének elvi vázlata

A DSS-rendszer kifejlesztésekor alapelveként fogalmazódott meg, hogy a képlékenyalakító technológiákat leíró paramétereket és az igénybevételből következő műszaki elvárásokat reprezentáló szabályokat egy rendszerben, ám különválasztva tároljuk és alkalmazzuk. A döntéstámogató rendszer így az adatokat és a technológiához kapcsolódó tudást is tárolja, ezért segédeszközként használható adott képlékenyalakító műveletek technológiájának tervezéséhez is. A rendszer Delphi 2005 fejlesztői környezetben készült. Az adatbázisok relációs adatmodellre épülnek. A döntési rendszer négy különböző adatbázisban tárolt információkra támaszkodik. Ezek a következők:

a) Szerszámanyagok adatbázisa

Ez tartalmazza az egyes szerszámanyag-minőségeket, minden egyes szerszámanyaghoz hozzá van rendelve:

- Szerszámanyagfélések kódjelei (anyagszám, egyes szabványok szerinti, valamint gyártók és forgalmazók által használt megnevezések, fantázianevek).
- Kémiai összetétel (C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni, V, W, Co, Nb).
- Az egyes szerszámanyagok ún. 8-komponensű tulajdonságvektora.

A tulajdonságvektor, amely nyolc lényeges tulajdonság szempontjából minősíti a szerszámanyagot, ezen kitüntetett fontosságú tulajdonságok számszerű minősítésére hivatott. E nyolc tulajdonság rendje:

- kopásállóság (wear resistance)
- töréssel szembeni ellenálló képesség (toughness, shock resistance)
- nyomószilárdság (compressive yield strength)
- megeresztésállóság (resistance to tempering)
- mérettartósság (dimensional stability)
- átedzhetőség (hardenability)
- megmunkálhatóság (machinability)
- árindex (reciprocal price index).

A tulajdonságvektor oly módon definiált, hogy minden egyes tulajdonsághoz 1-től 10-ig terjedő egész szám van hozzárendelve, ebből adódóan a tulajdonságvektor komponensei kizárólag 1 és 10 közötti egész számok. Ez utóbbiakat a tulajdonságok pontszámának szokás nevezni. A pontszámok tekintetében 1 a legrosszabb, 10 a legjobb minősítést jelenti. Következésképpen nagyobb pontszám kedvezőbb tulajdonságra utal. Ezért egy adott tulajdonság (például kopásállóság) szempontjából két anyag közül a jobb minőségűnek a nagyobb pontszámmal jellemzett szerszámanyag tekintendő.

Így elvileg az a „legjobb minőségű” szerszámanyag, amelynek mind a nyolc tulajdonsága „kiváló”, ebben az ideális esetben a tulajdonságvektor komponenseinek összegére (az összesített pontszámra) $8 \times 10 = 80$ adódna. Nyilván ilyen anyag a gyakorlatban nem létezik, ugyanis több tulajdonság figyelembevételével történő anyagválasztáskor csak ésszerű, kompromisszumos megoldások (döntések) jöhetnek számításba. A tulajdonságvektor fogalmának bevezetése azzal az előnnyel jár, hogy lehetővé teszi a különféle szerszámanyagok összehasonlítását objektív, számszerű kritériumok alapján. Alkalmazása a döntési (anyagválasztási) folyamatban válik meghatározó jelentőségűvé.

b) Alakítási technológiák (műveletek) adatbázisa

A képlékeny hidegalakítási technológiák két nagy csoportjának a lemez- és a térfogat-alakítási műveletek különféle változatait tartalmazza (hidegfolytatás, mélyhúzás, kivágás stb.).

c) Az alakítandó anyagminőségek adatbázisa

Az alakítandó anyagfélések csoportosítását, az anyagfajták (acélok, alakítható ötvözetek) főbb jellemzőit (kémiai összetétel, szilárdsági jellemzők) foglalja magában.

d) Felületkezelési eljárások adatbázisa

A felületkezelési eljárások adatbázisában a PVD-eljárás alkalmazásán alapuló bevonatok, a különféle bevonatolási eljárásváltozatok műszaki-technológiai jellemzők (pl. kezelési hőmérséklet), valamint a kialakított bevonat tulajdonságait reprezentáló paraméterek (rétegvastagság, keménység stb.) találhatók.

ANYAGVÁLASZTÁSI STRATÉGIÁK

A szerszámanyag és felületkezelési eljárás kiválasztása komplex döntési folyamat eredményeként, több kritérium együttes figyelembevételével történik, ebben meghatározó szerepet játszik az

alakító szerszám igénybevétele, az alakítandó anyag specifikációja, továbbá a szerszámanyag „teljesítőképessége”, amelyet a tulajdonságvektor reprezentál. Amennyiben az input adatok már előzetesen definiáltak (ezt példázza a 2. ábra), a SOLVER modul által reprezentált algoritmusok segítségével meghatározható azon szerszámanyagok egy részhalmaza, amelyből végül is a felhasználó kiválasztja a számára legmegfelelőbb anyagminőséget, valamint bevonatot (output adatokat). A döntési folyamatban meghatározó jelentőségű az egyes szerszámanyag-minőségek összehasonlító elemzése, amelynek előfeltétele az anyagtulajdonságaik számszerű jellemzése.



2. ábra: a szerszámanyag és felületkezelési eljárás kiválasztási stratégiájának szemléltetése

Az anyagtulajdonságok számszerű jellemzéséhez a tulajdonságvektor szolgál kiindulási alappal, amely a szerszámanyag-adatbázisban található, minden egyes anyagminőségre egyértelműen definiált. A különböző szerszámanyagok kvantitatív kritérium szerinti összehasonlítására kétféle lehetőség kínálkozik. Az egyik megoldás a távolságfüggvény, a másik a minőségindex (quality index, QI) fogalmának bevezetésén alapul.

a) A legegyszerűbb távolságfüggvény $d(X, Y)$ a vektorok abszolút távolsága (ún. city block distance), amely definíció szerint:

$$d(X, Y) = \sum_k \text{abs}(X(k) - Y(k))$$

ahol $X(k)$ és $Y(k)$ két szerszámanyag-minőség X és Y tulajdonságvektorának komponensei.

Mivel e távolságfüggvény a vektorkomponensek abszolút értékben vett különbségeinek összege, ezért értéke zérus vagy pozitív egész szám. A definícióból következik, ha $d(X, Y)$ zérus, akkor a vizsgált tulajdonságok szempontjából a két anyagminőség „lényegében ekvivalensnek” tekinthető, azaz egymással helyettesíthető. Itt jegyezzük meg, hogy ennél „bonyolultabb” távolságfüggvények is alkalmazhatók, többek közt olyanok is, amelyek figyelembe veszik az egyes anyagtulajdonságok korrelációját, illetve eltérő mértékű szórását is.

b) Egy másik lehetőség az egyes szerszámanyagok minősítésére, illetve összehasonlítására, a minőségindex (QI) alkalmazása. Származtatását az alábbi példán illusztráljuk:

– Első lépésben definiáljuk az anyagtulajdonságok egy halmazát (részhalmazát). Legyenek ezek például: kopásállóság $X(1)$, töréssel szembeni ellenálló képesség $X(2)$ és az árindex $X(8)$. Mivel a tulajdonságok maximális száma 8, ebből adódik, hogy a 8 tulajdonságból N számút kiválasztani (ahol $1 \leq N \leq 8$) igen sokféle kombináció szerint lehetséges.

– Ezt követően, második lépésben, az előzetesen már kiválasztott $N=3$ tulajdonságvektor-komponens ismeretében az adott szerszámanyag QI minőségindexét a

$$QI = 100 \frac{X(1) + X(2) + X(8)}{10 \cdot N} = 100 \frac{X(1) + X(2) + X(8)}{10 \cdot 3}$$

képlettel számítjuk. A minőségindex értelmezéséből következik, hogy QI értéke 10% és 100% között változhat. Elméletileg az lenne az ideális, „legjobb” anyagminőség, amelyet $QI=100\%$ jellemez.

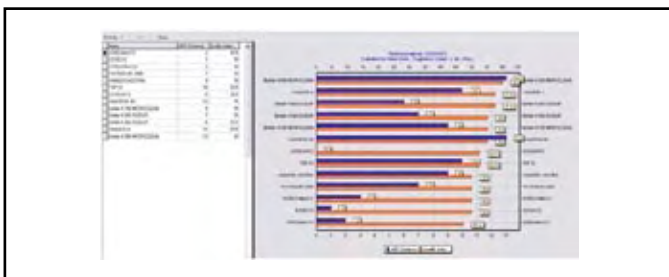
Az anyagszelekciós döntési folyamat során QI meghatározható minden anyagminőségre, és a tulajdonságok tetszőleges részhalmozára. Nyilvánvaló, hogy a QI-értékek ismeretében a különböző szerszámanyagoknak bizonyos kiválasztott tulajdonságok szerinti rangsorolása számszerű kritérium alapján valósítható meg.

ALKALMAZÁSI PÉLDA

A számítógépes döntéstámogató szoftver felhasználásában rejlik lehetőséget egy konkrét példán demonstráljuk. A szerszámanyag és bevonat választási feladat input adatai a következők voltak: alakítási művelet (=mélyhúzás), a választott szerszámelem (=matrica), a megmunkálandó anyagminőség (=ausztenites acél), lemezvastagság ($S > 2$ mm), további járulékos információ, hogy az alakító eljárásához kenőanyagot is alkalmaznak.

A szerszámanyagok kiválasztása (előszelekció) négy kitüntetett tulajdonság számításvételével történt: kopásállóság X(1), töréssel szembeni ellenálló képesség X(2), nyomószilárdság X(3) és az árindex X(8). A teljes döntési folyamat három részre (egymást követő lépésre) bontható.

Első lépésben 13 olyan anyagminőség került kiválasztásra, amelyek közül mindegyik (elvileg) kielégíti a bemenő adatok által determinált követelményrendszert. Második lépésben – összehasonlító elemzésekre támaszkodva – a végső szerszám-anyagminőség, jelen esetben az X210CrW12 szerszámacél kiválasztása történik meg. E döntés meghozatalában különös jelentőséggel bírt a minőségindex és a távolságfüggvény alapján végzett elemzés eredménye.



3. ábra: az előszelekció eredményeként kiválasztott 13 szerszámanyag, valamint minőség-index (Quality index) és a távolságfüggvény (ABS Distance) értékek

A 3. ábrán az előszelekciós folyamat eredményeként kiválasztott 13 anyagminőségre vonatkozóan a számított minőségindexek (QI), valamint távolságfüggvények (ABS Distance) összesített értékei láthatók, részben grafikus, részben táblázatos formában megjelenítve. A távolságfüggvények számításához az X210CrW12 szerszámacél szerepelt referencia anyagminőségként, azaz ez utóbbi szolgált az összehasonlítás alapjául. Végül a döntési folyamat harmadik lépését a megfelelő felületi bevonat (jelen esetben egy TiCrN alapú PVD-bevonat) kiválasztása képezte, figyelembe véve a jelenleg megvalósítható korszerű felületkezelési eljárások hazai infrastrukturális adottságait.

ÖSSZEFOGLALÁS

A hidegalakítási technológiák tervezési folyamatában különös jelentőséggel bír a megfelelő szerszámanyag, valamint a szerszám teljesítményét hatékonyan növelő felületkezelési eljárás (bevonat) kiválasztása. Az ismertített döntéstámogató rendszer előnye, hogy többféle műszaki-gazdaságossági követelmény együttes figyelembevételével – objektív szelekciós kritériumokra támaszkodva – segítséget nyújt e meglehetősen komplex feladat gyors és sikeres megoldásához.

Irodalom

- [1] B. Podgornik, S. Hogmark, O. Sandberg: Proper coating selection for improved galling performance of forming tool steel, *Wear*, Vol. 261 (2006) pp. 15-21.
- [2] N. Tarkany: Balancing wear, strength, and toughness, *Stamping Journal*, May/June (2000) pp. 1-4.
- [3] Steels for cold work tooling, Uddeholm (2007) pp. 1-20.
- [4] C. Escher, T. Henke: New trends in thin coatings for sheet-metal forming tools, in: *Proceedings of the 6th International Tooling Conference – the use of tool steels, Experience and Research*, Karlstad, 2002, pp. 771-783.
- [5] W. R. D Wilson: Tribology in cold metal forming, *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 119 (1997) pp. 695-701.
- [6] E. M. Mielen: *Metalworking Science and Engineering*, McGraw/Hill, Inc. (1991) New York.
- [7] B. Podgornik: Coated machine elements – friction or reality, *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 146-147, (2001) pp. 318-323.

Gyártási és logisztikai folyamatok tervezése szimulációs eljárással

Jósvai János

PhD-hallgató, Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont, Széchenyi István Egyetem

A termelési rendszerek kezelésében mind nagyobb szerep jut a számítógéppel támogatott eljárásoknak. Ma már a termék életciklusa során nemcsak a számítógépes konstrukciós eszközök játszanak fontos szerepet, hanem a termelésirányítás során is mind nagyobb hangsúlyt kapnak a folyamat- és anyagáram-szimulációs eljárások. Az alábbi cikk példák segítségével betekintést nyújt a szimulációs eljárásba, valamint az anyagáramlási és a termelési rendszer modelljének kialakításába.

Computer aided methods have an increasing role in the management of the manufacturing processes. Nowadays a product's life cycle involves, in addition to computer aided design and manufacturing, process and material flow simulation in production control, too. This paper provides examples that offer insight into the simulation process and the modeling of material flow and manufacturing systems.

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontja, valamint az Anyagismereti és Járműgyártási Tanszéke együttműködik az ipar számos képviselőjével. Tudományos munkájuk során a tanszék és a kutatóközpont az ipar számára is hasznosítható eredményeket céloz meg. A hosszú ideje tartó gyümölcsöző együttműködések révén fogalmazódott meg több üzemi környezetre vonatkozó elemzés lehetősége. A kutatómunka során gyakorlati és elméleti ismeretek összesítésének eredményeként jöhetett létre a bonyolult folyamatok leképezése szimulációs eljárás alkalmazásával. A termelési modellt egy termelésütemezést végző szoftver kialakítása is követte. Az üzemben belüli anyagáramlás tervezési eszközének kialakítása összetett folyamatok leképezésének sorát jelentette.

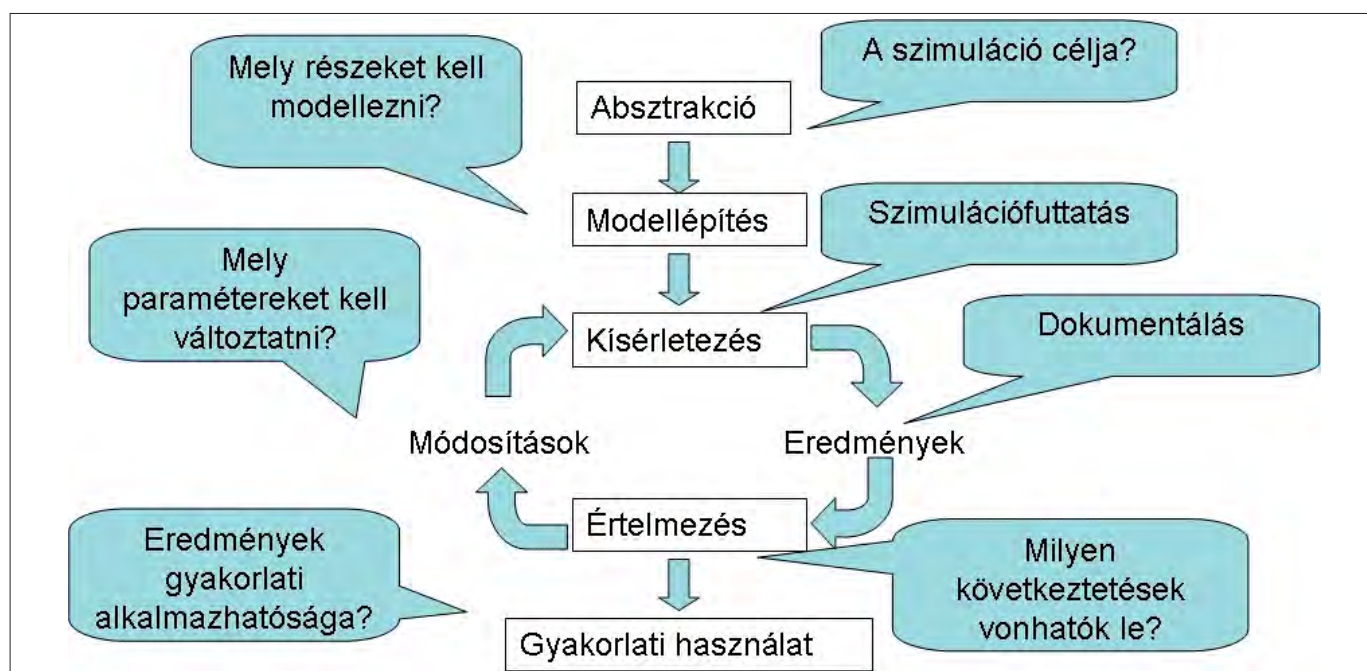
SZIMULÁCIÓS ALGORITMUS

A szimuláció értelmezésében a cikk által érintett területen az alábbi definíció nyújt segítséget:

„A szimuláció egy rendszer leképezése dinamikus folyamataival együtt egy olyan modellben, amellyel kísérletezni lehet. Célja olyan eredmények szerzése, amelyek a valóságban felhasználhatók.” [1]
A szimulációs eljárások alkalmazása számos elemzési, tanulmányozási lehetőséget biztosít:

- a valóságban még nem létező rendszerek elemzése,
- valós rendszerek vizsgálata közvetlen üzemi beavatkozás nélkül,
- különböző variánsok és beállítások tesztelése viszonylag alacsony többletfelhasználással,
- hosszú időtartamú rendszerviselkedés analízisének rövid szimulációs idővel,
- speciális üzemi állapotok, mint például beüzemelés, hibastratégiák stb. vizsgálata.

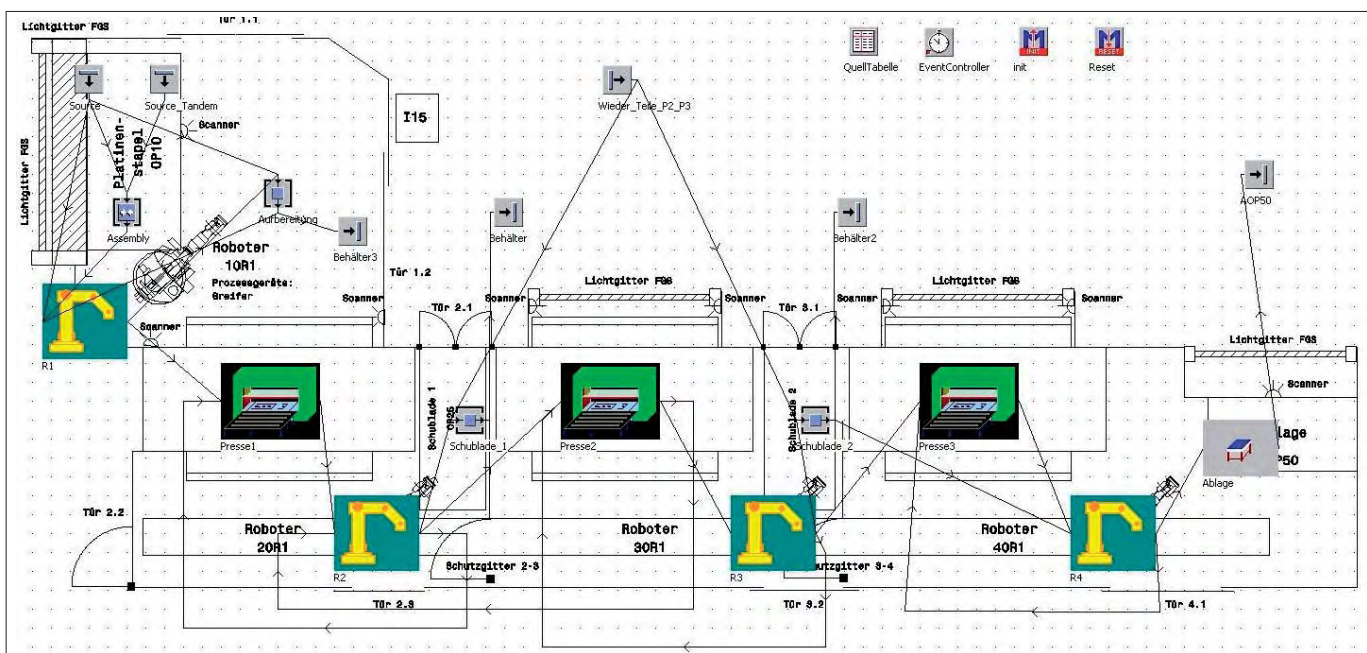
A szimulációs elemzések, vizsgálatok alapján az üzem gyártási folyamatok tervezési paramétereinek megerősítését (pozitív esetben) érhetjük el, a vállalat beruházási kockázata csökkenthető, minimalizálható, a tervezett rendszer funkcionalitását értékelhetjük.



1. ábra: a szimulációs eljárás metodikája

A szimulációs eljárás metodikáját az 1. ábra szemlélteti. Első lépésként le kell határolni a modellezni kívánt rendszert a szimuláció céljainak megfelelően. Az absztrakció során a kívánt eredmények figyelembevételével kell megállapítani a modell határait, mivel a túl részletes modellalkotás rendkívüli idő- és adatigénnyel járhat, a gyors, de nem elegendően pontos modellalkotás esetén pedig kétséggé válhat a kívánt eredmények kalkulációja. A modell megépítése után iterációs eljárás keretében pontosíthatók a modell beállításai és paraméterei. A futtatások eredményeként kapott értékek értelmezése után a gyakorlati használatba ültethetjük a szimulációs eljárás során tapasztaltakat.

A termelőrendszer szimulációs eljárással történő vizsgálatát követően a termelésirányítási elvek vizsgálatára került sor. Az elemzés során megfogalmazódott egy lehetséges új eljárás bevezetése a termelésprogramozás területére, melynek célja, hogy a termelés közbeni és a készárukészleteket megfelelő szintek között tartsa, valamint a tervezési időnek is csökkennie kellett. A termelésirányítási alapelveket egy alsó-felső szinten korlátozott készletmodell jelenti, amely azonban önmagában még nem felel meg a kisseriás gyártási technológia által támasztott feltételeknek. A termelési rendszerre vonatkozó sajátosságok, a műszakrend beosztása – tervezhető fél és teljes műszak is –, technológiai kötöttségek, egyes termékek újra besorolása a



2. ábra: a gyártósor vázlatos elrendezése

ALKALMAZOTT PROGRAM

A feladat megoldása során a Siemens Tecnomatix szoftvert alkalmaztuk, amely objektumorientált modellezési környezetet biztosít. A diszkrét sztochasztikus termelési folyamat elemzésére is alkalmas program a Széchenyi István Egyetem kutatóközpontjának 2006 második felévéől áll rendelkezésére. A program-csomag számos összetevőből áll. A FactoryCAD modullal üzemi elrendezéstervezés valósítható meg, a Plantsimulation az anyagáramlási, anyagmozgatási folyamatok vizsgálatát teszi lehetővé, ugyanakkor a RobCAD robotszimulációs eszköz, míg a Jack a humán ergonómiai tervezést segíti.

GYAKORLATI ELEMZÉSEK

Termelési folyamat modellezés, szimuláció és ütemezés

A gyártási folyamat elemzéséhez a három présből álló kisseriás gyártósort kellett leképezni, melyeket négy robot szolgált ki. A karosszériaelemeket speciálisan erre a célra tervezett megfogókarokkal mozgatják a robotok a prések között. A gyártósor vázlatos elrendezését a 2. ábra mutatja. A modellezés során számos gyártott karosszériaelemet vizsgáltunk meg, melyek szerszámjainak viselkedése típusonként eltérő. Az egyes termékek átfutási időinek, szakadási tulajdonságainak kiértékelése és szimulálása összetett feladat. A különböző darabok többféle lefutási folyamat szerint haladhatnak végig a soron, amelyek műveletigénye meghaladja a három prés által egyszerre biztosítható műveletszámot, ott köztes tárolás szükséges, majd a termelési program függvényében újra visszakérülnek a sorra.

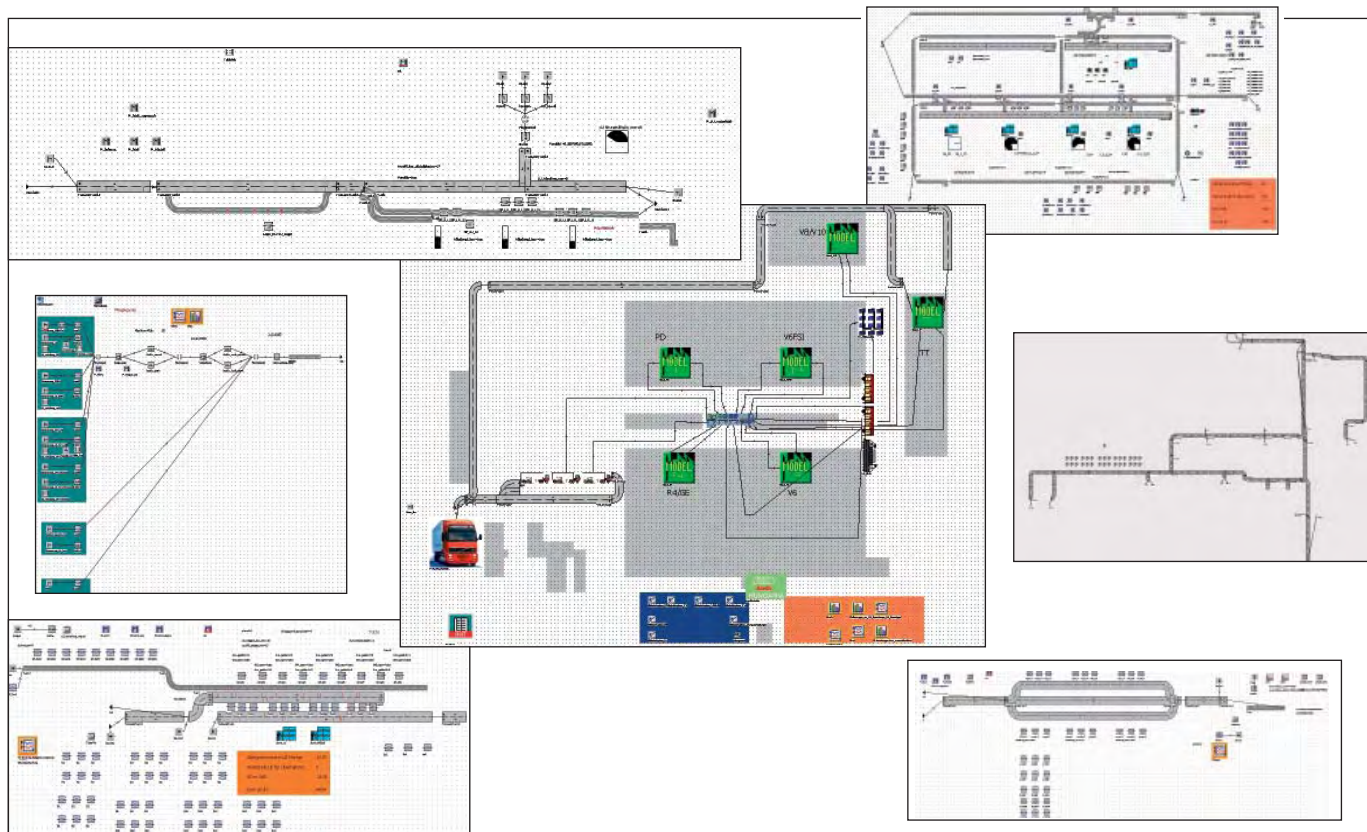
prés termelési programjába, a hosszú távú lehívások (vevői igények) figyelembevétele, hosszú távú kiszolgáló képesség biztosítása, mind szükségessé tették egy meglehetősen összetett termelészabályozási algoritmus kialakítását. A termelési programterv elkészítéséhez szükséges mindenkor bemenő adatok két részre oszthatóak. A paraméterek jelentős része technológiai paraméter, változtatásuk ritkán történik, kifejezetten terméktípushoz kötöttek. A gyakran változó paraméterek, mint a vevői igények, aktuális készlet, nyersanyag rendelkezésre állása külön kezelői felületre kerültek. A termelési program felelősen a gyakran változó értékek beállítása után azonnal láthatóvá válik a következő termelési ciklus programja, valamint két hónapos előrejelzést lát a termelési kapacitás megfelelő volumenéről. A termelési ütemterv létrejön a bemenő paraméterek megadását követően, ezzel hosszúságú számításoktól kíméli meg a termelésprogramozót. A létrejövő termelési program megállapítja a megfelelő terméksorrendet, a szükséges termelési mennyiséget, valamint lehetőségekhez mérten üresjáratú időszakokat is tervez, melyek biztosítják a karbantartást, ill. a kísérleti feladatok elvégzését. A termelési program azonnal nyomtatható formában jön létre, amely tartalmazza az adott napon gyártandó terméket, ill. termékeket, azok termelési mennyiségét, a szükséges munkaerő létszámát, továbbá az adott termék várható készlet szintjét a termelés kezdetekor.

Üzemen belüli anyagáramlási folyamatok szimulációs tervezése

Az Audi Hungaria Motor Kft. áruátvételi és belső anyagmozgatási rendszer rendkívül sok részfolyamatból, résztvevőből és eszközből áll. Az elemzés során a közúti kapcsolatokat, a vasúti árubeszállítást, valamint az üzemen belüli áruátvételi lépéssort

kellett figyelembe venni, továbbá az áruátviteli rendszerek üzemben belüli szállítási rendszerét is érintette a vizsgálat. A belső szállítási rendszer által ellátott göngyölegkezelési folyamat lépéseit, résztvevőit, valamint funkcionális elemeit is analizálni kellett a megfelelő részletezettség és terhelésvizsgálat elvégzése érdekében. A feladat lehatárolása értelmében a folyamatelemzés az egyes termelőterületek szériaraktári területéig tartó tevékenységekre vonatkozott.

értékek alkalmazására. A modellezés és szimuláció célja nem csak a rendszer leképezése és a szűk keresztmetszetek megállapítása volt. A létrejött modell segítségével különböző paraméterbeállítások segítségével lehetséges számos futtatási variáció elvégzése, amely segítséget nyújt a „Mi van, ha?” típusú kérdések megválaszolására anélkül, hogy a fizikai valós rendszeren hajtánánk végre változtatásokat az eredmények tesztelése érdekében. A két szemléltetett gyakorlati példa is mutatja, hogy a termelési, valamint az



3. ábra: Az Audi Hungaria Motor Kft. áruátvételi rendszerének szimulációs modellje

A modellezés során az egyes rendszerelemek viselkedésének elemzése volt az első lépés. Az egyes lépésekhez szükséges emberi erőforrások és anyagmozgató eszközök elemzése rendkívül részletes és időigényes tevékenység, melynek eredményeként a modell dinamikáját meghatározó egyes rendszerelemek viselkedését befolyásoló paraméterek, ill. paramétertartományok jönnek létre. Ezt követően a részfolyamatok egymás közötti kapcsolódási helyeinek azonosítása, valamint a kapcsolódás módjának azonosítására volt szükség a modellépítéshez. A részfolyamatok működési elvei és az egymással kialakításra kerülő kontaktusok egyúttal a rendszer viselkedését befolyásoló vezérlési elveket is jelentik, amelyek modellbe ültetése a fizikai parametrizálás mellett további programozási feladatokat jelentett. Az anyagáramlási folyamat egyes műveleteinek elemzése során a sztochasztikus viselkedéseket leíró paraméterek megállapítása és modellben történő alkalmazása rendkívül idő- és energiaigényes lépés. A sztochasztikus adatelemzés során számos esetben volt szükség empirikus eloszlási

anyagellátási, logisztikai rendszerek modellezése és szimulációs vizsgálata számos lépésből álló összetett feladat. A szoftver- és programozási ismereteken túl a gyártási folyamatok és logisztikai rendszerek tervezésének ismeretei is elhanyagolhatatlanok. A vállalati szféra alkalmazásai kutatóközponti együttműködéssel az elmélet és a gyakorlat ötvöztetésével kölcsönösen új eredményeket teremtenek. A gyártási és logisztikai folyamatok modellezésének és szimulációjának további részleteivel kapcsolatosan a Széchenyi István Egyetem Tech4Auto 2008-as rendezvényén hangzanak el előadások, valamint A jövő járműve folyóirat számol be a kutatás terén elért teljesítményekről.

Irodalom

- [1] VDI 3633 Blatt 1 1993-12
- [2] E VDI 3633 Blatt 1 2000-3
- [3] Plant Simulation, Step-by-Step Help, UGS Corp. Tecnomatix Technologies Ltd., 2006.

Számítógépes szimulációk ipari alkalmazhatósága

Dr. Kardos Károly
tanszékvezető egyetemi
docens, Széchenyi István
Egyetem

Buczkó Attila
Járműipari Regionális
Egyetemi Tudásközpont,
Széchenyi István Egyetem

A Széchenyi István Egyetem Járműipari, Elektronikai és Logisztikai Kooperációs Kutatóközpontja az elmúlt évben a Magyar Suzuki Zrt.-vel együttműködve különféle lemezalkatrészek gyártásával kapcsolatos kutatásokat végzett. A kutatások keretében kidolgozott szimulációs vizsgálatok eredményeit a Suzuki beszállítójaként működő Pridgeon & Clay Kft.-nél gyártott karosszériaelemeken hitelesítettük. A vizsgált alkatrészek mindegyike a Magyar Suzuki Zrt. által megszabott méret-toleranciahatáron kívül esett. A kutatás célja a szimulációs modell verifikálása és olyan megoldások felkutatása volt, melyek alkalmazásával az alkatrészek gyártáskor fellépő hibái kiküszöbölhetőek, a selejtszázalék csökkenthető, illetve maximális alapanyag-kihasználtság érhető el. Mivel a karosszériaelemek mindegyikénél azonos probléma lépett fel és ezáltal a vizsgálat menete is azonos volt, a cikkben egy kiválasztott alkatrész modellezési folyamatát mutatjuk be.

Together with Magyar Suzuki Corporation Ltd the Co-operational Research Center for Vehicle Industry, Electronics and Logistics of Széchenyi István University carried out several research projects connected to the manufacture of different sheet metal components last year. We verified the results of the simulation based research at body panels manufactured by Pridgeon & Clay Ltd operating as a supplier of Suzuki. Each of the examined components exceeded the size tolerance limit determined by Magyar Suzuki Corporation Ltd. Aim of our research projects was to verify the simulation model and find solutions for the elimination of components' manufacturing defects, the reduction of waste percentage as well as for the highest possible raw material utilization. Since the problems arising by each body panel were quite the same and by this means the course of the examinations were also identical, in this article we present the modeling process of one particular chosen component.

A GYÁRTÁSI FOLYAMAT ÁLTALÁNOS ÁTTEKINTÉSE

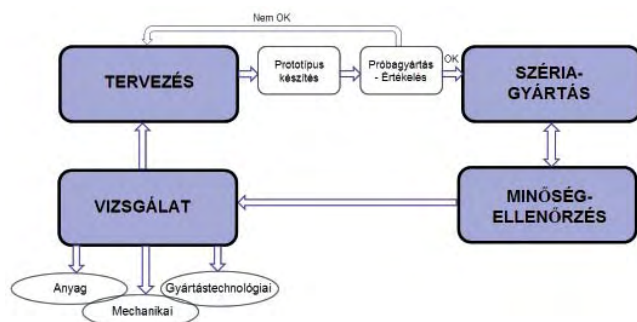
Egy új termék bevezetése rendkívül komplex, időigényes folyamat, melyet négy fő tevékenységkörre oszthatunk: tervezés, gyártás, minőségellenőrzés és vizsgálat. Az egyes lépések közül a legtöbb időt és energiát igénylő lépés a tervezés, melynek során a tervezők olyan alapvető paramétereket határoznak meg, mint a termék anyaga, formája, szerkezete. Ezután a tervezői munka eredményeként elkészült terméket gyárthatósági vizsgálatnak vetik alá. Amennyiben az első próbagyártás sikeresen zárul, sor kerül a gyártási folyamat részletes kidolgozására. Ezt követően indul el a szériagyártás, melyet folyamatos minőség-ellenőrzés mellett végeznek. Amennyiben a vizsgált alkatrészen a sorozatgyártás során hibát észlelnek, annak mihamarabbi kiküszöbölése érde-

kében elvégzik a szükséges vizsgálatokat (pl. gyártástechnológiai vizsgálatok, anyagvizsgálatok, mechanikai vizsgálatok), majd – az elemzések következtetéseitől függően – újabb tervezési fázis kezdődik vagy megteszik a szükséges lépéseket a hibát előidéző külső befolyásoló tényező kiiktatása érdekében. A gyártási folyamat egyszerűsített sémáját az 1. ábra mutatja.

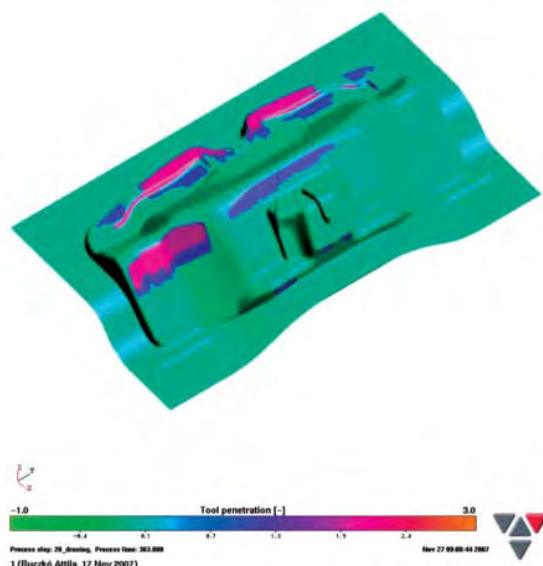
A gyártástechnológiai vizsgálatok elvégzésének rendkívül idő- és költséghatékony módszere a számítógépes szimulációkkal végzett elemzés, melynek alkalmazása napjainkra már-már elkerülhetlenné vált a mai ipar minőség- és költségoptimalizálási törekvései mellett. A Széchenyi István Egyetem fejlett laborkapacitásainak kihasználásával és támogatásával, GOM optikai felületdigitalizáló berendezés segítségével, anyagvizsgálatok elvégzése mellett a szimuláció eszközt alkalmaztuk az alábbiakban részletesen bemutatott ipari probléma megoldása során is.

CAD- ÉS SZIMULÁCIÓS MODELL

A szimulációs vizsgálathoz szükséges szerszám CAD-modelljét a beszállító nem tudta rendelkezésünkre bocsátani. A szerszám-felületek mérésére a GOM optikai felületdigitalizáló készüléket használtuk. Az alakító felületeket szétszedett állapotban tudtuk mérni, ennek következtében a szimulációs modell előkészítése során első feladatunk a szerszámfelek egymáshoz viszonyított pozíciójának helyes beállítása volt. A szimulációhoz szükséges, mérésekből származó .igs formátumú felületeket ProEngineer szoftverrel készítettük elő. Elsőként ellenőriztük a geometriákat és kijavítottuk a felületi hibákat. A szerszámfeleket azonos koordináta-rendszerbe helyezve, egymáshoz képest pozicionálva kel-



1. ábra: a gyártási folyamat egyszerűsített sémája



2. ábra: AutoForm – Tool Check

lett újból kimenteni .igs formátumba. Az AutoForm a szimuláció felépítéséhez megkívánja az alakítást végző szerszámelemek „aktív” felületei geometriai modelljének előállítását. A program a szerszámfelületek előállításához a munkadarab alakjának megfelelő, homogén, furatok és alakos kibontásoktól mentes ún. referenciafelületet használ. Esetünkben a szerszámfelület a referenciafelület. Egy új gyártmány esetén természetesen ezek az adatok előzetesen nem állnak teljes körűen rendelkezésünkre. Ilyen esetben – az alkatrész CAD-modelljéből kiindulva – a teljes alakítási folyamatot egy virtuális alakítási környezetben, a számítógépen modellezzük. Az AutoForm szoftverben elsőként a geometriagenerátorba importálva tudjuk a geometriák egymáshoz viszonyított pozícióját pontosítani. A mért felületek koordinátatengelyei egymáshoz viszonyítva csak Z irányban azonosak. A „Tool Check” lehetővé teszi a szimuláció előtti szerszámmozgások kontrollálását (2. ábra). Ezzel elkerülhetjük, hogy térbeli pozícióhibából kifolyólag a hosszas számolást követően rossz eredményt kapjunk. Az ellenőrzés gyors eredményei színekkel megjelenítve, a lemezvastagság ismeretében is segítenek számunkra eldönteni, hogy a lemeznek elegendő helye lesz-e a szerszámfelek közt, illetve hogy a szerszámoknak van-e nemkívánatos ütközésük.

A szerszámfelek helyes térbeli pozicionálását követően elkezdjük előkészíteni a szimulációt. A modellezéshez általában szükséges ismernünk az alkatrész gyártásához alkalmazható teríték alakját és méreteit, az alakítószerszámok geometriáját, továbbá az alakítás technológiai paramétereit. Meglévő, már gyártott alkatrész alakítási problémáinak elemzésekor ugyanakkor már rendelkezésre állnak a gyártáshoz alkalmazott teríték jellemző adatai (a teríték alakja, méretei), az alakítószerszámok tényleges geometriája (az alakító bélyeg és matrica alakja, pontos méretei, tűréseik stb.), és az alakítás során alkalmazott technológiai paraméterek (alakítóerő, ráncgátló nyomás, a tribológiai, kenési-súrlódási viszonyok stb.). Ebben az esetben a tényleges alakítási folyamatot modellezve elemezhetjük az anyagáramlást az alakítás során, az alakított darabban kialakuló alakváltozási és feszültségi állapotot. A kapott eredményekből fontos következtetéseket vonhatunk le az alakítás során esetleg fellépő problémákról, megbízható javaslatokat adhatunk a szerszámok, illetve a technológiai folyamat olyan módosítására, amellyel az előírásoknak minden tekintetben megfelelő gyártmányt tudunk előállítani.

A MODELLEZÉS BEMENETI PARAMÉTEREI

A szimuláció alapjául szolgáló geometriákat – ahogy azt már a korábbiakban említettem – GOM-mérésekkel nyertük. Az alkatrészhez tartozó teríték téglalap alakjából kifolyólag könnyen definiálható volt. Az összeállított szerszámok a 3. ábrán láthatóak. A cégtől kapott terítékekből mértük az alapanyagokhoz tartozó anyagtani jellemzőket az egyetem anyagvizsgáló laboratóriumában. Mivel ilyen, a rendszerben nem található anyagot kell hasz-

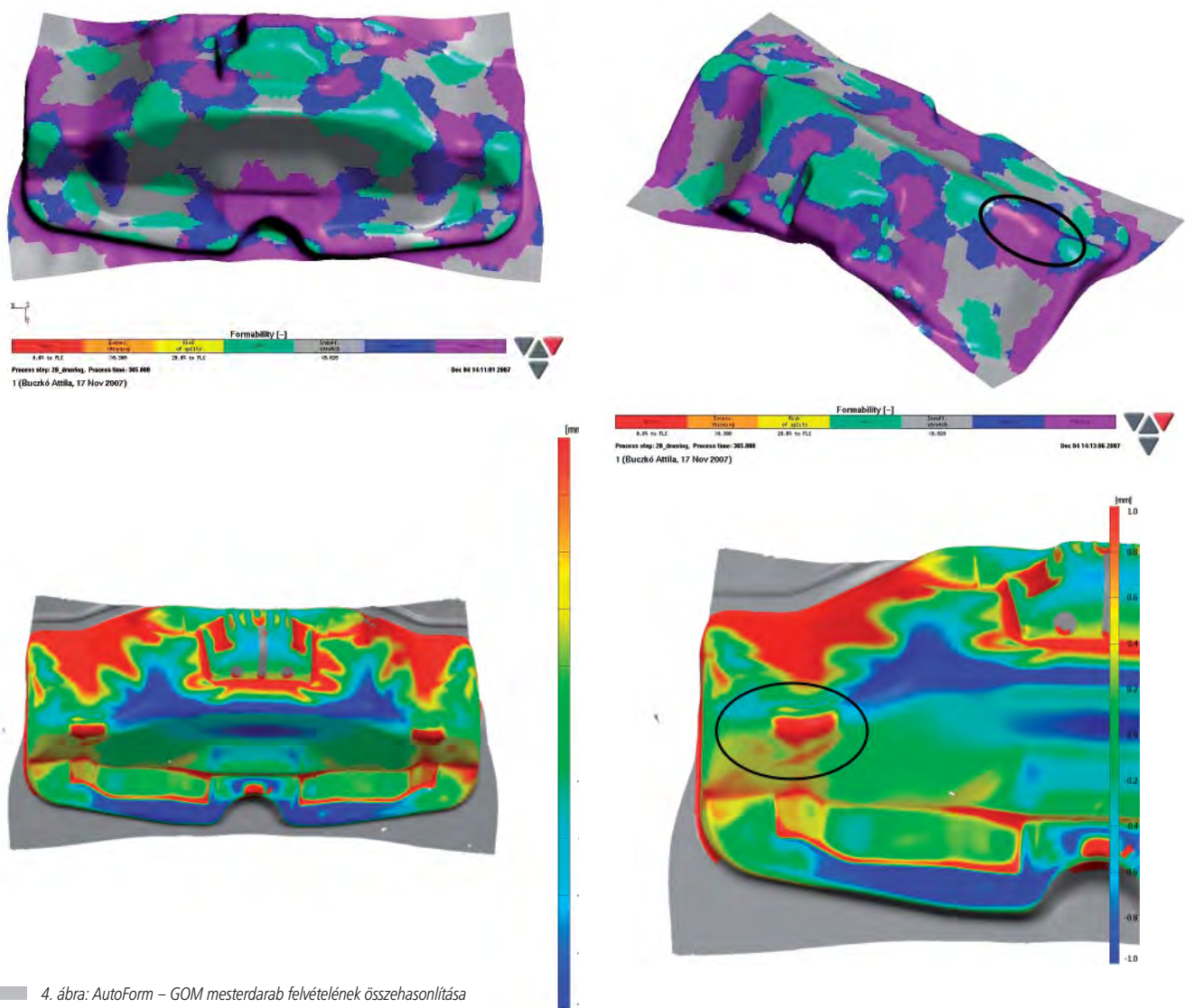


3. ábra: valós, szkennelt szerszámfelek

nálnunk, a Material generator segítségével bővíthető az AutoForm anyagadatbázisa, és természetesen szükséges az anyagvastagság megadása is. Mindezek ismeretében AutoForm-ban definiálni tudtuk az alakítást. Súrlódási tényezőként az iparban általánosan használt értéket vettük figyelembe, mivel erre vonatkozó speciális adatokat nem kaptunk a beszállítótól.

A FUTTATÁS EREDMÉNYEI

A lemezalkatrész szimulált adatait összevetettük a valóságban gyártott alkatrész-geometriával. Az ennek eredményéül kapott adatok alapján állítható, hogy a számítógéppel kapott eredmények jó közelítéssel megfelelnek a valóságnak. A program felhívta a figyelmünket a gyártáskor jelentkező gyűrődött részekre, illetve a visszarugózás veszélyére. Ezt a GOM-os mérések is kimutatták, amikor az első húzási lépést követően összehasonlítottuk a gyártott alkatrészt a szerszámfelülettel. A vizsgálat célja annak ellenőrzése volt, hogy a szerszámformát alakítás közben megfelelően fel tudja-e venni a gyártmány. Az első alakítási lépést követően mérhetővé váltak egyben az alkatrészekben mutatkozó olyan problémák is, amelyek a kész darab vizsgálatokor is jelentkeztek. Ezen területek alakulását figyelhetjük meg a szimulációk eredményein. A GOM-mal végzett mérések kiterjedtek a mesterdarabok (az alkatrész gyártásának kezdetén, a szerszámbeállítást követően készített első megfelelő darabok) és a húzott darabok összehasonlítására. Az itt mérhető ráncosodások, rádiuszhibák megjelenését az első húzás utáni lemezen ugyancsak megvizsgáltuk. Az alkatrész első alakítását modelleztük a jelenlegi szerszámfelületekkel. A szimulációk eredményeiből kiderült, hogy az AutoForm – a valóságnak megfelelően – első húzás után gyárthatónak ítélte az alkatrészeket. A kapott eredményeket összevetve a digitalizált alkatrészekkel láthatóvá vált a hasonlóság a kritikus (a mesterdarabhoz képest észlelhető eltérés) környezetekben is. Az alkatrészen a GOM által mért, pirossal jelzett területen pozitív irányban eltérés mutatkozott a mesterdarabhoz képest. A szimulációs modellen is jól



4. ábra: AutoForm – GOM mesterdarab felvételének összehasonlítása

látható az említett területen a gyűrődés jelenléte. A modell több helyen felhívta továbbá a figyelmünket visszarugózási hajlamra, ahol a valós darab eltért a mesterdarabtól (4. ábra).

Az alakítóeszköztől megállapítottuk, hogy a nem megfelelő, és szerszám párokra vonatkozóan nem azonos anyagválasztás, illetve bevonatolás nem kívánatos problémákat okozott. Az érintett gyártó szerszámfelek állapotáról megállapítottuk, hogy a bélyeg felületén szemmel látható a kopásból adódó nyúzódnás, kitörés, berágódás, míg a matricák a bélyegekhez képest jó állapotúak (5. ábra).

Az ilyen problémák orvoslása érdekében a beszállító felhívta a figyelmünket a betétek alkalmazásával próbálta javítani, illetve meghosszabbítani a felület tartósságát. A matricák állapotára való tekintettel feltételeztük, hogy az alakítás pontatlansága a bélyeg kopott felületeinek eredménye. Ezt a feltételezést vizsgálva a felső szerszámfeléből kiindulva generáltuk a többi szükséges alakítófelületet. AutoForm-mal a matricából származtattuk a megmunkálásban részt vevő ráncgátlót és bélyeget.

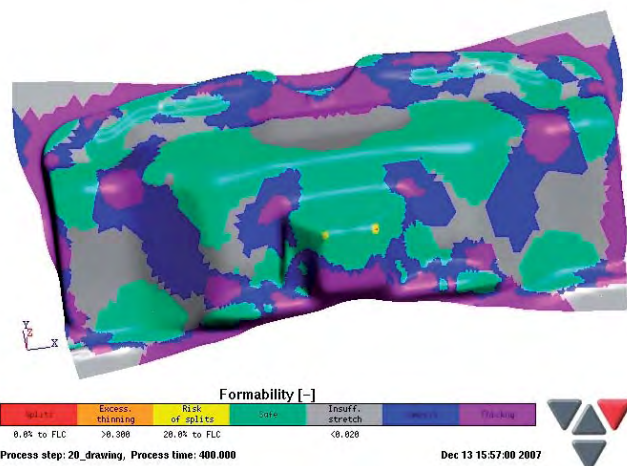


5. ábra: sérülések a bélyegen

Így biztosítottuk a szerszámok tökéletes lemezvastagságnyi összeháródását. A modellezést a mért anyagjellemzőkkel és az eredeti gyártási paraméterekkel végeztük. Az eredményeket megvizsgálva láthatjuk, hogy az általunk generált szerszámfelekkel gyártott alkatrész is kivitelezhető (6. ábra).

KIÉRTÉKELÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

Az összesített eredmények azt mutatták, hogy az alkatrészek pontatlanságának oka az előállító szerszámok anyagából adódó kopásban, illetve az ebből következő túlzott visszarugózásban, pontatlan illeszkedésekben keresendő (pozicionálási probléma, körülvágási pontatlanság, sorjaképződés). Ez a végterméket tekintve a karosszéria-összeszerelés közben pontatlan illesztéseket eredményez, az autógyártást nagyban megnehezíti, illetve a megjelenő selejtszázalékot is befolyásolhatja. Költségkímélő megoldásként szimulációval megvizsgáltuk a jelenleg jó állapotú matricákból származtatott bélyegek gyártásra gyakorolt hatását az első alakítási lépésekben. A kiértékelt eredmények pozitív hatást mutattak az elméleti változtatást illetően, az alkatrész gyárthatósága megfelelő. Javasoltuk a gyártóeszközök karbantartását, illetve újbóli gyártását.



6. ábra: az alkatrészek alakíthatósága

Tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezése speciális hálózati gráffal

dr. Péter Tamás

egyetemi docens,
BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

A publikáció nagyméretű közúti közlekedési rendszerek matematikai modellezésére speciális, hipergráf struktúrát mutat be, amely leírja egy tartomány esetén a belső-belső, a külső-belső, a belső-külső és a külső-külső hálózati elemek közötti áadási törvényt. Megadja a rendszer működését leíró nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert. Bemutatja, hogy a rendszer pozitív rendszer. Ljapunov-függvények módszerével kimutatja, hogy az autonóm rendszer aszimptotikusan stabilis. A nem autonóm rendszerre, a peremekre vonatkozó, Ljapunov-függvényt alkalmazó irányítási törvényt ad meg, amely elégséges feltételt ad a rendszer aszimptotikus stabilitására és dinamikusan alkalmazható a teljes tartományon, illetve azokon a szubtartományokon, ahol kritikus helyzet lép fel.

The paper introduces a method of mathematical modeling of high scale road traffic networks, where a new special hyper-matrix structure is intended to be used. The structure describes the inner-inner, inner-outer, outer-outer relations, laws of a network area. The research examined the nonlinear equation system of the nonlinear positive system. The asymptotic stability of the system is examined with the method of Ljapunov functions. It gives a solution for the control of this non-autonomic system through Ljapunov functions, which gives an eligible solution for the asymptotic stability for the whole region and for its critical sub-domains.

BEVEZETŐ

Egy közúti közlekedési modell általában igen bonyolult:

- Számos geometriai jellemző szab feltételeket.
- Számos egyedi szabályozás működik.
- Igen nagyszámú résztvevő kap szerepet.
- Igen nagy befolyása van a humán tényezőknek.
- Sokféle külső tényező, szezonális hatások, időjárás stb. játszik közre.

Mindezek ellenére a használható modellekkel szemben alapkövetelmény a hatékonyság:

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

A HAGYOMÁNYOS, CSOMÓPONTKÖZPONTÚ TÉRKÉPMODELL ÉS A HÁLÓZATKÖZPONTÚ MODELL KÖZTI KÜLÖNBBSÉG

Az irodalomból ismert közúti közlekedési hálózati modellek a csomópontokat, ill. kereszteződéseket kitüntetett elemként kezelik a modellekben. Ez olyan gráfot eredményez, amely hűségesen leutánozza a térképet, a gráf csúcsai a csomópontok, illetve kereszteződések, az ívek pedig az őket összekötő útszakaszok.

Ha ránézünk egy városi vagy közúti térképre, a térkép egy olyan gráf, amelynek csúcsait a közlekedési csomópontok, éleit pedig a csomópontokat összekötő utak alkotják.

Finomítva a térképet a teljesen részletes hálózattig (2., 3. ábra), a csúcsok halmazában az összes kereszteződés is megjelenik, és az élek is kibővülnek az összes útszakasszal. Tehát ez a leírás természetes módon adta azt a szemléletet, hogy a központi helyet a csomópontok (kereszteződések) foglalják el, ők a gráf csúcsai, és a forgalom lebonyolításánál a csúcsok kooperálnak egymással az őket összekötő útszakaszokon keresztül. Ennek igen kiterjedt és modern kutatási

irányai az intelligens csomópontok, egymással kooperáló csomópontok – ágensek, játékelméleti módszerek stb. területein jelentkeznek. Külön fontos kutatási terület a körforgalmú csomópontok vizsgálata is.

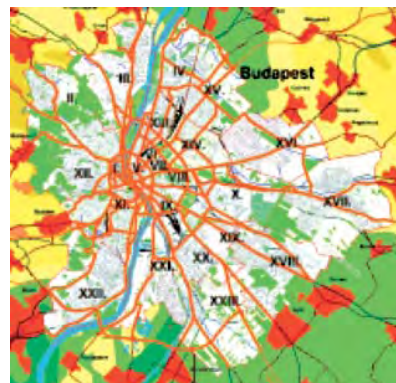
Tehát, valóban nagyon fontos a csomópontok optimális működése a rendszerben, azonban, ha alaposabban átgondoljuk a szerepüket, ők a „szükséges rosszak” a hálózatban. A közlekedés szempontjából, az lenne az ideális, ha minél kevesebb keresztező forgalom lenne! Sőt, ha ők nem is léteznének és minden pontból minden pontra keresztező forgalom nélkül lehetne eljutni!

Nilván ez abszurd, de ez a gondolat elvezet bennünket egy más megközelítéshez. Felveti azt a kérdést, hogy valóban szükséges, hogy a csomópontok legyenek a vizsgálatok központi helyén? A jó válasz erre az, hogy a közlekedés szempontjából, a hálózat egészét kell a vizsgált központi helyére tenni.

A HÁLÓZATI MODELL ELEMEI, ÁLLAPOTJELLEMZŐK, AZ ÁLLAPOTJELLEMZŐKTŐL FÜGGŐ SZABÁLYOZOTT KOOPERÁCIÓK, HÁLÓZATI KAPCSOLATOK ÉS A MATEMATIKAI MODELL

A modell elemei

A hálózat alkotóelemei, első megközelítésben a sávszakaszok és a definiált parkolók, és hozzájuk sorolhatók az utak melletti parkolósávok is. Könnyen belátható, hogy a definiált parkolók, valamint az utak melletti parkolósávok a hálózat működésében mint álta-



1. ábra: a gráf csúcsai a közlekedési csomópontok



2. ábra: finomított térképgráf



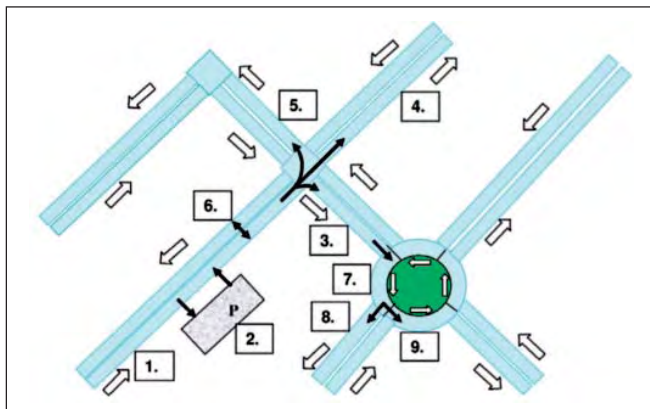
3. ábra: részletezett térképgráf

szabályok az elemeken történő közlekedés, továbbá az egyik elemről a másikra történő átlépés feltételeit írják elő. A térképünk fontos paramétereket tartalmaz még, sávszakaszok hossza, szélessége, száma, parkolóban elhelyezhető járművek száma, megengedett sebességek számszerű értékei, ezeket már a dinamikus modell paramétereinél vesszük figyelembe.)

Ez a modell tehát az egész hálózatot vizsgálja a teljes kapcsolatrendszer mellett. Ebben önálló elemként már nem jelenik meg a „csomópont”, ugyanis minden csomópont működése része a teljes kapcsolatrendszernek!

A közlekedési hálózat néhány specialitása

- A párhuzamos sávok hatással vannak egymásra. Ez a kölcsönhatás, ami egymásra történő átdolgozás, egymás zavarása, befolyásolja a párhuzamos sávokon kialakuló járműsűrűséget és a járművek sebességét.



4. ábra: a hálózat alkotóelemei

lánosított szakaszok vesznek részt, tehát az egész hálózatban ténylegesen szakaszok kooperálnak, és ezek az elemek alkotják a hálózati gráf csúcsait. Egyszerű példaként tekintünk a 4. ábrán látható, néhány beszámolt elem rádolgozó, ill. zavaró kooperációját:

1. elem kooperál a 2., 3., 4., 5. és 6.-kal, a 3. elem kooperál a 7.-kel, a 7. elem kooperál a 8. és 9.-kel.

Az irányított gráf élei dinamikus relációk, ugyanis a kapcsolatban álló, (kooperáló) csúcsok közötti kapcsolatok dinamikusak. Ezt a kapcsolatot írja le a kapcsolati mátrix. Ez figyelembe vesz minden, a térkép által tartalmazott elemet és mindazokat a szabályokat (ide értve a lámpákat is), amelyek megadják, hogyan történik a közlekedés? (A

- A szembejövő forgalom is hatással van a „jobb-” és „baloldali” sávra. Ez a kölcsönhatás az előzések következtében fellépő zavarásban mutatkozik meg.
- A definiált parkolók, valamint az utak melletti parkolósávok a hálózat működésében mint általánosított szakaszok vesznek részt, és az ott leparkolt járművek is kölcsönhatásban vannak azokkal a hálózati szakaszokkal, ívekkel, amelyekkel közvetlen forgalmi kapcsolatban állnak. Ez, az időben változó intenzitású kapcsolat képes pl. önmagában is csúcsterhelést létrehozni a vizsgált hálózaton anélkül, hogy erre a hálózatra egy definiált külső hálózatról forgalom beérkezne.
- Járműátadást érintő belső autonomizmusok is működnek a kapcsolatban álló hálózati elemek között. Pl. hiába zöld a lámpa, nem történik átadás, ha túl nagy a járműsűrűség a felvevő szakaszon, vagy nulla az átadó szakaszon.

Állapotjellemző, kapcsolata a „hagyományos sűrűséggel”

Modellünkben a (geometriai) járműsűrűség alatt azt az s dimenzió nélküli ($0 \leq s \leq 1$) mérőszámot értjük, amely az egy szakaszon tartózkodó járművek együttes hosszának és a szakasz hosszának arányát méri. A belső hálózat útszakaszain fellépő sűrűségek a rendszer állapotjellemzői.

Az n db belső szakaszból álló közlekedési hálózati modellünk írja le azt a közúti/városi közlekedési rendszert, amely egy zárt görbével körülhatárolt tartományában helyezkedik el.

Ez esetben a (H_k) belső hálózaton kialakuló járműsűrűségek a rendszer állapotjellemzői, rendre $x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)$. A modell, a (H_k) külső hálózat azon részhalozatát is használja, amely olyan m db szakaszból áll, amelyeknek közvetlen kapcsolatuk van valamely belső szakasszal. Az ezeken kialakuló járműsűrűségeket jelöli $s_1(t), s_2(t), \dots, s_m(t)$, amelyeket mérések alapján ismerünk. A hálózatot leíró matematikai modellünk figyelembe veszi a hálózat tartományon belüli belső és a tartományon kívüli külső kapcsolatait is (5. ábra):

Hagyományosan járműsűrűség vagy forgalomsűrűség alatt az egységnyi útszakaszon, adott, t időben található járművek számát érti a szakirodalom (Megjegyzendő, hogy ez a mennyiség – amennyiben erre az áramlástan modellalkotás esetében szükség van – differenciális alakban is alkalmazható.) Jele: pl. S , mértékegysége lehet: [járműszám/km]. Az így most bevezetett s dimenzió nélküli (geometriai) sűrűségfogalom közvetlenül átszámítható a hagyományos S sűrűségre a méterben mért, h egységjárműhossz statisztikai fogalom felhasználásával:

$$s = S \cdot h / 1000, \text{ vagy } S = 1000 \cdot s / h$$

Ezáltal, természetesen erre az s (geometriai) sűrűségre is alkalmazhatók a sebesség-sűrűség kapcsolatát feltáró irodalom eredményei, lásd Greenshields (lineáris), Kladek, Greenberg (logaritmus), Pipes and Munjal, Drew, Underwood, Drake, Zachor, Edie, Kövesné Gilicze Éva, Debreczeni Gábor [9].

A parkolók a hálózat működésében mint általánosított szakaszok vesznek részt.

Egy P_i parkolóban legyen a férőhely N_i , és legyen t időpontban $n_i(t)$ db jármű a parkolóban. Ekkor tekintjük az $x_i(t) = n_i(t) / N_i$ állapotjellemzőt, amelyre egyrészt teljesül:

$$0 \leq x_i(t) \leq 1 \text{ feltétel,}$$

másrészt h egységjárműhosszat feltételezve:

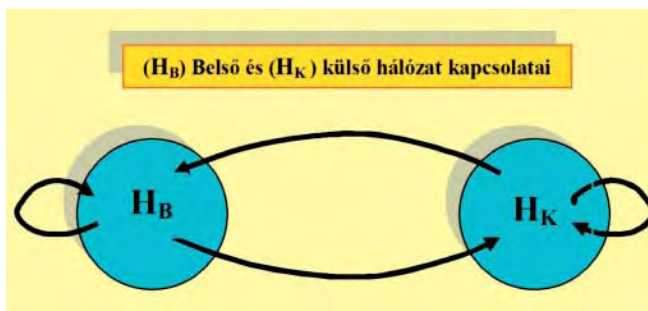
$$x_i(t) = n_i(t) \cdot h / N_i \cdot h,$$

tehát definiálható az $l_i = N_i \cdot h$ fiktív szakasz, amelyen $n_i(t) \cdot h$ hosszát foglalnak el a járművek (6. ábra).

Az állapotjellemzőktől függő szabályozott kooperációk, hálózati kapcsolatok és a matematikai modell

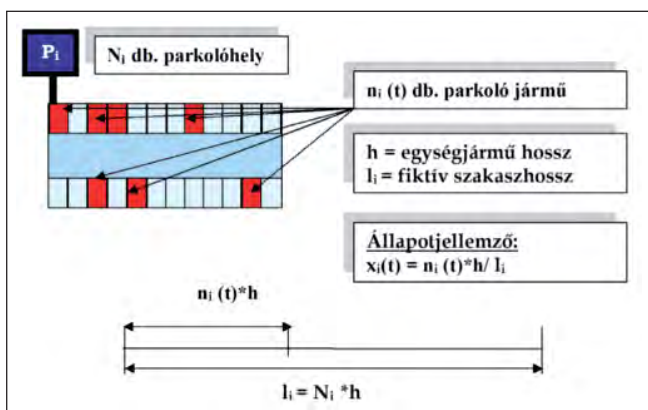
A hálózati matematikai modell megalkotásához tehát, alapvető fontossággal bírt a hálózatot definiáló kapcsolati mátrix, amely egy hiper mátrix. [1,2,3].

A kapcsolati mátrixok felírása azt a kapcsolatot adja meg, amikor egy j szakasz kooperál az i szakasszal. A tárgyalt modell



5. ábra: a belső és külső hálózat kapcsolatai

alkalmazható a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok szimulációs vizsgálatára, tervezésére és a közlekedési rendszerek szabályozására. A 7. ábrán látható hipermátrix részlete az alábbi: A $\mathbf{K}_{\text{belső}}$ és a $\mathbf{K}_{\text{outp}}$ mátrixból képzett $\mathbf{K}$ konstruált mátrix szerepel a matematikai modellt alkotó differenciálegyenlet-rendszerben:



6. ábra: a parkolók általánosított szakaszok

A matematikai modell

A matematikai modell felírásakor a belső szakaszok $\mathbf{x}(t)$ állapotjellemző vektorára az alábbi elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert kaptuk [1,2,3].

$$\mathbf{x}'(t)_{(n \times 1)} = \langle \mathbf{1}/\mathbf{l} \rangle_{(n \times n)} [\mathbf{K}_{(n \times n)} \mathbf{x}(t)_{(n \times 1)} + \mathbf{K}_{\text{inp}(n \times m)} \mathbf{s}(t)_{(m \times 1)}] \quad (1)$$

Ahol: $\langle \mathbf{1}/\mathbf{l} \rangle$ a belső szakaszhosszak reciprokait tartalmazó diagonális mátrix, a $\mathbf{K}(\mathbf{x}(t), \mathbf{s}(t))$ és $\mathbf{K}_{\text{inp}}(\mathbf{x}(t), \mathbf{s}(t))$ kapcsolási mátrixok elemei a kapcsolási függvényeket és a sűrűségi állapotoktól függő függvényeket tartalmazzák, az elemek fizikai jelentése sebesség. A rendszer pozitív rendszer, a modell lényegét tekintve makroszkopikus modell.

STABILITÁS ÉS A LJAPUNOV-STABILITÁSSAL MEGVALÓSÍTOTT IRÁNYÍTÁS

Tekintsük az (1) differenciálegyenlet-rendszert kissé tömörebb alakban:

$$\mathbf{x}' = \langle \mathbf{L} \rangle^{-1} [\mathbf{K}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \mathbf{x} + \mathbf{K}_{\text{input}}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \mathbf{s}] \quad (2)$$

Az állapotjellemzőkre igaz, hogy: $0 < x_i < 1$ ($i=1,2,\dots,n$)

Vezessük be a $V(x_1, x_2, \dots, x_n) = l_1 x_1 + l_2 x_2 + \dots + l_n x_n$ függvényt, amelynél $0 < l_i$, az x_i állapotjellemzőhöz tartozó szakasz hosszát jelenti.

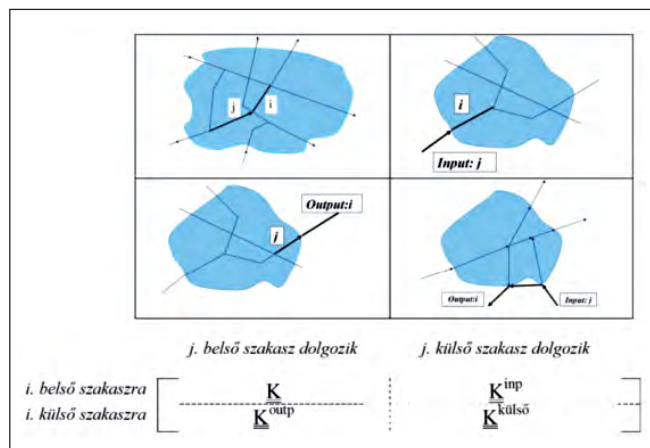
Röviden $\mathbf{L} = [l_1, l_2, \dots, l_n]$ és $\mathbf{x}$ skaláris szorzata:

$$V(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mathbf{L}^* \mathbf{x} \quad (3)$$

A $V(x)$ skalár-vektor függvény pozitív definit, mert:

$V(x)=0$, csak ha $\mathbf{x}=\mathbf{0}$

$V(x)>0$, értelmezési tartományában minden nemzérus $\mathbf{x}$ állapotjellemzőre.



7. ábra: a belső és külső hálózat kapcsolati hipermátrixa

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

j-ik szakasz kapcsolata (j)

i-ik szakasszal... (i)

$\dots K_{ij} = k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t) \dots$

8. ábra: a kapcsolati mátrix

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{K}_{\text{külső}}$

9. ábra: a kapcsolati hipermátrix részlete

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \left(\sum_{j=1}^n K_{1j} f_j(x_j) \right) \left(\sum_{i=1}^n K_{i1} f_i(x_i) \right) & K_{12} f_2(x_2) & \dots & K_{1n} f_n(x_n) \\ K_{21} f_1(x_1) & \left(\sum_{j=1}^n K_{2j} f_j(x_j) \right) \left(\sum_{i=1}^n K_{i2} f_i(x_i) \right) & \dots & K_{2n} f_n(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} f_1(x_1) & K_{n2} f_2(x_2) & \dots & \left(\sum_{j=1}^n K_{nj} f_j(x_j) \right) \left(\sum_{i=1}^n K_{in} f_i(x_i) \right) \end{bmatrix}$$

10. ábra: a $\mathbf{K}$ konstruált mátrix

Képezzük a W függvényt:

$$W = dV(x)/dt = (\partial V / \partial x_1) (dx_1/dt) + \dots + (\partial V / \partial x_n) (dx_n/dt) =$$

$$= l_1^* dx_1/dt + l_2^* dx_2/dt + \dots + l_n^* dx_n/dt = \mathbf{L}^* \mathbf{x}'$$

Tehát W a (2) egyenletrendszer egyes egyenleteinek jobb oldalán szereplő tagok összege, amelyeknél az l_i szakaszhossz paraméterek kiesnek az $\langle \mathbf{L} \rangle^{-1}$ diagonális mátrixszal történt szorzás miatt. $\langle \mathbf{L} \rangle^{-1}$ diagonális mátrix a főátlójában a szakaszhosszak reciprokait tartalmazza.)

$\mathbf{K}(\mathbf{x}, \mathbf{s})$ kapcsolati mátrix konstrukciójából adódóan, az összegzés után $\mathbf{K}_{\text{belső}}$ mátrix minden eleme kiesik a W függvényt alkotó függ-

vények közül (az x_i együttthatóknál csak $\mathbf{K}_{\text{outp}}$ mátrixban szereplő elemek lépnek fel, az s együttthatóknál pedig csak $\mathbf{K}_{\text{input}}$ mátrixban szereplő elemek lépnek fel).

$$W = \left(\sum_{i=1}^m a_{i,1}(s_1, x_1) \right) x_1 - \left(\sum_{i=1}^m a_{i,2}(s_1, x_2) \right) x_2 - \left(\sum_{i=1}^m a_{i,n}(s_1, x_n) \right) x_n + \left(\sum_{i=1}^n a_{1,i}(s_1, x_1) \right) s_1 + \left(\sum_{i=1}^n a_{2,i}(s_2, x_2) \right) s_2 + \left(\sum_{i=1}^n a_{m,i}(s_m, x_m) \right) s_m$$

Tehát a rendszer stabilis, ha a peremeken a kiszállítás nagyobb, mint a peremeken történő beszállítás.

$$\left(\sum_{i=1}^n a_{1,i}(s_1, x_1) \right) s_1 + \left(\sum_{i=1}^n a_{2,i}(s_2, x_2) \right) s_2 + \left(\sum_{i=1}^n a_{m,i}(s_m, x_m) \right) s_m < \left(\sum_{i=1}^m a_{i,1}(s_1, x_1) \right) x_1 + \left(\sum_{i=1}^m a_{i,2}(s_2, x_2) \right) x_2 + \left(\sum_{i=1}^m a_{i,n}(s_m, x_n) \right) x_n$$

Röviden:

$$\Sigma F_{\text{input}} < \Sigma F_{\text{output}} \quad (4)$$

Az autonóm rendszer viszont mindig stabilis, ekkor ugyanis:

$$s_1 := 0 \quad s_2 := 0 \quad \dots \quad s_m := 0$$

$$W = \left(\sum_{i=1}^m a_{i,1}(s_1, x_1) \right) x_1 - \left(\sum_{i=1}^m a_{i,2}(s_2, x_2) \right) x_2 - \left(\sum_{i=1}^m a_{i,n}(s_m, x_n) \right) x_n$$

mivel a szummákban szereplő sebességek nem negatívak.

A Ljapunov-függvény fizikai jelentése:

Vizsgáljuk meg a $V(x_1, x_2, \dots, x_n) = l_1 \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + \dots + l_n \cdot x_n$ függvény fizikai jelentését.

A definíciók szerint:

$$x_i = n_i \cdot h / l_i$$

ahol: n_i az i -ik szakaszon tartózkodó járművek száma
 h egységjárműhossz

$n_i \cdot h / l_i$ helyettesítés után:

$$V = (n_1 + n_2 + \dots + n_n) \cdot h$$

a tartományban tartózkodó összes jármű számával arányos. Pontosabban: V az adott t időpontban a belső úthálózaton a járművek által elfoglalt összes úthosszat adja meg.

Tehát, $V(t)$ t -szerinti deriváltjának negatív értéke, az összes járműszám csökkenését, illetve az elfoglalt összes úthossz csökkenését jelenti a belső úthálózaton.

Ez a (4) vizsgálati eredmény, a Ljapunov-függvényt alkalmazó irányítási törvényt ad meg, amely elégséges feltételt ad a rendszer aszimptotikus stabilitására és dinamikusan alkalmazható a teljes tartományon, ill. azokon a szubtartományokon, ahol kritikus helyzet lép fel.

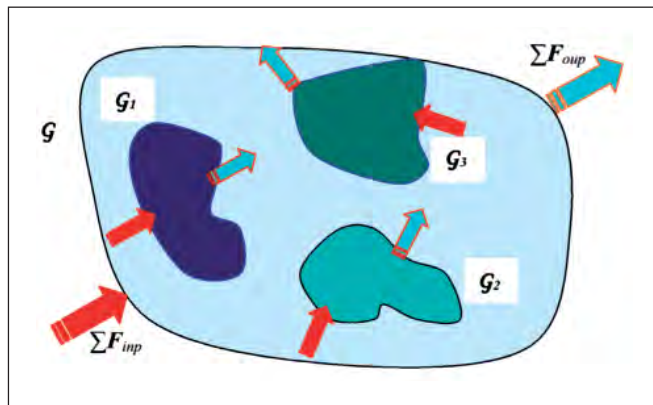
ÖSSZEFOGLALÁS

A tárgyalt modell alkalmazható a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok szimulációs vizsgálatára, tervezésére és a közlekedési rendszerek szabályozására. Speciális makroszkopikus modellt alkalmaztunk, ezáltal elkerüljük a parciális differenciál-egyenlet-rendszerekre vezető matematikai modellt.

- Speciális modellünkben nem kap kitüntetett szerepet a csomópont! Szakaszok vannak, amelyek kooperálnak vagy nem. (Pl. speciális szakasz a parkoló is és kooperálhat két párhuzamos sáv is).
- Modellünkben a járműsűrűség alatt az egy szakaszon tartózkodó járművek együttes hosszának és a szakasz hosszának arányát értünk.
- A közúti közlekedési modellünk egy zárt görbe által körülhatárolt – nem feltétlen egyszeresen összefüggő – tartományban elhelyezkedő úthálózat szakaszain, az áramlás következtében fellépő járműsűrűségeket vizsgálja.
- A tartományba beáramló és onnan kiáramló járműfolyamatokat ismertnek tekintjük. Ezek a közlekedési folyamatok

– első ránézésre – „inputjai” és „outputjai” a közlekedési rendszernek.

- Valójában ezek (a tartományon kívüli bevezető útszakaszokon mért járműsűrűségek mint gerjesztések, a tartományon kívüli kivezető szakaszokon mért járműsűrűségek pedig mint fojtások) együtt alkotják a matematikai modell tényleges input-folyamatait.



11. ábra: Ljapunov-függvényt alkalmazó irányítási törvény a tartományon, ill. szubtartományok

- A tartomány útszakaszain fellépő $x_i(t)$ sűrűségek a rendszer állapotjellemzői.
- n belső és m külső útszakaszból álló közlekedési hálózati modellt alkalmazunk.
- Ebben a tartományban a térkép alapján beszámozunk minden figyelembe veendő útszakaszt és parkolót.
- A matematikai modell megalkotásához alapvető fontossággal bír a hálózatot definiáló kapcsolati mátrixok megadása (7. ábra). A modellünk négy kapcsolati mátrixot alkalmaz.
- Végül, nemlineáris hálózati modellt vizsgálunk. (1)

Irodalom

- [1] Péter T. – Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve 2006/1–2, 19–23. oldal
- [2] Dr. Péter T. – dr. Bokor J.: Nagy méretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa, A jövő járműve 2007/1–2
- [3] Péter T.: Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp. 2005. pp.1–465. Magyar Mérnökakadémia Symposium.
- [4] Dr. Péter T. – Stróbl A. – Fazekas S.: Hazai szoftverfejlesztés a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok folyamatanalízisére, Budapest, 2007, Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés
- [5] Drew, D. R.: Traffic Flow Theory and Control, New York, McGraw-Hill Book Company, 1968
- [6] Maklári J.: Közforgalmú csomópontok teljesítőképességének vizsgálata. Városi közlekedés 2001/4
- [7] Markos Papageorgiou: Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems. Pergamon Press, 1991.
- [8] Kachroo P. – Özbay K.: „Feedback Control Theory for Dynamic Traffic Assignment”, Springer, 1999
- [9] Kövesné dr. Gilicze Éva – dr. Debreczeni Gábor: Intelligens közúti közlekedési rendszerek és út-jármű rendszerek matematikai modellezése és analízise, (2004). /OM. Kutatási jelentés/

A kutatás támogatói: NKTH & OTKA 60767.

Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízisére és tervezésére

Dr. Péter Tamás
egyetemi docens, BME
Közlekedésautomatikai
Tanszék

Stróbl András
demonstrátor, BME Közle-
kedésautomatikai Tanszék

Fazekas Sándor
demonstrátor, BME Közle-
kedésautomatikai Tanszék

A publikáció anyaga nagyméretű közúti közlekedési rendszerek modellezésére kifejlesztett speciális szoftver, amely figyelembe veszi a hálózat hipergráf struktúráját. A működését az [1, 2, 3, 4, 5, 6] által bemutatott nemlineáris hálózati modell szabja meg. A szoftver fejlesztése közel két éve indult el a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. A szoftver három főegységből áll. (A hasonló témájú programcsoporthoz esetében az úthálózat tervezése, a szimulációt végző program, valamint az analízisre alkalmas felületek külön-külön szoftverként kerülnek kiadásra.) Mi ezt a három részt egyesítettük.

The paper introduces a special software system developed for the modeling of high scale road traffic networks, considering the hyper-matrix structure of the system. It operates using a non-linear network model described in [1,2,3,4,5,6]. The development of the software was started two years before at the Budapest University of Technology and Economics. The software holds three main modules (network design, simulation, analysis). The paper describes the integration of these subsystems.

BEVEZETÉS

Budapesten a dinamikus jövedelemnövekedés hatására az egy főre jutó gépkocsiszám 22 százalékkal nőtt az elmúlt bő tíz esztendőben. Mára a fővárosi gépkocsi-közlekedés legfontosabb költségét, a járműberuházáson túl, egyre inkább a forgalmi torlódásokhoz köthető kiadások jelentik. Az ezredforduló után a belvárosi kerületekben a gépjárművek átlagos sebessége a csúcsideőben 15 kilométer/óra alá csökkent, ami alacsonyabb, mint egy kerékpáros sebessége. A forgalom lelassulása elsősorban a munka-, illetve szabadidő kiesése miatt költséges, mivel a gépkocsikban munkavállalók ezrei várakoznak tétlenül. Emellett az alacsonyabb sebesség hatására megemelkedik az üzemanyag-fogyasztás, és a környezetszennyezés mértéke is növekszik.

A motorkerékpár egyéni közlekedésre használható az autóhoz hasonlóan, a forgalom számára azonban kisebb megterhelést jelent, és a torlódásokon is könnyebben átjut. A legtöbb kelet-európai városban a motorkerékpár egyelőre kevésbé népszerű, míg Rotterdamban és Lyonban ezer lakosra 177, illetve 97 motorkerékpár jut, addig Budapesten, illetve Varsóban mindössze 9, illetve 37.

Budapesten a bejegyzett gépkocsik száma 7 százalékkal nőtt az 1990-es évek közepe óta, és 2005-re megközelítette a 600 ezret. A gépkocsiszám annak ellenére emelkedett, hogy a lakosság 12 százalékkal csökkent, részben demográfiai okok, részben az agglomerációba történő kiköltözési hullám miatt. Ennek következtében a lakosságátlagos gépkocsialomány dinamikusan bővült a fővárosban, és a vizsgált időszak végén ezer lakosra már 357 gépkocsi jutott.

A BKV adatai szintén a forgalom lelassulását tükrözik, az autóbuszok átlagos sebessége az 1994. évi 17,2 kilométer/órától 15,2-re csökkent 2005-re. Különösen nagymértékű volt az autóbuszok sebességcsökkenése 2005-ben, egyetlen év alatt csaknem 1 kilométer/órás (5 százalékos) volt a lassulás.

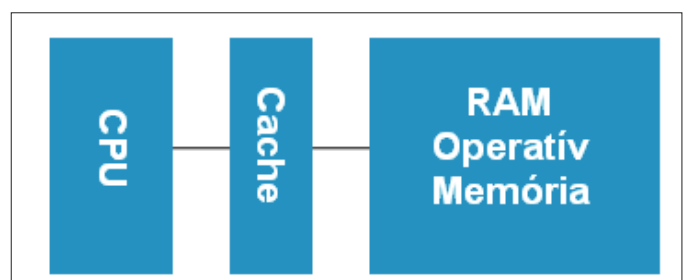
A sebességcsökkenés mértéke a belvárosi kerületekben volt igazán kiugró. A pesti Nagykörúton belüli területeken a sebesség 5 év alatt 40 százalékkal csökkent, és 2003-ban már csak 13 kilométer/órával lehetett haladni.

Összehasonlításként: Londonban és Stockholmban ennél magasabb, 14 kilométer/óra, illetve 20 kilométer/óra volt a járművek sebessége a csúcsideőben, amikor a belvárosi útdíj bevezetéséről döntés született (Transport for London [2006], Facts and Results [2006]). A belvárosi kerületekben tapasztaltnál kisebb, de szintén kiugró, 20–30 százalékos volt a külső kerületekben a forgalomlassulás.

A forgalom lassulása azonban nem csak a fővárost érinti. Valamennyi jelentős forgalommal bíró településre igaz ez, arányosan. Erre az általános problémára célravezető volna egy általános megoldást találni. Ilyen lehet egy nagyméretű közúti közlekedési hálózatok folyamatanalízisét végző szoftver tervezésben és közlekedésirányításban történő használata.

A FEJLESZTÉS

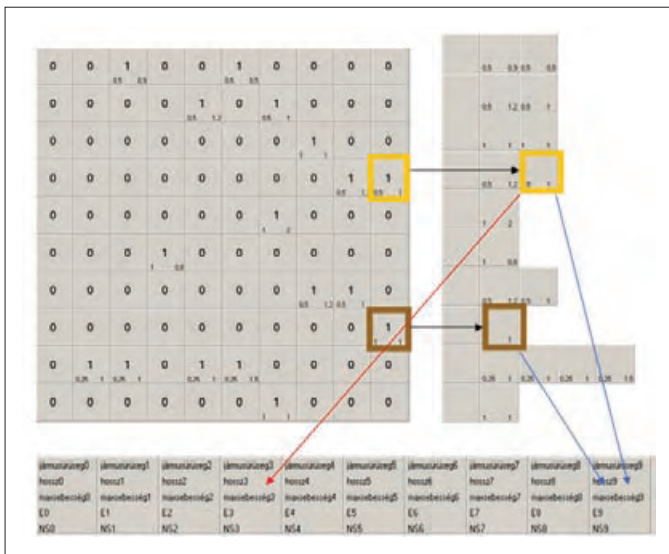
A fejlesztés során végig fontos szempont volt, hogy a számításokat végző kód minél közelebb legyen az optimális programozási megoldáshoz. Az egy évvel ezelőtt bemutatott verzióban az egyik legjelentősebb sebességjavulást a mátrixtérképeknek köszönhetjük: ezek segítségével a kisebb hálózatokon valóban sikerült az elméletileg is elvárt lineáris futásidő-növekedést elérni, azonban a futási időre vonatkozó mérési eredmények nagyobb hálózat esetén jelentős lassulást mutattak. Ennek oka a korábbi verzió pazarló memóriakezelésében keresendő:



1. ábra: a Cache elhelyezkedése – a gyorsítótár kihasználása leromlott a nagyobb hálózatokon

a mátrixok és a már említett mátrixtérképek hatalmas mérete rossz cache-kihasználást eredményezett, egyre „ritkább” volt a memóriában a valós kapcsolatot leíró adat.

Az újraírt szimulációs motor (harmadik verzió) ezt a gyengeséget orvosolja: sokkal jobban gazdálkodik a memóriával, mint a korábbiak; lineárisan nő a tárigény a hálózat méretével. Gyakorlatilag a szimuláció úgy végez számításokat – a differenciálegyenletekkel és mátrixokkal leírt modellen –, hogy a program futása során nem is jönnek létre mátrixok. Ez a megoldás szintén a korábbi verzióban megfigyelt tulajdonságra épül: közlekedési hálózataink lokálisan strukturált rendszert alkotnak, azaz egy komponens (szakasz) csak korlátozott számú más komponenssel van kapcsolatban közvetlenül, függetlenül a komponensek teljes számától. Ezekre a lokális struktúrákra általában is jellemző, hogy inkább lineáris, mint négyzetes vagy exponenciális a komplexitás növekedése.



2. ábra: a korábbi mátrixos elrendezés és az új listás adattárolás kapcsolata

Az új megvalósításhoz a 2. ábra bal oldalán látható mátrixos adattárolás helyett a jobb oldalt és lent látható listás szerkezeteket vezettük be (fent bal oldalt a nagy egyessel jelölt elemek jelölik a tényleges kapcsolatokat, a fent jobb oldalon látható listás szerkezet már csak ezeket tartalmazza). A szerkezetet mutatókkal támogattuk meg, ezeket a pointereket pedig arra használtuk, hogy a mátrixon végzett műveleteket matematikailag értelmezhezzük az új adatszerkezeten. Így minden lépést megvalósíthattunk, amit a matematikai modell megvalósított, emellett a lineáris tárigényt és a nagyságrendileg lineáris futásidő-növekedést is elértük!

A számítási teljesítményben elért javulás nem öncélú. A felszabadult számítási kapacitásoknak köszönhetően több bétával (kapcsolat akadályozást/rásegítést ír le) modellezett objektumot helyezhetünk el, ráadásul az új verzióban ezekhez már dinamikusan változó bétaértékek is rendelhetők. Ezeket megfelelő forgalmi környezetvizsgálattal beállítva lehetővé válik, hogy a valóságot még inkább megközelítő szimulációs eredményeket adhasson programunk a felhasználó számára.

FUNKCIONÁLIS BŐVÍTÉSEK

A következőkben áttekintjük, hogy funkcionálisan mivel bővült alkalmazásunk.

Közlekedési lámpa üzemmódok: immár különböző üzemmódokba állíthatjuk a közlekedési lámpákat. Normál mód alatt a „hagyományos” működést értjük. Itt a felhasználó különböző,

napszakfüggő időintervallumokat állíthat be, ezeken belül ciklikusan változik a lámpák állapota.

Egy másik lehetőséget kínál a perem üzemmódban működő közlekedési lámpa. Ez az egész hálózat sűrűsége alapján dönt állapotáról. Jelenleg egy hiszterézises megoldást alkalmazunk: globálisan megadható egy intervallum. Amennyiben a belső szakaszok összsűrűsége meghaladja az intervallum szuprémumát, akkor pirosra vált az összes peremlámpa. Amennyiben az infimum alá süllyed az összsűrűség, ismét zöldre váltanak a peremrészek elhelyezett közlekedési lámpák. Megjegyzendő azonban, hogy ezek alkalmazása gondos körültekintést igényel: valószínűleg az input szakaszok sűrűségének mérési eredményei „peremlámpamentes” esetben állnak majd a rendelkezésünkre. Amennyiben a peremlámpa piros, a szimuláció nem veszi figyelembe, hogy az input szakaszon a valóságban „beragadnak” a járművek, nem tudnak továbbhaladni. Szimulációnkban akkor is csökkenhet az input szakaszok sűrűsége, amikor az inputszakaszra helyezett peremlámpa piros jelzést mutat (egészen pontosan akkor, amikor az inputfüggvény deriváltja 0-nál kisebb).

Adaptív módban beállítható egy t mintavételezési idő, valamint az „1. csoport” és a „2. csoport” címkékkel láthatjuk el a kapcsolatokat az adott kereszteződésben. Minden t -ik másodpercben megvizsgálja a program a lámpás kereszteződés pillanatnyi járműátadásait, és az a csoport kap zöld jelzést, amelyiken a jelenlegi sűrűségviszonyok alapján nagyobb járműátadás valószínűsíthető. Azonban egymás után csak n (beállítható) esetben kaphat zöld jelzést ugyanaz a kapcsolatszó, az $n+1$ -ik mintavételezéskor mindenképpen az a csoport kap zöld jelzést, amelyik eddig n esetben nem kapott.

A járműátadás becslését illetően meg kell említeni a következőt: ennek számítása a hagyományos módon történik, azzal a megjegyzéssel, hogy a statikus és dinamikus bétákkal nem számolunk. Ennek két oka van: egyrészt programozástechnikailag a lámpák értékét reprezentáló „kk” jeleket is „dinamikus bétaként” kezeli a program, azaz a bétákkal történő beszorzás esetén az, aki az előző mintavételezéskor pirosat kapott, most is pirosat kapna, mivel a becsült járműátadása nulla a piros jelzés miatt. Másrészt a szomszédos szakaszok sűrűségein kívül az adaptív lámpa semmilyen egyéb „ismerettel sem rendelkezik” a külvilágról, balesetekről, kerékpárút terheléséről, gyalogosforgalomról stb., tehát nem is kalkulálhat a béta-értékekkel.

Változó béta-értékek a modellben: jelentős előrelépés történt a valódi elsőbbségviszonyok szimulálásában. Tekintsük az alábbi ábrát:



3. ábra: dinamikus béták nélkül valószínűleg helyeteket alakulhattak ki a szimuláció közben

A fenti 3. ábra a modell korábbi működését demonstrálja. Egy ilyen közlekedési helyzetben a teherautó a valóságban nem kanyarodhat ki, hiszen a kétsávos (minden bizonnyal fölérendelt) úton haladóknak elsőbbségük van a balra kanyarodó teherautóval szemben; ha nagy a forgalom azon a sávon, amelyről a teherautó érkezik, akkor a kétsávos úton közlekedő járművek hatására a betorkolló kis útszakasz be is dugulhat.

Az új modell ezzel szemben már lehetőséget ad a fenti, valószerűtlen helyzetek kivédésére. Az elsőbbségviszonyok szimulálása a következőképpen történik: az alárendelt utak járműátadásait egy adott kereszteződésben a béta szorzóval lefojtjuk, amennyiben a fölérendelt utak járműsűrűségei (x_i állapotjellemzőik) nagy értéket vesznek fel. Ennek a bétatényezőnek a kiszámítása a következő képlettel történik:

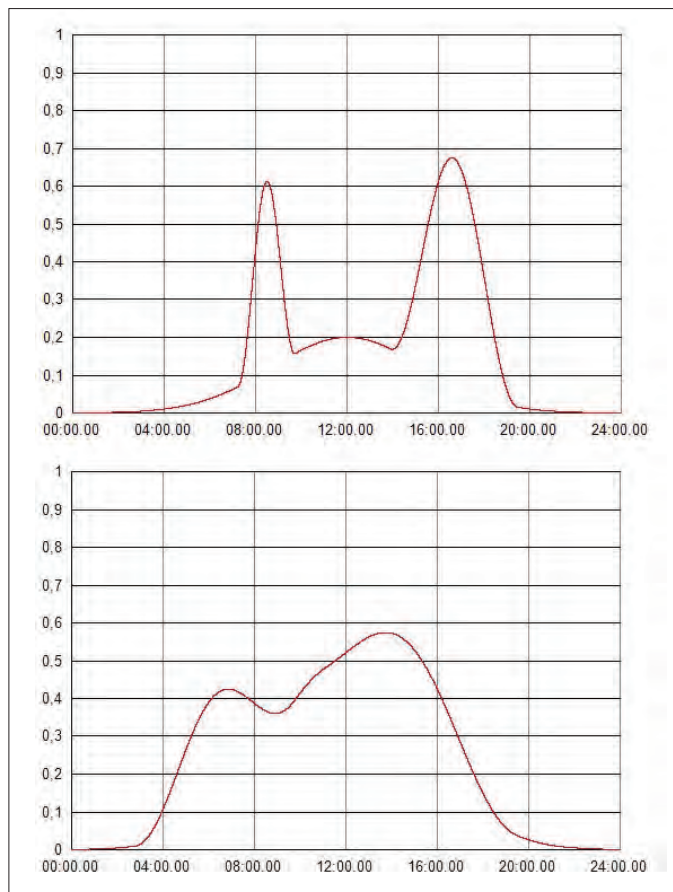
$$\beta = \prod (1 - x_i)$$

$i \in A$,

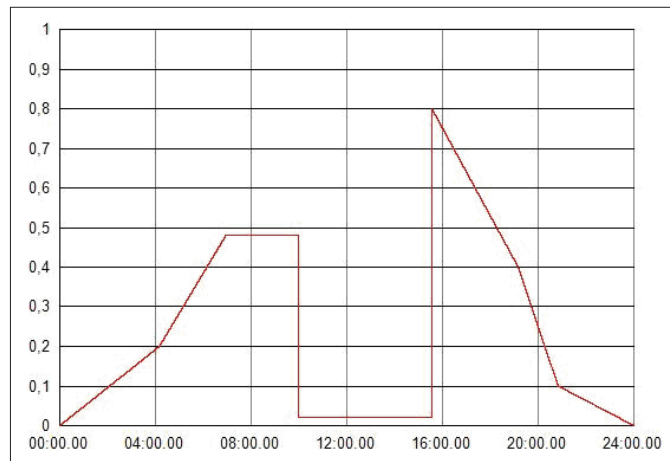
ahol „ x_i ” az adott sáv sűrűsége, „ A ” halmaz pedig azokat a sávindexeket tartalmazza, amelyek az adott kereszteződésben bármely fölérendelt szakasznak a forrassávjaihoz tartoznak.

Ez a formula persze minimális mértékben egyszerűsít, hiszen ha a fölérendelt szakasz bedugult, akkor is történik némi járműátadás, az alárendelt szakaszcsoport „befurakodnak”, a fölérendelt szakaszon pedig „beenged(het)ik” a járművek az alárendelt szakaszcsoportról érkezőket.

A dinamikus béták egy másik esetben is kiterjesztik, pontosabbá teszik a modellt: a korábbi verzió két egyirányú útként kezelt két párhuzamos szakaszt. A valóságban azonban ezek a szakaszok is kooperálhatnak (a lassabb járműveket könnyű kikerülni, nagyobb lesz az adott idő alatt tapasztalt járműátadás). Az új verzió szimulációjának elindításakor ezek a szakaszok automatikusan felderítésre kerülnek, és a két szakasz x_i , x_k állapotjellemzőitől függő bétával szorozódnak fel a járműátadások.



4. ábra: sűrűséggörbék az egyes input vagy output szakaszokhoz



5. ábra: tetszőleges számú pontban megadható sűrűséggörbék az egyes input vagy output szakaszokhoz

Paraméterezhető függvények: a modell adott városhoz történő igazításakor mindenképpen szükség lesz arra, hogy a kódban történő változtatás nélkül skálázzuk, a mérési eredményekhez közelítsük a bemenő adatokat. Ennek céljából kezdődött meg egy fejlesztés, melynek eredményeként egyedi függvényeket vehetünk fel, melyeket hozzárendelhetjük az egyes input vagy output szakaszokhoz, parkolókhöz.

A függvények tárolása külön állományokban történik, ezekre hivatkozik a hálózaton tároló állomány. Ennek előnye, hogy az egyik hálózaton felhasznált függvény könnyen átvihető a másikba. Alapvetően két különböző típusú függvény adható meg. Az egyik egy tapasztalati úton felvett karakterisztikájú grafikon, a második típus kvázi tetszőleges.

Az első típus azt veszi alapul, hogy egy átlagos úthálózaton háromszor figyelhető meg kiugró forgalomnövekedés a nap folyamán. A reggeli, ill. délutáni csúcsidőben, valamint egy kisebb az ebédidő táján. Ezt a jellegzetességet figyelembe véve létrehoztunk egy összetett, folytonos sűrűséggörbét, melyben az egyes paraméterek a felhasználó által változtathatók (időben és intenzitásban egyaránt).

A második típusban tetszőleges számú pontban megadható a függvény által felvett érték, és az, hogy a következő ilyen megadott pontig egységugrás vagy rámpa függvény jelleggel folytatódjon a grafikon.

Az elkövetkezendőkben szeretnénk egy spline-szerkesztő funkcióval kiegészíteni az alkalmazás függvényszerkesztő modulját. Elképzelésünk szerint a grafikonra kattintva lehet majd kontrollpontokat hozzáadni a függvényekhez, amelyek mentén egy valóságos sűrűségfüggvény görbéjét állítja elő.

A JÖVŐ, A PÁRHUZAMOSÍTÁS

Elmondható, a mega- vagy gigahertzekben mért processzor-sebességnövekedésben tapasztalt lendület elfogyni látszik, ehelyett a gyártók többmagos processzorokat építenek. Ezeket azonban a hagyományos módon algoritmizált szimuláció nem tudja kihasználni: jelenlegi szimulációs modellünk egy szálon fut, emellett egy másik szál felelős a felhasználói felület megjelenítéséért és figyeléséért. A jövőben a jobb számítási határfok elérése érdekében többszálúra szeretnénk módosítani a szimulációt, ehhez meg kell oldani a szálak szinkronizációját. További terveink között szerepel, hogy növeljük a számítási kapacitást a szimulálandó hálózat több számítógép közötti szétosztásával. Gondoljunk csak bele: adott egy hivatal, néhány számítógéppel, internetre kapcsolódó belső hálózattal, ezeken feltehetőleg böngésznek vagy szövegszerkesztőt használnak

az alkalmazottak. Ez alig terheli a gépüket, így ezek a gépek szabad kapacitásként is felfoghatóak. Amennyiben a hálózatot megfelelően szét tudnánk osztani a hivatal gépei között, akkor párhuzamosan haladhatna a szimuláció, csakúgy, mint a többmagos processzor esetén.

Fontos hangsúlyozni, hogy ez egy olyan elosztott közlekedési hálózatot reprezentáló gráf lenne, melynek összes, térkép szerinti éle által reprezentált szakasz sűrűségéről egyik gép sem rendelkezik információval, minden gép csak a számára kiosztott résztérkép részhálózati sűrűségét számítja. Természetesen a számításokhoz olyan adatokra is szükség van, amelyek egy másik gép számára lettek kiosztva, itt gondoljunk elsősorban a részhálózatok peremén lévő azon szakaszokra, melyeknek a szomszédja már egy másik részhálózathoz tartozik, azaz az adott kapcsolat két külön gépen „helyezkedik el”. Ezeket az információkat a hálózaton keresztül kérdeznék le a „szomszédos” gépektől.

Emiatt törekedni kell arra, hogy a részgráfok kiosztása megfelelő legyen, azaz a lehető legkevesebb hálózati kommunikációra legyen szükség. Ebből következik, hogy a béták értékének számításánál is törekedni kell a „lokális” végrehajtásra, elképzelhető tehát, hogy a perem üzemmódban működő lámpák nehézséget okoznak: az összes szakasz sűrűségét ismernie kell egy adott időpillanatban annak a gépnek, aki a lámpa értékét beállítja, sok gép esetén megnőhet a hálózati kommunikáció mennyisége.

A hálózaton keresztül történő kommunikáció működéséhez meg kell oldani, hogy a rendszer ne álljon le egy-egy gép kilépésekor sem: ha lehetséges, akkor az addigi mérési eredményeket a mérést kezdeményező gépnek kell elküldeni, aki majd ismét kiosztja ezt a részhálózatot egy másik gépnek. A legrosszabb esetre felkészülve pedig visszalépési pontokat kell beiktatni: például minden modellidő szerinti negyedórán elküldik a résztvevők az eredményeiket a mérést kezdeményező gépnek.

A fenti lehetőség pedig még mindig nem feltétlenül a végleges: akár egy GRID-rendszer is kialakítható az ismertetett modellel: a program segítségével az interneten keresztül is használhatóvá válhatnak az otthoni erőforrások. Természetesen ez nagyon sok izgalmas problémát rejt magában: ki- és belépő gépek kezelése, a részhálózatok adaptívan történő változtatása stb.

ÖSSZEFOGLALÓ

Szoftverünk nagyméretű közúti közlekedési hálózatok átfogó modellezésére és analizésére alkalmazható. Jelenlegi állapotában már közel lineáris a hálózati elemek számától függő futásidő. A szoftver által reprodukált közlekedési hálózat a valóságnak

megfelelően képes – a felmért hálózat paramétereinek ismeretében, azt – a nap 24 órájára vonatkoztatva – szimulálni, majd az eredményeket grafikus formában is rendelkezésre bocsátani. A szoftver három főegységből áll. A hasonló témájú programcsoportok esetében az úthálózat tervezése, a szimulációt végző program, valamint az analizésre alkalmas felületek külön-külön szoftverként kerülnek eladásra. Mi ezt a három részt egyesítettük. Rámutattunk arra, hogy a jövő – a jobb számítási hatások elérése érdekében – a többszálúra módosított szimuláció, ehhez azonban meg kell még oldani a szálak szinkronizációját.

Irodalom

- [1] Dr. Péter T.: Nagyméretű nemlineáris közlekedési hálózatok modellezése Közlekedéstudományi szemle, 9. 2007. szept. LVII. évf. pp. 322–331.
 - [2] Dr. Péter T. – Dr. Bokor J.: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa, A jövő járműve, 2007/1–2
 - [3] Dr. Péter T. – Dr. Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, 2006/1–2, 19–23. oldal
 - [4] Dr. Péter T. – Stróbl A. – Fazekas S.: Hazai szoftverfejlesztés a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok folyamat-analizésére, Budapest, 2007. Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés
 - [5] Drew, D. R.: Traffic Flow Theory and Control, New York, McGraw-Hill Book Company, 1968
 - [6] Maklári J.: Közforgalmú csomópontok teljesítőképességének vizsgálata. Városi közlekedés, 2001/4
 - [7] Markos Papageorgiou: Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems. Pergamon Press, 1991.
 - [8] Kachroo P. - Özbay K.: „Feedback Control Theory for Dynamic Traffic Assignment”, Springer, 1999.
 - [9] Kövesné dr. Gilicze Éva – Dr. Debreczeni Gábor: Intelligens közúti közlekedési rendszerek és út-jármű rendszerek matematikai modellezése és analizise, (2004). /OM. Kutatási jelentés/
 - [10] Dr. Péter T. – Stróbl A. – Fazekas S.: Szoftveres folyamat-analízis, nagyméretű közúti közlekedési hálózatok optimalására, A jövő járműve, 2008/1–2
 - [11] Erhart Szilárd: A budapesti közlekedési dugók okai és következményei, Közgazdasági Szemle, LIV. évf. 2007. május
 - [12] Dr. Péter T.: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analizise MMA „Innováció és fenntartható felszíni közlekedés” - Konferencia, 2007. szeptember 4–5–6. Budapest, BMF – www.kitt.bmf.hu/mmaws/index.html
- A kutatás támogatói: NKTH & OTKA 60767.

Városi közúthálózat objektumainak video- és GPS-alapú felmérése

dr. Péter Tamás
egyetemi docens,
BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

dr. Bécsi Tamás
egyetemi tanársegéd,
BME Közlekedésautomatikai
Tanszék

Aradi Szilárd
PhD-hallgató, BME Közle-
edésautomatikai Tanszék

A cikk egy olyan mérő-kiértékelő rendszert mutat be, amely alkalmas az út menti objektumok felmérésére. A mérés során videofelvétel készül a mérendő útszakaszokról, és ezzel szinkronban GPS-koordináták is rögzítésre kerülnek. A kiértékelés során a felméréndő objektumok adatai (földrajzi pozíció, speciális tulajdonságok stb.) egy adatbázisban kerülnek tárolásra. A cikkben tárgyalásra kerülnek az elvárások egy ilyen mérő-kiértékelő rendszerrel kapcsolatban. Végül ismertetésre kerül egy – az elvárásoknak megfelelően – kifejlesztett szoftverrendszer.

The paper describes a measuring-analyzing system capable of the survey of roadside objects. During the survey video file and GPS data are recorded synchronously. The data (geographical position, special properties etc.) are stored in a database after the evaluation process. The paper outlines the requirements of such a system. Finally a software system is described according to the requirements.

BEVEZETÉS

Mind az országos, mind az önkormányzati kezelésben lévő utak fenntartóinak szüksége van egy olyan összetett adatbázisra, amely tartalmazza azok legfontosabb tulajdonságait, továbbá az út menti objektumok (jelzőlámpa, tábla stb.) listáját, földrajzi pozíciójukkal és főbb tulajdonságaikkal együtt. A közúti közlekedésről szóló törvény szerint a közutak, annak műszaki, minőségi, forgalmi adatait és forgalmi rendjét a kezelőnek nyilvántartásba kell venni és a nyilvántartást folyamatosan vezetni kell, ugyanakkor az önkormányzati törvény szerint a nyilvántartási kötelezettség kiterjed a közúton lévő jelzésekre, kijelölt gyalogosátkelő helyekre, vasúti átjárókra, tömegközlekedési járatok útvonalára és megállóhelyeire, a lakó-pihenő övezetekre, továbbá az utakon történt személyi sérüléssel járó balesetekre.

A cikkben bemutatásra kerül egy olyan mérő-kiértékelő rendszer, amelynek segítségével a pontszerű út menti objektumok felmérése részben automatizálható, felgyorsítható és hatékonyan dokumentálható, de kiterjeszthető a közutakkal kapcsolatos további felmérési feladatokra is. A rendszer elsősorban az önkormányzati kezelésben lévő utak nyilvántartását képes hatékonyan támogatni.

RENDSZER

A teljes felmérő rendszer két részre bontható:

- mérőrendszer
- kiértékelő rendszer.

A mérőrendszer (1. ábra) központi eleme a mérő jármű, amely tartalmaz egy vagy több digitális videokamerát, egy GPS-vevőt és egy adatrögzítő számítógépet. A jármű végighalad az előre megtervezett útvonalon, és videofelvételt készít az útról és a mellette található objektumokról. A mérés során folyamatosan rögzíti a GPS koordinátáit, amelyet szinkronizál a videofelvétellel. A mérési folyamatot egy számítógép koordinálja, mind a kamera, mind pedig a GPS-vevő adatai ide érkeznek be.

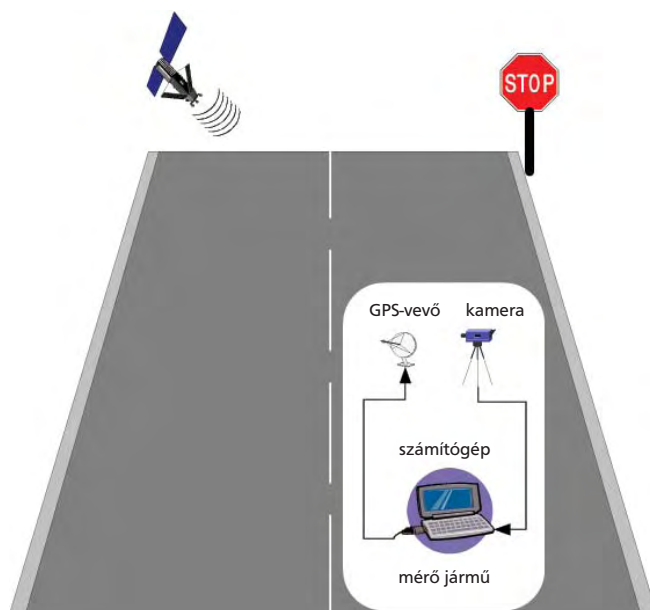
A kiértékelő rendszer egy saját fejlesztésű célszoftverből és egy relációs adatbázisból áll. A szoftver feladata, hogy a feldolgozás során a felvételen szereplő objektumokat és a hozzájuk tartozó GPS-koordinátákat az adatbázisban tárolja.

MÉRŐRENDSZER

A mérés során rögzíteni kell a videofelvételt és a GPS-koordinátákat. Ezt egy speciális szoftver végzi, melynek a fő feladatai a következők:

- videó rögzítése digitális kamerával,
- videó azonnali tömörítése,
- videó tárolása,
- GPS-vevő adatainak fogadása,
- koordináták feldolgozása,
- a videó és a koordináták szinkronizálása.

Az utólagos kiértékeléshez feltétlenül szükséges a mérés során a videó és a GPS-koordináták összerendelése. A GPS-vevők legfeljebb 1 Hz mintavételezéssel képesek a koordinátákat meghatározni. Használható videofelvételhez legalább 15 képkockát szükséges rögzíteni másodpercenként. Ebből következően a mérőszoftvert



1. ábra: a mérőrendszer felépítése

úgy kell kialakítani, hogy minden egyes GPS-koordináta-hoz zárendelje az aktuális képkocka sorszámát, vagy a felvételtől eltelt időt milliszekundumos pontossággal. Ezzel egy egyértelmű összerendelést lehet készíteni a felvétel és az aktuális koordináták között. A szoftver másik fontos feladata a videó valós idejű rögzítése és tömörítése.

KIÉRTÉKELŐ RENDSZER

A kiértékelő rendszer feladatai a következők:

- videó lejátszása,
- GPS-adatok felolvasása,
- GPS-adatok szinkronizálása a videóhoz,
- út menti objektumok adatainak tárolása,
- térképes megjelenítés,
- manuális feldolgozás támogatása,
- automatikus feldolgozás támogatása.

A feladatokat egy célszoftver valósítja meg, amely az adatok tárolására egy relációs adatbázist használ.

Videó lejátszása és a GPS-adatok felolvasása

A videó lejátszása esetén a követelmények megfelelnek egy átlagos lejátszó szoftverrel szemben támasztott elvárásoknak:

- lejátszás előre/hátra
- sebességállítási lehetőség
- szünet/folytatás
- videó elejére/végére ugrás
- lejátszási idő kijelzése.

További funkciója a lejátszó résznek a mért GPS-adatok felolvasása, videóhoz szinkronizálása és kijelzése.

Adatbázis felépítése

Az adatok tárolásánál két fő szempontot kell figyelembe venni. Az első, hogy a mért adatok és az Országos Közúti Adatbank (OKA) között meg legyen a csatlakozási és átjárhatósági lehetőség. A második, hogy a kiértékelés során keletkező GPS-koordinátaadatok is, megfelelően strukturálva, minden objektumhoz, legyenek eltárolva. Az adatbázis kialakításához és feltöltéséhez először meg kell vizsgálni a helyazonosítás elveit. A mérés során GPS-koordinátákat tárolunk, amelyek WGS 84 vetületi rendszerben adják meg a pontok abszolút helyzetét. A közutak nyilvántartásában azonban jelenleg egy teljesen más elvet használnak.

A helyazonosítás alapelve:

- adott fix pont
- irány
- távolság.

Az önkormányzati utaknál a csomópont-orientált módszert alkalmazzák. Azonosítási pontnak tekintendők az utak elágazásai, keresztezései, az utak végpontjai, valamint az utak és valamilyen közigazgatási határok (település, megye stb.) metszéspontjai. Az ismert pontnak mindig az így meghatározott, azonosítóval ellátott csomópontokat kell tekinteni, a mérés ezektől történik, és a mérési irányt az ismert csomópontot követő legközelebbi csomópont határozza meg.

Az azonosító pontok az alábbi típusokba oszthatók:

- alappontok
- közigazgatási pontok
- részletpontok.

Az azonosító pontok az adott településen belül négyjegyű sorszámmal kerülnek ellátásra. Az azonosító pontok címzése tehát típus- és számaazonosítással történik, és következő adatokat tartalmazza:

- azonosító pont típusa (1 betű)
- megyekód (2 számjegy)
- településkód (5 számjegy)
- azonosító pont sorszáma (4 számjegy)

- részletpont betűjele (1 betű)
- csomópont X koordinátája (6 számjegy)
- csomópont Y koordinátája (6 számjegy).

A koordináták jelenleg relatív koordináták, azonban a fejlesztések során a cél az EOVR-rendszerű ábrázolás. A kiértékelő rendszerben ehhez hozzá kell tenni a GPS-koordinátákat:

- GPS-szélesség (8 számjegy)
- GPS-hosszúság (8 számjegy).

A pontszerű objektumok esetén – a kiértékelés során – szintén megkapjuk a GPS-koordinátákat, azonban a pozíciót csomópont-orientált módszerrel is meg kell adni. A tetszőleges pontszerű létesítményt a szomszédos azonosító pontok irányorientált felsorolásával, és a kezdő azonosító ponttól mért távolsággal határozzuk meg. A 2. ábrán látható objektumra a C123-C333/1234 m kifejezéssel lehet hivatkozni. Ezt az adatbázisban három mezővel célszerű jelölni:

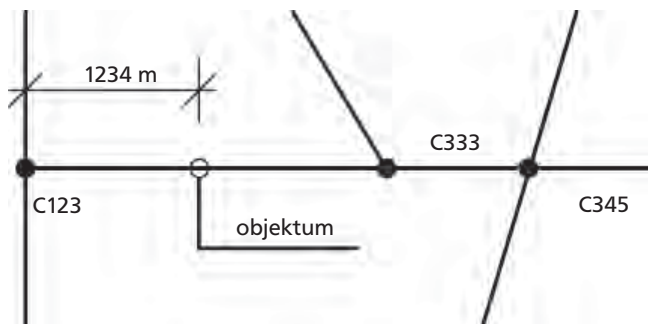
- kezdőpont-azonosító,
- végpont-azonosító,
- távolság.

A rendszerben használt adatbázist a fentiek figyelembevételével kell kialakítani. Továbbá alkalmassá kell tenni az adatbázist a különböző objektumtípusok speciális tulajdonságainak tárolására. A keresések támogatásához szükséges még az adott objektumhoz eltárolni a videófájl nevét és a képkocka sorszámát. Így utólag az adott objektum a felvételen is megtekinthető. További lehetőségként megoldható, hogy egy adott útszakasz (két csomópont között) egyszerűen kereshető és lejátszható legyen.

Térképes megjelenítés

A megjelenítés a tárolt GPS-koordináták alapján egy digitális térkép segítségével egyszerűen megvalósítható. Egyedüli nehézséget a vetületi rendszerek eltérése okozhat.

A Föld alakjának leírása matematikai módszerekkel a végtelenségig bonyolult, majdhogynem lehetetlen lenne. A modellezésre többféle módszer is használatos. A gömbközelítés mindezen



2. ábra: tetszőleges pontra való hivatkozás

leírások közül a legegyszerűbb, a földi fókuszot alapjait képező modell, de egyben az egyik legpontatlanabb is. A Föld körüli mesterséges égitestek pozíciójának leírásához a gravitációs viszonyokat jobban tükröző forgási ellipszoid modellt alkalmazzák, az ellipszoid rövidebb (sarkok közötti) tengelyét 6356,7 km, a hosszabb tengelyt 6378,1 km hosszúságúnak feltételezve. Ez az úgynevezett GRS 80 (Geodetic Reference System) ellipszoid. Matematikailag lényegesen bonyolultabb leírást igényel a geoid modell használata. A geoid (Föld test) egy olyan ellipszoid-felületelemekből előállítható alakzat, amelyek a Föld egyes pontjaiban tengerszinten mérhető gravitációból származtatott tengelyhosszal rendelkeznek. GPS-rendszerek által használt rendszer az 1984-es adatrendszer és a fentiekben említett GRS 80 ellipszoid kombinációjából előállt WGS 84 (World Geodetic

System 1984) koordinátarendszer. A WGS 84 ellipszoid a geoid alakját viszonylag pontosan közelíti, a Föld egyetlenegy pontjában sem nagyobb az eltérés 100 méternél. Ugyanakkor a geoid és a valós földi pontok közötti eltérés hegységekben már ezerméteres nagyságrendű is lehet.

Az egyes földterületek pontos feltérképezésekor gyakran használják a geoid adott területét megadó forgási ellipszoid vagy ellipszoidok adatrendszerét. Ez igen pontos és kényelmes numerikus ábrázolást tesz lehetővé, ám a különböző területek összekapcsolását jelentősen megnehezíti. A térképek ugyanakkor a földmérés és a feltérképezések során használt térbeli modell pontjait síkban ábrázolják. Egy térben görbült felülettorzulások nélkül nem fejthető síkba. Amikor a földfelszín pontjait egy képfelületen ábrázoljuk (leképezzük), a leképezés törvényeit a vetületi egyenletekkel lehet leírni. Az ilyen leképezések eredményei a vetületek. A megfelelő vetületek kiválasztása során az elsődleges cél az olyan vetítési módok megválasztása, amelyek során a torzulások alacsony, illetve célnak megfelelő szinten tarthatók. A térképi hibák megértése céljából érdemes megemlíteni, hogy a kis méretarányú térképek készítése során a térképek alapfelületeként a földgömböt használják, és a szerkesztés során a fókuszálózat képét vetítik egy sík felületre. Ezután a többi térképi elemet interpolációval határozzák meg. A nagyobb térképek (akár már Budapest szintű) alapfelülete valamilyen ellipszoid, amelyet első lépésben egy olyan gömbre vetítenek, amelyik a lehető legjobban simul a feltérképezendő területhez (Gauss Gömb, ez okozza a különféle országok és területek térképe közötti átjárhatatlanságot), majd e gömb pontjait vetítik sík vagy síkba fejthető felületre.

A Magyarországon használt vetületi rendszerek közül megemlíthető az EOVS (Egységes Országos Vetületi Rendszer), a BES (magyarországi Besseli Ellipszoidi) és az SZT (budapesti Sztereografikus Vetületi Rendszer) mint használatos rendszer, de ezeken felül több helyi és katonai vetületi mód is használatos. A legelterjedtebb ezek közül az EOVS, ezért fontos foglalkozni koordinátatranszformációkkal. A WGS 84-ből az átszámítás többféle módszerrel is lehetséges, de minden esetben csak korlátozott pontossággal végezhető. Az átszámítás során a WGS-adatokat először új Gauss Gömbi koordinátákká számítjuk át. Ezekből a gömbi koordinátákból már segédvetületi sík koordináták képezhetők, amelyekből hatványpolinomokkal már az EOVS-koordináták meghatározhatók. Az így elérhető pontosság 20 centiméter körüli, ami a GPS-vevőkkel elérhetőnél egy nagyságrenddel jobb.

MEGVALÓSÍTÁS

A mérőrendszer megvalósítása

A megvalósított mérőrendszer egy nagy teljesítményű hordozható számítógépből, egy GPS-vevőből és egy vagy több nagy felbontású webkamerából áll.

GPS-vevőnek egy SiRFstar III chippel rendelkező, Bluetooth alapú, vezeték nélküli kapcsolattal ellátott készüléket használtunk. A SiRFstar III chip a napjainkban kapható legnagyobb teljesítményű GPS-eszköz. Főbb tulajdonságai a következők:

- pozíció pontossága < 10 m (95%-os valószínűséggel)
- -159 dBm követési érzékenység
- rövid átlagos TTFF (Time-To-First-Fix): „hot start” < 1 mp, „warm start” < 38 mp, „cold start” < 42 mp,
- teljesítményfelvétel: 62 mW.

A GPS-vevő 1 Hz frekvenciával küldi az adatot Bluetooth-kapcsolaton keresztül SPP- (Serial Port Profile) protokoll segítségével, az NMEA (National Marine Electronics Association) 0183-as

szabványának megfelelően.

A videofelvételt egy autofókuszos objektívvel ellátott 2 MP-es felbontású webkamerával végeztük.

A fejlesztés során a mérőrendszerhez Borland Developer Studio segítségével készült egy Win32 alkalmazás. A szoftver a kamerát a gyári USB-meghajtóján keresztül éri el. A GPS-vevő által küldött adatokat Bluetooth-kapcsolaton keresztül, SPP (Serial Port Profile) segítségével fogadja. Ez az interfész emulálja az RS-232 alapú vezetékes kapcsolatot, így az erre kifejlesztett szoftver vezetékes GPS-vevőkkel is képes módosítás nélkül működni.

A szoftver (3. ábra) indulása után megpróbál kapcsolódni a GPS-vevőhöz. Sikeres kapcsolat esetén elkezd fogadni a koordinátákat, és folyamatosan vizsgálja azok érvényességét. A mérés



3. ábra: a mérőszoftver képernyőképe

csak abban az esetben lehet elkezdni, amennyiben a GPS-vevő sikeresen inicializálta magát és meghatározta az első érvényes koordinátákat. A mérés során a szoftver az érkező GPS-adatok közül kiszűri az RMC (Recommended Minimum) táviratokat, mely a következő adatokat tartalmazza:

- dátum,
- UTC-idő,
- státusz,
- hosszúság,
- szélesség,
- sebesség,
- irány,
- mágneses elhajlás.

A GPS-vevő egy másodperces gyakorisággal küld új adatokat. A szoftver minden új adathoz hozzárendeli a videofelvétel időbélyegét milliszekundumos pontossággal. Az adatokból egy rekordtömböt készít, és folyamatosan fájlba mentést végez. A mérés eredménye két fájl, a videofelvétel és a hozzá tartozó GPS adat-időbélyeg párosok (4. ábra).

A programban több beállítást is elvégezhetünk a mérés megkezdése előtt:

- tömörítés típusa,
- tömörítés minősége,
- rögzítendő képkockák másodpercenként,
- videó felbontása,
- hangfelvétel.

A mérés során a mérő jármű alacsony sebességgel (max. 30 km/h) végighalad az előre megtervezett úton. Mivel a mérés ez esetben egy kamerával történik, ezért a kamera enyhén az útpadka felé

GPS and Video Viewer v1.0

Load BtStep Play

Video Data

Time	valid	lat	lon	speed	course	timestamp
14876	-1	47,48311234	19,05390739	0,00	354,67	2008.04.14. 10:38:20
15710	-1	47,48313522	19,05401230	5,52	3,52	2008.04.14. 10:38:21
16716	-1	47,48315430	19,05401039	9,09	358,09	2008.04.14. 10:38:22
17656	-1	47,48318481	19,05399895	10,28	1,78	2008.04.14. 10:38:23
18713	-1	47,48321533	19,05398560	11,45	12,95	2008.04.14. 10:38:24
19714	-1	47,48325348	19,05398750	13,17	30,91	2008.04.14. 10:38:25
20668	-1	47,48328018	19,05401802	14,82	51,48	2008.04.14. 10:38:26
21756	-1	47,48330307	19,05406761	16,69	66,24	2008.04.14. 10:38:27
22731	-1	47,48331833	19,05412865	17,52	69,66	2008.04.14. 10:38:28
23713	-1	47,48333359	19,05418587	15,95	72,26	2008.04.14. 10:38:29
24794	-1	47,48334503	19,05423737	12,76	74,32	2008.04.14. 10:38:30
25748	-1	47,48335266	19,05427170	8,41	77,13	2008.04.14. 10:38:31
26755	-1	47,48335648	19,05429649	6,78	84,87	2008.04.14. 10:38:32
27713	-1	47,48335266	19,05432129	7,28	105,82	2008.04.14. 10:38:33
28737	-1	47,48334122	19,05434990	10,22	128,00	2008.04.14. 10:38:34
29713	-1	47,48331833	19,05438042	14,98	144,29	2008.04.14. 10:38:35
30731	-1	47,48328018	19,05441284	19,04	147,94	2008.04.14. 10:38:36
31755	-1	47,48323441	19,05446053	24,46	145,13	2008.04.14. 10:38:37

4. ábra: példa a mért adatokra

van elfordítva. Így az út közepét és menetirány szerinti jobb szélét lehet tökéletesen megfigyelni. Emiatt az útvonaltervet úgy kell meghatározni, hogy egy adott útszakasz mindkét irányból rögzítésre kerüljön.

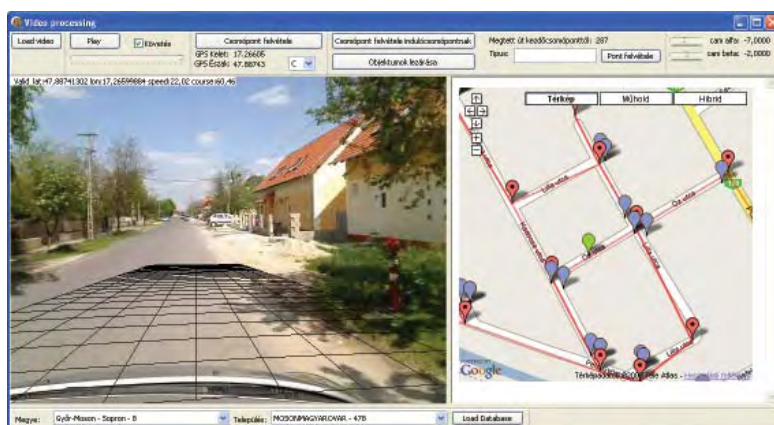
A kiértékelő rendszer megvalósítása

A kiértékelő rendszer egy Win32 alkalmazásból és egy adatbázisszerverből áll. A szoftver szintén Borland Developer Stúdióban került kifejlesztésre. Adatbázisnak az Oracle Database 10g Express Edition adatbázisszervert választottuk.

A szoftver kezelőfelülete (5. ábra) két fő részből áll:

- videolejátszó
- térképes megjelenítés.

A szoftver indulásakor megadhatjuk az aktuális megyét és várost, valamint betölthetjük a feldolgozni



5. ábra: a feldolgozó szoftver képernyőképe

kívánt videót.

A betöltött videót előre és hátra változtatható sebességgel lehet lejátszani. A videoképre egy segédvonal rajzolódik ki, amely egyméteres beosztással segíti az objektumok pozicionálását. Az objektumok rögzítését a segédvonalra kattintva lehet elvégezni. Ehhez ki kell választani az objektum típusát (csomópont, pontszerű objektum), valamint altípusát. A rögzített objektum adatai az adatbázisban tárolódnak, amely a 4.2 fejezetben tárgyalt kritériumok alapján került kialakításra. Az objektumok pontos koordinátáját a szomszédos mért pontok közötti interpolációval határozzuk meg. A csomópontokhoz és az objektumokhoz tárolásra kerül a videófájl neve és a képkocka sorszáma is. A program az objektumok esetén automatikusan kiszámolja és adatbázisba illeszti az előre megadott kezdő csomóponttól mért távolságot, valamint a kezdő és záró csomópontok azonosítóját. A csomópontok és az objektumok adatait külön táblákban (6. ábra) tároljuk.

Ebben a munkafázisban a térképes megjelenítéshez a szabad hozzáférést Google térképet használtuk. Az alkalmazásban elhelyezésre került egy beágyazott webböngésző. Ennek segítségével egy HTML oldalon megjelenítjük a Google térképet. A térkép kezelését a Google Maps API (Application Programming Interface) teszi lehetővé. Ennek segítségével Javascript programnyelven lehet a

ID	MEGYEKOD	TELEPULESKOD	TIPUS	GPSSEZAK	GPSKELET	EGYER	VIDEOLEV	VIDEOPOS
84	8	478	C	47,88608375	17,26675898	(null)	20080424_142754.avi	2134
85	8	478	S	47,8865168	17,26799006	(null)	20080424_142754.avi	2428
86	8	478	C	47,88769151	17,26670548	(null)	20080424_142754.avi	2869
87	8	478	C	47,88827621	17,26814465	(null)	20080424_142754.avi	3298
88	8	478	C	47,88665999	17,2696816	(null)	20080424_142754.avi	3782
89	8	478	C	47,88619291	17,2661437	(null)	20080424_142754.avi	4987
90	8	478	C	47,8871626	17,26538476	(null)	20080424_142754.avi	5365
91	8	478	C	47,88837063	17,26612839	(null)	20080424_142754.avi	6220
92	8	478	V	47,88887989	17,2657392	(null)	20080424_142754.avi	6494
93	8	478	C	47,88669679	17,26401394	(null)	20080424_142754.avi	8642
94	8	478	C	47,88865399	17,26255867	(null)	20080424_142754.avi	9230
95	8	478	C	47,88953164	17,26186078	(null)	20080424_142754.avi	9635
96	8	478	C	47,88722827	17,26211387	(null)	20080424_142754.avi	11365
97	8	478	C	47,88826662	17,26130886	(null)	20080424_142754.avi	11901
98	8	478	C	47,88908553	17,26060917	(null)	20080424_142754.avi	12342
99	8	478	C	47,88772836	17,26012386	(null)	20080424_142754.avi	14266
100	8	478	C	47,88913655	17,26371834	(null)	20080424_142754.avi	15647
101	8	478	C	47,88917575	17,26647343	(null)	20080424_142754.avi	16199

6. ábra: a csomópontok adatait tartalmazó adatbázistábla

térképkezelő függvényeket meghívni és futtatni a weboldalon. A beágyazott böngésző lehetővé teszi a HTML-en belüli Javascript kódok futtatását, így a szoftver alkalmazással tehető a térképi megjelenítésre. A működéshez azonban internetkapcsolat szükséges, mivel az aktuális térképrészletek mindig a Google szerveréről töltődnek le. A szoftver kirajzolja a mérés során bejárt útvonalat, és a lejátszás során automatikusan képes követni a jármű aktuális helyzetét. A különböző típusú objektumokat eltérő ikonokkal mutatja a térképen. Ennek a térképnek csak a feldolgozás támogatásában van szerepe, hiszen egy ilyen rendszer adatait alapvetően a közút kezelőjének digitális térképén kell megjeleníteni. Erre a feldolgozás során létrejött adatbázis és a digitális térkép közé kifejlesztett interfész segítségével nyílik lehetőség.

ÖSSZEGZÉS

A mérések tapasztalatai azt mutatják, hogy sikerült egy jól használható, további fejlesztési lehetőségeket tartalmazó rendszert kifejleszteni az út menti objektumok felmérésére.

A kiértékelés során kiderült, hogy az automatikus feldolgozáshoz nagyon fontos a jó minőségű videofelvétel, ezért a tömörítés fajtáját és paramétereit nagyon körültekintően kell megválasztani. A manuális kiértékelés során nagyon fontos egy jól kidolgozott szisztéma szerint végezni a munkát, mivel az elég időigényes lehet. A tapasztalatok azt mutatták, hogy a megfelelő pontosság eléréséhez szükséges lehet a DGPS (Differenciális GPS) használata, ami szubméteres pontosságú pozíciómeghatározást tesz lehetővé. A rendszer további fejlesztésekkel alkalmassá tehető a DGPS használatára, valamint a közút kezelésével foglalkozó szervezetek számára fontos egyéb adatok (útszélesség, sávok száma stb., illetve kerékpárutakkal kapcsolatos adatok) rögzítésére is.

Irodalom

- [1] Bódis Katalin: Geometriai transzformációk, transzformációs egyenletek és alkalmazásuk a geoinformatikában. Budapest, 2001. www.hte.hu
- [2] NMEA 0183: NMEA adatok felépítése - www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm
- [3] SiRF Technology, Inc.: SiRFstarIII chip Specification - www.sirf.com/products/gps_chip.html
- [4] Microsoft Developer Network: Video for Windows - [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms713492\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms713492(VS.85).aspx)
- [5] Bluetooth Sig: Bluetooth SPP Specification - www.bluetooth.com
- [6] Raphael Gonzalez, Richard E. Woods: Digital Image Processing. 2nd ed. Prentice Hall Press, ISBN 0-201-18075-8, pp. 295.
- [7] Google inc.: Google Maps API Reference - <http://code.google.com/apis/maps/documentation/reference.html>
A kutatás támogatói: NKTH & OTKA 60767.

Flottamenedzsment-rendszerek adatátviteli módszerei

Aradi Szilárd

PhD-hallgató, BME Közlekedésautomatikai Tanszék

Dr. Bécsi Tamás

egyetemi tanársegéd, BME Közlekedésautomatikai Tanszék

A GPS- és GSM-technológiák fejlődésének, valamint a beruházási és kommunikációs költségek csökkenésének köszönhetően egyre elterjedtebbek az on-line járműkövető rendszerek. Az ilyen jellegű megoldások mind funkcionalitásukban, mind az átvitt adatok mennyiségében folyamatosan bővülnek, ami a rendszerelemek komplexitását nagyban növeli. Jelen cikkünkben a járműkövető rendszereket az adatátvitel megbízhatósága szempontjából vizsgáljuk, ami általános célú rendszereknél a használhatóságot és a szolgáltatás minőségi szintjét növeli, míg biztonsági igényű rendszereknél (pl. vasúti területen) az alapvető tulajdonságok közé tartozik.

The spread of the on-line fleet management systems was greatly accelerated by the constant decrease of the communication and investment costs of GPS/GSM technologies. The functionality and the amount of transmitted data are constantly improving among these systems, increasing their complexity. In this paper the reliability of the data transfer is examined, which enhances the applicability and quality of service in general purpose fleet management systems. While in safety-critical environment (e.g. in railway applications) it is an essential property.

BEVEZETÉS

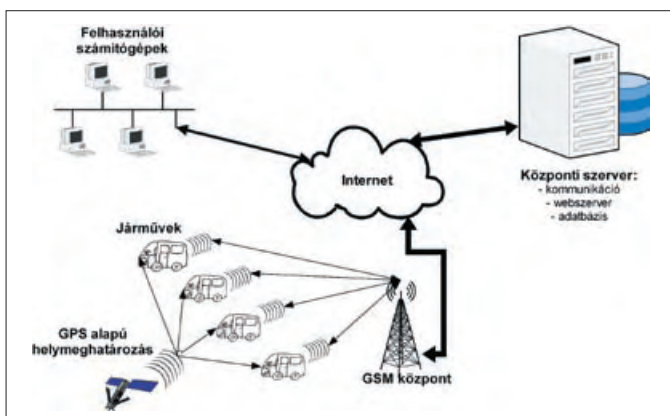
A gazdasági igény a járműkövető rendszerekre a személy- és áruszállításban jelentkező növekvő versenyhelyzet hatására erősödött meg, elsősorban a közúti közlekedés területén, azonban az elmúlt években vasúti területen is igény mutatkozott a komplex flottamenedzsment-rendszerek iránt.

Az on-line járműkövető rendszerek terjedését nagyban segítette a kommunikációs költségek folyamatos csökkenése, valamint az adatátviteli sebesség növekedése. Ezeknek a rendszereknek az alkalmazása nagyon sok olyan előnnyel jár, amelyek megteremtik a létjogosultságát mind a közúti, mind pedig a vasúti közlekedésben.

A megbízhatósági és rendelkezésre állási igények, a járműkövető rendszerekkel szemben, egyre nagyobbak. Ez a cikk egy általános on-line járműkövető rendszer lehetséges felépítését mutatja be, külön hangsúlyt fektetve az adatátvitel megbízhatóságára és az on-line rendelkezésre állásra.

RENDSZER

Az on-line flottamenedzsment-rendszerek általános felépítését az 1. ábra szemlélteti. A rendszer három fő eleme:



1. ábra: az on-line járműkövető rendszerek általános felépítése

- a fedélzeti egység,
- a központi szerver,
- a felhasználói számítógépek.

A rendszer működése a következő. A járművön lévő fedélzeti egységek mérik a jármű működési paramétereit (kapcsolók, relék állapota, energiafelhasználás, motorparaméterek stb.), és pozícióját (GPS alapú helymeghatározás segítségével), valamint tárolják a járművezető által megadott adatokat (a szállított áru adatai, az aktuálisan végzett tevékenység megnevezése stb.). Ezeket az értékeket előre definiált események bekövetkeztekor (vészjelzés, hirtelen gázolajszint-csökkenés stb.), illetve előre definiált időközönként elküldik egy központi szervernek.

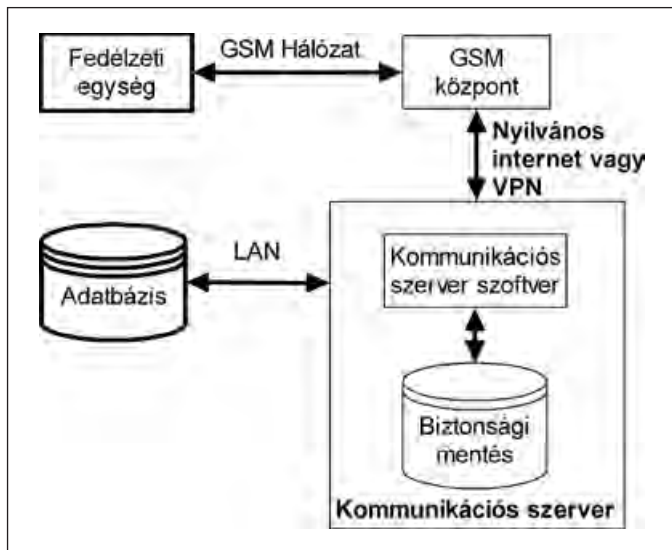
A fedélzeti egységek mobilhálózaton keresztül kommunikálnak a központi szerverrel. A beérkezett adatok ellenőrzésre kerülnek, és egy adatbázisban tárolódnak. Amennyiben szükséges, a központi szerver riasztást küldhet egy adott e-mail címre vagy akár mobiltelefonra is. Ebben a struktúrában megoldható a szerverről a jármű felé történő kommunikáció is. Ennek segítségével a beérkezett adatcsomagokat vissza lehet igazolni, szöveges üzenet küldhető a vezető számára, illetve beállíthatók a fedélzeti egység működési paramétereit.

Folyamatosan (on-line) követhetőek és figyelhetőek a mozgások, valamint a központban tárolt adatok utólagos (off-line) kiértékelésével az üzemeltetés paramétereit (szállítási teljesítmények, energiafelhasználási adatok, járművezetők tevékenységei, munkaideje stb.) követhetjük nyomon.

ADATÁTVITELI ÚT

Az on-line járműkövető rendszereknél az adatokat nagy megbízhatósággal és integritással kell eljuttatni a járműről egy központi adatbázisba.

Az adatátvitel kiinduló pontja (2. ábra) a járműfedélzeti egység, amely egy modem segítségével GSM- (Global System for Mobile communications) hálózaton keresztül kapcsolódik a kommunikációs szerverhez. A szerver fogadja az adatokat, majd a megfelelő ellenőrzések és konverziók után, egy adatbázisba írja az információkat.



2. ábra: az adatátviteli út felépítése

Fedélzeti berendezés

A fedélzeti berendezés egy mikroszámítógépre épülő adatgyűjtő, tároló- és továbbító eszköz. A fedélzeti egység felépítésénél fontos szempont a robusztusság (EMC-védelem, rázkódásvédelem stb.) és a modularitás. A kommunikációt egy GSM-modem valósítja meg, amely szintén rendelkezhet saját mikroszámítógépes erőforrásokkal (CPU, RAM, flash memória), így képes lehet a teljes kommunikációs protokollt kezelni.

GSM-hálózat

A járműkövető rendszerek jelenleg a nyilvános GSM-hálózatot használják adatátviteli célokra. Erre három lehetőség használható járműkövető rendszerek esetén:

- SMS alapú,
- adatkapcsolt és
- csomagkapcsolt adatátviteli technológia.

Napjainkban a csomagkapcsolt adatátvitel az egyeduralgó. Ezek közül a legelterjedtebb a GPRS-(General Packet Radio Service), illetve a nagyobb adatátviteli sebességet biztosító EGPRS (Enhanced GPRS). A 3G hálózatokban lehetőség van még az UMTS és a HSDPA használatára, azonban az alacsony lefedettség és az eszközök magas ára miatt a technológia még nem terjedt el a járműkövető rendszerekben.

A csomagkapcsolt technológia előnyei a következők:

- állandó kapcsolat,
- nagyobb adatátviteli sebesség,
- adatmennyiség alapú számlázás,
- alacsony költségek.

Az SMS alapú adatküldés használata megfelelő lehet biztonsági tartaléknak a GPRS-szolgáltatás hiánya esetén, valamint speciális adatok (pl. riasztás) közvetlenül, mobiltelefonra történő küldésére.

Azonban a fent felsorolt indokok miatt a GPRS a legmegfelelőbb technológia, mely a vonalkapcsolt GSM-szabványon alapuló csomagkapcsolt hordozószolgálat. A GPRS-rádió interfésze a GSM-szabványra épül úgy, hogy bevezetésével a GSM vonalkapcsolt technológia változatlan marad. Éppen ezért a GPRS a GSM rádiós interfészen is használta GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulációs eljárást alkalmazza. A GPRS rádiós interfészen az adatsomagokat rádiós blokkokként továbbítják, minden blokk 456 bitet tartalmaz. A rádiós erőforrások a blokkokhoz kerülnek kijelölésre, nem pedig a forgalmi csatornához, mint a GSM-ben. Ez sokkal hatékonyabb kihasználást tesz lehetővé, a GPRS ugyanis dinamikusan csak

akkor jelöl ki rádiós erőforrást, ha valóban van adatforgalom. Ezáltal több felhasználó osztozik ugyanazon a fizikai csatornán, és a cellában a GSM- és a GPRS-felhasználók közösen férnek hozzá a rádiós erőforrásokhoz. A GPRS lehetővé teszi, hogy egy mobil állomás egy TDMA (Time Division Multiple Access – időosztásos többszörös hozzáférés) keret több időrésben is adhat (multi-slot operation), továbbá az adási (uplink) és vételi (downlink) irány külön kezelhető, ezzel a GPRS támogatja az aszimmetrikus forgalmat.

A gyakorlatban 3 időrés fogható össze, így a rádiócsatorna 40,2 kbit/s sebességet biztosít, ami az alkalmazói réteg szintjén 30–33 kbit/s sebességre csökken az alkalmazástól függően.

Az EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) más modulációs eljárásra épül mint a GSM, bevezeti a 8-PSK (Phase Shift Keying) modulációt, mellyel nagyobb átviteli sebesség érhető el. Az EDGE keretében a továbbfejlesztett EGPRS alkalmazói szinten legfeljebb 220 kbit/s sebesség elérését teszi lehetővé. Ezek az adatátviteli sebességek a járműkövető rendszerekhez – megfelelően megtervezett protokoll esetén – elegendőek, így nem szükséges a 3G hálózat használata.

Kommunikációs szerver

A kommunikációs szerver a járműkövető rendszerek központi eleme.

A szerver fő feladatai a következők:

- adatok fogadása a járművekről,
- adatok ellenőrzése,
- adatok nyugtázása,
- járművezető azonosítása,
- adatok adatbázisba írása,
- riasztás küldése, amennyiben szükséges,
- fedélzeti egységek működési paramétereinek beállítása,
- távdiagnosztika,
- szoftverfrissítés.

Az adatrekordok fogadása IP (Internet Protokoll) alapon történik. A szállítási réteg lehet TCP vagy UDP. A kommunikációhoz nem érdemes magasabb szintű protokollt használni (pl. FTP), mert a sok fájlművelet nagyszámú kliens (több ezer jármű) esetén lelassíthatja a rendszert. Érdemesebb egy saját IP alapú kommunikációs protokollt kifejleszteni.

Adatbázis

A járműről érkező adatok tárolására a legalkalmasabb egy megfelelően megtervezett relációs adatbázis. Így az utólagos kiértékelések elkészítése sokkal hatékonyabb lehet. Az adatbázisnak tárolnia kell a beérkezett adatokon kívül a járművezetők azonosításához szükséges adatokat is. Az adatbázisszerver kialakításánál nagy gondot kell fordítani az adatbiztonságra és a rendelkezésre állásra.

PROTOKOLL

Az adatátviteli kialakításánál a 3.2 fejezetben részletezett előnyök miatt a GPRS-technológiát választjuk, emiatt az IP (Internet Protokoll) alapú kommunikáció adott. (A továbbiakban IP rövidítés alatt az IPv4 protokollt értjük.) Ebben az esetben az OSI-modell szerinti fizikai, adatkapcsolati és hálózati rétegek adottak a jármű és a szerver oldalán is. Az első három réteg megvalósítását a GSM-modem, a GSM-hálózat és a szerver hardvereszközei, operációs rendszere és szoftverei valósítják meg. A szállítási réteg protokolljánál a két legelterjedtebb megoldási lehetősége a User Datagram Protocol (UDP) és a Transmission Control Protocol (TCP).

Az UDP egy kicsi, egyszerű, üzenetközpontú szállítási protokoll, melyet az IETF (Internet Engineering Task Force) RFC 768-as szabványa tartalmaz. Az UDP egy nagyon egyszerű interfészt

biztosít a hálózati réteg és a felsőbb rétegek (viszonylati és alkalmazási réteg) között. Az UDP-protokoll használata esetén nem alakul ki viszonylat a forrás a cél között, a csomagokat előkészítés nélkül adják fel a kommunikáció során. Ezért az UDP-t a kapcsolat nélküli protokollok közé sorolják. Az UDP nem garantálja a felsőbb rétegek számára az üzenet megérkezését és sorrendjét, továbbá a küldő nem kap információt az általa elküldött üzenet státusáról. Az adatcsomagok a továbbítás során elveszhetnek. A protokoll használata esetén a sorrendet és a megbízhatóságot a felsőbb rétegeknek kell biztosítaniuk. Kis mérete és egyszerűsége miatt gyors és hatékony, ezért időkritikus alkalmazásokban (pl. IP alapú hangátvitel) jól használható.

A TCP a legelterjedtebb IP alapú szállítási protokoll. A TCP-vel együtt fejlesztették az Internet Protokollt is. A TCP megbízható adatátvitelt biztosít a protokollt használó alkalmazási rétegnek. Az UDP-vel ellentétben – amely azonnal küldi a csomagokat – a TCP az adatküldés előtt létrehoz egy kapcsolatot (TCP socket) a kommunikáló felek között, így a viszonylati réteget is biztosítja.

Amint a fent leírtakból látszik, a két szállítási protokoll nagyban eltér egymástól. Az UDP valós idejű alkalmazásoknál jól használható, mivel egyszerű és gyors, kapcsolat nélküli protokoll. Azonban a kommunikáció megbízhatóságáról a magasabb OSI-rétegekben kell gondoskodni. A TCP egy hosszú évek alatt kifejlesztett protokoll, amely folyamatos, közvetlen kapcsolatot biztosít a két végpont között. Megbízhatósága magasfokú, azonban felépítése és működése bonyolult és összetett, emiatt az implementálása nehezebb, valamint az adatátvitel lassabb a nagyobb méretű fejlécek miatt. Ezek a hátrányok azonban ma már nem jelentenek akadályt, mivel a PC-s és szerver operációs rendszerek is széles körben támogatják a használatát. Használata a járműoldalon is leegyszerűsödött, hiszen egyre elterjedtebbek azok a GSM-modemek, amelyek tartalmazzak ún. „TCP stack”-et, így a kommunikáció egészen a szállítási réteggig implementálva van az eszközben.

A viszonylati réteg feletti kommunikációs lehetőségeket az adatstruktúra alapján két fő csoportra oszthatjuk:

- Egyszerű (bájtos) adatstruktúra
- Leíró nyelv használata.

Az első esetben a járművön mért adatokat nyers formában, előre definiált sorrendben továbbítjuk a szerver felé. Az adatrekord az elején és a végén speciális – máshol nem használt – bájtokat tartalmaz, ezzel jelölve egy adat kezdetét és végét. A mezők jelentését, kódolását, mértékegységét és a bájtsorrendet mindenképp szükséges definiálni, hogy az adatok értelmezhetőek legyenek. Az e fajta adatábrázolás előnye, hogy nagyon tömör, így csökkenti az átvitt adatmennyiséget. Hátránya, hogy nehezen bővíthető, továbbá hibakeresés esetén nehezen olvasható.

A másik lehetőség egy leíró nyelv használata. Az egyik legelterjedtebb, szabványosított leíró nyelv az XML (Extensible Markup Language), ezért a továbbiakban ezen keresztül kerül bemutatásra ez a módszer.

Az XML a W3C (World Wide Web Consortium) által ajánlott általános célú leíró nyelv, speciális célú leíró nyelvek létrehozására. Az SGML (Standard Generalized Markup Language) egyszerűsített részhalma, mely különböző adattípusok leírására képes. Az XML-en alapuló nyelvek formális módon vannak leírva, így lehetővé téve a programok számára a dokumentumok módosítását és validálását a formátum előzetes ismerete nélkül. A szigorú szintaktikus és elemzési követelmények lehetőséget biztosítanak arra, hogy a dokumentum helyességét és érvényességét ellenőrizzük. Egy helyesen formázott XML dokumentum megfelel minden szintaxis szabálynak. Az a dokumentum, ami nem helyesen formázott, nem tekinthető

XML-nek. Egy érvényes dokumentum olyan adatot tárol, ami megfelel a felhasználó által definiált tartalmi szabálynak, ami leírja a helyes adatértékeket és helyeket. Ennek XSD-t (XML Schema Definition) használhatunk. Az XSD sokoldalú adattípusrendszert használ, ami részletes megkötéseket tesz lehetővé az XML-dokumentum logikai szintjén, ezért sokkal robusztusabb érvényesítő keretrendszert követel meg. Az XSD XML-alapú formátumon alapul, minek következtében szokványos XML-eszközöket lehet használni a létrehozásához és feldolgozásához, bár az implementációk sokkal többet kívánnak, mint az egyszerű XML olvasási képesség.

Az XML-szabvány definiálja a szintaktikát, saját XSD készítésével pedig definiálni lehet az adatok érvényességét is. A kommunikáció során a séma egyik oldalról támogatja a megfelelő XML felépítést, míg a másik oldalról a fogadott adatok validálására használható. Amennyiben a séma definiálását és az adatok validálását következetesen végezzük, valamint – a lehetőségek szerint – minél jobban szigorítjuk, úgy az érvénytelen vagy hibás adatok már az adatfeldolgozás elején kiszűrhetők.

Az alkalmazási réteget csak a szerver oldalon van értelme definiálni. A réteg feladata a strukturált, jól kereshető, könnyen hozzáférhető, és lehetőleg platformfüggetlen adattárolás. Erre a legalkalmasabb egy SQL (Structured Query Language) alapú, relációs adatbázis. A kommunikációs szerver az adatbázisba helyezi el az adatokat, valamint innen kérdezi le a járművezetők azonosításához szükséges adatokat. Az adatbázisszerver futhat a kommunikációs szerverrel egy hardveren, vagy egy – helyi hálózaton elérhető – különálló adatbázisszerveren. A legfontosabb és a legnagyobb terheléssel járó feladat a járműről érkező adatok beillesztése. Itt kétféle stratégia választható.

Összefoglalva a fentieket, az adatátviteli rendszer a következőképpen épülhet fel az OSI-modell szerint.

OSI-modell	Használt technológia
Fizikai réteg	GSM és 100BASE-TX
Adatkapcsolati réteg	GPRS és Ethernet
Hálózati réteg	Internet Protokoll (IP)
Átviteli réteg	TCP vagy UDP
Viszonylati réteg	TCP socket vagy szoftver
Megjelenési réteg	Rekordstruktúra vagy XML
Alkalmazási réteg	SQL-szerver

1. táblázat: az adatátviteli rendszer felépítése

MEGBÍZHATÓSÁG NÖVELÉSE

A járműkövető rendszereknek megbízhatóság szempontjából két fő tulajdonságuk van:

- adatátvitel biztonsága,
- on-line rendelkezésre állás.

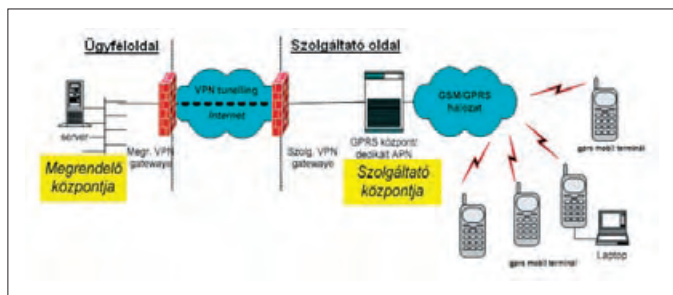
Az első tulajdonságon az értendő, hogy a járműről gyűjtött adatok változatlan tartalommal bekerülnek az adatbázisba. Ehhez meg kell határozni egy maximális időtartamot, ami után az adatot elveszítettnek tekintjük.

A második tulajdonság azt fejezi ki, hogy a járműkövető rendszer működési ideje alatt, egy adott járműfedélzeti egység mekkora időtartamban van on-line kapcsolatban a kommunikációs szerverrel.

Módszerek a biztonság növelésére

Ebben a fejezetben – a cikk céljának megfelelően – a hálózati kapcsolat és a szerver biztonságával foglalkozunk.

A GSM-hálózat minőségi paraméterei (QoS), valamint az adatátviteli út felépítése a hálózati rétegit adottak. Azonban a GSM-



3. ábra: biztonságos hálózati kapcsolat kialakítása (T-Mobile)

szolgáltatók biztosítanak egy olyan lehetőséget, amivel az adatátvitel biztonsága nagyban növelhető. Egyéni mobilinternet-szolgáltatás esetén minden ügyfél ugyanazt a GPRS-elérési pontot (APN) használja. Így az ügyfelek bármely IP-címmel rendelkező gépet elérnek és elérhetővé is válnak bárki számára. Ennek megfelelően a szerver fogadó portjának is elérhetőnek kell lennie minden IP-címről. Szerver oldalon tűzfal segítségével le lehetne korlátozni a bejövő kapcsolatokat, azonban alap-szolgáltatás használata esetén a mobil eszközök dinamikusan IP-címmel rendelkeznek, azaz minden hálózati bejelentkezésnél más IP-címet kapnak. Lehetőség van azonban a 3. ábrán látható adatátviteli út kiépítésére.

Ilyenkor a mobil eszközök (járműfedélzeti egységek) egy dedikált APN-hez kapcsolódnak, amelyet csak az adott flotta SIM-kártyáival lehet elérni. A szolgáltató az ügyféllel egy erős titkosítással ellátott VPN- (Virtual Private Network) csatornát alakít ki. A járműfedélzeti eszközök ezen keresztül érik el a kommunikációs szervert. Ebben a struktúrában a fedélzeti egységek csak a kommunikációs szervert látják, amely tűzfal mögött van, így védett a külső támadásokkal szemben. Megállapítható, hogy ez a rendszer nagyfokú biztonságot garantál mind a járműfedélzeti egységek, mind pedig a kommunikációs szerver számára.

Az adatátviteli út kialakításánál a protokoll definiálása a következő lépés. Meg kell határozni a szállítási, viszonylati és megjelenési réteget. A megbízható kommunikációt igénylő alkalmazások számára a TCP a megfelelőbb, ez biztosítja a szállítási és viszonylati réteget. Erre kell építeni egy felsőbb szintű protokollt, amely biztosítja a kommunikációt a szerver és a járművek között. Erre a feladatra a – már bemutatásra került – XML-t választottuk, mivel sok előnye mellett az egyetlen jelentősebb hátránya (nagyobb mennyiségű adatot kell átvinni) manapság már sem többletköltséget, sem pedig jelentős sebességsökkenést nem okoz.

Az on-line rendelkezésre állás növelése

Az on-line rendelkezésre állás legjelentősebb befolyásoló tényezője a GSM-hálózat. Ezt befolyásolni nem lehet, azonban érdemes megvizsgálni a korlátait. Az első paraméter a területi lefedettség, különös tekintettel a GPRS-lefedettségre. A Nemzeti Hírközlési Hatóság adatai szerint mindhárom szolgáltató legalább 99%-os területi lefedettséggel rendelkezik, és elméletileg a teljes szolgáltatási területén elérhető a GPRS. A gyakorlatban ez némileg kevesebb, a GPRS területi lefedettség 97% körül alakul. Közúti járműkövető rendszereknél az arány még jobb is lehet, mivel a közutak lefedettségére nagyobb hangsúlyt helyeztek a hálózatok kiépítésénél. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a vasútvonalak mentén rosszabb a helyzet.

A következő fontos paraméter a rendelkezésre állás. Az éves rendelkezésre állást hatóságilag előírt módon kell meghatározni a következő módon:

$$\text{Rendelkezésreállás} = \frac{\text{AUT}}{\text{AUT} + \text{ADT}} \times 100\% \quad (1)$$

Ahol:

- ADT a teljes kiesési idő (a szolgáltatás megszűnése és annak visszaállítása között eltelt idő),
- AUT a működési idő (a szolgáltatás elindítása és annak megszűnése között eltelt idő),
- AUT+ADT a teljes megfigyelési idő.

A rendelkezésre állás meghatározásakor nem kell figyelembe venni az előfizetői végberendezéseket, a rádiós területi fedettség veszteségeit, és a forgalmi torlódásokból eredő veszteségeket. A rendelkezésre állás számításakor az egyes bázisállomások teljes kiesését kell figyelembe venni. Az előírások szerint a GSM PLMN (Public Land Mobile Network) rádiótelefon-rendszer bázisállomásainak, az előre tervezett szolgáltatási szünetek kivételével (< 4 óra/év), az év minden napján napi 24 órán keresztül éves átlagban 95%-os rendelkezésre állással a rendeltetésszerű használatra alkalmasnak kell lennie. Ugyanez az érték vonatkozik az internetszolgáltatásra is, azonban a tavalyi adatok alapján a szolgáltatók ennél jobbat, 99,61%-ot értek el. Fontos felhívni a figyelmet a torlódásokból eredő veszteségekre, mivel a GPRS-kapcsolat alacsonyabb prioritású, mint a hanghívás. Ezért terhelt cellákban előfordulhat, hogy a hálózati torlódások miatt bizonyos ideig nem lehet az adatokat eljuttatni a járműről a központba.

A fenti értékek alapján elmondható, hogy a nyilvános GSM-hálózat általános célú járműkövetésre kiválóan alkalmas, azonban biztonsági igényű alkalmazások (pl. vasúti területen) esetén nem megfelelő. Vasúti területen azonban érdemes számba venni – a néhány éven belül kiépítésre kerülő – GSM-R (GSM for Railway) rendszert.

Az on-line rendelkezésre állás megfelelő szinten tartásához elengedhetetlen a megbízható szoftverek kifejlesztése a járműfedélzeti egységben és a szerver oldalon.

A szerverszoftver biztonságáról már esett szó az előzőekben, és láttuk, hogy megfelelő adatkezeléssel biztosítani lehet, hogy veszteségmentes legyen az adatküldés. Ennél nagyobb problémát jelent a rendelkezésre állás biztosítása, mivel ebben az esetben a szoftver-, illetve hardverleállásokat (melyek az adatbiztonságot nem befolyásolják) a lehető legnagyobb mértékben ki kell küszöbölni. A hardver esetében a fent említett nagy megbízhatóságú serverarchitektúrát választva, és azt megfelelő környezetben (temperált szerverszoba, szünetmentes tápellátás, redundáns internetkapcsolat) elhelyezve, a rendelkezésre állás magas szinten tartható. A szoftver megbízhatóságát a következő szempontok figyelembevételével lehet növelni:

- pontos specifikáció,
- megfelelően lehatárolt funkciók,
- moduláris felépítés,
- egyszerűsége, átláthatóságra és tesztelhetőségre való törekvés,
- részletesen megtervezett tesztek végrehajtása (modulok validációja, teljes szoftver validációja),
- funkcionális, terheléses, biztonsági, hibakezelési és tartós tesztek,
- folyamatos dokumentálás.

Mindezen kritériumok megvalósításának részletezése meghaladja a cikk kereteit, azonban az ennyiből is látszik, hogy a magas rendelkezésre állású szoftverek megvalósítása nagy körülményt igénylő, bonyolult és sokrétű feladat.

ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatásra került a járműkövető rendszerek adatátviteli technológiáinak az ismertetése. Az OSI-modell alapján ismertettük az egyes rétegek esetében használható szabványokat és protollokat. Kiválasztottuk a megbízhatóság

szempontjából legoptimálisabb megoldást. Megvizsgáltuk a szerver oldali adatkezelés biztonsági kérdéseit, és bemutattunk egy – a kifejlesztett protokollal együtt használható – biztonságos adatkezelési módszert. Végül megvizsgáltuk az on-line rendelkezésre állást befolyásoló tényezőket a GSM-hálózat és a szoftverfejlesztés szempontjából. Megállapítottuk, hogy biztonságkritikus alkalmazások esetén a GSM-hálózat nem ad kielégítő rendelkezésre állást, különös tekintettel a torlódásokból eredő veszteségekre. Ezért vasúti területen mindenképpen számba kell venni a jövőben a GSM-R használatát.

Irodalom

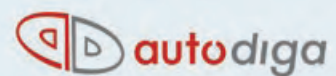
- [1] Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület: Távközlő hálózatok és informatikai szolgáltatások. On-Line könyv – www.hte.hu

- [2] Nemzeti Hírközlési Hatóság: Hírközlés-statisztikai Adatbázis – www.nhh.hu/hirk_stat
- [3] Aradi Sz.: Vasúti távfelügyeleti rendszer mozdony fedélzeti berendezés alkalmazásával. In: Vezetékek Világa. 2007/1. (2007). 27–31. oldal
- [4] Aradi Sz.: Server Architecture Development for On-line Tracking of Large-sized Vehicle Fleet. In: Periodica Polytechnica. 36/1. (2008)
- [5] R. Lyu, M Handbook of Software Reliability Engineering. McGraw-Hill publishing, 1995, ISBN 0-07-039400-8
- [6] World Wide Web consortium: Extensible Markup Language (XML) 1.1 (Second Edition) - www.w3.org/TR/xml11
- [7] World Wide Web consortium: XML Schema - www.w3.org/XML/Schema

A kutatás támogatói: NKTH & OTKA 60767.



A GÉPJÁRMŰFENNTARTÓ IPAR TELJES KÖRŰ BEMUTATKOZÁSA!



Autotechnika – Autó-DIGA a Hungexpo Budapesti Vásárcsúszpontban!

Jelentkezés: 2009. április 15-ig 2006-os fedett területi áron!

Az előttünk álló egy-két évre még az optimista gazdasági elemzők is pénzügyi és gazdasági krízishelyzetet, és csak lassan javuló állapotot jeleznek előre. A válság fokozottan érinti az autóipart, az újautó-kereskedelmet. Ebben a helyzetben a gépjárműfenntartó iparra nagyobb feladat hárul. Az ehhez szükséges fejlődés eszközrendszerben, szolgáltatásokban előrelépést kíván a szakmától.

Kitűnő alkalom erre a 2009. szeptember 22–25. között sorra kerülő Autotechnika – Autó-DIGA szakkiallítás. A Hungexpo Zrt. és az X-Meditor Kft. közös szervezésében zajló, a hazai piacon meghatározó jelentőségű szakkiallítások a megújult Budapesti Vásárcsúszpont legújabb „G” pavilonjában kapnak helyet.

Az Autotechnika – Autó-DIGA széles körben kínál bemutatkozási lehetőséget az ágazat szereplőinek. A tematika lehetőséget teremt a teljes gépjármű háttérpiac és garázspiac, a gépészeti technológiák, az innovációs eredmények és a csúcstechnológia, a környezetbarát megoldások felvonultatására. A kiállítások képet adnak a hazai gyártású alternatív járművekről is. A magyarországi autógyárak és gépjárműfenntartó ipari cégek részvételével beszállítói konferencia és állásbörze is várja a látogatókat. Az új pavilonban európai színvonalú üzleti környezetben fogadhatják partnereiket a terület piaci szereplői.

Az Autotechnika – Autó-DIGA aftermarket piaci kínálatában bemutatkozik a háttérpiac, az első beszállítói és az első beszállítói minőséggel egyenértékű alkatrészgyártás és kereskedelem, az alkatrész-újragyártás és -felújítás. A kibővített szakmai tema-

tikában új témaként megjelenik a mechatronikai gépészeti és elektromos rendszer diagnosztika is. Lesz ezen kívül gépjármű-szerelési ötletbörze, szervizberendezés és alkatrészborze is. A megújult vásárcsúszpont, a modern környezet, a minőségi szolgáltatások kedveznek a kiállítóknak, és a látogatók számára is vonzó. Mindemellett a szervezők többet is tesznek a népszerűségért. A kiállítás a szakmai értékeinek megtartása mellett nyitni fog a kisebb javításokra otthon is vállalkozó, szakmai érdeklődésű nagyközönség felé. Az ágazat képviselőit a határokon túlról is meghívják. A környező országokban – többek között a társszervező X-Meditor Kft. médiakapcsolatait is kihasználva – szakmai kiadványokban jelentetnek meg figyelemfelkeltő cikkeket, sőt szakember-delegációk szervezése is erősíti majd a látogatottságot. Szintén várható, hogy az egy időben zajló ÖKOTECH környezetvédelmi kiállításra érkező szakemberek érdeklődnek majd az autóipar kiemelkedően fontos tényezőjét jelentő környezetkímélő fejlesztések iránt.

További értékeket hordoznak a kiállítás mellett zajló konferenciák. Néhány a tervezett konferenciaként: hatósági helyzetkép a gépjármű műszaki hatósági vizsgáztatásról; környezetvédelmi felülvizsgálatok; egyablakos hatósági jármű-ügyintézési ügyfélszolgálat.

A szervezők 2009-re ismét kiírják az Autotechnika – Autó-DIGA Nagydíj pályázatot a hazai gyártású, környezetbarát termékek és újdonságok presztízsének emeléséért. A pályázati kiírás január 15-től megtalálható a www.automobil.hungexpo.hu weboldalon.

Jármű-karosszériaelemek kvázi-interferometrikus alakvizsgálata

Antal Ákos

tudományos munkatárs,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem Mechatronika,
Optika és Gépészeti
Informatika Tanszék

Fekete Róbert Tamás

doktorjelölt, PhD-hallgató,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem Mechatronika,
Optika és Gépészeti
Informatika Tanszék

Testek térbeli alakjának legkorszerűbb mérési módszerei optikai elvekre épülnek. Egyik előnyük, hogy érintésmentesek, így a mérendő objektumot mérőnyomás nem terheli, másik nagy előnyük az egyidejűség. Deformációra hajlamos alkatrészek vizsgálatánál mindkét szempont óriási jelentőséggel bír, mivel a mérőnyomásból eredő deformáció komoly hibalehetőség forrása és az egyidejűségnek is komoly szerepe van, hisz például gyártás közbeni felület-ellenőrzésnél az alkatrész mozdulatlanságát huzamosabb ideig biztosítani komoly nehézségekbe ütközhet. Moiré-módszer alkalmazása esetén a mérendő mennyiségre a vizsgált felületet jellemző moiré-csíkokból következtetünk. A cikkben a szerzők ismertetik a jelenséget, gyakorlati példát mutatnak alkalmazhatóságára.

Contemporary measuring techniques of three-dimensional objects are based on optical principles. In most instances optical techniques are preferred over traditional methods as long as they are contact less, non-invasive and fast. The moiré methods are versatile set of techniques for out-of plane and deformation-free shape measurement. The main merits of moiré topographical technique are: the profiles are given in the form of moiré fringes and both static and dynamic events can be studied. We present an example to demonstrate the usability of moiré technique.

TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS

A moiré szó eredetileg francia eredetű; habos vagy lángmintát jelent. Az alapjelenség a fizikusokat már régóta foglalkoztatta, első tudományos leírása Lord Rayleigh [1] nevéhez fűződik 1874-ből. A diffrakciós rácsok elméletéről és készítéséről szóló értekezésében írja, hogy ha két rácsot – amelyik hosszegységeként ugyanannyi csíkot tartalmaz –, kis szögeltéréssel fedésbe hozunk, akkor egy párhuzamos csíkrendszer jelenik meg, ahol a csíkrendszer irányvonala felezi a két rács által bezárt külső szöget, és a keletkező csíkok távolsága függ az eredeti rácsok szögétől. Megjegyzi továbbá, hogy a jelenség mérési célokra alkalmas. Foucalt [2] 1859-ben a lencsék és optikai rendszerek vizsgálatára három módszert ajánlott, melyek közül a második rácsok alkalmazására épült. Sajnos azonban a késélpróbánál kevésbé érzékenynek találta, így kidolgozása elmaradt. Rigbi [3] már 1887-ben behatóan tanulmányozta a két rácszat egymásra helyezésével nyert fényeloszlást. Ő volt az, aki különböző térfrekvenciájú kör alakú és radiális rácsokkal is folytatott megfigyeléseket, a párhuzamos csíkozott rácsok egymásra hatásából adódó moiré mintázatot a rácsok relatív hosszirányú elmozdulásának mérésére használta fel. 1925-ben Ronchi [4] alkalmazta Foucalt ötletét lencsék és tükrök optikai vizsgálatára. Ronchi pontforrással világította meg a felületet, mely előtt a megvilágító nyaláb útjába optikai rácsot helyezett. A rácson keresztül szemlélve a felületet, moiré-csíkok jelentek meg, melyekre a vizsgált optikák hibái hatással voltak, s így azokat lokalizálni lehetett. Körkörös és vonalrácsok egymásra hatásából keletkező moiré-mintázatok kialakulásával is foglalkozott. Raman [5] 1926-ban a matematika módszerei segítségével írta le a jelenséget.

Lényegében tehát Rayleigh, Foucalt, Ronchi és Raman eredményei nyitottak utat a moiré-módszer metrológiai alkalmazása előtt. Theocaris [6], illetve Paturski [7] munkáiban részletes összefoglaló található a módszer történetéről az 1960-as esztendőig. Ez volt a moiré-elven működő elmozdulásmérés és a mechanikai feszültség

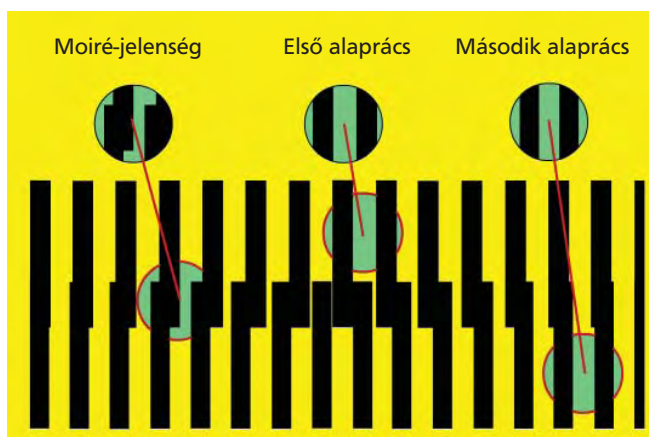
mérés [8, 6] fejlődésének látványos időszaka. Ebben az időben indult fejlődésnek a moiré-topográfia [6–12], majd nemsokára rá megjelentek az első publikációk a jelenség információelméleti és feldolgozási kérdéseiről [13–15]. Az 1950-es évek elején Sir Thomas Merton által kidolgozott rácskészítési módszer jelentős lökést adott a moiré-technika körében folyó alkalmazott kutatásoknak. 1970-ben Takasaki [11, 12] a közismert összegző publikációiban a jelenség topológiai szemléletét fektette le. A témában közölt tudományos publikációk számának megtorpanása az 1970-es évek második felében következett be. Ez minden bizonnyal annak tudható be, hogy a kutatások során fellépő problémák – melyek elsősorban a képiértékelésre irányultak – megfelelő teljesítményű számítástechnikai háttér hiányában már nem voltak kezelhetőek. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a számítástechnika elterjedésével a moiré-technika egy újabb reneszánszának lehetünk tanúi, ami elsősorban a publikációk és ipari alkalmazások számának dinamikus növekedésében nyilvánult meg. A moiré-technika fejlődésére a metrológián és az optikán túl számtalan más tudományterület is hatással volt és van, de ennél talán még fontosabb, hogy általa számos olyan mérés-technikai feladat vált megoldhatóvá, ami korábban nem volt lehetséges. Megjegyzendő továbbá, hogy a moiré-technika kutatása során felmerülő, megoldandó problémák termékenyítőleg hatottak más tudományterületek fejlődésére is, mint például a jelfeldolgozás, digitális képfeldolgozás, mesterséges intelligencia és alakfelismerés.

A JELENSÉG LEÍRÁSÁNAK TERMINOLÓGIÁJA

A következőkben áttekintjük azokat a fogalmakat, melyeket a jelenség leírása során alkalmazni fogunk. A jelenség létrejötté szempontjából különösen fontos jelentőséggel bírnak az úgynevezett alapcsíkozatok. A szakirodalom egyrészt használja a csíkozott, másrészt a rács fogalmát. Amikor egy hordozón leképezés vagy árnyékvetítés céljából egyenközű, vagy esetleg az adott célnak megfelelően kialakított rendezettségű csíkozott található, azt

rácsnak nevezzük. Egyéb, általánosabb értelemben a jelenséget létrehozó periodikus alapstruktúrát, annak deformált változatát, illetve az eredményt jelentő moiré-jelenség struktúráját csíkoknak vagy csíkozatoknak nevezzük. Ezek közös jellemzője a térfrekvencia, ami a hosszúságegységre eső periódusok száma; a magyar szakirodalomban meghonosodott mértékegysége a vonalpár per milliméter [vp/mm]. Ennek reciproka a T periódushossz, mértékegysége a milliméter [mm].

Az alapcsíkozatok egymásra hatásának eredményeként jön létre a moiré-jelenség, mely a mért vagy vizsgált felületet a térképek szintvonalaihoz hasonló, de annál általánosabb módon írja le. A moiré-jelenség megjelenési formája a mért felületen keletkező moiré-csík, mely általános esetben a felületnek egy adott síktól – a referenciasíktól – egy adott függvény szerint leírható távolságra lévő pontjait köti össze. Általánosan megfogalmazva egy adott, a referenciafelülettől, az elrendezés rögzített paramétereitől függő függvény szerint leírható távolságban lévő pontok halmazát moiré-felületnek, míg moiré-csíknak a mért felületnek a moiré-felülettel való metszésvonalát nevezzük. Azt a tetszőleges képrögzítési



1. ábra: a moiré-jelenség keletkezése

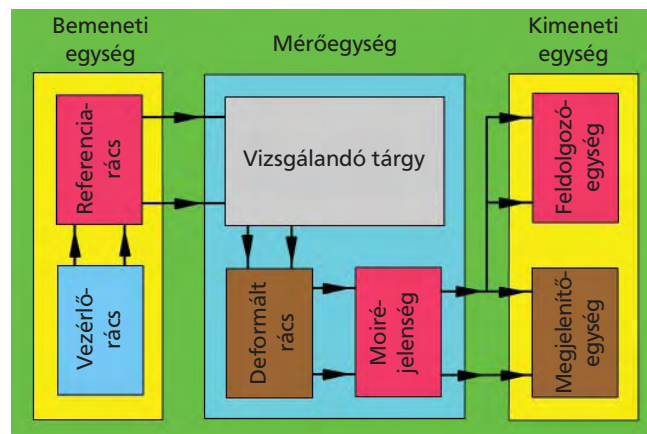
eljárással készült képet, amely két dimenzióban ábrázolja a mért felület moiré-felületekkel való metszésvonalait – tehát a moiré-csíkokat –, moiré-képeknek nevezzük.

Idealizált esetben az elrendezés geometriai paramétereinek megválasztásával elérhető, hogy az egymást követő moiré-felületek síkos és egyenközűek legyenek. Ilyen esetben a moiré-felületek által leírt térrészben elhelyezkedő mért felületeket a moiré-csíkok a térképek szintvonalaihoz hasonlóan írják le, hiszen a referenciafelületnek a tengerszint által képviselt sík felel meg, és a felületi domborzatnak a tengerszinttől egyenlő magasságban lévő pontjait a térkép szintvonalai kötik össze. A szintvonalak közötti távolságot a térkép nagyítása, illetve a domborzat jellege határozza meg, célul tűzve ki a szemléletes ábrázolást. A térképek értelmezését tovább segíti, hogy a szintvonalakat megszakítva számjegyes ábrázolással jelzik a szintvonalhoz tartozó tengerszint feletti magasságokat. Az igazi feladat az ideális moiré-képen látható moiré-csíkokból a mért felület harmadik dimenziójának a visszaállítása, azaz a térképes hasonlattal élve a térképen látható szintvonalak segítségével megadni, hogy az adott domborzati pont milyen tengerszint feletti magasságban található.

A MÉRÉSTECHNIKAI ALKALMAZHATÓSÁG ALAPGONDOLATA

A moiré-jelenség létrejötte két eltérő térfrekvenciájú periodikus struktúra egymásra hatásának az eredménye (1. ábra). Analó-

giát keresve, a jelenség az interferencia egy speciális esetének, tehát egy kvázi-interferometrikus jelenségnek tekinthető. Az adott rendezettséget mutató alapcsíkozatok együttesen egy, az alapcsíkozatok bármelyikétől eltérő, eredő csíkozatot hoznak létre. Nyilvánvaló, hogy az eredő csíkozatok egyértelmű kapcsolatban van az öt létrehozó alapcsíkozatokkal. A moiré-jelenség – ami az alapcsíkozatok egymásra hatásának eredményeként megjelenő moiré-csíkokat jelenti – mérés technikai alkalmazá-



2. ábra: egy komplex moiré-berendezés blokkvázlata

sának (2. ábra) alap gondolata az, hogy ha az alapcsíkozatok közül az egyik a vizsgálandó objektum egy adott állapotával van kapcsolatban, míg a másik egy ettől eltérő állapottal – ami akár egy referenciaállapot is lehet –, az eredő csíkozatokból következtethetünk a két állapot – adott esetben az egyik állapot és a referencia – közötti eltérésre. Ez megfogalmazható úgy is, hogy az eredő jelenségből visszafejthető az objektum egyik állapota a másik – vagy a referencia – ismeretében.

A MOIRÉ-TOPOGRÁFIA

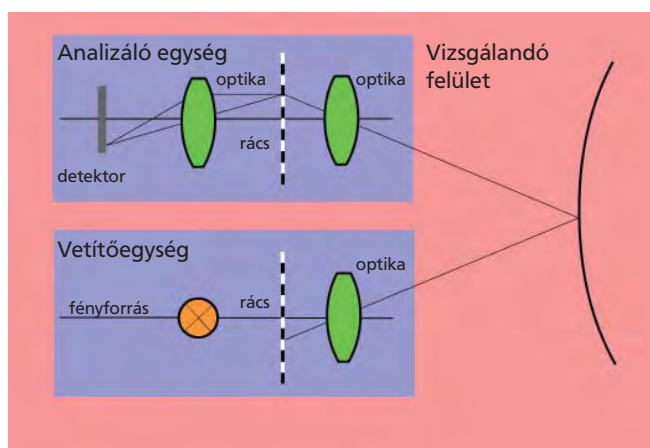
Egyszerű megfogalmazásban a moiré-topográfia a háromdimenziós testek felületmérésének és megjelenítésének eszköze. Paakkari [16] egy ennél szigorúbb definíciót fogalmazott meg, mely szerint a moiré-topográfia fő jellemvonása, hogy a felület mélységi méretének meghatározását egy, a vizsgálórácstól egyenlő távolságra lévő fényforrást és megfigyelési pontot tartalmazó elrendezés segítségével hajtja végre. Ez az alapgondolat eredetileg azonban Meadows [17] és Takasaki [11] által lett – egymástól függetlenül [7] – megfogalmazva. A moiré-topográfia tehát egy módszer, melynek megvalósítását szolgáló eszközöket Patorksi [7] három csoportra osztja; a reflexiós, az árnyék- és a projekciós moiré-elrendezés csoportjára.

Az első a tükrösen, a második és a harmadik pedig a diffúzan reflektáló felületű tárgyak vizsgálatának eszköze. Szintén Patorksi [7] fogalmazta meg a moiré-topográfia fő előnyeit. E szerint a mérés a felületről térben és időben folytonos információt ad, ellentétben a diszkrét idő és tér pontokban mintavételező módszerrel. Ez lehetővé teszi, hogy a felületnek csak a vizsgálat szempontjából lényeges részét mérjük, és lehetőséget nyújt a tranziens folyamatok vizsgálatára is. Az adatgyűjtés és a feldolgozás viszonylag gyorsan megvalósítható, így a vizsgálat kvázi valós időben és automatizáltan vitelezhető ki. A felületprofil kétdimenziós kontúrvonalak formájában jeleníthető meg, a felbontás változtatható, abszolút és differenciális mérés is megvalósítható. A rendszer és kezelése egyszerű, a mérés gyors.

A GYAKORLATI MOIRÉ-TECHNIKÁBAN ALKALMAZOTT ALAPELRENDEZÉSEK

Az optikai elvre épülő felület, alak-, illetve deformációmérések körébe tartozik a moiré-módszer is, amely a térképek szintvonalaihoz hasonlóan, de annál általánosabb formában jellemzi a felületet. A moiré-csíkok bizonyos értelemben az interferencia jelenséghez hasonló módon [18] jönnek létre. A moiré-módszer kísérleti és gyakorlati alkalmazása során számtalan mérési elrendezést alakítottak ki. Elrendezések lettek kifejlesztve diffúz vagy tükrös felületek, de természetesen fázistárgyak vizsgálatára [19–21] is. További vizsgálataink szempontjából elsősorban a diffúzan reflektáló felületek vizsgálatára alkalmas elrendezések érdekesek. Ezek alapvetően két alapelrendezésre vezethetők vissza.

Az egyik a 3. ábrán látható, úgynevezett projekciós elrendezés [22, 23], mely esetében a vizsgált tárgy felületére egy optikai rendszer segítségével lineáris alaprácsot képezünk le. A tárgy felületén megjelenő csíkokat a berendezés analízis egységének optikai rendszere egy másik ernyőn elhelyezkedő alaprácsra – a

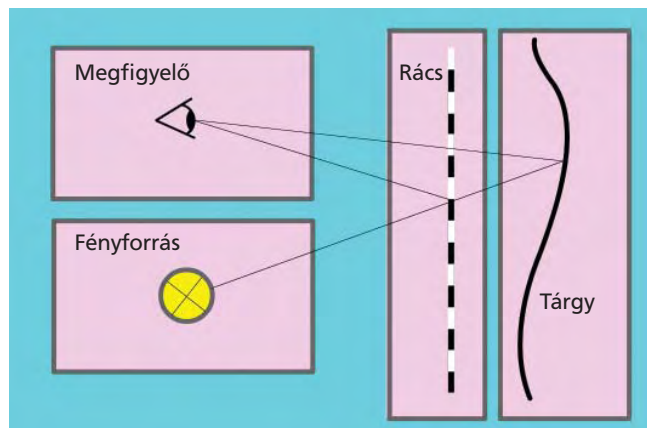


3. ábra: a projekciós moiré-elrendezés

vizsgáló- vagy referenciarácsra – képezi le. Így az ernyőn egyszerre két csíkozatot látható; maga a vizsgálórács, illetve a tárgy felületét borító csíkozatot képe. A szemlélő számára e két rácszat egymásra hatása hozza létre a moiré-jelenséget, amely kamerával, vagy más képfelvételi eszközzel rögzíthető, és közvetlenül vagy tárolt formában feldolgozható.

A másik ismert elrendezés [24, 25, 26] az úgynevezett árnyék moiré-elrendezés, amely a 4. ábrán látható. A pontszerű fényforrás megvilágítja a vizsgálórácsot, melyen egyenközű csíkozatot találhat. Ennek következtében a rács árnyékot vet a vizsgált felületre. A fényforrástól eltérő helyen elhelyezkedő megfigyelő számára láthatóvá válik egyrészt a vizsgálórács, másrészt a vizsgálórács árnyékvetéséből a mérendő objektum felületén megjelenő csíkozatot, mely természetesen a tárgy alakjának és helyzetének megfelelően torzul. E két csíkozatot egymásra hatása moiré-jelenséget eredményez.

A szakirodalom [27] elég gyakran csoportosítja a moiré, illetve a moiré-szerű jelenségeket a geometriai moiré, illetve a moiré-interferometriai csoportjába. Az előbbiben a jelenség tisztán amplitúdó rácsok segítségével, geometriai úton áll elő. Az utóbbi csoportjába azokat az elrendezéseket sorolják, melyekben a csík, illetve a rács generálása interferometriai úton történik [28, 29]. A nagy érzékenységű, nagyfelbontású és gyors képfelvételi eszközök megjelenésével lehetővé vált a felületre képzett, és a referenciarács fizikai elválasztása oly módon, hogy a csíkokkal borított felület képét szoftveresen hozzájuk kapcsolatba a virtuálisan



4. ábra: az árnyék moiré-elrendezés

generált referenciaráccsal, létrehozva így a számítógéppel generált moiré-képet [30]. Ennek paraméterei rugalmasan változtathatók, így a mérési tartomány, illetve a felbontás jobban illeszthető a felülethez. Természetesen az alkatrésztervezés folyamatában a tárgyra képezett csíkozatot nélkül, tehát pusztán az alkatrész modellezésével is generálható a jelenség, mely referenciaként szolgálhat a valóságos felület mérésénél nyert eredmények ellenőrzésére.

A MÉRÉSI TARTOMÁNY

A moiré-jelenség alkalmazása háromdimenziós mérést tesz lehetővé. A berendezés mérési tartománya az a térrész, ahol a vizsgált felületen a jelenség létrejön. A moiré-csíkok megjelenése azonban erősen függ a felület optikai minőségétől, a felület alakjától, a környezeti fényviszonyoktól és a geometriai paraméterektől. A módszer alkalmazása esetén a geometriai paraméterek közvetlen ismerete nélkülözhetetlen a vizsgált felület pontos térbeli adatainak meghatározásához. A szükséges geometriai méretek a fényforrás és a vizsgálóegység távolsága, a vizsgálórács térfrekvenciája, a fényforrásnak a vizsgálórácstól való távolsága és a vizsgálóegységnek a vizsgálórácstól való



5. ábra: a valós és a moiré-csíkokkal borított karosszériaelem modellje

távolsága. Nélkülözhetetlen továbbá a felületen megjelenő moiré-csíkok egy tetszőleges rendjének az ismerete, hogy folyamatosan felismerhető és azonosítható moiré-csíkok követésével a felület tetszőleges pontjának háromdimenziós koordinátája meghatározható legyen.

Irodalom

- [1] Lord Rayleigh: On the manufacture and theory of diffraction gratings., Philosophical Magazine 47 (1874), pp. 81-93.
- [2] Foucault L.: Mémoire sur la construction des télescopes en verre argenté, Annls Obs. Paris, Vol. 5., 1859. pp. 197-237.
- [3] Righi A.: Sui fenomeni che si producono colla sovrapposizione die due reticoli e sopra alcune allora applicazioni: I Nouvo Cin 21, 1887. pp. 203-227.
- [4] Ronchi V.: La Prova dei Sistemi Ottici, Attualita Scientifiche No. 37., 1925. Nicola Zanichelli, Bologna,
- [5] Raman C. V., Datta S. K.: Brewster's bands. Part I., Transaction of Optical Society, Vol. 27. 1925. pp. 51-55.
- [6] Theocaris P. S.: Moiré Fringe in Strain Analysis, Pergamon Press 1969.
- [7] Paturski K., Kujawinska M.: Handbook of the Moire Fringe Technique, Elsevier, Amsterdam 1993.
- [8] Durelli A. J., Parks V. J.: Moiré Analysis of Strain, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- [9] Parks V. J.: Geometric Moiré, SEM Handbook of Experimental Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [10] Parks V. J.: Strain measurement using grids, Optical Engineering, Vol. 21., 1982. pp. 633-639.
- [11] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1970., Vol. 9., No. 6., pp. 1467-1472.
- [12] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1973., Vol. 12., No. 4., pp. 845-850.
- [13] Lohmann A.: Das Moiré-Gitter als vielseitiges Testobjekt: Photoelektrische Aberrationsmessung, Optica Acta, Vol. 6., 1959., pp. 37-41.
- [14] Lohmann A.: Zur Messung des optischen Übertragungsfaktors, Optik, Vol. 14., 1957. pp. 510-518.
- [15] Murata K.: Instruments for the measuring of optical transfer function, Progress in Optics, Vol. 7., North Holland, Amstredam, 1966.
- [16] Paakkari J.: On-line flatness measurement of large steel plates using moiré topography, Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1998.
- [17] Meadows D. M., Johnson W. O., Allen J. B.: Generation of surfaces Contours by Moiré Patterns, Applied Optics, April 1970., Vol. 9., No. 4., pp. 942-947.
- [18] Wyant J. C.: Optical Testing and Testing Instrumentation Lab, Moire Interferometry, MoireTechniquelab12, 2004. <http://www.opl-sci.arizona.edu/jcwyant/optics513/Lab/MoireTechniquelab12.pdf>
- [19] Stricker J.: Analysis of 3-D phase objects by moire deflectometry, Applied Optics, Vol. 23., No. 20., 1984. pp. 3657-3659.
- [20] Shamir J.: Reduced Sensitivity Phase Object Analysis by Moiré Techniques, Applied Optics, Vol. 12., No. 2., 1973. pp. 271-274.
- [21] Ming W., Li M., Dacheng L., Jingang Z.: Subfringe integration method for automatic analysis of moire deflection tomography, Optical Engineering, Vol. 39., Issue 10., 2000. pp. 2726-2733.
- [22] der Hovanesian J., Hung Y. Y.: Moiré contour-sum, contour-difference, and vibration analysis of arbitrary objects, Applied Optics, Vol. 10., No. 12., 1971. pp. 2734-2738.
- [23] Idesawa, M., Yatagai, T., Soma, T.: Scanning moiré method and automatic measurement of 3-D shape, Applied Optics, Vol. 16., No. 8., 1977, pp. 2152-2162.
- [24] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1970., Vol. 9., No. 6., pp. 1467-1472.
- [25] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1973., Vol. 12., No. 4., pp. 845-850.
- [26] Meadows D. M., Johnson W. O., Allen J. B.: Generation of surfaces Contours by Moiré Patterns, Applied Optics, April 1970., Vol. 9., No. 4., pp. 942-947.
- [27] Lim J.S., Kim J., Chung M.S.: Automatic shadow moiré topography: a moving-light-source method, Optics Letters Vol. 14., No.22., 1989. pp. 1252-1253.
- [28] De Nicola S., Ferraro P.: Fourier transform method of fringe analysis for moiré interferometry, Journal of Optics A: Pure Applied Optics, Vol. 2., 2000, pp. 228-233.
- [29] De Nicola S., Ferraro P., Gurov I., Koviadin R., Volkov M.: Fringe analysis for moiré interferometry by modification of the local intensity histogram and use of a two-dimensional Fourier transform method, Measurement Science and Technology, Vol 11., 2000, pp. 1328-1334.
- [30] Paveleva D., Antal Á.: Computer Aided Color-encoded Moiré Contouring, ICM 2006 IEEE International Conference on Mechatronics, July 3-5, 2006. pp. 154-156.

Sztereó gépi látórendszer forgalmi sávok automatikus detektálásához és követéséhez

Bódis-Szomorú András
MTA SZTAKI

Virágh Bálint
ThyssenKrupp Presta
Hungary Kft.

Wahl István
ThyssenKrupp Presta
Hungary Kft.

dr. Fazekas Zoltán
MTA SZTAKI

dr. Dabóczi Tamás
BME MIT

A korszerű, gépjárművezetőt támogató aktív biztonsági rendszerek jelentős, a világ számos országára kiterjedő interdiszciplináris kutatások és fejlesztések tárgyát képezik. A részt vevő egyetemek, kutatóintézetek, valamint ipari cégek olyan rendszerek kifejlesztésén dolgoznak, amelyek passzív és aktív szenzorok segítségével lehetővé teszik, hogy a jármű ne csak a saját belső állapotát érzékelje, hanem a dinamikus változó, komplex forgalmi környezetéről is információt nyerjen. Ez a képesség – megfelelő automatikus beavatkozással kiegészítve – többek között megteremti a veszélyes forgalmi helyzetek automatikus elkerülésének lehetőségét is, ezzel hozzájárulva a közlekedés biztonságosabbá tételéhez. A cikk egy olyan, általunk kifejlesztett sztereó gépi látórendszert mutat be, amely a járműre szerelt kamerák képe alapján képes a jármű aktuális forgalmi sávon belüli pillanatnyi helyzetét, orientációját, valamint a sáv alakját meghatározni a sávhatároló görbék háromdimenziós rekonstrukcióján keresztül.

Advanced driving assistance systems are targets of an intense multidisciplinary research and development activity in which both academic institutions and industrial companies participate world-wide. Equipped with active and/or passive sensors, the recently developed systems are not only capable of sensing the internal state of the vehicle, but can also gather information about their complex dynamic environment. This capability - together with an appropriate automatic intervention - makes possible the autonomous avoidance of potentially dangerous situations, that is, it primarily contributes to transportation safety. Herein, we present a novel stereo vision system that is capable of determining the vehicle's instantaneous position and orientation with respect to the actual lane, as well as, sensing the lane's profile from the video streams produced by two cameras mounted onto the host vehicle. This is performed via the 3D geometrical reconstruction of the lane boundary markings.

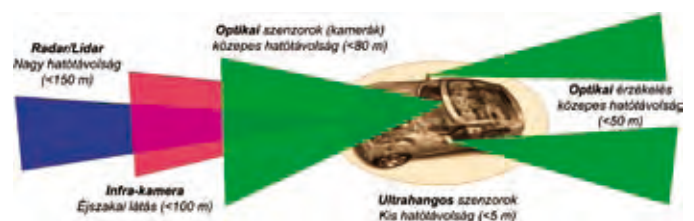
BEVEZETÉS

A gépjárművezetés biztonságát és hatékonyságát fokozó új műszaki megoldások jelentős hányada valamilyen intelligens közlekedési infrastruktúra kiépítését teszi szükségessé. Valószínűsíthető azonban, hogy a közeljövőben bevezetésre kerülő biztonságnövelő és hatékonyságfokozó rendszerek többségét mégsem az ilyen, komoly beruházásokat igénylő rendszerek, hanem a kisebb, a gépjárműveken belül elhelyezésre kerülő rendszerek teszik majd ki.

A gépjárművek korszerű biztonsági rendszereinek kutatásával, fejlesztésével foglalkozó szakemberek számára egyértelmű, hogy a gépjárművezetőket segítő rendszerek következő generációjába már mesterséges intelligencián alapuló megoldások kerülnek majd, s az is bizonyosnak tűnik számukra, hogy e rendszerek már autonóm módon fognak érzékelni, határozni és beavatkozni. Ez az érzékelés vonatkozásában megköveteli, hogy e rendszerek a gépjármű környezetét folyamatosan, kellő mérési és számítási sebességgel, valamint nagy megbízhatósággal derítsék fel, rekonstruálják. Az említett rendszerek döntéshozó komponense figyelembe kell vegye a jármű dinamikai állapotát mérő érzékelők jeleit, valamint a rekonstruált környezetből kinyerhető közlekedési helyzetet. Például egy ütközés előtt működésbe lépő mechanizmus vagy program esetében felmérendő, hogy az adott forgalmi helyzet veszélyes-e vagy sem, továbbá ha veszélyes, akkor elkerülhető-e vagy sem. A felsorolt esetek ugyanis nyilvánvalóan más és más beavatkozást tesznek szükségessé. E beavatkozások lehetnek például hallható és/vagy látható (vész)jelzések, vészfékezés, elkormányzás

vagy irreverzibilis, passzív biztonsági berendezések (pl. beltéri légzsákok vagy külső, a gyalogost védő mechanizmusok) működésbe hozatala.

A jármű környezetének érzékelésére különböző technológiájú, hatótávolságú, valamint iránykarakterisztikájú szenzorok használatosak (ld. 1. ábra): rádiófrekvenciás radar és lézerradar (lidar) kb. 150 m-es távolságig, infravörös szenzor (főleg éjszakai látásra) kb. 100 m-ig, ultrahangos szenzorok a jármű közvetlen, 5 m-en belüli környezetének érzékeléséhez (pl. parkolássegítő rendszerhez). Ezek mellett igen népszerű az optikai szenzorok (kamerák) alkalmazása, amelyek kb. 80–100 m-es távolságig használhatók. Az optikai szenzorok előnye, hogy passzív módon szolgáltatnak részletgazdag, vizuális információt a környezetről, így a meglévő infrastruktúra bővítése nélkül megvalósítható a gépi látás alapú sávelhagyás-detektálás, az automatikus sávtartás, a gépi segítségnyújtás a sávváltásban, az intelligens járműkövetés, az akadályokkal, járművekkel, gyalogosokkal szembeni ütközés elkerülése vagy ezek valamilyen kombinációja [1, 2].



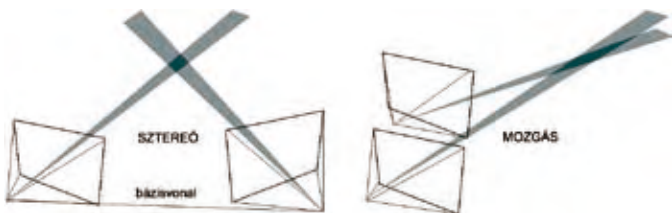
1. ábra: a környezet érzékeléséhez jellemzően használt szenzortípusok és az általuk monitorozott térrész a jármű körül

A képfeldolgozás feladata a fenti alkalmazásokban meglehetősen összetett, hiszen az alkalmazás szempontjából értékes információt el kell határolni a feldolgozandó, nagy mennyiségű, vizuális információból oly módon, hogy a feldolgozó algoritmus robusztus legyen a környezeti fényviszonyok változásaira, valamint különböző részleges takarási szituációkra. Az utóbbi években nemcsak a gépi látás és a többnézetes geometria, de a specifikusan, a járműves környezetben alkalmazott technikák is látványos fejlődésen mentek keresztül. A fent felsorolt különböző alkalmazásokhoz számtalan új, hatékony képfeldolgozási technika, numerikus eljárás született [1, 2].

Esetünkben a cél egy olyan sztereó gépi látórendszer kialakítása volt, amivel lehetővé válik a videó alapú sávellhagyás-detektálás, valamint a forgalmi sáv követése a szabványos sávhatároló felfestésekkel ellátott autópályákon és országutakon. A megvalósított látórendszer a feladatot a forgalmi sáv térbeli rekonstrukcióján keresztül valósítja meg. Sávkövetésnél a beavatkozást a gépjármű elektronikus kormányzervója (Electric Power Assisted Steering System, EPAS) végzi.

TÉRBELI REKONSTRUKCIÓS MÓDSZEREK

Térben mozgó kamera vagy kamerák esetén a fényképek vagy az időben szukcesszív képsorozatok (videofolyamok) számos olyan vizuális információt tartalmaznak, amelyekből rekonstruálható a környezet geometriája, valamint a kamera relatív helyzete a környezethez képest: mesterséges, kalibrált megvilágításnál az objektumok árnyaltsága, árnyékok, textúrák, reflexiók, szimmetriák, a pontok látszólagos mozgása (optikai mező, illetve mozgásból eredő parallaxis), továbbá több nézet (több kamera) esetén az eltérés a térbeli pontok különböző képein (elrendezésből eredő parallaxis). A legfontosabb 3D-rekonstrukciós technikák a struktúraszámítás mozgásból (Structure-from-Motion, SfM), az árnyalásból (SfS, Shape-from-Shading) és a sztereó rekonstrukció [3]. Az SfS ismert helyzetű fényforrások, ismert minőségű felületek esetén használható, így járműves környezetben leginkább az SfM és a sztereó technikák alkalmazása jön szóba. A térben mozgó kamera és a sztereó struktúra geometriai tekintetben rokon elrendezések, ezért az alkalmazott képfeldolgozási technikák sok tekintetben hasonlóak. A személygépkocsira rögzített, előre néző kamera és SfM esetén a rekonstrukciós bizonytalanság jóval nagyobb, mint sztereó esetben (ld. 2. ábra), mivel a kamera nézeti irányú mozgáskomponense legtöbbször dominál.



2. ábra: rekonstrukciós bizonytalanságok sztereó elrendezés esetén, illetve mozgásból való rekonstrukció (SfM) esetén

Az SfM legtöbbször az optikai mező (látszólagos mozgás) számításán alapszik, és feltételezi, hogy az egyes képek a kamera kismértékű elmozdulásai mellett készültek. Esetünkben gyorsan, akár 130 km/h-s sebességgel mozgó kamerákra számíthatunk, így az előbbi kritérium magasabb képfrissítési időt és számításigényt von maga után. A mozgás alapú rekonstrukciót megnehezíti, hogy az adott alkalmazásban a kamera nem statikus környezetben mozog, így sok esetben nehéz automatikus módszerekkel meghatározni, hogy a képen látszó mozgás a kamera mozgásából, vagy egy objektum mozgásából származik-e [3]. Mozgó kamera és dinamikus környezet esetén ugyanakkor általában is komolyan

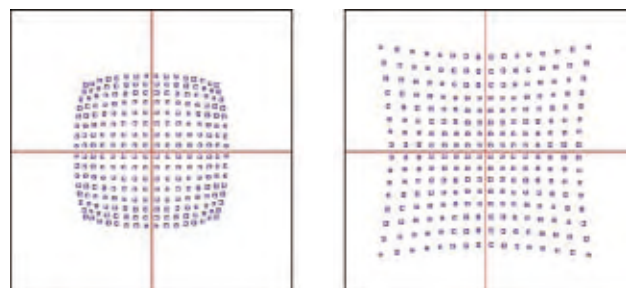
megfontolandó, hogy az optikai mező számítása és az egymástól függetlenül mozgó objektumok elkülönítése milyen sorrendben és hogyan épüljön egymásra.

Egyetlen kamera esetén az állóképekből (tehát a mozgás figyelembevétel nélkül) történő 3D-rekonstrukció csak abban az esetben lehetséges, ha a rekonstruálandó pontok egy – a kamera koordináta-rendszerben ismert helyzetű – felületen (pl. síkon) helyezkednek el [4]. Ennek megfelelően a monó sávdetektáló rendszerek legtöbbször feltételezik az út síkjának a helyét, és nem veszik figyelembe a kocsiszekrény (és ezzel együtt a kamera) különféle billenéseit az úthoz képest [5]. A rekonstruált sávhatároló görbék párhuzamosságát kikényszerítve lehetséges a feltételezett sík helyének a korrekciója és így a kocsiszekrény billenési szögeinek a becslése, azonban a sávhatároló görbék nem mindig párhuzamosak. Ilyenkor az út síkjának meghatározásában komoly hibát okozhat, ha a forgalmi sáv beszűkül (pl. mert meg fog szűnni). A sztereó rendszer előnye ehhez képest nemcsak az, hogy a 3D-rekonstrukció a sík helyének feltételezése nélkül is lehetséges, hanem, hogy objektumok, akadályok térbeli rekonstrukcióját is lehetővé teszik. Ilyen módon a továbbiakban a sztereó sávdetektáló rendszer továbbfejleszthető egy olyan látórendszerre, amellyel járműkövetés és ütközésselkerülés is megvalósítható [2,6]. Az eddigiek tükrében egy sztereó rendszer kifejlesztése mellett döntöttünk.

KAMERAMODELLEZÉS

A rekonstrukciós módszerek megértéséhez és használatához szükséges a kamerák által megvalósított 3D-2D leképezés matematikai leírása (modellezése). A járműves alkalmazásban jelentős perspektív torzulást szenved el a lefényképezett 3D környezet, mivel nagy a kamerák által monitorozott mélységi tartomány az út mentén, azaz közeli (<10 m) és távoli (>50 m) régiókat egyaránt érzékel az optikai szenzor. A perspektív torzulásokat a perspektív lyukkamera modellel szokás közelíteni, ami centrális projekción alapszik [3, 4]. A modellezett projektív leképezés homogén-koordináták alakjában felírva lineáris [4]. A leképezés 3×4 -es $\mathbf{P}$ mátrixa a kameramátrix, ami számítható, ha ismertek a következők: a kamera $\mathbf{t}$ helye a jármű koordináta-rendszerében; az $\mathbf{R}$ 3×3 -as, de csak 3 szabadságfokkal rendelkező forgatómátrix, ami a kamera orientációját írja le a jármű koordináta-rendszerében; a $\mathbf{K}$ kamera kalibrációs mátrix, ami csak belső (intrinsic) kameraparamétereket tartalmaz, és egy affin homogén leképezéssel modellezi a raszterizációt, azaz a világ centrális vetületének a digitális kép pixeleire való leképezését.

Mivel a valós kamerák lencségei nemlineáris torzításokat is okoznak a perspektív vetítés mellett, ezért a lyukkameramodellt kiegészítettük egy nemlineáris torzítási modellel, amely nemcsak a domináns, a képen radiális irányú torzítást (ld. 3. ábra), hanem az ún. tangenciális torzítást, azaz a lencsék és az optikai szenzor pontatlan pozícionálásából származó torzítást is modellezi.



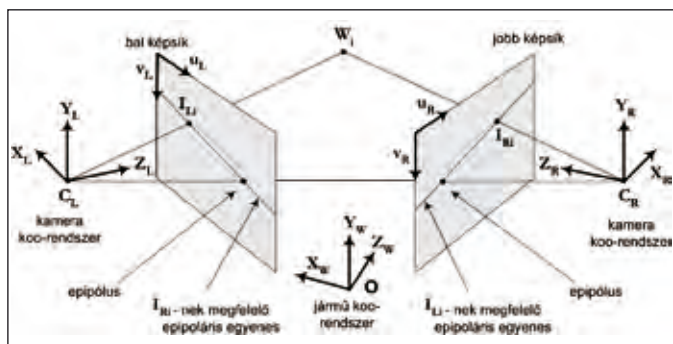
3. ábra: a radiális torzítás illusztrációja, az alkalmazott torzítási modell segítségével: hordórtorzítás (bal) és pártorítás (jobb)

A kamera pozícióját és orientációját leíró 6 független paraméter a külső (extrinsic) paraméterek. A kamera 9 belső paramétere a relatív fókusz távolságok, a tengelyferdeség, az optikai tengely dőléspontjának helye a képen, a radiális torzítás középpontja és együtthatói.

Belátható, hogy amennyiben a radiális torzítás ismert, a torzítás korrigálható a képek megfelelő újramintavételezésével, és ehhez a torzítási modellre van szükség, nem pedig annak inverzére. Az így kapott kép fényképezési modellje homogén koordinátákban már lineáris, mátrixa az eredeti modellből visszamaradó $\mathbf{P}$ kameramátrix.

EPIPOLÁRIS GEOMETRIA ÉS SZTEREÓ REKONSTRUKCIÓ

A sztereó gépi látás alapját képező kétnézetes elrendezés geometriájából – az ún. epipoláris geometriából (ld. 4. ábra) – következik az a feltétel, amely szerint, ha ismerjük az egyik nézetben egy térbeli pont képét, akkor a másik nézetben ugyan ennek a pont-



4. ábra: a kétnézetes elrendezés geometriája

nak a képe egy – az elrendezés ismeretében számítható helyzetű – egyenes mentén helyezkedik el. Ez az ún. epipoláris egyenes éppen annak a vetítésugárnak a képe a második nézetben, ami az első nézetben kiválasztott ponton keresztül halad.

Amennyiben egy térbeli pontnak ismerjük a két képét, és a két kamera összes paraméterét, azaz a lencsetorzításokat és a két kamera mátrixát, úgy a térbeli pont helye triangulációval meghatározható (4. ábra). A gyakorlatban a két vetítésugár mindig kitérő, mivel a képpontok helye nem mérhető matematikai pontossággal, ezért különféle triangulációs módszerek alakultak ki (lineáris trianguláció, felezőpontos trianguláció, Maximum Likelihood trianguláció a zajstruktúra feltételezésével stb.) [4].

A triangulációhoz először pontpárok keresésére van szükség a két képen. Ebben segítségünkre szolgál az epipoláris kényszer. Ezt kihasználva az első nézetben kiválasztott pontnak a második nézetben látható képét csak az epipoláris egyenes mentén kell keresni, és nem az egész képen (5. ábra). Ez nagy mértékben csökkenti a kereséshez szükséges számítási igényt.



5. ábra: néhány kijelölt pont a jobb oldali képen, és a nekik megfelelő, radiálisan torzított epipoláris egyenesek a bal oldali képen a lencsetorzítások és a fundamentális mátrix ismeretében, valós közötti felvételen. Az epipoláris kényszer minden pontra teljesül

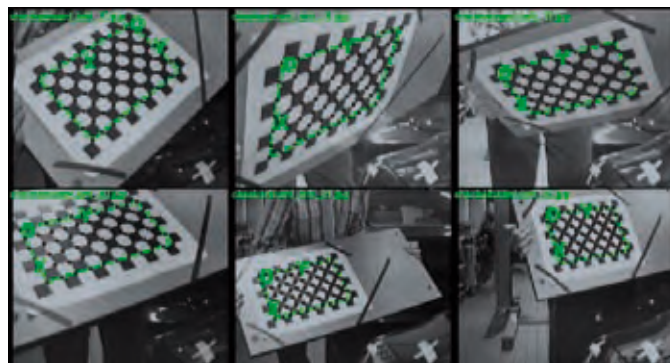
Amennyiben eltekintünk a lencsetorzítástól (vagy elhanyagolható vagy korrigáltuk), az első nézet pontjai és a második nézetben a pontoknak megfelelő epipoláris egyenesek homogén koordinátás reprezentációja között egy lineáris leképezés (ún. korreláció) teremti meg a kapcsolatot. A transzformáció mátrixa az $\mathbf{F}$ fundamentális mátrix. $\mathbf{F}$ az epipoláris geometriát jellemző 3×3 -as méretű homogén mátrix, amelynek ismeretében az epipoláris egyenesek számíthatók.

Fontos tétel, hogy amennyiben csak $\mathbf{F}$ ismert, úgy nincs információ a kamerák pontos elrendezéséről euklidészi értelemben, csak egy térbeli projektív transzformáció erejéig, azaz az egyik kamera mátrixa (az egyik projektív leképezés bázisa) tetszőlegesen megválasztható, és ehhez $\mathbf{F}$ segítségével meghatározható a másik kamera mátrixa. Ezek után a trianguláció elvégezhető, de az így kapott rekonstrukció csak egy a lehetséges sok közül. Ezek és a valódi euklidészi rekonstrukció között egy térbeli projektív transzformáció teremti meg a kapcsolatot, azaz csak ún. projektív rekonstrukció végezhető [4]. A járműves alkalmazásunkban azonban valódi euklidészi rekonstrukcióra van szükség, hiszen pontosan tudnunk kell, hogy a jármű koordinátarendszerében hol helyezkednek el a térbeli pontok. Ebben az alkalmazásban tehát az epipoláris egyenesek számításához ugyan szükséges, de nem elegendő az $\mathbf{F}$ fundamentális mátrix ismerete, szükség van külön-külön a két kameramátrix ismeretére is. Ezekből $\mathbf{F}$ számítható, de mint láttuk, visszafelé ez nem teljesül.

KAMERAKALIBRÁCIÓ

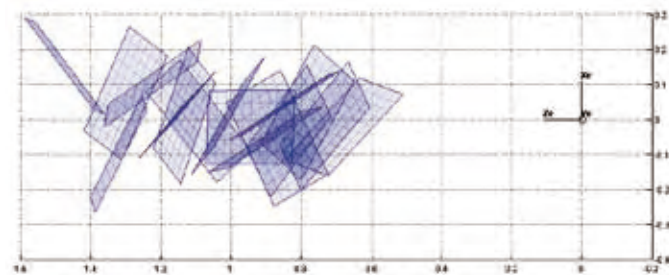
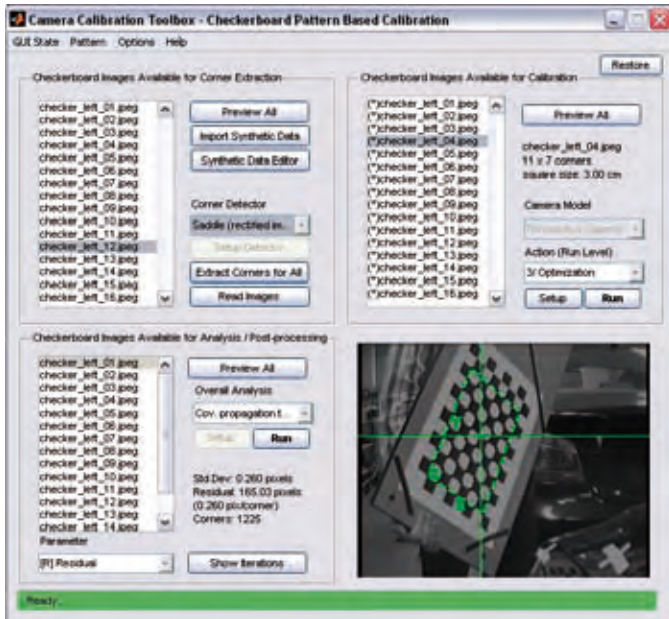
Amennyiben két összetartozó képen ismert legalább 7 összetartozó pontpár, úgy $\mathbf{F}$ az epipoláris kényszerből számítható a 7-pontos algoritmus segítségével (legalább 8 pontpár esetén pedig a lineáris, 8-pontos algoritmussal) [4]. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy ha semmilyen a priori információ nem áll rendelkezésre, de a két képen egy megfelelő automatikus párkeresési eljárással elegendő számú pontpárt tudunk találni, akkor $\mathbf{F}$ számítható. Így tehát a priori információ nélkül, akár teljesen automatizáltan is, de csak projektív rekonstrukcióra van lehetőség [4]. Sajnos esetünkben ez nem kielégítő, így az a priori információt a kameramátrixok, a kameraparaméterek ismeretét jelenti. Ezen paraméterek meghatározása a kamerakalibráció, amit előzetesen, a rendszer üzembe helyezése előtt kell elvégezni [9].

A kidolgozott eljárás kétféle lépéses. Az első lépésben a belső kamera paraméterek meghatározása történik külön-külön a két kamerára, a



6. ábra: a belső kameraparaméterek meghatározása egy ismert sík mintáról készített felvételek alapján történt

második lépésben pedig a kamerák pozícióját és orientációját (a külső paramétereket) számítjuk ki a jármű koordinátarendszerben. A belső paraméterek meghatározásához egy ismert, sík sakktábla-szerű mintát kell a kamerának megmutatni különféle orientációkban, és róla felvételeket kell készíteni (6. ábra). A felvételeken elvégzett képfeldolgozás alapján a belső paraméterek a [7]-ben részletezett optimalizálási módszerekkel meghatározhatók. Ehhez



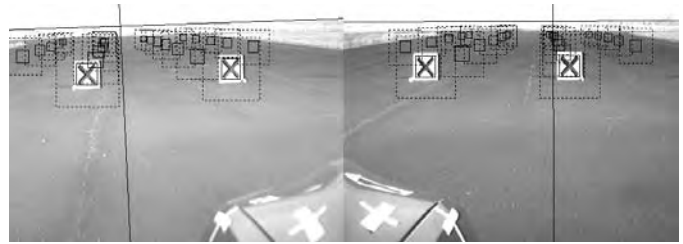
7. ábra: a belső kameraparaméterek meghatározásához felhasznált saját fejlesztésű Matlab Toolbox grafikus felülete (fent) és a kalibráció során kiadódó, optimalizált mintapozíciók (lent)

egy saját fejlesztésű *ccalib* Matlab GUI Toolbox állt rendelkezésünkre (7. ábra).

A *ccalib* Toolbox több, a kalibráció minőségét jellemző számítási funkcióval, kimutatással rendelkezik (zajanalízis, linearitási analízis, érzékenységi analízis stb.).

A külső paraméterek kiszámítását a már meghatározott és optimalizált belső paraméterek ismeretében egy másik saját fejlesztésű Matlab GUI Toolbox-szal végeztük (*xcalib* Toolbox). Ehhez külön kalibrációs méréseket végeztünk, amelyek során a visszapiantó tükrökhöz mereven rögzített kamerák elé egy sík marker-elrendezést alakítottunk ki a járműtől 40 m-es távolsáig, az elrendezésről felvételeket készítettünk (ld. 8. ábra), majd a markerek 3D pozícióját lézeres távmérőkkel is bemértük két referenciapontból. A kalibrációs felvételeken automatikus módszerekkel megkerestük a marker-középpontok képét, majd a mérések alapján meghatároztuk a külső kamera paramétereket [8].

Az *xcalib* Toolbox egy olyan sztereó optimalizálási módszert használ, ami figyelembe veszi a térbeli mérések hibáit is, és amelynek során a mért térbeli marker-elrendezést (az egyes



8. ábra: a külső kameraparaméterek meghatározásához felhasznált elrendezésről készült, már feldolgozott kalibrációs felvételek

markerek térbeli helyét) együtt optimalizálja a külső kameraparaméterekkel [8, 9].

A markerek megkereséséhez felhasznált keresési területek (szaggatott vonal) és az optimális kameraparaméterekkel visszavetített markerek (folytonos vonal) egyaránt láthatók a 8. ábrán. A markerek modellezett képe és a valós képük jó közelítéssel egybeesik, ami azt mutatja, hogy a kameramodellnek az optimalizált kameraparaméterek mellett jól közelítik a valódi leképezést.

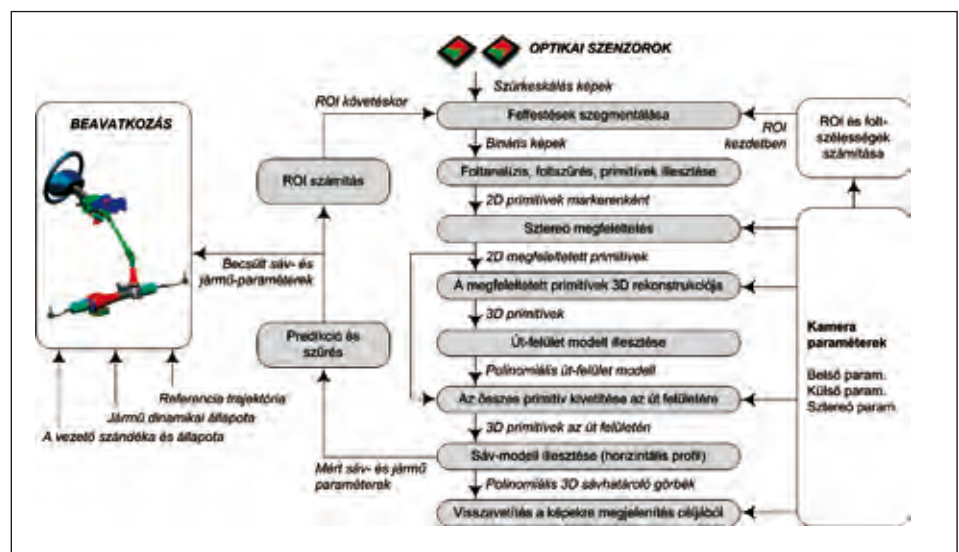
A kétlépéses kalibráció eredményeként – külön-külön a két kamerára – előállnak az optimalizált kameraparaméterek a jármű koordináta-rendszerében értelmezve. Ezekből összeállítható külön-külön a két kamera mátrixa, valamint kiszámítható a sztereó elrendezést jellemző **F** fundamentális mátrix. Ez utóbbit a 3D pontrekonstrukcióhoz nélkülözhetetlen pontpárosításnál fogjuk felhasználni az epipoláris egyenesek kiszámításához.

A SÁV MODELLJE

Az aktuális sáv modellje két részre osztható: az út felületének modelljére, valamint a sávhatároló görbék felülnézeti modelljére (horizontális profil). Az út-felület modellje egy paraméterekben lineáris, koordinátákban parabolikus felület:

$$\frac{n \cdot (n + 1)}{2}$$

ahol z a mélységi (longitudinális) koordináta a jármű hossztengeleyle mentén, x a laterális koordináta (jobbról balra nő), y pedig a magassági koordináta a kocsiszekrény koordináta-rendszerében. Az út-felület modell egyúttal a jármű x -tengeleyle körüli billenési (θ) és a z -tengeleyle körüli csavarodási (ϕ) szöveget is expliciten tartalmazza.



9. ábra: a megvalósított sztereó sávdetektáló algoritmus vázlata

A bal, illetve jobb oldali sávhatároló görbék felülnézeti, parabolikus modellje rendre az alábbi:

$$D_{i,j} = R_i + R_j = |\tilde{t} - \tilde{s}_i|$$

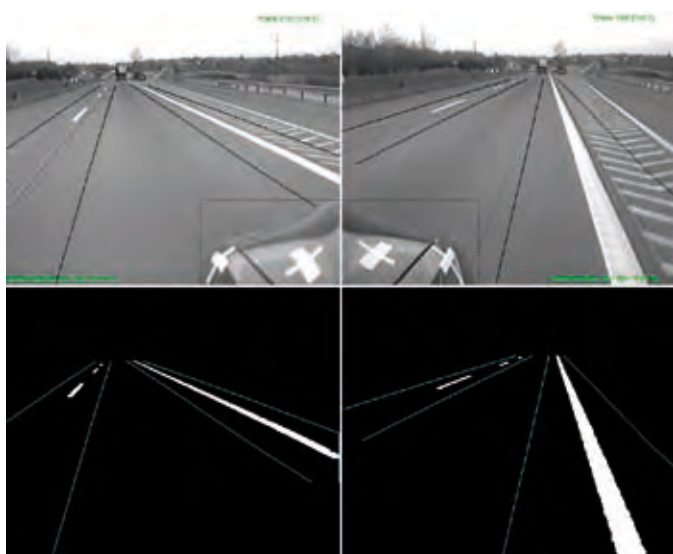
A sávdetektáló algoritmusban a sávhatároló görbék modelljét illesztjük ugyan, a sáv tartáshoz azonban a sáv középvonalának a modelljére van szükség. A fenti modell ekvivalens az alábbival:

$$\tilde{D}_{i,j} \Big|_{i=1 \dots 4, j=1 \dots 4}$$

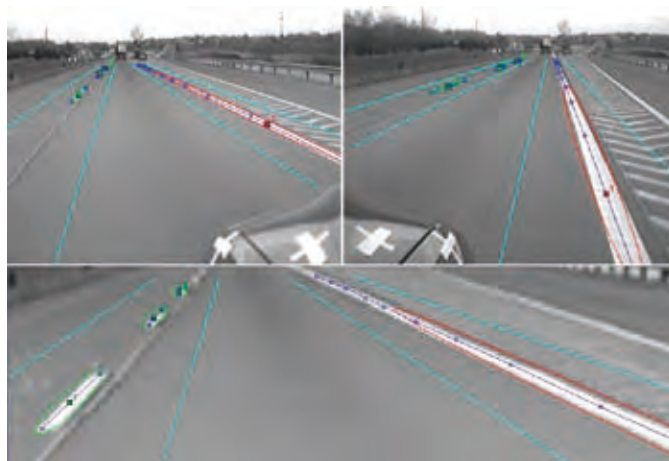
ahol $x(z)$ a sáv középvonala, $w(z)$ a sáv szélessége laterális irányban. A jármű orientációja $\psi = -\arctan(c_1)$, sávon belüli laterális pozíciója $(-c_0)$, a sáv valódi szélessége pedig tetszőleges z -re könnyen számítható. Amennyiben $l_1=r_1$, a sávhatároló görbék egymás laterális irányú eltoltsai. Ha emellett $c_2=0$, akkor a sávhatároló egyenesek párhuzamosak, a sáv szélessége konstans ($w_1=0$). A gépi látás feladata tehát az $(h, \varphi, \vartheta, c_v)$ út-felület paraméterek, és a $(c_0, c_1, c_2, w_0, w_1)$ horizontális sáv-profil meghatározása a képek alapján.

A SÁVDETEKTÁLÓ ALGORITMUS

A kifejlesztett sztereó sávdetektáló algoritmus a sávhatároló görbék sztereó rekonstrukcióján alapszik. A forgalmi sávok határvonalait az útburkolati jelek határozzák meg, ezért előbb ezeket kell automatikus módszerekkel megkeresni a képeken. A megvalósított sztereó sávdetektáló algoritmus lépései a 9. ábrán láthatók. Az útburkolati, sávhatároló felfestések szegmentálását (elkülönítését a háttértől) külön-külön végezzük el a két képen. Ehhez metrikusan meg kell adni a megkeresendő útburkolati csíkok várható szélességét és az erre vonatkozó toleranciát. Inicializáláskor az algoritmus feltételezi a következőket: az út felülete közelítőleg az $y(x,z)=0$ sík, azaz $(h, \varphi, \vartheta, c_v)=0$; a sáv középvonala a $(c_0, c_1, c_2)=0$ egyenes; a sáv szélessége egy konstans w_0 érték, azaz $w_1=0$ (pl. $w_0=3$ m). A sávmodell csak addig a $z_{\max}$ távolságig érvényes, ameddig a képi adat alátámasztja azt (a legtávolabbi detektált felfestés távolsága). Kezdetben ezt egy kisebb távolságra, pl. 15 m-re célszerű állítani. Az algoritmus futása közben a felsorolt paraméterek folyamatosan frissülnek. Inicializáláskor – amint a kezdeti modell által meghatározott régióban sávhatároló felfestéseket érzékel a rendszer – néhány egymást követő képkocka után a paraméterek beállnak a valós értékükre, és a sávmodell ráilleszkedik a valódi sávra.

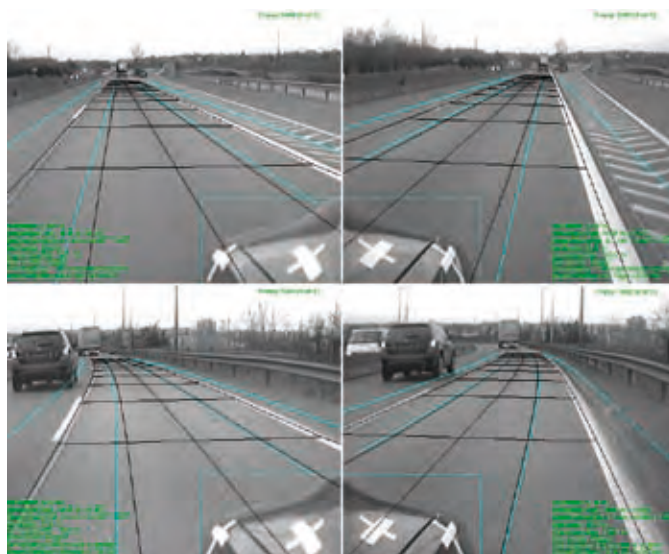


10. ábra: a kiindulási képek és a kijelölt keresési területek (fent), valamint a szegmentálás eredménye (lent)

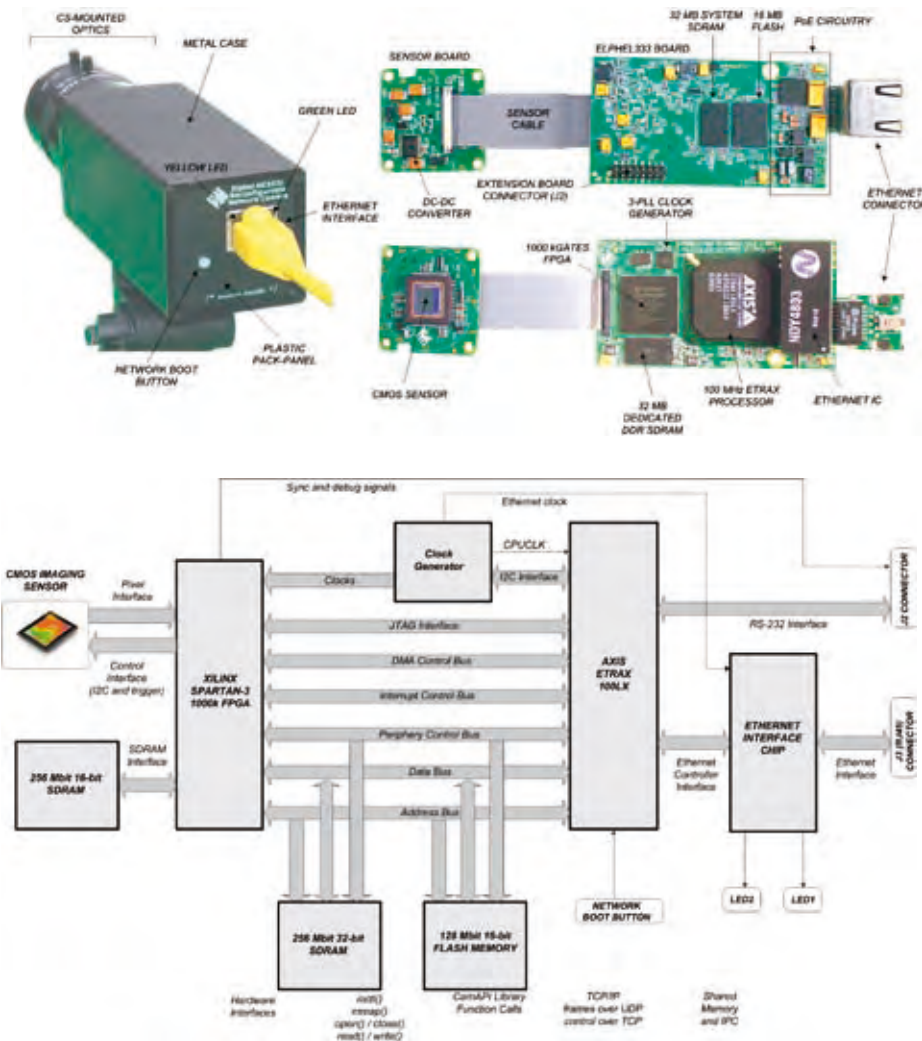


11. ábra: a lineáris, illetve törtszakaszos modellel leírt útburkolati jelek. Alul a bal kamera képének egy részlete van kinagyítva

A megadott csíkszélességadatok, valamint a kameramodellek ismeretében a kép egyes soraihoz tartozó látszó csíkszélességek minimumát és maximumát kiszámítjuk. A bal és jobb oldali kamera képen egyaránt leszűkítjük a sávhatároló csíkok keresési területét (Region Of Interest, ROI) a teljes képről a csíkok várható helyének környékére, ezáltal csökkentve a számításigényt (10. ábra, felül). A meghatározott zónán belül képsoronként végezzük a felfestések szegmentálását (10. ábra, alul). A képsor mentén vett intenzitásgörbében egy ismert szélességű világos részt keresünk sötétebb háttérben. Az intenzitásjelből eltávolítjuk a trendet és zajszűrést végzünk egyetlen lépésben, majd az eredményezett trendmentes és zajszűrt intenzitásgörbe mintáit osztályozzuk háttér- és előtérpixelexre a két osztályon belüli intenzitás-variancia minimalizálásával. Az így kapott bináris képeket foltanalízisnek vetjük alá, ami egy foltkeresésből (foltcímkezés), a megtalált foltok területének, excentricitásának és főtengelyének a meghatározásából és ezek alapján elvégzett foltszűrésből áll. A megmaradó foltokat osztályozzuk (rövid csík, hosszú csík), majd lineáris, illetve törtszakaszos modellel illesztünk a csíkokra (11. ábra). A törtszakaszos modell töréspontjait geometriai megfontolások alapján a perspektív torzulásnak megfelelően határoztuk meg, így a kép teteje felé haladva sűrűsödnek.



12. ábra: a megtalált sáv 3D-modellje, visszavetítve a két összetartozó forrásképre. Fent: a 10. és 11. ábrán látható képekhez tartozó eredmény. Lent: kanyarodó sáv detektálási eredménye



14. ábra: a sztereó sávdetektáló rendszerben felhasznált intelligens kamera hardvere (fent) és a hardver blokkdiagramja (lent)

A csíkok modellezésére ezen a feldolgozási szinten azért van szükség, mert a kamerák a visszapiantó tükrökhöz vannak rögzítve, ami aránylag nagy bázistávolságot eredményez. Ennek megfelelően a bal és a jobb oldali kép egyes pontjait a hagyományos korrelá-

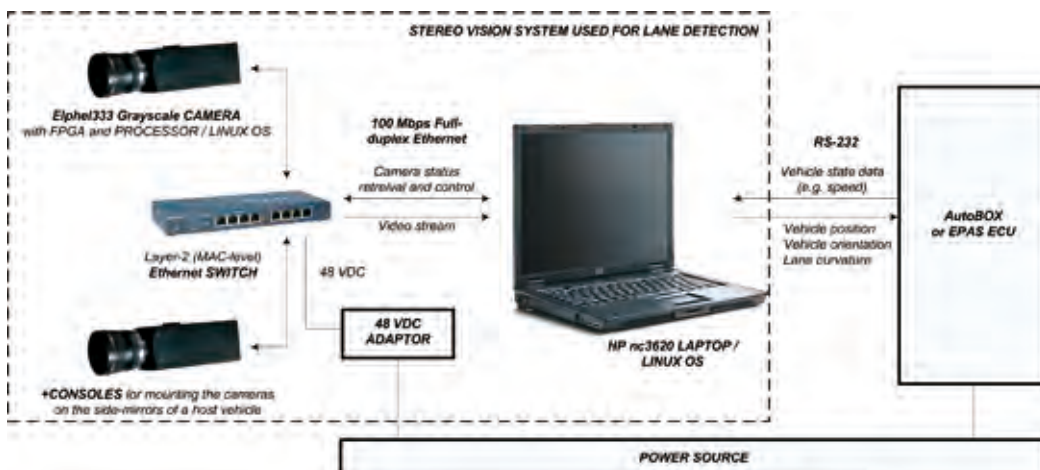
ciós módszerekkel nehéz megfeleltetni, hiszen a kiválasztott pont körüli lokális torzulások jelentősek. A törtszakaszos modell előnye, hogy párkeresésnél csak a modell lineáris szegmenseinek és a megfelelő epipoláris egyenesnek a metszéspontját kell kiszámítani. Ehhez először az egyik kamerán az egyik oldali sávhatóról csíkok modelljén adott sűrűséggel felvesszünk pontokat, kiszámítjuk a hozzá tartozó epipoláris egyeneseket az **F** fundamentális mátrix ismeretében, majd vesszük az egyenesek és az azonos oldali sávhatóról csíkmódellek metszéspontját a másik kamera képén.

A párosított pontokat a háromdimenziós térbe háromszögeljük, így a csíkok egyes pontjainak helyét megkapjuk a kocsiszekrény koordináta-rendszerében. Az eredményezett pontthalmazra egy robusztus LS-módszerrel ráillesztjük az út-felület modelljét, majd az út-felület modellre kivetítjük az összes kontroll-pontot, amely a csíkmódelleket meghatározza. Erre azért van szükség, mert nem mindig sikerül minden csíkmódelleből pontokat párosítani, és vetítés nélkül a párosítatlan szegmensek elvesznének. A rekonstrukció eredményeként az összes csíkmódell (ld. 11. ábra) térbeli helyzetét ismerjük a kocsiszekrényhez képest. Ezekre a szegmensekre egy többlépéses, a RANSAC-módszerhez [4] hasonló robusztus, iteratív módszerrel illesztjük a korábban tárgyalt polinomiális sávhatóról görbe modell. Az eredményezett 3D sávmodell a kameramódellekkel visszavetítve a kiindulási képekre, az eredmény verifikálható (12. ábra).

A SÁV IDŐBELI KÖVETÉSE A KÉPEKEN

Az illesztett sávmodell időbeli követését is megvalósítjuk a képeken. A jármű pillanatnyi sebességének és szögsebességének az ismeretében lehetőség van a sávhatóról görbék dinamikai modellezésére. A linearizált, diszkrét dinamikai modell $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k$

alakba írható, ahol $\mathbf{x}_k = (h_k, \phi_k, \theta_k, c_k, c_0, c_1, c_2, w_0, w_1)^T$ a gépi látás segítségével megmért paraméterek vektora és $\mathbf{u}_k = (v_k, r_k)^T$ a járműdinamikai jelek pillanatnyi értékeit tartalmazó vektor (v_k a jármű sebessége és r_k a pillanatnyi szögsebesség). A dinamikai modell segítségével prediktálható a sáv új helye Δt képfrekvenciás idő múlva. A prediktált sávmodell és a soron következő képek alapján, képfeldolgozással meghatározott sávmodell súlyozásával kiszámítható $\mathbf{x}_k$ (ehhez a sávmodell



13. ábra: a kifejlesztett sztereó látórendszer főbb egységei, valamint interfészei és tápellátása

súlyozott LS-újraillesztését kell elvégezni). A megoldás előnye a szokásos Kálmán-szűrő követéssel szemben az, hogy az egyetlen hangolható paraméter az említett súlyozás. Ezzel szemben a Kálmán-szűrő megvalósítása a kovarianciamátrixok pontos identifikációja nélkül gyakran hibás eredményre vezet. Az identifikáció esetünkben bonyolult probléma, és a Gauss-eloszlás feltételezése sem érvényes.

A SZTEREÓ LÁTÓRENDSZER HARDVERE

A sávdetektálás céljára kifejlesztett sztereó gépi látórendszer „szemei” két Elphel333 típusú, digitális hálózati kamera, amelyek fekete-fehér CMOS optikai szenzorral, beépített Xilinx Spartan-3 1000 kgate-es FPGA chippel és egy 100 MHz-es Axis Etrax 100 LX processzorral, valamint az ezen futó Linux operációs rendszerrel vannak felszerelve. A kamerákat a visszapiillantó tükrökhöz speciális konzolokkal rögzítjük. A képek begyűjtése és feldolgozása egy központi laptopszámítógépen történik, ami Intel Core Duo T2500 2 GHz/667 MHz/2 MB processzorral, 1024 MB SDRAM memóriával, továbbá szabványos párhuzamos, soros és 100 Mbps sebességű Ethernet interfésszel van felszerelve. A számítógépen a kifejlesztett szoftverek szintén Linux operációs rendszer alatt futnak. A kamerákkal Ethernet interfészen keresztül lehet kommunikálni, és a tápellátást is innen kapják (Power-over-Ethernet, PoE), amit egy PoE hálózati switch biztosít (13. ábra). A számítógép soros porton keresztül képes az EPAS-rendszerrel kommunikálni. Az EPAS-rendszer a járműdinamikai szenzorok pillanatnyi méréseit közvetíti, a képfeldolgozó rendszer pedig a pillanatnyi járműpozíciót, az orientációt és a sávpármetereket küldi el az EPAS számára.

Az Elphel333 kamera hardverének felépítése a 14. ábrán látható. A kamera eredetileg egy távoli felügyeletre alkalmas hálózati kamera volt, így az FPGA-ban megvalósított logika és a kamerában futó Linux alapú szoftverek is ennek megfelelően voltak kialakítva. Ezt a rendszert átalakítottuk egy olyan sztereó gépi látórendszerre, amelyben a képfelvétel hardveres szinkronizációval működik. Ennek megfelelően az FPGA-ban megvalósított hardvermodulokat teljes egészében kicseréltük, valamint a szoftverarchitektúrát is átalakítottuk. Mindez meglehetősen komplex feladatnak bizonyult. A kamerában az optikai szenzor egy I²C-interfészen keresztül programozható, és egy adat interfészen keresztül küldi a pixel-

adatokat és a szinkronjeleket az FPGA-ba. Az FPGA az Etrax processzor rendszerbuszára is csatlakozik, így a CMOS-szenzor és más perifériák kezelését egyaránt az FPGA-n keresztül lehetett megoldani.

Az FPGA-ban különféle konfigurációs célú regisztereket, a képérzékelő és a rendszermemória (SDRAM) közötti képátvitel megvalósításához közvetlen memória-hozzáférés (DMA) vezérlőjét, valamint az FPGA perifériamoduljai által használt megszakítás-rendszer regisztereit kellett implementálni. Ezt egészíti ki az – újabb képfeldolgozó hardvermodulok integrálásával viszonylag egyszerűen bővíthető – előfeldolgozó modul. Az Elphel333 kamerák szinkronizációs kábelrel történő szinkronizálását (ld. a 13. ábrát) végző modulok is FPGA-ban lettek megvalósítva. Az új FPGA-konfigurációban megvalósított modulok és interfészek a 15. ábrán láthatók. Az FPGA-modulokat Verilog nyelven, Xilinx ISE WebPACK környezetben fejlesztettük ki.

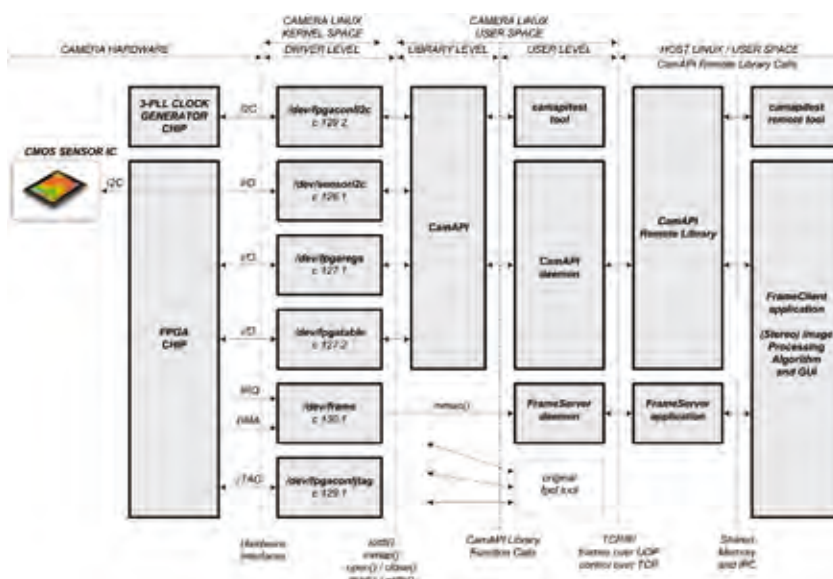
A KAMERÁK ÚJ SZOFTVERARCHITEKTÚRÁJA

Az új céloknak, valamint az FPGA megváltozott interfészeinek és működésének megfelelően a kamerák szoftverarchitektúráját is át kellett alakítani. A teljes szoftver keretrendszert mutatja a 16. ábra. Az ábrán nemcsak a kamerán, hanem a központi számítógépen futó szoftverkomponensek is fel vannak tüntetve.

A sávkövető rendszer szoftverrendszerének elsődleges feladatai a kép továbbítása az FPGA-ból az Ethernet hálózatra, valamint az optikai szenzor beállítása. A szoftvermunkálatok ennek megfelelően igen szerteágazóak voltak. Több Linux illesztőprogramot (kernel módú driver modulokat), egyebek közt DMA-kezelő, I²C-kommunikációs, megszakításkezelő illesztőprogramokat, továbbá egy programozói felületet (Camera Application Programming Interface, CamAPI) is létre kellett hozni. Ez utóbbit keresztül lehetséges függvényhívásokkal a szenzor viselkedésének a beállítása felhasználói programokból (expozíciós idő, felbontás, ablakpozíció stb.). Megjegyzendő, hogy a CamAPI funkciói, szolgáltatásai más, a lokális hálózatra kapcsolódó számítógépeken futó alkalmazások számára is hozzáférhetőek, miközben a hálózat transzparens ezen alkalmazások számára. Ezt a szolgáltatást az ún. távoli CamAPI interfész biztosítja, ami a központi számítógépen foglal helyet (16. ábra). Meg kellett továbbá oldani az Ethernet-hálózaton keresztül történő nagy sebességű képátvitelt is, a kamerától a központi számítógépbe. Az említett szoftverkomponensek mindegyikét C programozási nyelven implementáltuk és az Etrax processzor CRIS-architektúrára a *cris-gcc* fordítóval fordítottuk le. A szoftvermunkálatok részeként újragondoltuk és módosítottuk a kamera processzorán futó teljes Linux-disztribúciót, továbbá egyszerűsítettük és automatizáltuk a szoftverek fordítási, linkelési lépéseit. Ezáltal a szoftverfejlesztés egyszerűbbé, gördülékenyebbé vált.

KÉPFELDOLGOZÁS A KÖZPONTI SZÁMÍTÓGÉPEN

A központi számítógép feladata a képek fogadása két Elphel333 kamerától, a kamerák hálózaton keresztüli, távoli beállítása, a vett képek automatikus, sztereó feldolgozása, a képfeldolgozás eredményeinek a megjelenítése, valamint az EPAS-rendszerrel való kommunikáció. Ehhez C++ nyelven egy szoftver keretrendszert valósítottunk meg, amelyben a képek fogadását és feldolgozását két kü-



16. ábra: a kifejlesztett sávdetektáló rendszer szoftverarchitektúrája, ami a kamerán futó és a központi számítógépen futó komponenseket is magába foglalja

lön processz végzi. A processzek között kialakított komplex képkocka-továbbítási mechanizmus lehetővé teszi, hogy egy áttekinthető kialakítású, kódismétléstől mentes szoftverrel akár videofájlokból (off-line módon), akár Elphel333 kameráktól fogadjunk képeket, és a kép forrása feldolgozás számára transzparens legyen. A szoftver számos videoformátum dekódolására képes, a *libavcodec* programozói könyvtár felhasználásával. A megjelenítéshez a Simple DirectMedia Layer (SDL) multimédiás függvénykönyvtárat használjuk, így a szoftver működik a grafikus konzolon is Linux alatt, kikerülve az X ablakozó rendszert, amivel a processzoridő jobb kihasználását érjük el. A képfeldolgozáshoz az Intel cég Open Computer Vision (OpenCV) függvénykönyvtárát is felhasználjuk, ami sok, gyakran használt képfeldolgozási rutint tömörít magába.

ÖSSZEFOGLALÁS ÉS ÉRTÉKELÉS

Megvalósítottunk egy nagy bázistávolságú, sztereó gépi látórendszert, amely az általunk kidolgozott sávdetektáló algoritmus segítségével képes a járműpozíció és az orientáció, valamint az aktuális sáv alakjának a meghatározására a sáv térbeli geometriai rekonstrukcióján keresztül. A munka során megoldottuk a sztereó látórendszer igényes, off-line kalibrációját, kidolgoztunk egy robusztus sávdetektáló algoritmust, valamint kifejlesztettük a látórendszer működőképes hardver- és szoftverkomponenseit. A rendszer 10 Hz képfrissítési sebesség mellett 640x480 felbontású képek feldolgozására van felkészítve.

A sávdetektáló rendszer a későbbiekben kiegészíthető egy sztereó látás alapú akadály/jármű detektálással, amivel nemcsak a sávkövetés, de az ütközésselkerülés vagy a járműkövetés is megvalósítható lenne. Ígéretes továbbfejlesztési lehetőség még a rendszer menet közbeni, automatikus kalibrációjának a megoldása, azaz a mechanikai rezgések okozta elkalibrálódás detektálása és a kameraparaméterek részleges korrekciója, az epipoláris kényszer

és a mozgás együttes figyelembevételével. A különböző típusú szenzorok (radar, infra, optikai) fúziója pedig szintén egy, az ilyen rendszerek működési tartományát és robusztusságát növelő megoldás és ígéretes kutatási irány.

Irodalom

- [1] Bertozzi, M. et al.: Artificial vision in road vehicles. In: Proceedings of the IEEE, 90(7), 2002. 1258-1271. p.
- [2] McCall, J. C., Trivedi, M. M., Video Based Lane Estimation and Tracking for Driver Assistance: Survey, System, and Evaluation, In: IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 7(1), 2006. 20-37 p.
- [3] E. Trucco, A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [4] Hartley, R., Zisserman, A., Multiple View Geometry in Computer Vision, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006.
- [5] Gáspár, P. et al., Visual lane and obstruction detection system for commercial vehicles. In: 4th IFAC Symposium on fault detection supervision and safety for technical processes. Budapest, Hungary, 2000. 908–913 p.
- [6] Nedevschi, S. et al., Driving environment perception using stereovision, In: IEEE IVS'05, Las Vegas, Nevada, USA, 2005. 331-336 p.
- [7] Bódis-Sz., A., Camera Calibration and Pose Estimation using Planar Features and Sensitivity Analysis, In: Proceedings of the 15th PhD Mini-Symposium, Budapest, Hungary, 2008. 8-11 p.
- [8] Bódis-Sz., A., Dabóczi, T., Fazekas, Z., A Far-Range Off-line Camera Calibration Method for Stereo Lane Detection Systems, In: IEEE Proceedings of the IMTC, Warsaw, 1-3. May 2007.
- [9] Bódis-Sz., A., Dabóczi, T., Fazekas, Z., Calibration and Sensitivity Analysis of a Stereo Vision-Based Driver Assistance System, In: Stereo Vision, In-Tech, Vienna, Austria, 2008.

A proporcionális féklámpák hosszú távú hatásai

Fekete Róbert Tamás
doktorjelölt, PhD hallgató,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem Mechatronika,
Optika és Gépészeti
Informatika Tanszék

dr. habil Ábrahám György
az MTA doktora, egyetemi
tanár, Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem Mechatronika,
Optika és Gépészeti
Informatika Tanszék

Az alábbi cikk rövid összefoglalója egy hároméves kutatásnak és kísérletsorozatnak, amelynek keretében a proporcionális féklámpák emberre gyakorolt hatásait vizsgáltuk. A legutóbbi cikkünkben a reaktív tesztekkel kapcsolatos eredményekről számoltunk be. Jelen cikkünkben az interaktív tesztekkel kapcsolatos eredményekről írunk. A proporcionális féklámpákat, hely hiányában, még felületesen sem áll módunkban bemutatni, így az irodalomjegyzékben ezzel kapcsolatos cikkeket jelöltünk meg. Jelen cikkben bemutatásra kerül a proporcionális féklámpák hatásait vizsgáló interaktív teszt szoftverkiértékelő algoritmus, a kísérleti terv és a teszteredmények rövid, tézisszerű összefoglalása. A cikk rövidsége miatt sajnos nem áll módunkban a kutatás minden részére kellő mélységben kitérni, de egy átfogó képet reményeink szerint kialakíthatunk az olvasóban.

In this paper we will show you the essence of researches of proportional stop lamps. Beneficent influences of proportional stop lamps will out in transportation. We will demonstrate the interactive measuring process, tentative plan and the results of researches shortly. For the sake of shortness of paper unfortunately we can not talk about this topic with due fully but we hope we will able to give you an extensive, overall picture.

BEVEZETÉS

Köztudott, hogy az emberiség hatalmas erőfeszítéseket tesz a közlekedési balesetek számának csökkentése érdekében világ-szerte. E cél elérése több úton is lehetséges, amelyek egyike a gépjárművezetőt segítő fényjelek alkalmazása. Ezek nem a vezetőtől függetlenül működő segédrendszerek, hanem a vezetőnek vizuális segítséget nyújtó kijelzők, amelyek nem csupán a fékezés tényét jelzik ki, de a fékezés intenzitását is. Kutatásaink célja, hogy meghatározzuk ezen segédrendszerek vezetőkre és a közlekedésre gyakorolt hatásait.

MÉRŐÁLLOMÁS, SZIMULÁCIÓS ELJÁRÁS

A kijelzők és tesztalanyok validálására és komparálására kifejlesztett mérési eljárás és mérőállomás praktikusán alkalmas a reagálási idő, szívritmus-variabilitás, járműparaméterek, humán paraméterek, fékezési reakciókarakterisztika hatékonyabb felvételére és objektívebb feldolgozására. A rendszer sajátja egy a mérés egészére jellemző, azt leíró, a reakciók jósági fokaként értelmezhető indexszám meghatározására alkalmas kiértékelő algoritmus, szimulációs szoftver és egy a valós igénybevételeket szimuláló pneumatikus vezetőülés.

A mérési eljárással vezetőket és tesztalanyokat lehet összehasonlítani és csoportosítani. Az eljárás alkalmas a reagálási idő meghatározására, egy EKG-jeleket vevő mérőóra és szenzor összeállítás alkalmazásával a szívritmus-variabilitás mérésére, a mérőszoftver által szolgáltatott járműparaméterek regisztrálására, a mérésvezetőkön keresztül az emberi tényezők rögzítésére és a fékezési karakterisztikák felvételére, amelyeket a LOLITA (Long-term Overall Lamp and Indicator Tester and Analyser) mérőrendszer rögzít. Az interaktív tesztter egy minimális erőforrás-igényű szoftver, amely a tesztalanyok válaszreakcióira visszacsatolva változtatja meg a közlekedési szituációt, így lehetőség nyílt a

vezetők valósághű tesztelésére. A mérési kiértékelő szoftver rengeteg – számszerűsítve közel 20 000 db – fékezési karakterisztikát dolgozott fel az eredmények kinyerésének érdekében. A interaktív, szimulációs szoftver nem előre felvett videókat játszik le a tesztalanyoknak, hanem jól definiált paraméterekkel rendelkező, interaktív szimulációs anyagot. Az interaktív tesztter – a reaktív teszteredményekből látható, hogy a napszak faktor indifferens – csak éjszakai szimulációkat vetít, amivel egyébiránt a faktorok számát, így a mérési időt is csökkenti. Az interaktív teszt faktorai a következők voltak: proporcionális kijelző jelenléte és fékezési intenzitás. Míg előbbinél két faktorszint volt – jelen van / nincs jelen, ill. kiegészítő féklámpa van felszerelve –, addig a másodikonál 3+2 faktorszint volt – erős fékezés / gyenge fékezés / motorfék és kis gyorsulás / nagy gyorsulás. Ezt a jelentős redukciónak azért tudtam elkövetni, mert az interaktivitás már jelzett előnyeire támaszkodva, a tesztalanyokra bízom a szimuláció menetét. Azaz a fékezési távolságra nem állítottam peremfeltételt, csupán a fékezési intenzitásra. A jósági fokot – továbbiakban HQC, human reaction quality coefficient – a következő mért, normált faktorok súlyozott értékei alkották: átlagos távolság, átlagos sebességkülönbség, átlagos gyorsuláskülönbség, ráfutások száma, reagálási idő, gyorsulásértékek aproximációs variabilitása, távolságértékek aproximációs variabilitása, a tesztalany és a mérésvezető által becsült megterhelés, a tesztalany és a mérésvezető által becsült elégedettség.

Sebességváltoztatást igénylő közlekedési helyzetekben adott humán reakciók validálására, komparálására praktikusabban alkalmazható egy olyan eljárás, amelyben a reakció minden lényeges értékelési kritériumát egyetlen változóba, jósági fokba sűrítjük, és amellyel így egy objektívebb, összevetésre jobban használható viszonyszámot kapunk. A sebességváltoztatási reakció jósági foka, a HQC-érték a következő elemeket tartalmazza: a járművek távolságának, sebességének, gyorsulásának/lassulásának átlaga, ráfutások száma, reagálási idő, gyorsulás és távolság variabilitása,

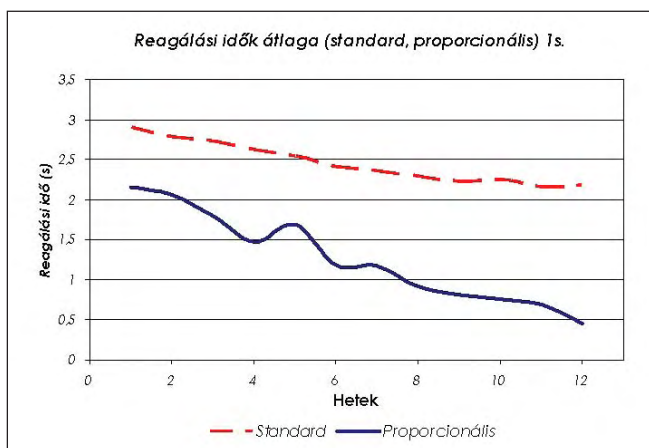
mentális megterhelés, vezetői elégedettség. A HQC-érték proporcionális kijelzők esetében szignifikánsan nagyobb.

A HQC-értéket jól definiált algoritmussal lehet számítani. Használatának nagy előnye, hogy a reakciók minőségét kompakt formában írja le. Amíg értékének átlaga standard esetekben hozzávetőlegesen 0,45 és 0,60 között mozgott, addig proporcionális esetekben ez a tartomány 0,45 és 0,85 között volt – természetesen az egyes mérések tekintetében 0,00 és 1,00 között mozogtak az értékek. A HQC-érték magában hordozza az egyes alkotórészek fontosságát is súlyozás formájában. Ennek köszönhetően a fontossági értékek megváltoztatása a mérési cél függvényében lehetséges.

KUTATÁSI EREDMÉNYEK

Reagálási idő változása

Fékezési, illetve gyorsítási inger hatására, lassulási, illetve gyorsulási intenzitást kijelző proporcionális kijelzők alkalmazásával és anélkül mért humán reagálási idők eltérése az információbővellet ellenére rövid távon nem szignifikáns, hosszú távon a standard kijelzők hátrányára, rendre növekszik, és a különbség szórása csökken. A proporcionális kijelzők alkalmazása előnyösen hat a humán reagálási időkre, főleg hosszú távon, megfelelő tanulási fázis után.



1. ábra: reagálási idők változása az idő függvényében

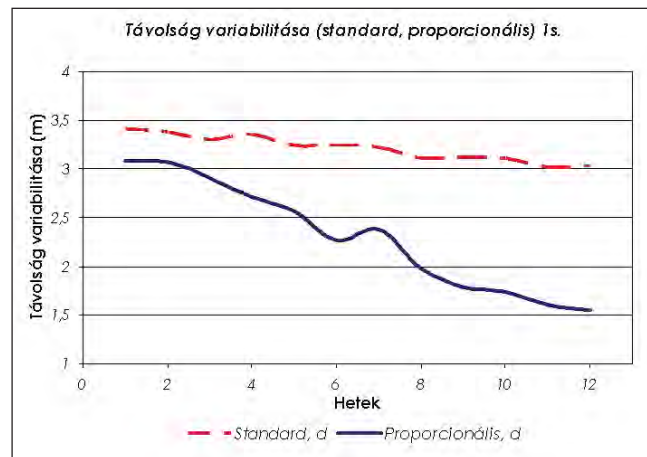
A reagálási idő persze mindkét esetben csökken, de hosszú távon nagyobb mértékben csökken proporcionális esetekben. A reagálási idő magában hordozza a reakcióidőt, a humán elemzéshez szükséges, feldolgozási időt és a szándékos várakozás, ún. relaxációs időt. Ha pusztán a reakció gyorsaságát vizsgálánánk, akkor minden bizonnyal standard kijelzővel lehetne kisebb értékeket elérni a kisebb információ átadása miatt, de ezt nem tehetjük, hiszen a közlekedésben nem csupán a gyorsaság a fontos, hanem a pontosság is.

Proporcionális kijelzők hatásai

Proporcionális kijelzők alkalmazásával, a biztonsági szint tartása vagy javulása mellett, megfelelő tanulási fázis után, az optimális lassítási és/vagy gyorsítási szint megválasztásának valószínűsége és a vezetői elégedettség növekszik. Tehát a hibás emberi döntések száma csökken. A fékezési és/vagy a gyorsítási szint oscillálása, a fékezési és/vagy a gyorsítási szint oscillálásának szórása, a járművek közötti követési távolság, járműtávolságok oscillálása, járműtávolságok oscillálásának szórása, és a mentális megterhelés nagysága csökken.

A biztonsági szint tartását a ráfutások számának alakulásával igazoltuk, amely a proporcionális esetekben helyenként ugyan felülmúlja a standard kijelzős eseteket, de ezen eltérés még rövid

távon sem szignifikáns, hosszú távon pedig egy konvergáláson túlmutató javulás vehető észre a proporcionális kijelzők tekintetében. A hibás emberi döntések száma és a fékezési és gyorsítási szint megfelelő megválasztásának valószínűsége között a korrelációs koefficiens egy –1-hez közeli szám, tehát akár egy témakörként



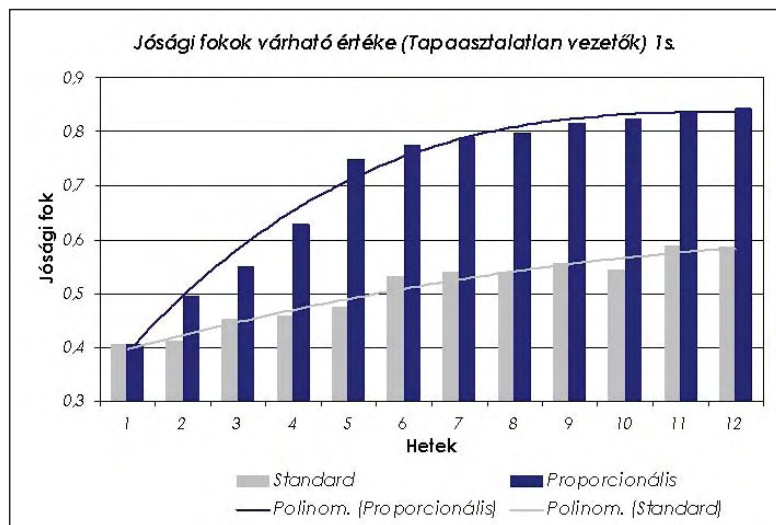
2. ábra: járműtávolságok változékonysága az idő függvényében

is kezelhetjük őket. A helyes reakció azt jelenti, hogy a tesztalany hozzávetőlegesen eltalálta az előtte haladó jármű fékezésének, ill. gázadásának mértékét, és ennek megfelelően reagált. A változó tényező indikátora lehet az átlagos gyorsuláskülönbség és sebességkülönbség. Ezek a paraméterek kifejezik, hogy a vezető milyen mértékben követte az előtte haladó jármű pedálhasználatát és az ennek következtében kialakuló sebességét. Az elégedettség mérésére a már vázolt megkérdézési elvet követtük. A tesztalany saját bevallása szerinti és a mérést vezető véleménye szerinti értékek átlagát vettük az elégedettség mértékének. Az eredmények e tekintetben a kezdeti bizonytalanságok után nem hagytak bizonytalanságot maguk után, és a grafikonokból tisztán látható, hogy a tesztalanyok jóval elégedettebbek voltak a proporcionális kijelzőkkel. A mentális megterhelés mérésére a szubjektív véleményt és a HRV-mérést redundáns módon használtuk. A tesztalany saját bevallása szerinti és a mérést vezető véleménye szerinti értékek átlagát vettük a megterhelés mértékének. Az eredmények azt mutatták, hogy a tesztalanyok csaknem az egész kísérletsorozatban megterhelőbbnek érezték a standard helyzeteket. A HRV-mérési eredmények ennél objektívebbek voltak, és azt mutatták, hogy a kezdeti időszakban a proporcionális kijelző még okozott némi bizonytalanságot, a megterhelésértékek nem szignifikáns, de láthatóan magasabb értékeket mutattak a standard méréseknel. Azonban a kísérletsorozat felétől már szignifikánsan alacsonyabb megterhelési értékeket kaptunk – azaz alacsonyabb HRV-értékeket. Végeredményben tehát kimondhatjuk, hogy a proporcionális kijelzők hosszú távon kevésbé okoznak mentális megterhelést a vezetőknél. A fékezési, ill. gyorsítási szint oscilláció megfelelő indikátora az egyes mérésekre vonatkozó gyorsítási szint variabilitása. Ez az érték megadja, hogy a vezetés során a tesztalanyok milyen nyugodtsággal használták a pedált, ill. hogy mennyire voltak bizonytalanok magukban a reakcióikat illetően. A gyorsulás variabilitásának szórása pedig azt adja meg, hogy a különböző tesztalanyok a standard és proporcionális esetekben mennyire használták a pedálokat egymáshoz hasonló módon. A mérés eredménye szerint a proporcionális kísérletekben a tesztalanyok egymáshoz igen hasonlóan reagáltak, amíg a standard esetekben ez az érték az idő függvényében erős ingadozást mutatott, majd a proporcionális eredményekhez konvergált. Ennek eredményeképpen belátható, hogy a proporcionális kijelzők

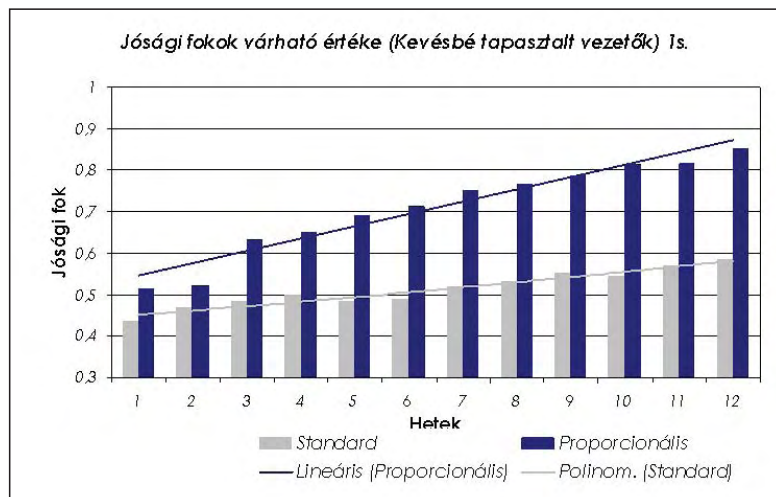
használatával a reakciók szórása csökken, tehát a vezetési bizonytalanság javul. Hasonló a helyzet a távolságértékek variabilitásával. Ez az érték a vezetők teljesítményének megfelelő indikátora. Általános esetben megfogalmazható, hogy a gyorsulásértékek variabilitása fordítottan arányos a távolságértékek variabilitásával, azonban létezik elvi lehetőség mindkettő javítására, így a vezetési teljesítmény optimalizálására. A távolságok variabilitása kifejezi, hogy a tesztalányok milyen mértékben voltak képesek követni az előttük haladót, és távolságuk miképpen ingadozott. Természetesen ezen érték csökkentése lenne a célunk. A gyorsulásértékek variabilitásának szórásához nagyon hasonlóan értelmezhetjük a távolságértékek variabilitásának szórását is. Ez a paraméter megadja, hogy a különböző tesztalányok reakciói milyen közel álltak egymáshoz. A kísérlet eredményei azt támasztják alá, hogy proporcionális kijelzőkkel ez a bizonytalanságérték a vizsgált időszakban rendre nagyobb volt. Azonban meg kell említeni, hogy az utolsó néhány héten bekövetkezett szóráscsökkenés, amely a standard esetekhez konvergálta a proporcionális értékeket, meggyőzött arról, hogy a proporcionális kijelzőknél mért értékek nagyobb tanulási fázis után alulmúlják a standard esetekben mért értékeket. Ez azt jelenti, hogy proporcionális kijelzők esetében, a vizsgált időszakban a tesztalányok reakcióinak különbözősége nagyobb mértékű volt, mint standard esetekben. Az átlagtávolság kézenfekvő indikátora a követési távolságoknak, amelyeket csökkenteni szeretnénk. Az erre vonatkozó eredmények azt mutatták, hogy proporcionális esetekben, a kísérletsorozat elején az átlagtávolságok átlaga – összesítve – közel 5 méterrel, a kísérletsorozat végén 10 méterrel volt kevesebb, mint standard esetben.

Vezetési tapasztalat, tanulási fázis

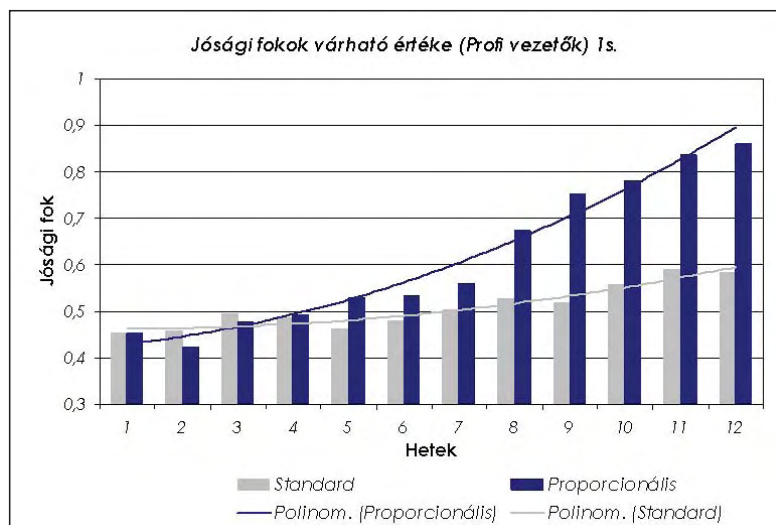
A proporcionális kijelzők alkalmazásának fent említett hatásai rövid távon szignifikánsan nagyobbak kevesebb tapasztalattal rendelkező vezetőknel és megfelelő perceptuális, kognitív és motoros tanulási fázis után. Tapasztalt vezetők esetében a proporcionális kijelzők használata megfelelő – a HQC-érték függvényében – tanulási fázis nélkül negatívan befolyásolhatja a sebességváltoztatást igénylő közlekedési helyzetekben adott reakciók minőségét, azonban a tapasztalatlan és tapasztalt vezetők közötti különbségek hosszú távon kiegyenlítődnek. A tanulási fázis alatti teljesítményváltozás üteme a megadott polinomokkal jól közelíthető. A tesztalányokra jellemző tapasztalati szint nem összetévesztendő a vezetési tapasztalattal. Az utóbbi években mérendő, az előbbi pedig háromszintű és a kísérletsorozatokban három csoportra bontva szerepeltek: tapasztalatlan, kevesebb tapasztalt és profi vezetők. A vezetőknek, akiknek még nincsenek oly nagy mértékű beidegződéseik, megszokásaik a vezetéssel kapcsolatban, sokkal inkább ki tudják használni a proporcionális kijelzők által nyújtotta lehetőségeket, előnyöket. Avagy a tapasztalatlan vezetőknel mért HQC-értékek – amelyek a reakciók minőségét fejezik ki – a vizsgált időszakban nagyobbak, mint a profi vezetőknel. Megfelelő tanulási fázis után – megfelelő tanulási fázisnak az az időintervallum minősül, amelynek végén a HQC-értékek rendre magasabbak



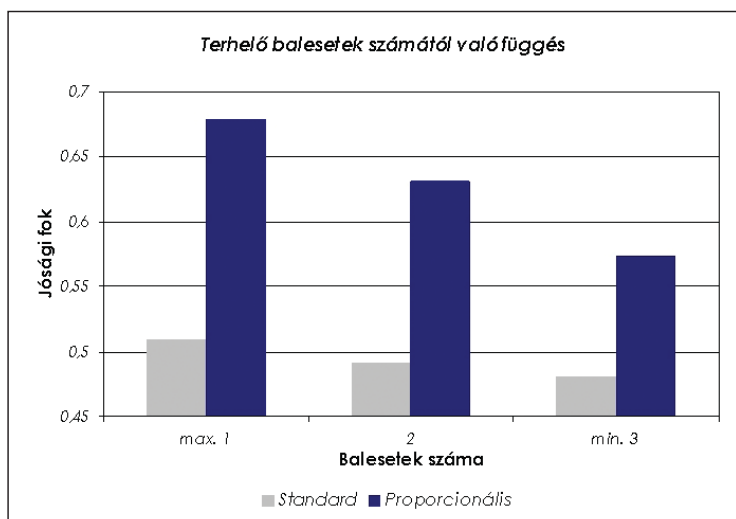
3. ábra: fékezési reakció minősége tapasztalatlan vezetők esetében



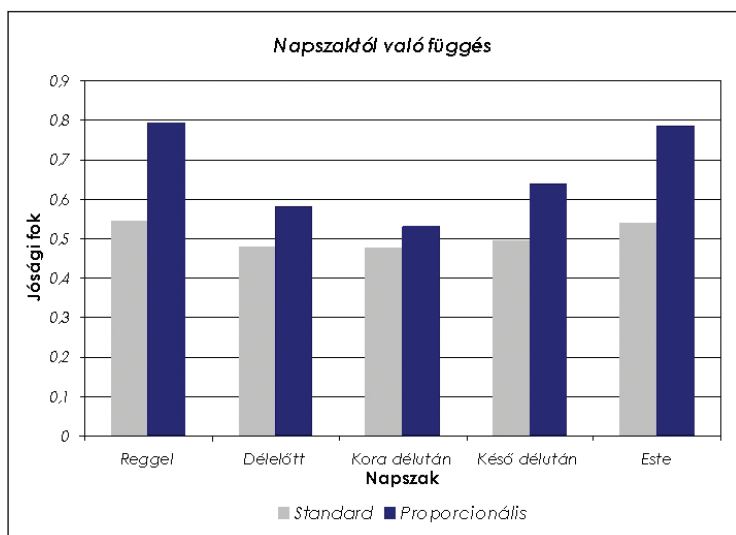
4. ábra: fékezési reakció minősége kevés tapasztalattal rendelkező vezetők esetében



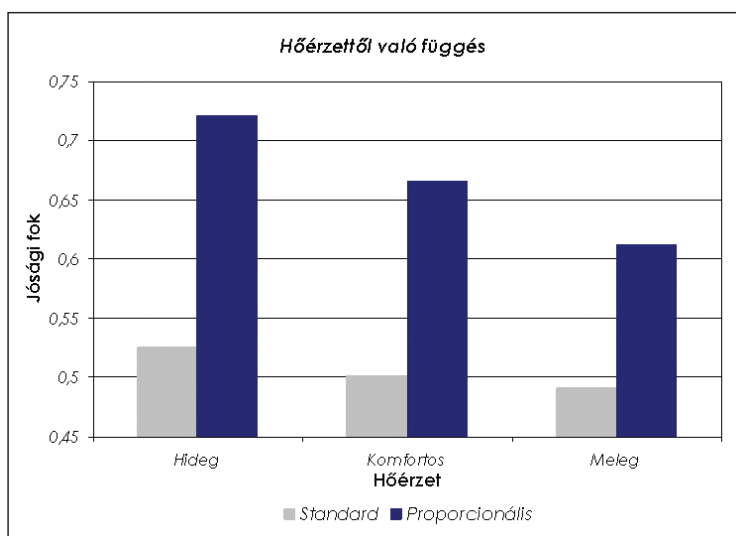
5. ábra: fékezési reakció minősége profi vezetők esetében



6. ábra: a HQC-érték balesetek számától való függése



7. ábra: HQC-érték napszaktól való függése



8. ábra: HQC-érték hőérzettől való függése

proporcionális esetben, mint standard esetben, ennek értéke vezetési tapasztalattól függően 1–12 hét lehet – amelyben a vezetők perceptuálisan, kognitíven és motorosan is fejlődnek, a tesztalanyok teljesítménye – vagyis HQC-értékei – rendre magasabbak. A tanulási idővel kapcsolatban megfigyelhető az a tendencia, hogy minél nagyobbra választjuk, a vezetők annál jobban ki tudják használni a proporcionális kijelzők által adott többletinformációkat. Az előbbiekből következően, a tapasztalt vezetők esetében – akiknél a vezetési rutin olyan szinten realizálódott, a beidegződések és megszokások olyan magas szinten állnak – a tanulási fázis kihagyása komoly hátrányokkal járhat. Tehát az ilyen rutinnal rendelkező vezetőknel célszerű – és egyben kötelező – tanulási fázist beiktatni, ugyanis ennek hiányában a HQC-értékek jóval kisebbek. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a valós vezetésnél nincsenek olyan szélsőséges igények, mint a teszteknel, tehát a profi vezetők nem követnek el nagyobb hibákat, csupán később veszik észre a proporcionális kijelzők segítségét és jótékony hatásait. Továbbá a HQC-értékek az idő és a tapasztalati szint függvényében egymáshoz konvergálnak, vagyis a kísérletsorozat végére – a 12. hétre – a vezetők teljesítménye a tapasztalati szinttől függetlenül hasonló szintre ér. Tehát a kezdő vezetők gyors javulásával ellentétben a profi vezetők lassú teljesítményjavulása látható, míg a kísérletsorozat végén ez a tendencia megfordul. Az előbb említett, tapasztalat nélküli vezetőkre vonatkozó javulási trend egy – általunk definiált – harmadfokú polinommal, a kis tapasztalattal rendelkező vezetőkre vonatkozó javulási trend lineárisan és a tapasztalt vezetőkre vonatkozó javulási trend egy másodfokú polinommal jól közelíthető.

A kutatás további eredményei

A kísérletsorozatok eredményei azt mutatták, hogy a vezetési stílus és a vezetési tapasztalat együttesen nagymértékben befolyásolják a reakciók minőségét. A legjobb HQC-értékekkel a megfontolt, tapasztalatlan vezetők rendelkeznek, a legrosszabbakkal a megfontolt, tapasztalt vezetők. A kísérletsorozatok eredményei azt mutatták, hogy a tesztalany valós baleseteinek száma korrelál a reakciók jósági fokával – HQC-értékkel.

A közlekedési szimulációk során erős napszaktól való függés figyelhető meg. A napszakok közötti jósági fok különbség proporcionális kijelzőknél elérheti a 30%-ot. A reakciók jósági fokainak – HQC-értékeknek – maximuma a reggeli és esti órákban jelentkezik. A fáradtságérzet kimutatható mértékben befolyásolja a reakciók jósági fokát – a HQC-értékeket. Amíg az a vezető, aki kipihent, jó értékeket ér el a tesztek során, addig az a vezető, aki fáradt, rendre alacsonyabb jósági fokokkal – HQC-értékkel – rendelkezik.

A hőérzet kimutatható mértékben befolyásolja a reakciók jósági fokát – a HQC-értékeket. Amíg az a vezető, aki fáradt, jó értékeket ér el a tesztek során, addig az a vezető, akinek melege van, rendre alacsonyabb jósági fokokkal – HQC-értékkel – rendelkezik.

A éhségérzet kimutatható mértékben befolyásolja a reakciók jósági fokát – a HQC-értékeket. Amíg az a vezető, aki éhes, jó értékeket ér el a tesztek során, addig az a vezető, aki jóllakott, rendre alacsonyabb jósági fokokkal – HQC-értékkel – rendelkezik.

A feszültség kimutatható mértékben befolyásolja a reakciók jósági fokát – a HQC-értékeket. Amíg az a vezető, aki nyugodt, jó értékeket ér el a tesztek során, addig az a vezető, aki feszült, rendre alacsonyabb jósági

fokokkal – HQC-értékkel – rendelkezik. A szívritmusvariabilitás közepfrekvenciás komponenséből kiindulva, a mentális megterhelés nagyban befolyásolja a jósaági fokot. Kis mentális megterheléshez, nagy HRV kapcsolódik, és ahhoz jobb fékezés eredmény. Nagy mentális megterheléshez, kis HVR kapcsolódik, és ahhoz rosszabb fékezési reakció.

A tesztek eredményei szerint bizonyos faktorok önmagukban nem hordoznak szignifikáns különbséget. Ezek a faktorok a hőmérséklet (15–28 °C tartományban), a fényviszonyok, a tesztalany neme, kora, foglalkozása, vezetési stílusa és a reakcióidő.

Sebességkijelző reflektor

Egy régen megfogalmazott igényt igyekeztem kielégíteni a sebességet kijelző reflektorok koncepciójával. A közlekedésben ugyanis igen nagy arányban vannak az olyan balesetek, amelyek a vezetők sebességbecslési képességével szorosan összefüggenek. A járművezetők nagyon nehezen tudják megbecsülni a környező járművek sebességét, különös tekintettel előzéskor, sávváltáskor vagy kikanyarodáskor. Ezen a helyzeten igyekszik segíteni az általam javasolt sebességkijelző reflektor, amely praktikusán egy LED-mátrix, vagy más, a színhőmérséklet modulálására alkalmas fénykibocsátó egység. Az utakon jelenleg is használatosak a „kékes” (pl. xenon) és „sárgás” (pl. Franciaországban használatos) fényszórók. A koncepció éppen ezt a két szélsőértéket használja a járművek kis (pl. 50 km/h) és nagy (pl. 130 km/h) sebességének kijelzésére. (Kis sebességnél

sárgás, nagyobb sebességnél kékes fényt bocsát ki a gépjármű standard fényszórója.) Az eszközt szintén humán tesztelésnek vetettem alá, amelynek eredménye további fejlesztésekre sarall bennünket. Az adatok azt mutatták, hogy sebességkijelző reflektorral felszerelt járművek esetében jelentősen csökken a reakciós távolságok szórása, tehát a vezetők bizonytalansága, továbbá csökken a vezetők szubjektív megterhelése, és nő a vezetők elégedettsége. Ez azt jelenti, hogy az eszköz, a vezetőknek adott többletinformáció révén a valóságban is csökkentheti a balesetek bekövetkezésének valószínűségét.

Irodalom

- [1] Dr. Ábrahám György – Fekete Róbert Tamás: Járművek fényjelekkel történő kooperatív irányítása. [EJJT] Budapest University of Technology and Economics, 2006.
- [2] Dr. Ábrahám György – Fekete Róbert Tamás: Komplementáris fényjelzések hatásvizsgálatának mérés technikája. [EJJT] Budapest University of Technology and Economics, 2007.
- [3] Dr. Ábrahám György – Fekete Róbert Tamás: Proporciónális féklámpák hatásvizsgálata. [EJJT] Budapest University of Technology and Economics, 2008.
- [4] Dr. Ábrahám György: Járművek mozgásállapotának fényjelek útján történő külső kijelzése. Oltalmi beadvány, 1998
- [5] Dr. Ábrahám György – Fekete Róbert Tamás: Berendezés járművek mozgásállapotának fényjelek útján történő külső kijelzésére. Oltalmi beadvány, 2007

A gépkocsihajtás villamosítása

1. rész

Petrók János

A hibridalapú fejlődés a villamos hajtások irányába mutat. Az ezzel összefüggő lehetőségek felvázolása előtt érdemes áttekintenünk a villamos hajtás-vontatás főbb jellemzőit.

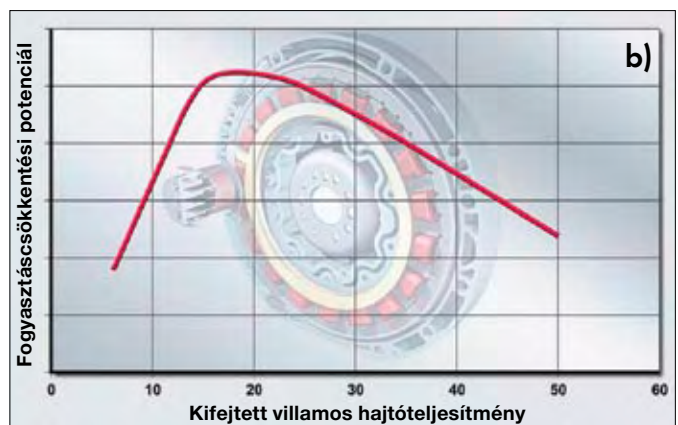
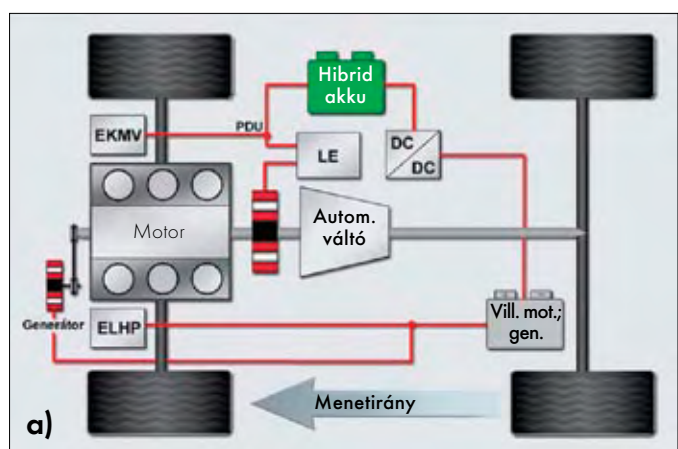
The hybrid-based development points towards the electric drives. Before outlining the connected opportunities, it is worth reviewing the main characteristics of the electric powertrains.

HIBRIDGÉPKOCSIK

Az év végén másfél millióra növekszik a világ, egyébként évente félmillióval bővülő hibridgépkocsi-állománya. E mennyiség kétharmada az amerikai, negyede az ázsiai-óceániai, a többi az európai kontinensen talál gazdára. Magyarország közútjain túllépte az ezret a hibrid autók száma. A hibrid hajtás jövőbe mutató hajtásmód, ugyanis miközben magában hordozza a gépkocsi többségi villamos hajtásának lehetőségét, bármilyen üzemanyagú gépkocsi mozgatójának megtakarító és környezetkímélő alternatívája.

Az üvegházhatású CO₂-kibocsátás és az üzemanyag-fogyasztás csökkentésének visszavonhatatlan eszköze a villamos hajtásmód terjedése, a világ immár négy legnagyobb autós régiójában. Négyben, mert negyedikként Kínával, ma már nem lehet nem számolni.

Az ez irányú törekvések a meglévő technikák finomításán túl, rövid távon elsősorban a hibrid, hosszabb távon a tüzelőanyag-cellás hajtásmódok új fejlesztésére irányulnak. A buzgalom óriási, a sorozatgyártásba vétel ma még jóval visszafogottabb. Jelen írá-



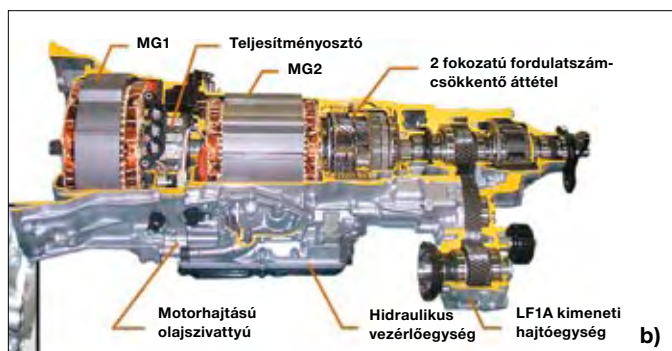
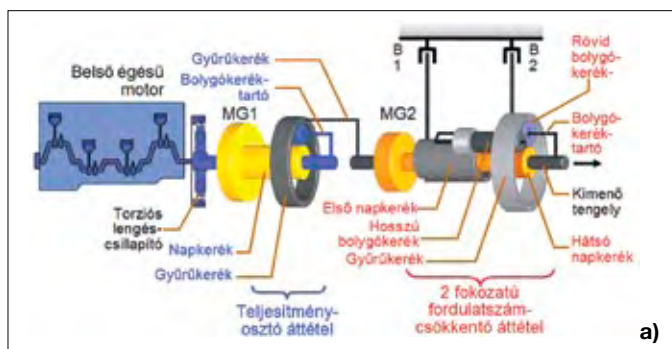
2. ábra: a Mercedes-Benz párhuzamos hibrid jármű vázlata (a) és hajtómotorja (b). EKMV: elektromos klímakompresszor. LE: teljesítményelektronika. ELHP: elektromos kormánysszervó. PDU: villamos teljesítményelosztó

sunkat a hibrid hajtások fejlesztésének szenteljük. Előrebocsátjuk, a hibrid hajtások azért jelentősek, mert a fejlesztési potenciáljuk jóval nagyobb a belső égésűekénél.

AUTÓZÁS, HÁLÓZATI ENERGIÁVAL

Bevezetésképp, érdemes definiálnunk és áttekintenünk a hibrid hajtások legfőbb változatait.

A legalább két különböző erőforrással hajtott és két különböző energiatároló rendszerrel gyártott gépkocsikat hibrid járműveknek nevezzük. Erőforrásuk egyike belső égésű, a másik villanymotor.



1. ábra: a Lexus LS 600h mechanikus hajtóegységének kinetikai vázlata (a) és felépítése (b)

A párhuzamos hibridek mindkét energiaforrása külön-külön és együtt is hajtja a jármű kerekeit. Utóbbi esetben az energiaforrások teljesítménye összegződik. A párhuzamos hibrid hajtás sebességváltó használatát igényli.

A soros hibridek belső égésű erőforrása, generátor termelte árammal látja el, hajtja a járműkerekeket. Bár a kettős energiaátalakítás miatt e hajtásmód kisebb hatásfokú, hajtáslánca a párhuzamos hibridekéénél függetlenebb, rugalmasabb, és sebességváltó nélküli hajtást tesz lehetővé.

A teljesítményelágaztató hibrideken a belső égésű motor (tengelekcsatlakozó működtetésével) közvetlenül, illetőleg a járműgenerátor vagy az akkumulátor áramával, közvetett módon hajtja a járműkerekeket. A teljesítményelágaztatást bolygómu végzi. Kombinálhatósága és rugalmassága miatt, ez a hajtásmód a legelterjedtebb.

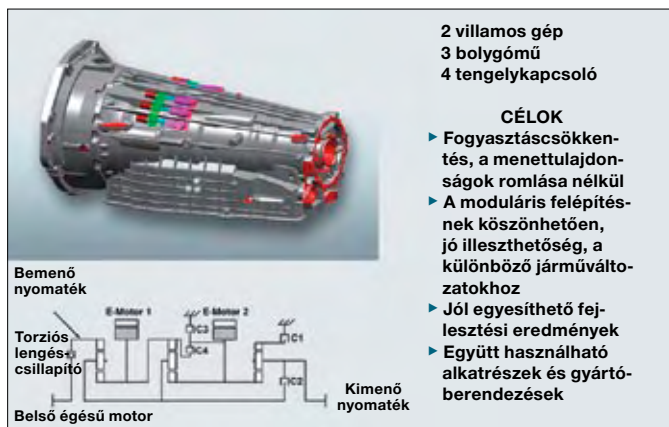
A legalább két különböző erőforrással hajtott és két különböző energiatároló rendszerrel gyártott gépkocsikat hibrid járműveknek nevezzük. Erőforrásuk egyike belső égésű, a másik villanymotor. Az utóbbiból egy járművön több is beépítésre kerülhet, akár a jármű valamennyi kerekét külön villanymotor hajthatja. A hibrid járművek új minőség küszöbéhez érkeztek: legújabb változataik villamos energiatároló rendszere hálózatról utántölthető. A hálózati hibrideket világszerte elterjedt angol elnevezéssel, plug-in hibrid járműveknek (PHEV-eknek) nevezzük. A PHEV-ek sajátossága, hogy az akkumulátor tárolókapacitásától és napi újratöltésétől függően, közlekedésük tisztán villamos utazás is lehet (naponta megvalósítva a villamos üzemi gépkocsihajtást).



5. ábra: a General Motor hibrid jármű gyártási tervei



6. ábra: PHEV-akkumulátorok feltöltési energiaigényének háromnegyede este 22 és 06 óra, egynegyede reggel 06 és 10 óra között merül fel



3. ábra: a GM, a Daimler és a BMW által kifejlesztett kettős hibrid hajtórendszerének felépítése és kinematikai vázlata. C1-4: tengelykapcsolók. E-Motor 1, 2: első és második villamos gép



4. ábra: a gépkocsik villamoshajtás-fejlesztésének főbb szakaszai (Ford-fejlesztések)

A villamos energiatárolásra az elektrokémiai akkumulátorok és az ultrakondenzátorok kombinációja kínál ígéretes megoldást. Az utóbbiak ugyanis impulzusszerű gyorsasággal kisűthetők, és átmenetileg ugyan, de jelentősen megnövelik a gépkocsi gyorsító képességét. A versenysportban az elkövetkező évek szabályai lehetőséget adnak e lehetőség előzésben való kihasználására. Mivel a mai villamos hajtások hatásfoka 3–4-szerese a belső égésű motorokénak, az áttörő megoldást nem a belső égésű, fosszilis üzemanyagokkal működő motorok, hanem a villamos hajtások fejlesztése irányában kell keresni. Az üzemanyagok alternatívra váltásával, csak megújuló hajtóanyagok esetében érdemes próbálkozni. Főképp akkor, ha a helyi járműhasználatához elegendő megújuló energiaforrás áll rendelkezésre.

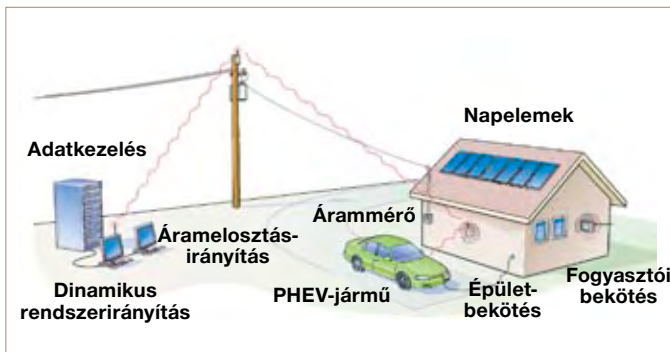
Abban, hogy a hibrid hajtás a célérés elidegeníthetetlen eszközevé válik a legközelebbi jövő új autói, a világ mind a négy autós régiójában egyetértés van.

A jövő járművei ugyanis, csak a környezetre jelentősen ártalmatlanabb erőforrásokkal és üzemanyagokkal működtethetők. Ezért a közúti járművek hajtását, pusztán forráskíméletből lehet fosszilis üzemanyagú erőforrás (ok) használatára építeni. Alternatívaként a belső égésűekénél nagyobb hatásfokú, a környezetre ártalmatlan energiafajtát kell választani.

A dízel-hibrid európai törekvés. A dízel-hibrid megoldandó problémája a gyorsító képesség javítása. A dízelmotoros gépkocsikon ugyanis a motor kis fordulatszámról végzett felgyorsítása a turbólyuk miatt, nagy sebességen pedig a végfordulatszám közeli kisebb teljesítménydotáció növeli meg a jármű gyorsítási időigényét.

A ma ismert lehetőségek a vázolt feltételekkel, a villamos energia hasznosításán alapuló hajtásmódokkal elégíthetők ki.

0. Fosszilis üzemanyagú hajtást villamos hajtással akkor érdemes kiegészíteni, ha annak légszennyező üzemállapotai – az üzemidő mind nagyobb hányadában – kiküszöbölhetők.



7. ábra: PHEV-et üzemeltető családi házának kapcsolódása a villamos hálózathoz (USA-ten)



8. ábra: a Prius II tetőfelületére telepített napelemek néhány 100 wattos energiatermelése is segíti a jármű áramellátását

1. A belső égésű motorú hajtást ma csak másfél literesnél nagyobb motorú járműveken gazdaságos villamos hajtással kiegészíteni (hibridesíteni).
2. Hibrid hajtással a személygépkocsik átlagos üzemanyag-fogyasztása a villanymotor teljesítményétől és a belső égésű motorral való együttműködésétől függően, mikrohibrideken 4, mild hibrideken 10 és full hibrideken 15%-os mértékig csökkenthetők.
3. Az utóbbi járműcsoportban az AHS-nek (Advanced Hybrid System-nek) nevezett fejlett hibridrendszer üzemű erőforrás (ok) használatára kell építeni.

A nem fosszilis üzemanyagként megújuló, a levegőből kinyerhető, a járművön előállítható vagy a meglévő ellátóhálózatokról igénybe vehető, környezetre ártalmatlan anyagokat kell választani.

A nem fosszilis üzemanyagú járműhajtás használati jellemzői, a belső égésűnél nagyobb hatásfokú helyettesítő vagy kiegészítő erőforrással javíthatók. A kiválasztást illetően, az erőforrás környezetkímélő üzeme és a felhasználás közelében található megújuló energiaforrások a meghatározóak.

Szerkezeti egyszerűsége miatt, középkategóriájú (A és B osztályú járművein) a Mercedes-Benz a párhuzamos hibrid hajtást preferálja. A legnagyobbakba viszont a GM-mel és a BMW-vel közösen fejlesztett kettős üzemű hibrid hajtást építi.

A kettős üzemű hajtórendszerben az egyik villanymotor vezérli a bolygómű napkerekét hajtó belső égésű motor áttételét, és a másik motor látja el árammal az első motort vagy hajtja a kimenő tengelyt. A hibrid hajtásnak két energiaforrása van: a belső égésű motor és a villanymotor, amelyek egymástól független hajtónyomatékokat fejthetnek ki a kimenő tengelyre és a véghajtásra.

A rendszer két üzemmódjában, négy sebességfokozattal, hat üzemmódot hozható létre.

- Az egyszeres és kétszeres teljesítményelágazás esetén a jármű fokozat nélkül üzemeltethető (1. és 2. üzemmódot).
- A rendszer két villanymotorjának egybekapcsolásával, egyszeres teljesítményelágazással, a jármű villamos üzemmódban, 1-es, 2-es, 3-as és 4-es fokozatban működtethető (3., 4., 5. és 6. üzemmódot).

A Mercedes-Benz szerint a jövő hibridstratégiáját a modularizálás és a szabványosítás határozza meg. Ezen belül, a hibridspecifikus alkatrészek kialakítását a start-stop rendszer, az integrált villamos gépek, a teljesítményelektronikák, a skálázható (a nagyobb igénybevételhez is jól alkalmazkodó) akkumulátorrendszerek és mellékhatások a hibridesítés mértékétől függő kombinációja határozza meg. Mindez a hibrid erőátviteli rendszer számára a járművön belül és kívül egyaránt széles alkalmazásra és kooperációra ad lehetőséget.

PLUG-IN HIBRIDEK

Hogyan tudják csökkenteni a PHE-autók a kőolajfüggőséget, és lassítani a globális felmelegedést?

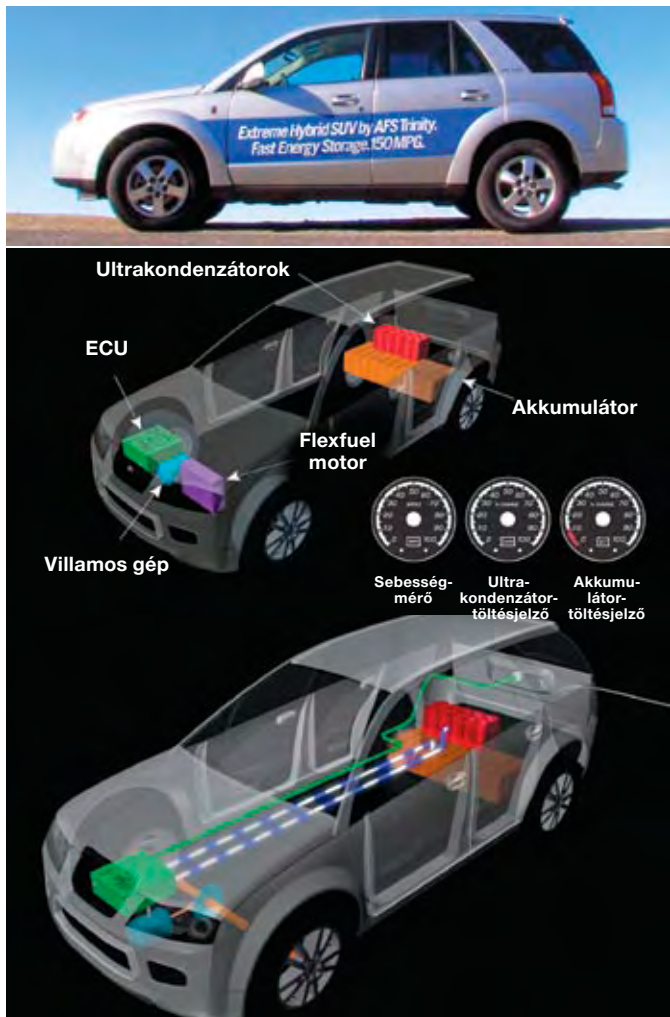
A hibrid gépkocsi a belső égésűt kiegészítő, nagyobb hatásfokú villamos részüzeme miatt takarékosabb az előbbinél. A PHEV-járművek náluk is kevesebb üzemanyagot fogyasztanak. Úgy, hogy a hajtóenergiát jelentős (a fejlesztések eredményeképp mind nagyobb) részben hálózati energiából nyerik. Nagyobb hatásfokú villamos üzemiüknek, csak az energiatároló akkumulátoruk tároló képessége szab határt. Kedvezőbb hatásfokuk miatt takarékosabbak, éghajlatkímélőbbek, mérséklék a nemzeti energiafüggőséget, és jelentősen csökkentik a fosszilis üzemanyag-fogyasztást.

A plug-in hibridek előnyeinek alapja a villamos hajtás részarányának és az akkumulátorban tárolt töltés mennyiségének növelése. Kellően nagy töltésmennyiség esetén ugyanis arra is mód nyílik, hogy a jármű a belső égésű motor beindítása nélkül, a teljes napi menetidőben villamos hajtással közlekedjen. Főleg akkor, ha a napi járműhasználati úthossz, az esetek 85%-ában, kevesebb 96 kilométernél (60 mérföldnél). Más adatok szerint az USA személyautók 78%-ának napi futásteljesítménye kevesebb 64 kilométernél (40 mérföldnél). Ilyenkor az akkumulátor estig kimerült villamos energiája, reggelre, éjszakai tarifával, a napi benzinköltség töredékéért utántölthető.

Amíg a szokásos hibrid hajtásokkal 4–15%-kal csökkenthető a gépkocsik üzemanyag-fogyasztása, plug-in hibrid hajtással 70%-nál nagyobb fogyasztáscsökkenés is elérhető.



9. ábra: a tavaszi pekingi autókiállításon bemutatott kínai BYD, F3DM típusú PHEV-járműve még az idén gyártásra kerül. Képünk a jármű nyitott motorterét szemlélteti



10. ábra: az AFS cég Trinity elnevezésű PHEV-járművének fogyasztását 1,57 liter/100 km-re sikerült lefaragni!

A plug-in hibrid hajtás lassú térhódítását ma is jelentős társadalmi érdeklődés kíséri. A velük beszívargó villamos hajtásmód ugyanis élénkíti a gazdaságot. E hatás felébresztéséhez a japánok hibridszorgalmazó eltökéltsége és az amerikai villasmérnökök öntevékenysége kellett. Ma már olyan személyiségek állnak a közlekedési energiastruktúra megújító törekvések élére, mint Arnold Schwarzenegger, a legnagyobb járműállományú USA-tagállam kormányzója és Barack Obama, demokratapárti elnök. Szándékait tükröző programját a következő intézkedések bejelentése jelzi.

Obama célja, növekedési konszenzus a jövő energiafajtáinak kiválasztásában, a fosszilis (kőolaj eredetű) energiafajták használatának csökkentésével, és megfelelő helyettesítő (bio üzemanyag) energiaellátó kapacitások kiépítésével.

A tisztán villamos hajtásmódok elterjesztése, hibrid járművek használatával. A légszennyezés az ésszerűtlen energiafelhasználás következménye. Megfelelő hibrid hajtással egyidejűleg, az üzemanyagköltségek is megfizethetőek, és az energiafőlölegek visszatáplálhatók az energiaellátó hálózatba.

Mindezt a tiszta energiák és az átlagosnál takarékosabb hajtásmódok használatának állami ösztönzésével.

Említést érdemel, hogy a republikánus jelölt, John McCain is támogatásáról biztosította az amerikai személygépkocsik villamosítását.

Hogy miért fontos ez a világ, Európa és benne hazánk számára? A követendő célok és a célélérés mintáinak megválasztásáért, a tévelygő kutatások és ráfordítások kiküszöböléséért.

OPTIMÁLIS FOGYASZTÁS

Hogyan tudják csökkenteni a PHE-autók a kőolajfüggőséget, és lassítani a globális felmelegedést? Úgy, hogy teljesítményfelvételük nem haladja meg egy hajszártóét.

PHE-járművek megtakarításai, akkumulátorfeltöltési energiaigényének háromnegyede este 22 és 06 óra, egynegyede reggel 06 és 10 óra között merül fel.

Az Egyesült Államokban 100 ezer PHEV akkumulátorainak egyidejű feltöltéséhez 220 megawattnyi teljesítményű erőmű áramtermelése szükséges. Ez kevesebb mint a fele a hagyományos erőmű-kapacitásigénynek.

Az USA-ban a személygépkocsi-állomány felét kitevő PHEV autók éjszakai árammal való ellátása 2050-ig, a villamosáram-termelés 8, az erőműkapacitás 4%-os bővítését igényli.

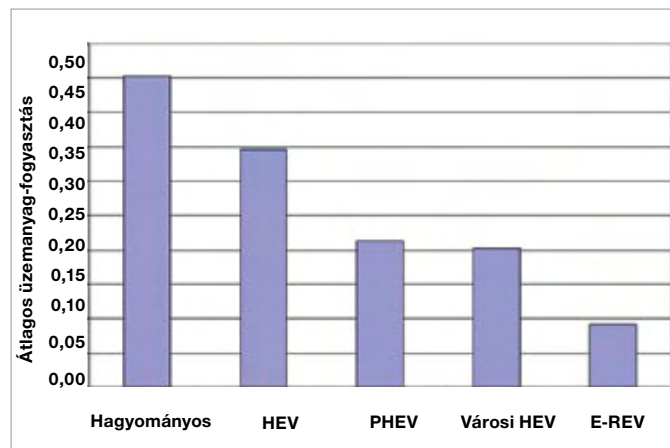
A PHEV-járművek legfőbb sajátossága a 20–60 mérföldnyi út, tisztán villamos hajtású megtételéhez elegendő töltést tároló, néhány óra alatt feltölthető akkumulátor.

A PHEV-járművek várható térhódítása a napi járműhasználati szokások pontos felmérésén, elegendő töltést tároló, néhány óra alatt feltölthető akkumulátorok elterjesztésén, az éjszakai áram völgyidőszaki árkedvezményeinek kihasználásán, és megfelelő erőmű-kapacitások kiépítésén alapul.

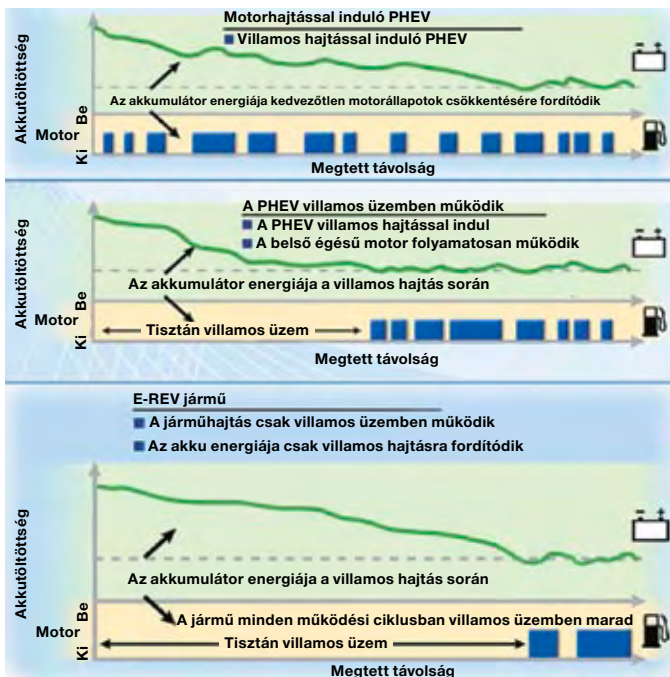
A plug-in hibridek elterjedése szükségképpen módosítja a nemzeti villamos hálózatok működtetésének paradigmáit is, hiszen a villamos hajtású gépkocsik akkumulátorfeltöltésének áramigényét éjszakai, és nappali árammal egyre bővülő körben kell kielégíteniük. Úgy, hogy a hivatásforgalomban használt villamos járművek akkumulátorainak nappali feltöltését a cégparkolóban is biztosítani kell. Ezeknek az igényeknek a kielégítésére a gépkocsi-parkolóhelyekre telepített áramvételezési helyeken: közcélú és munkahelyi parkolóban, lakóházban és közületi tárolóhelyeken, megfelelő árammérő készülékek használatával kell kielégíteni. A kellőképp intelligens készülékeknek



11. ábra: az USA PHEV-állományának éjszakai energiaigénye a hálózati tartalékok jobb kihasználásával, új erőművek építése nélkül kielégíthető



12. ábra: különféle járműhajtások fogyasztási jellemzőinek összehasonlítása



13. ábra: különféle HEV-járművek villamos üzeme

az áramvételezéseken túl, a gépkocsik fedélzeti árameladásainak elszámolására is alkalmasnak kell lenniük.

A példa jó, kövessük!

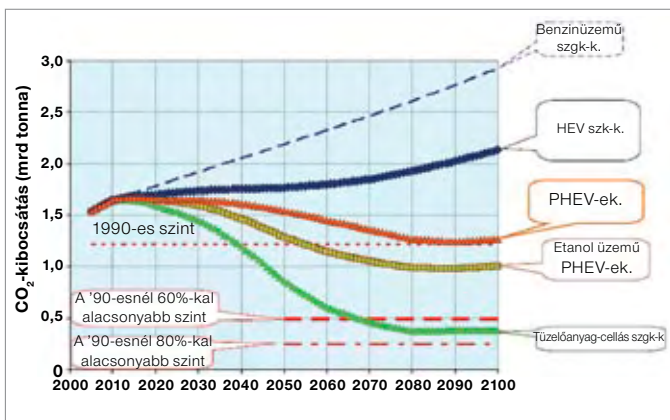
Öntevékeny amerikai villamosmérnökök az akkumulátorfajta megválasztásával, a cellaszám megfelelő növelésével, napi 20–60 mérföldnyi út tisztán villamos megtételéhez elegendő töltés tárolására alkalmas, néhány óra alatt feltölthető akkumulátorok építhetők. Menetpróbáik azt mutatták, hogy ilyen akkumulátorokkal kiegészített Prius II-kel 100 mérföld/gallont meghaladó fogyasztási értékeket is el lehetett érni.

Korszerű akkumulátorok és szuperkondenzátorok tároló képességének megfelelő arányú megválasztásával az AFS cég Trinity elnevezésű PHEV-járművének fogyasztását 1,57 liter/100 km-re sikerült lefaragni!

A fejlesztési megoldásokat internetre tették, és mozgalmakat indítottak eredményeik bemutatására, az akkumulátor- és az autógyártók PHEV-gyártás beindításra való ösztönzésére.

Időközben a környezetvédelmi hatóság (EPA) és az SAE is, módszereket és szabványokat dolgozott ki az építendő járművek minőségi és teljesítménykövetelményeire.

Az autógyártók maguk is kipróbálták az autóipar nagy kiállításain világszerte bemutatott járműveiket, és láss csodát! Ma



14. ábra: különféle járműhajtások, CO₂-egyenértékben mért üvegházhatású gázemissziós jellemzőinek összehasonlítása

már Japánban, Európában, Kínán és Dél-Koreán keresztül, minden jelentős autógyártó beállította termékfejlesztési programjába a jövőformáló PHE-járműveket.

A hibrid járművek hatékonyan csökkentik a közlekedés kőolaj-szükségletét, mivel gyorsabbá, tisztábbá, biztonságosabbá és gazdaságosabbá teszi az üzemanyag-felhasználást. A plug-in hibridek mindezt csak fokozzák. Ezért a villamos energia, a kőolajénál hatékonyabb felhasználhatósága miatt, a közlekedés elsődleges energiaforrásává várhatóan a villamos energiát teszik, miközben az autóipar olyan sikertermékévé válnak, amellyel a legtöbbet a felhasználók nyerne, és a legtöbbet az olajcégek veszítenek.

A plug-in hibridekben rejlő lehetőségek megfelelő kihasználása előkészületeket igényel. Mindenekelőtt a primer infrastruktúra megelőző fejlesztésével. Olyan erőmű-többletkapacitás rendszerbe állításával, amely nem akkor kezd kielégíteni az igényeket, amikor erőműkapacitás hiányában az plug-in hibrid járművek a belső égésű motorjaik használatával, környezetszennyező és üzemanyag-pazarló módon közlekednek.



15. ábra: a berlini e-mobility programot Angela Merkel indította be

Zéró toleranciánk már van. Most a zéró benzinnel, zéró gázolajjal, zéró emisszióval közlekedő autókért kellene tenni, hiszen az ezzel összefüggő villamosenergia-igények már ma felbecsülhetők. Például a hazai energiastratégia továbbfejlesztésében.

TÜZELŐANYAG-CELLÁS GÉPKOCSIK

Fosszilis üzemanyag-készleteink végesek, és egyre költségesebbek. Félő, hogy élhető éghajlatunk is. A tét a globális túlélés, amiért mindünknek tenni kell, bár a célba unokáink jutnak csak el. A gépkocsifejlesztés iránya adott, célba érni a gépkocsik villamosításával lehet. Írásunkat az odavezető út második lép-csőjének számító, tüzelőanyag-cellás gépkocsik bemutatásával folytatjuk. Ezelőtt azonban érdemes a PHEV-ek főbb előnyeit összegeznünk.

A PHEV-EK DÖNTŐ ELŐNYE

Írásunk első részét a zéró benzinnel, zéró gázolajjal, zéró emisszióval közlekedő autókért folyó törekvések megfogalmazásával zártuk. E törekvések a megfelelő tároló képességű akkumulátorral felszerelt, villamos hálózatról feltölthető plug-in hibrid (PHEV) járművek ipari bevezetésére irányulnak. Egy idén készített, „A plug-in hibrid járművek használatának hatása a villamos energetikai létesítményekre és a regionális villamos hálózatra” című, amerikai tanulmány a műszaki adottságokon túl, a téma gazdasági következményeit is számba vette.

A tanulmányozott amerikai járműállomány 73%-ára rúgó személyautó, pick-up, SUV és van állomány fogyasztása az összes kőolajimport 52%-át reprezentálja.

A PHEV bevezetésének jelentős környezetvédelmi előnye, hogy a jármű- kipufogócsövek milliói helyett, néhány erőmű, a regionális szénfelhasználás függvényében bocsát ki káros anyagokat. Úgy, hogy azok nem a városi légtérben kerülnek a levegőbe. Ezért a használatuk arányában, javul a városi levegő minősége.

Az amerikai villamosenergia-hálózat igénybevétele nem kevés kihasználatlanságot és jelentős tartalékokat mutat. A PHEV-állomány éjszakai áramfelvétele javítja a villamos hálózat kihasználásának gazdaságosságát, és növeli annak import kőolajtól való függetlenségét.

A tanulmány szerzőinek legfőbb megállapítása szerint, a PHEV-állomány éjszakai energiaigénye a villamoshálózati tartalékok jobb kihasználásával, a meglévő infrastruktúra bővítése (új erőművek építése) nélkül kielégíthető.



17. ábra: a Mercedes-Benz tüzelőanyag-cellás járművének hajtóelemei padló alatti elrendezésűek



16. ábra: a GM Chevrolet Volt HEV padló alatti gerincalagútjába épített hajtóelem-elrendezését (a) Európában az Opel Flextreme viszi tovább (b)

Ennélfogva a PHEV-technika a járművek és az erőművek üzemeltetőinek, mind hazai előállítású, mind import eredetű villamosenergia-felhasználás esetén, egyaránt előnyös hajtásmód.

1 \$/gallon, azaz 63,77 Ft/literes (a hazainál ötször kisebb) áron. Úgy, hogy a hibridek 22%-os mértékű csökkentésével szemben, a PHEV-ek 45–60%-kal kevesebb üvegházhatású gázokat emittálnak.

A PHEV-ek tehát olcsón és környezetkímélő módon üzemeltethetők. Természetesen nekik is megvannak a maguk korlátai. Ezek a következők. 1. Nem mindenki akar PHEV-et venni. 2. A PHEV villamos hatótávolsága korlátozott. Akkumulátorát ilyenkor napjában többször is fel kell tölteni. 3. A vásárlók jó részére jelentős hatással vannak a belső égésű motoros hajtás távolsági korláthoz nem fűződő tartalékai. 4. A PHEV akkumulátorai a tartalék végén gyorsabban fogynak a kezdetinél. 5. Nem minden célbaéréskor lehet a PHEV akkumulátorait feltölteni.

A V2G hálózat, és miért kell azt szeretni? A Vehicle-to-Grid (V2G) olyan rendszer, amely a plug-in hibrid jármű hajtására használt villamos energiát az akkumulátorban tárolja, és azt a villamos hálózathoz nyeri. Nem akárhogyan, hanem úgy, hogy a hálózat kontrollerei regisztrálják a felhasználás időpontját, időtartamát, a felhasznált energia mennyiségét és költségét. Ügyelve, hogy az áramvételezésre a kedvezőbb tarifájú időszakban kerüljön sor. Az olcsóbb árammal végzett utazás a járművét „éjszakai árammal” üzemeltetőnek 2-3 ezer dollárt takarít meg évente (a benzin üzemanyagú járműhasználatához képest). Eközben a járművek 45–60%-kal javítják az éghajlat-módosító üvegházhatás rájuk eső részét. Itt érdemes megemlíteni, hogy az üzemanyag-költség tovább csökkenthető, ha a jármű belső égésű motorját a benzinnél olcsóbb, megújuló forrásból származó üzemanyaggal, például bioetanolal (E85%-tel) működtetik. Az USA kis létszámú, ám kiterjedt farmergazdaságaiban a megújuló, ezért államilag támogatott E85%, növekvő népszerűségű üzemanyagfajta.

(Folytatjuk!)

A Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai

Bári Gergely

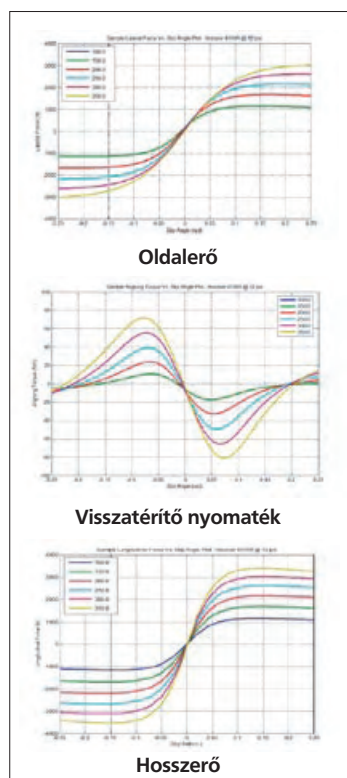
PhD-hallgató, Budapesti
Műszaki és Gazdaságtudo-
mányi Egyetem,
Gépjárművek Tanszék

A Formula Student versenyautókkal kapcsolatos követelmények bemutatása már megtörtént egy korábbi számban, jelen cikkben főként azoknak a járműdinamikai elveknek a bemutatására koncentrálnunk, amelyek a versenyautók mozgásának a leírásában segítenek. Főként a jelenségek minőségi jellemzésére törekedve rámutatunk azokra a törvényekre, melyek a nem versenyautók dinamikájával foglalkozók számára talán kevésbé ismertek, és melyek segítségével a BME első Formula Student autójának tervezésekor a futómű koncepcionális kérdéseivel kapcsolatos döntéseket meghoztuk.

Formula Student races had been introduced in a previous number. In present paper we will introduce those laws of the vehicle dynamics, which describes the vehicle motion during race operation. We will highlight those phenomena that are in the one hand, less important in the passenger car design, but in the other hand, are very critical in the racecar engineering word. We will show how these laws were taken into account during making the design and concept decisions while engineering the first Formula Student car of the Budapest University of Technology and Economics.

A GUMIABRONCS VISELKEDÉSE

A következőkben röviden, a teljesség igénye nélkül összefoglaljuk a későbbiek szempontjából fontos tulajdonságokat, kiemelve azokat, melyeket a futómű tervezésekor figyelembe kell venni. A gumik modellezésével kapcsolatban részletesebb információk az 1. ábrán találhatóak. A gumiabroncsok hozzájárulnak az erőkhez, melyek a jármű mozgását meghatározzák. Erről az erőgeneráló képességről adnak tájékoztatást a jól ismert slip karakterisztikák, melyek az abroncs mozgásállapotának függvényében mutatják a keletkező erőket és nyomatékokat. Ezek közül a legfontosab-



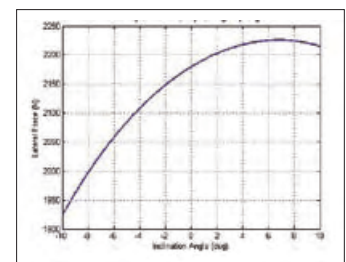
1. ábra:

en ilyen abroncsot használva könnyebben irányítható, „megbocsátóbb” autót tervezhetünk. Hátránya is van azonban e tulajdonságoknak, mivel a nagy oldalkúszási szögek kanyarodáskor nagyobb ellenállásokat is jelentenek. A tervezés során különösen fontos információ, hogy a maximális oldal- és hosszirányú erő hogyan változik a kerékdőlés függvényében, miközben a gumik egyéb bemenő paramétereit állandónak tekintjük. Ezt láthatjuk a 2. ábrán.

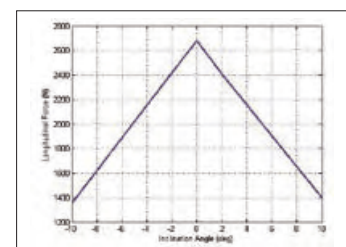
Jól látható, hogy az oldalerő maximuma van, melyen túl csökken, míg a hosszirányú erő 0°-nál maximális. Tehát az oldalerő tekintetében nagy, míg a hosszirányú erőkhöz kicsi kerékdőlés lenne szükséges. Ez az első ellentétes igény, amelyet a futómű kinematikájának a tervezése során figyelembe kell venni. A kormányzás paramétereinek megválasztásakor van fontos szerepe a 3. ábrán látható diagramnak, mely az oldalkúszási szög változásának függvényében egyszerre mutatja az oldalerőt és a visszatérítő nyomatékokat.

Megfigyelhető, hogy a visszatérítő nyomaték értéke még jóval az oldalerő maximumának az elérése előtt csökkenni kezd, amit az utánfutás megválasztásakor vettünk figyelembe. Ugyancsak nagy jelentőségű, hogy az oldalerő maximumához tartozó oldalkúszási szög hogyan változik a függőleges irányú kerékterhelés függvényében.

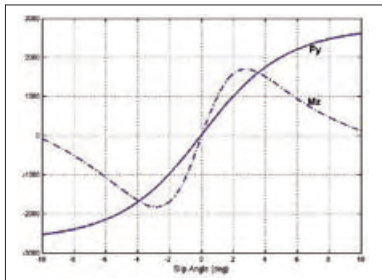
Látható, hogy az ideális oldalkúszási szögek különbsége hogyan nő a terheléskülönbség növekedésével, ami a kormányzás Ackermann paraméterének megválasztásakor fontos szempont. Természetesen a slip görbék alakjára, magasságára nagy hatással vannak a



2. a ábra: az oldalerő a kerékdőlés függvényében

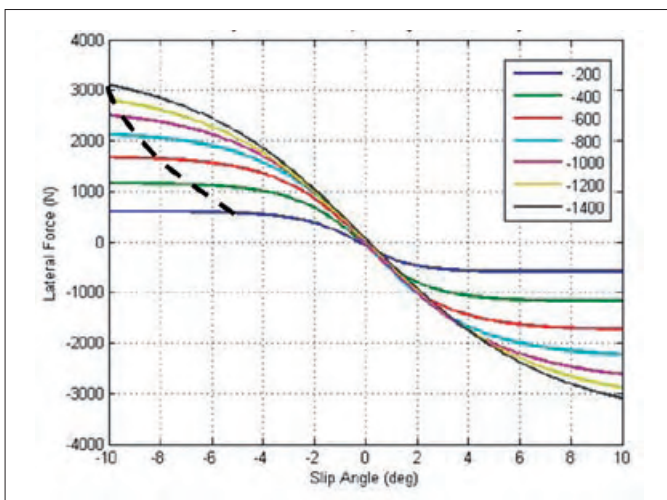


2. b ábra: a hosszirányú erő a kerékdőlés függvényében



3. ábra: az oldalerő és a visszatérítő nyomaték

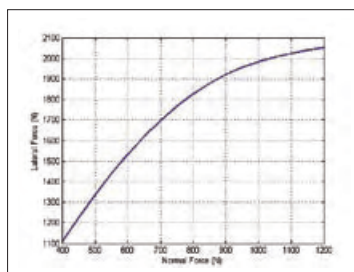
lenleg nem kezeli a hőmérsékletfüggést, azonban dolgozunk a modell ilyen értelemben vett kiterjesztésén. Az abroncs hőmérsékletfüggő viselkedését jelenleg tesztek során kell vizsgálnunk. Hasonló a helyzet a guminyomás hatásának elemzésével, mivel a jelenlegi



4. ábra: az ideális oldalkúszás változása a terhelés növekedésével

adatok egy adott nyomás mellett érvényesek, a nyomásfüggő viselkedés számszerű analízisa ugyancsak tesztek elvégzését követeli meg. A futóművel szemben ezek a jelenségek azt a követelményt támasztják, miszerint annak képesnek kell lennie minél hamarabb a megfelelő hőmérsékletre melegíteni az abroncsokat. Ezt a követelményt a nyomtávvaltozás megválasztásakor vettük figyelembe. A legutolsó fontos karakterisztika, melyet a jelen cikkben kiemelünk, a gumi oldalerő átvivő képességének változása a függőleges erők növekedésével.

Ami a későbbiekben számunkra fontos lesz, az a görbe degresszív karakterisztikája, azaz ugyan az átvihető oldalerő növekszik, azáltal, hogy nagyobb függőleges erővel nyomjuk a gumit az útra, de csökkenő mértékben.



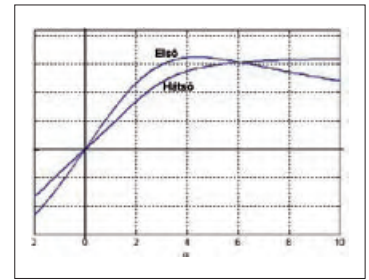
5. ábra: az oldalerő alakulása a normálerő függvényében

TENGELYKARAKTERISZTIKÁK

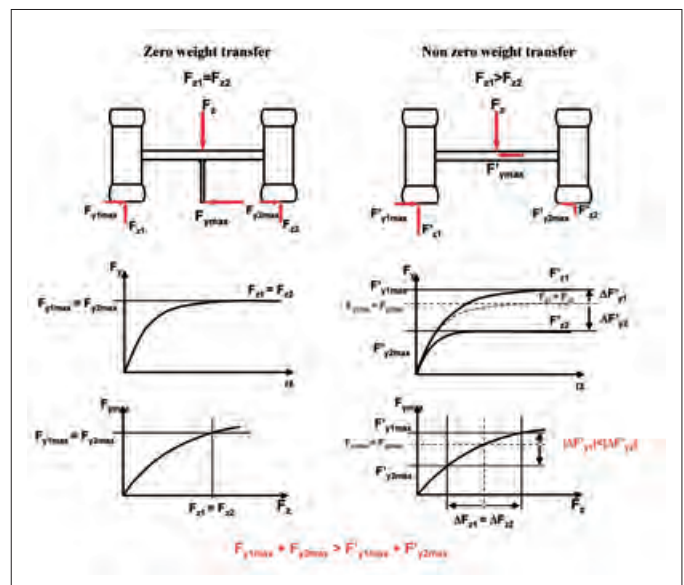
Miután áttekintettük tehát hogyan viselkednek a gumiabroncsok különállóan, a következőkben megvizsgáljuk mi történik, ha párban, az autó első vagy hátsó tengelyén használjuk őket. A tengelyek erőprodukáló képességéről a tengelykarakterisztikák adnak információt. A 6. ábra egy jármű első és hátsó tengelykarakteriszi-

kait mutatja. Az abszcissa a tengely oldalkúszási szögét (azaz a kerékközéppontokat összekötő szakasz felezési pontjának a jármű hossz-tengelyével bezárt szögét), míg az ordináta a fajlagos oldalerőt (a tengelyen lévő két gumi által létrehozott oldalerőt és a tengelyre ható függőleges erőt) mutatja.

Ami a jármű dinamikájának szempontjából igazán fontos lesz, az az első és hátsó tengelykarakterisztikák egymáshoz viszonyított menete. Ezen karakterisztikák elemzésével és további diagramok megszerkesztésével részletes információk nyerhetők a jármű nemlineáris modelljének állandósult állapotbeli viselkedésével, stabilitásával kapcsolatban, azonban jelenleg a hely szűkossége miatt mi csak néhány jól látható érdekességre hívjuk fel a figyelmet. Részletesebb elemzés [2]-ben található. Egyik fontos jellemző amit a tengelykarakterisztikák mutatnak, az oly sokat emlegetett- alul -, illetve túlkormányzott viselkedés. Ha az első tengely görbéjének meredeksége alacsonyabb mint a hátsóé, addig a jármű alul -, amint meredekebbé válik, túlkormányzott viselkedést mutat. Az ábrán vázolt jármű tehát kis oldalerőknél túl-, míg a maximális oldalerők közelében alulkormányzott viselkedést mutat. A vázolt viselkedést tűztük ki célul a Formula Student autónk számára is, mivel a járműtől egyrészt gyors állapotátmeneteket várunk, aminek jót tesz, hogy eleinte a hátsó tengelyen gyorsabban növekszik az oldalkúszási szög, másrészt stabil, jól kontrollálható állapotokat szeretnénk a maximális oldalgyorsulás közelében, amit a hátsó tengelyen ébredő magasabb maximális oldalerővel és alulkormányzott viselkedéssel érhetünk el. Ennek további előnye, hogy a határon

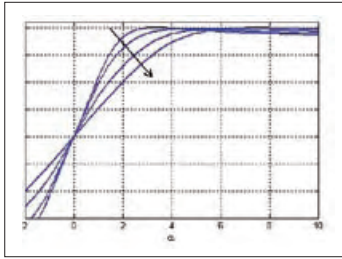


6. ábra: tengelykarakterisztikák



7. ábra: az átterhelődések magyarázata

való viselkedés során a hátsó tengelyen ébredő oldalerőt a pilóta képes befolyásolni (csökkenteni) a hátsó kerekek hosszirányú kúszásának (slip) növelésével, (gázadás) ami ez esetben egy járulékos irányítási bemenetet jelent. Szóba került tehát, hogy a hosszirányú erő (és slip) növekedésével egyre alacsonyabban futó tengelykarakterisztikát kapunk, de milyen további jelenségek befolyásolják még e görbék alakját? Ismét csak kiemelve a számos paraméter közül néhány fontosat, az első által megemlítettünk,



8. ábra: a tengelykarakterisztika alakulása növekvő átterhelődéssel

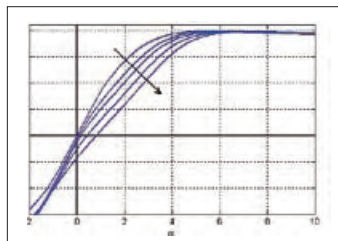
terhelt kerék bár nagyobb oldalerő átvitelére lesz képes, de ez a növekmény kisebb lesz mint az az oldalerő-veszteség, ami a belső keréken jelentkezik a csökkenő függőleges terhelés miatt. Ez az a jelenség ami miatt a versenysportban oly fontos a minél alacsonyabb tömegközéppont, és az ésszerű határok között szélesebb tengelytáv, hiszen adott oldalgyorsulás és járműtömeg mellett az átterhelődést csökkenteni ezekkel lehet. Természetesen ezen alapvető célokat a Formula Student autónk egyéb részegységeinek tervezésekor is figyelembe vettük. Az alábbi ábrán az átterhelődés hatása figyelhető meg, egy tengelykarakterisztika esetén.

Jól látható, hogy az átterhelődés hatása különösen a tapadási határ közelében jelentős, valamint azt is megfigyelhetjük, hogy ezen tartományban a görbék meredeksége erősen csökken. Ez azt jelenti, hogy a kormányzással szinte minimális kontroll marad a pilóta számára, hiszen hiába változtatjuk meg az elkörmányzási szög révén az első tengely kerekeinek oldal-kúszását, ehhez csak csekély oldalerő-változás fog társulni, a görbék kis meredeksége miatt. Jól leírja ezt a helyzetet a versenyzők által használt kifejezés is, miszerint „bedobják” az autót a kanyarba, azaz, amikor a kormányzáson keresztül ténylegesen irányítani tudják a járművet, az a forduló kezdeti, tranziens szakasza. A kanyar nagy részében a már említett módon a gázpedálon és az átterhelődéseken keresztül tudjuk befolyásolni a jármű viselkedését. Hogyan is lehet az átterheléseket befolyásolni a kanyarodás során? Bár azt az átterhelődést, ami összesen a belső két kerékről a külső két kerékre kanyarodáskor áthelyeződik nem tudjuk befolyásolni, de azt, hogy ebből mennyi megy az első és mennyi a hátsó tengelyen, azt igen. Ennek módjáról a későbbiekben részletesen írunk. Megértve tehát e jelenségeket, a versenyautó futóművével kapcsolatban egy további célként jelentkezik, hogy a kormányon keresztül a pilótának a kanyarodási művelet során mindig igyekezzen maximális beavatkozási lehetőséget biztosítani. Ezt a követelményt ugyancsak a csapgeometria kialakításakor lehet figyelembe venni. Egy másik fontos paraméter ami a tengelykarakterisztikát befolyásolja, az a tengelyen található kerekek statikus össze- és széttartása. Egy adott átterhelődés mellett a statikus széttartás hatását mutatja a 9. ábra.

Látható, hogy a széttartás csökkenti, sőt kis oldalkúszási szögek esetén negatívvá teszi a tengely oldalerejét. Hátsó tengely esetén ez hasonló, mintha a kerekeket az első kerékkel ellentétesen kormányoznánk. Ennek a jelenségnek ugyancsak akkor van haszna, ha gyorsan kívánjuk megváltoztatni a jármű állapotát, hiszen a hátsó tengelyen csökkenő oldalerő nagyobb legyezési nyomaték létrehozását teszi lehetővé, így segítve a jármű fordulását. Természetesen a tapadási határ közelében, főleg kigyorsításkor, amikor

az a tengelyen kialakuló átterhelődések hatása. Egy tengelyen minél nagyobb az átterhelődés a kétoldali kerekek között, annál kisebb lesz az átvihető oldalerő nagysága. Ennek oka a már említett nemlineáris degresszív jelleg az oldalerő és a normálerő összefüggésében, amit a 7. ábra mutat.

Ezen jelenség lényege tömören az, hogy a jobban



9. ábra: a tengelykarakterisztika alakulása a széttartás növekedésével

a hátsó tengely oldalerő átvivő képessége a hosszirányú erő miatt úgyis csökken, pont ellenkező hatást szeretnénk elérni, ilyenkor a hátsó kerekek elsőkel megegyező irányú elkörmányzása lenne kívánatos. Az eddigiekben, nagyvonalakban áttekintettük azokat az alapvető járműdinamikai elveket, jelenségeket, melyek meghatározták, milyen követelményeknek kell megfelelnie a versenyautó futóművének. A következőkben azon konkrét futómű-paraméterek bemutatásával foglalkozunk, melyek segítségével a kívánt tengelykarakterisztikák elérhetők.

A RUGÓZÁSI RENDSZER

A közúti járművek esetén a rugózás feladata kettős. Egyrészt fontos a lengéskényelem biztosítása, másrészt a kerékalpponti erő ingadozásainak csökkentése, a stabil út-kerék kapcsolat biztosításának érdekében. A versenyautók esetében e két kritériumból nyilvánvalóan csak az egyik, az út-kerék kapcsolat állandóságának biztosítása a cél. Ez bár bizonyos szempontból egyszerűsítést jelent, azonban a versenyautók futóműve két nagyon eltérő tulajdonságú felületen üzemel, a versenypályák aszfaltcsíkján, és az azt szegélyező rázókőveken. A futóműnek mindkét felületen a lehető legjobban kell tehát működnie, ami jelentős kihívás. A Formula Student versenyek azonban kibővízték pályákon zajlanak, így ténylegesen egyszerűsödnek a függőleges lengések kezelésével kapcsolatos követelmények. Nem hagyhatjuk figyelmen kívül azonban, hogy a rugók és a lengéscsillapítók a jármű függőleges lengései mellett a bólintó és dőlési lengéseket is meghatározzák, azaz tisztán függőleges irányú kerékalpponti gerjesztések hatására is alakulhatnak ki szöglengések. Ezt vizsgálándó, az összetett lengésvizsgálatot a későbbiekben bemutatásra kerülő járműmodell segítségével végeztük, a kerékalpponti erő ingadozásainak, és a nem kívánt lengések csökkentésének érdekében.

DŐLÉS

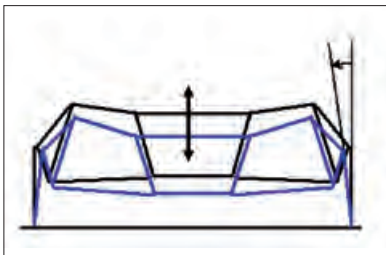
A futómű rugalmas elemei közül a rugóknak, és természetesen a stabilizátornak a kanyarodáskor kialakuló átterhelődések egyes tengelyek közötti elosztásában is óriási szerepe van. A későbbiekben bemutatásra kerülő momentáncentrumok mellett ezen alkatrészek határozzák meg ugyanis a tengelyek ún. dőlési merevségét. Ez azért rendkívül fontos, mert a nagyobb dőlési merevségű tengelyen nagyobb lesz az átterhelődés, és – mint arról már szó volt – ennek következtében az átvihető oldalerő csökkenni fog. Természetesen a dőlési merevségek állításának legegyszerűbb módja a stabilizátorok merevségének változtatása. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy hagyományos 4 rugót használó rendszerek esetén dőléskor a rugók, és lengéscsillapítók is dolgoznak, hatásukkal számolni kell. Különösen igaz ez a lengéscsillapítókra, hiszen a kanyarok kezdetekor, amikor a járműtest dőlése még elhanyagolható (így sem a stabilizátor, sem a rugók nem fejtenek ki visszatérítő nyomatékot), de dőlési szögsebessége már van, a lengéscsillapítók fogják meghatározni az első és hátsó tengely átterhelődéseit, és ezáltal a jármű viselkedését. Természetesen mivel ezen tranziens viselkedés optimalizálásához szükséges lengéscsillapító karakterisztika a legritkább esetben egyezik meg a kerékalpponti erő optimalizálásához szükséges, emiatt a versenysportban sűrűn használnak ún. monoshock rendszerű rugózást, melynek segítségével a függőleges és dőlési szabadságfokok lengéseinek kezelése szétválasztható. Ezen nyilvánvaló előnyök ellenére első Formula Student autónk futómű-konceptiójának eldöntésekor elvetettük a monoshock rendszer használatát, mivel az így elválasztott dőlési lengések csillapítása csak bonyolultabban oldható meg, mint hagyományos esetben. A kialakítással járó bonyodalmak és a szükséges alkatrészek beszerezhetősége túl nagy kockázatot jelentettek volna.

BÓLINTÁS

A rugózásnak természetesen a jármű bólintásakor, és a hosszirányú átterhelődések kialakulásakor is nagy szerepe van. Különösen fontos a keréktalpponti erő alakulása a kerékmozdulás függvényében. Az ezt jellemző ún. redukált rugózási karakterisztikát választhatjuk lineárisra, progresszívra vagy degresszívra, melyet a megfelelő hímageometria kialakításával érhetünk el. Az általunk választott degresszív karakterisztika először rossz elképzelésnek tűnhet, azonban a berugózással csökkenő, azaz a kirugózással növekvő merevségnek kedvező hatása van a kanyarból történő kigyorsításoknál. Ekkor ugyanis a belső oldal (kirugózás) merevebb bólintási merevséggel fog rendelkezni, így itt nagyobb hosszirányú átterhelődés jön létre, ami bizonyos mértékben megnöveli az oldalgyorsulás miatt lecsökkent normálerőt a belső hátsó keréken. Az így kialakult egyenletesebb normálerő a hátsó tengely kerekein nyilvánvalóan kedvezőbb gyorsítási viszonyokat fog teremteni. Természetesen ezen az előnyös hatáson kívül számos negatív tulajdonság kialakulását is előidézheti a választott karakterisztika, de mivel a hímbe egy viszonylag egyszerűen cserélhető alkatrész a járműben, ezért az említett progresszív, lineáris vagy degresszív karakterisztika közül a legmegfelelőbb a tesztek során kiválasztható. A tervezési fázisban kívánt hímageometria kialakítását, a rugók és a stabilizátorok merevségének megválasztását a már említett összetett járműmodell segítségével végeztük.

FUTÓMŰ-KINEMATIKA

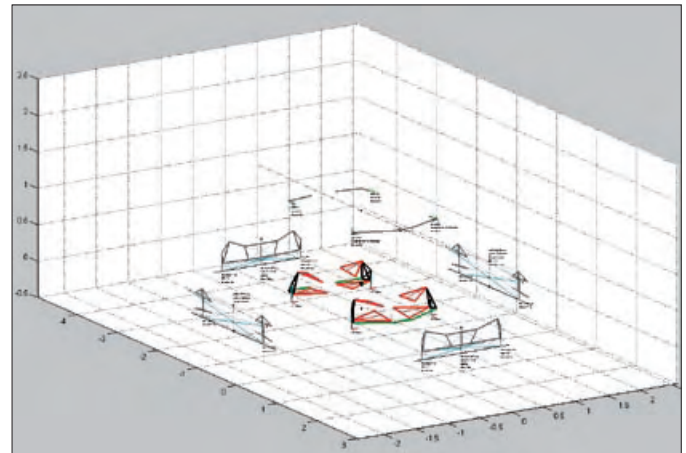
Futómű-kinematika alatt az alapvető futómű-geometriai paramétereknek a járműtest mozgása közben való megváltozását értjük. A téma részletes tárgyalása és a használt fogalmak precíz definiálása szintén nem fér bele ezen cikk kereteibe, az érdeklődők részletes információkat [2]-ben találhatnak. A kerékdőlés változásának megválasztásakor a cél az, hogy értéke kanyarodáskor minél közelebb legyen ahhoz az értékhez, amikor a gumi a legnagyobb oldalerő átvitelére képes, azonban fékezéskor és gyorsításkor lehetőleg maradjon függőleges, hiszen hosszirányú erőt az abroncs ekkor tud a legkedvezőbben létrehozni. Ezt úgy érhetjük el, ha a futómű előnézeti geometriájában rövidebb felső lengőkarokat választunk, melyek a ki- és berugózás során nagy kerékdőlés-változást eredményeznek.



10. ábra: a kerékdőlés változása

Ez természetes fékezéskor vagy épp gázadáskor, amikor az első vagy épp hátsó kerekek berugóznak, növekedő kerékdőlést eredményezne. Ezt a jelenséget azonban az oldalnézeti geometria egyik fontos paraméterének, az úgynevezett bólintási centrumok helyének a megfelelő választásával, a jármű bólintásának megszüntetésén keresztül csökkenthetjük.

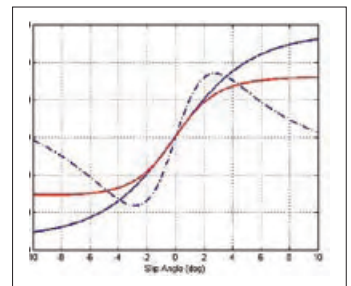
A futómű önkormányzási tulajdonságainak meghatározásakor a tengelykarakterisztikák tárgyalásakor folytatott gondolatmenet alapján azt választottuk, hogy berugózáskor a hátsó kerekek az összetartás irányába térjenek el, ez azt jelenti, hogy a jármű dölésekor a külső kerék össze-, míg a belső szét tart, az az eset áll elő, mintha a hátsó kerekeket az elsővel azonos irányba kormányoztuk volna. Ennek a jelenségnek különösen a kigyorsítások során van fontos szerepe, amikor a hátsó tengelyen ébredő hosszirányú erő miatt csökken az oldalerő átvivő képesség, így ez a túlkormányzott viselkedés felé viszi az autót.



11. ábra: a futómű-kinematika vizsgálatát segítő modell

Ezt a fajta önkormányzást a nyomtávrvúd megfelelő szögben történő elhelyezésével tudjuk elérni. A futómű-kinematika elemzését a már említett járműmodell segítségével végeztük, melyben természetesen erre is lehetőséget adott.

A ki- és berugózás közben kialakuló nyomtávrváltozást viszonylag nagy értékűnek választottuk. Ezt főként annak érdekében tettük, mert így a ki-be rugózás során kismértékű, ám folyamatos keresztirányú csúszásokra kényszerítjük a gumiabroncsot, ami hozzájárul a gyors melegedéshez. Természetesen ugyanez a jelenség az abroncs túlmelegedését, illetve idő előtti kopását is okozhatja, ezért óvatossá kellett lennünk, különösen amiatt is, mert a melegedéssel kapcsolatos jelenségeket a már említett modellben nem volt lehetőségünk a tervezés során tesztelni. A csapgeometria kialakításakor több követelményre is tekintettel kell lennünk. Az egyik az, hogy a kormányon keresztül a pilóta megfelelő visszajelzést kapjon a gumiabroncson ébredő oldalerőről. Ennek elérése érdekében a 3. ábrán látható visszatérítő nyomatékokat és az oldalerőt kell figyelembe vennünk. Kis utánfutás választása esetén az oldalerő miatt csak csekély nyomaték ébredne, tehát a kormánykeréken érzett nyomaték főként a visszatérítő nyomatékból adódna. Ekkor azonban a 12. ábrán jól látható módon a kormánynyomaték még jóval a maximális oldalerő elérését jelző oldalkúszási érték előtt csökkenni kezdene, ami nem kívánatos jelenség, hiszen a csökkenő kormánynyomatékból a pilóták ösztönösen csökkenő oldalerőre következtetnek, és nem növelik tovább a kormányszöget, ezzel kihasználatlanul hagyva a gumiabroncsot. A túl nagy utánfutás viszont túlságosan nagy kormánynyomatékokat eredményezett ami ugyancsak nem kívánatos jelenség. A kívánt cél elérése érdekében tehát az utánfutás értékének optimális megválasztását kell elérnünk.

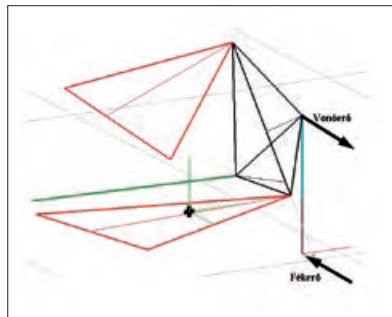


12. ábra: helyesen választott csapgeometria esetén a kormánynyomaték (piros). Visszatérítő nyomaték (szaggatott). Oldalerő (folytonos)

A csapgeometria egy másik fontos szerepe az átterhelődések kormányelforgatással történő változtatása. Ez annak köszönhető, hogy a csap tengelyének a keréktalpponthoz viszonyított helyzete és szöge függvényében elkormányzáskor az autó egyik oldala megemelkedik, illetve leereszkedik, így járulékos átterhelődés jön létre a hátsó tengelyen. Ez a jelenség teszi lehetővé, hogy a kormányszögön keresztüli irányíthatóságot javítsuk a gumikarakterisztika csökkenő meredekségű tartományában is.

A csapgeometria egy másik fontos szerepe az átterhelődések kormányelforgatással történő változtatása. Ez annak köszönhető, hogy a csap tengelyének a keréktalpponthoz viszonyított helyzete és szöge függvényében elkormányzáskor az autó egyik oldala megemelkedik, illetve leereszkedik, így járulékos átterhelődés jön létre a hátsó tengelyen. Ez a jelenség teszi lehetővé, hogy a kormányszögön keresztüli irányíthatóságot javítsuk a gumikarakterisztika csökkenő meredekségű tartományában is.

A kormányzás egyik fő paramétere az ún. Ackermann kormányzás. E paraméter arra utal, hogy kormányzáskor a kanyarban a külső és belső kerekek mennyire eltérő szögben fordulnak el egymáshoz képest. Ezen paraméter helyes megválasztásához egy fontos bemenő adat volt, a 4. ábrán látható görbesereg, melyből az derült ki, hogy mekkora különbségre van szükség az elkormányzási szögekben ahhoz, hogy az oldalkúszási szögek adott oldalterhelésnél egyezők legyenek. Volt már szó arról, hogy az egyes kerekeknek hogyan adhatunk járulékos elkormányzási szöget a kerék ki-berugózása közben, azonban ez elérhető megfelelő rugalmas elemek futóműben történő elhelyezésével is, a kerék függőleges mozgásától függetlenül. Egy ilyen rendszer alkalmazásától első évünkben a kivitelezés során jelentkező járulékos bonyodalmak miatt eltekintünk, azonban a nem tökéletesen merev kapcsolatok és anyagtulajdonságok miatt ezen rugalmas alakváltozások hatásával számolnunk kell.



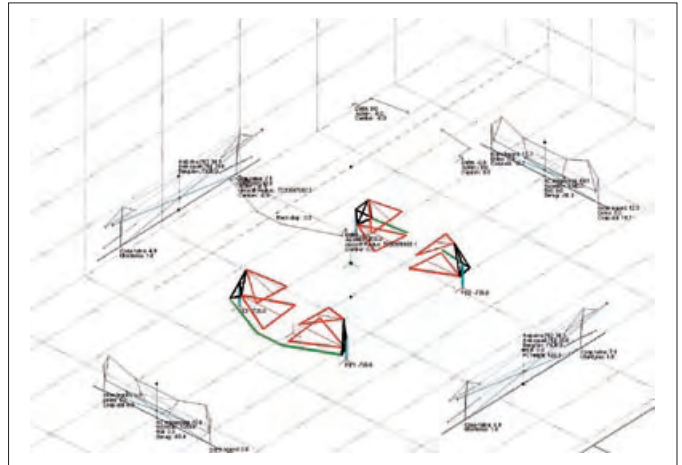
13. ábra

Eme jelenség kapcsán a célunk az volt, hogy a nem kívánt rugalmasságok és deformációk miatt kialakuló kerék-elkormányzás mind fékezésakor, mind gyorsításkor az összetartás irányába vigye el a kerekeket. Ismét csak a jelenségek precíz levezetése nélkül erre az ad lehetőséget, hogy a vonóerőt reprezentáló erőt a kerék középpontjába kell elhelyeznünk, míg a fékezésakor ébredő erőt a kerék talppontjába. Ez természetesen nem minden futómű és hajtáslánc-elrendezés esetén igaz, például, ha a differenciálművet fékeznénk, a fékerő és a vonóerő támadáspontját egy helyre kellene felvinnünk. A célunk eléréséhez a csapszeg tengelyét a 13. ábrán látható módon kellett elhelyezni.

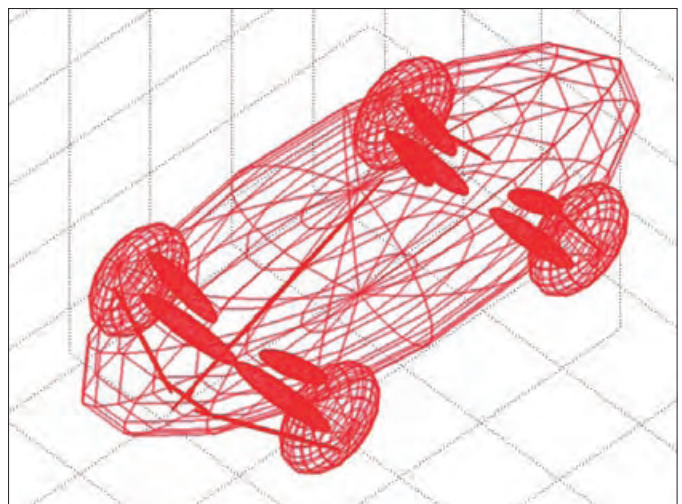
Megfigyelhető, hogy az ellentétes irányú erők a csapszeg helyzete miatt azonos irányú nyomatókat hoznak létre, így amennyiben nem kívánt rugalmasságok vannak a rendszerben, mindkét esetben az összetartás irányában fog elfordulni a kerék. A futómű-kinematika egyik különösen fontos paramétere a momentáncentrumok helyzetének megválasztása, de talán még kritikusabb az, hogy hogyan változik e pontok helyzete abszolút értelemben és egymáshoz képest a jármű dőlése, bólintása és ki-be rugózása során. Természetesen a momentáncentrumok helye is a már oly sokat emlegetett átterhelődések miatt lesz fontos. Ismét csak részletekbe menő tárgyalás nélkül, tényként közöljük, hogy a magasabb momentáncentrummal rendelkező tengely dőlési merevsége nagyobb, így nagyobb átterhelődést és csökkenő tapadást eredményez. További hatásként említhető, hogy a magasabban lévő momentáncentrumok sokkal közvetlenebb, direktebb járműreakciót eredményeznek („gokartszerűbb” irányítás), míg az alacsonyabb helyzet az állandósult állapotbeli viselkedésnél jelent előnyt. Mivel tisztában vagyunk vele, hogy rendkívül sok paraméter határozza meg a jármű konkrét viselkedését, és az általunk készített rendkívül összetett modell használata mellett sem tudjuk biztosan előrejelezni az autónk pontos tulajdonságait, úgy döntöttünk, hogy a momentáncentrumokat viszonylag alacsonyan, azonos magasságra helyezzük el, és mozgásukat is igyekszünk azonos mértékűre kialakítani. Bár így nem jutottunk el a legmegfelelőbb kinematika megvalósításához, de így a rugalmas elemek (stabilizátorok, rugók) paraméterváltoztatásának hatásai sokkal jobban nyomon követhetők, és a tesztek során autónk viselkedéséről gyorsabban, többet tanulhatunk.

JÁRMŰMODELL

A korábbiakban már több alkalommal is említést tettünk arról a járműmodellről, amit annak érdekében hoztunk létre, hogy a járműtervezés során választandó paraméterek hatásait minél részletesebben megvizsgálhassuk, legyen szó a jármű lengéstan, kinematikai vagy dinamikai tulajdonságairól.

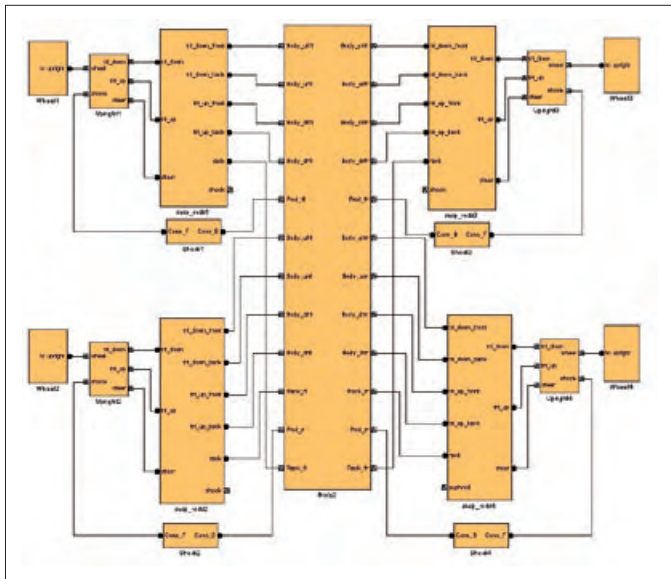


14. ábra: a modell vizsgálata



15. ábra: a modellt alkotó merev testek

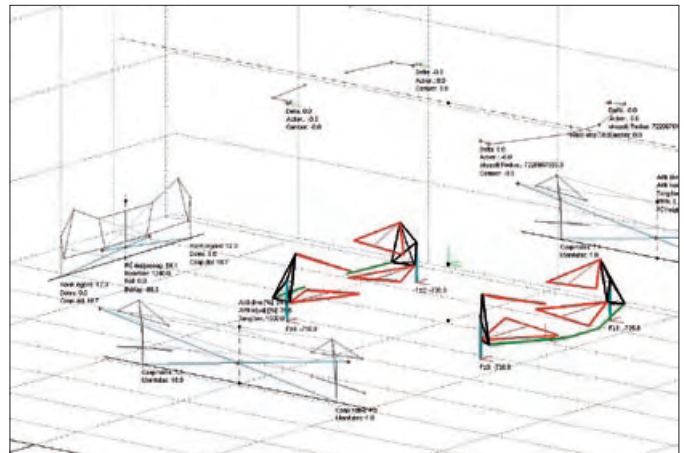
A modellt Simulink/SimMechanics programcsomag használatával készítettük el, ami egy többtestdinamikai modellező környezet. A többtest modell használatára mindenképp szükségünk van, amennyiben a futómű-kinematika (momentáncentrumok, futóműbekötési pontok helye stb.) átterhelődésekre gyakorolt hatását pontosan vizsgálni szeretnénk. Az általunk elérhető információk alapján a legtöbb neves járműdinamikai szoftver ebből a szempontból nem kezelte kielégítően ezt a jelenséget. Legtöbbjük a kinematika hatását úgy veszi figyelembe, hogy a futóműrudazat kialakításának megfelelően a kerekek függőleges mozgása következtében kialakuló kerékdőlés-, nyomtáv- és összetartás-változásokat eltárolja és egy egyszerűbb dinamikai modellbe ezeket a futás során visszacsatolja. Ez ugyan arról, hogy a jármű hogyan használja az abroncsokat, kielégítő eredményt adhat, azonban a már említett, átterhelődésekkel kapcsolatos jelenségek elvesznek. Természetesen léteznek olyan többtestdinamikai modellező szoftverrendszerek, melyek minden szempontból kielégítő eredményeket tudtak volna szolgáltatni, azonban ezek egyelőre nem álltak rendelkezésünkre.



16. ábra: a modell struktúrája Simulinkben

A készült modell segítségével a kinematika analízisa is lehetővé vált, a fontos paraméterek számítását a kiértékelő programrészben valósítottuk meg.

A lengéstani paraméterek vizsgálatához egy külön programrészt készítettünk, mely adott paraméterű teljesítménysűrűség spektrum alapján előállított egy-egy keréktalpponti elmozduláslefutást, amelyet a járműre mint gerjesztőbemenetet adhattunk. Így lehetőségünk volt a keréktalpponti erők és a csatolt lengések alakulásának vizsgálatára is, adott irányú eredő gyorsulás mellett. A modell segítségével az említett adatokon kívül a futómű egyes bekötési pontjaiban ébredő erőket is meghatározhattuk, így az egyes alkatrészek szilárdsági méretezésére használt végelelemes technikák pontosabb bemenő adatok alapján dolgozhattak. Bár az elmúlt évben nem alkalmaztuk, de adott sztohasztikus gerjesztés esetén a bekötéseknél ébredő erők is sztohasztikusan változók lesznek, így pontosabb kifáradási analízisre is lehetőségünk nyílik. Mint minden járműdinamikai szimulációban, a legkritikusabb itt is a gumiabroncsok helyes modellezése volt. Erre a célra a Delft-Tyre nevű szoftvert használtuk, mely a jól ismert Pacejka-féle ún. Mágikus Formulára épül. A modell helyes működéséhez több mint 80



17. ábra: a kinematikai paraméterek vizsgálata

paraméter szükséges. A Formula Student csapatok számára ezek értékét a Formula SAE Tyre Test Consortium (TTC) minden évben valós mérések alapján meghatározza, és a csapatok számára elküldi, amennyiben a csapatok a tagdíjat egyszeri alkalommal befizetik. A TTC minden évben 4–5 féle kimondottan FSAE gumiabroncsot tesz, így az elmúlt 3 év alatt jelentős adatmennyiség gyűlt össze.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra kerültek azon dinamikai jelenségek, melyek alapján a BME – FRT csapata első versenyautójának futóművét tervezte. A konkrét méretezési számítások és választott karakterisztikák helyett arra törekedtünk, hogy minél szélesebb körűen, minél átfogóbban világítsuk meg azokat a törvényeket, amelyek a versenyautó tervezése során hozott döntéseinket befolyásolták.

Irodalom

- [1] Hans B. Pacejka, Tire and Vehicle Dynamics (Hardcover) p.627 Society of Automotive Engineers Inc (October 2002) ISBN-10: 0768011264 ISBN-13: 978-0768011265
- [2] Milliken, W. F., Milliken, D. L. Race Car Vehicle Dynamics (Hardcover) p. 993, SAE International (August 1995), ISBN-10: 1560915269 ISBN-13: 978-1560915263

Formula Student versenyautó négyhengeres benzinmotorjának modellezése és optimalizálása

Dudás Zoltán

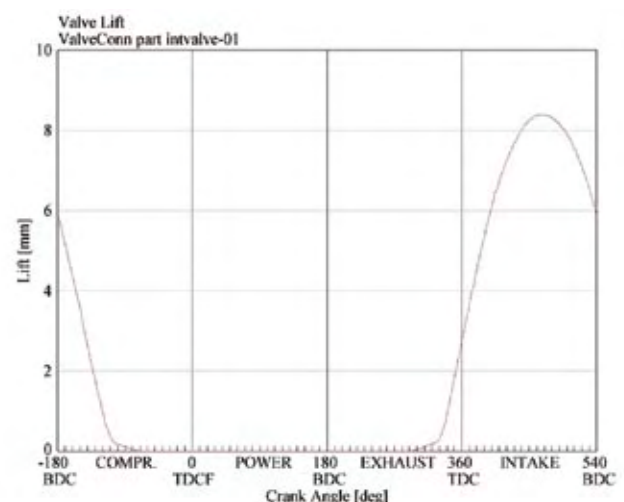
hallgató,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Gépjárművek Tanszék

Egy előző cikkben főként szűkítő tervezéséről és a szabályzat előírásairól volt szó, most a munkafolyamat szimulációjának rövid összefoglalását mutatjuk be. Hangsúlyozzuk, hogy az átalakítás egyrészt a szabályzat előírásai miatt volt kötelező, másrészt a motor karakterisztikáját a gyárilag tervezettől eltérő üzemeltetési környezethez kívántuk igazítani. Ez főként az alacsonyabb fordulatszám-tartományba helyezett nyomatékcsúcsot jelentette.

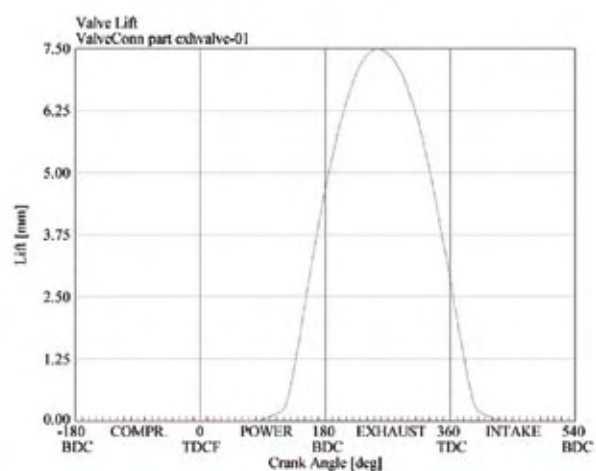
In a previous article we wrote about the design of the restrictor and the related rules, now we present a short summary of the simulation of the engine workflow. We would like to focus on the mechanical transformation, which was caused by the rules of the competition and we also wanted to fit the engine characteristics to the different operating circumstances. First of all this meant a peak torque placed at a lower rev range.

Egy szimuláció eredménye csak annyira lehet pontos, amennyire a bemenő adatok pontosak, ezért nagyon fontos volt a motor azon részeit a lehető legpontosabban lemérni, amelyek a program számára bemenő adatok. Így a szelepemelés mellett a szívó- és kipufogócsövek és csatornák hosszát és átmérőjét is meg kellett határozni. A befecskendezés és gyújtás pontos adatai a motor akusztikai hangolásánál nem lényegesek, így ezek mérésével nem foglalkoztunk. Különösen fontos volt a hengerfejen lévő csatornák lehető legpontosabb lemerése, mivel az optimalizálás során ezek változatlanok és nem elég pontos értékek azt eredményeznék, hogy az optimalizálás eredményeként nem a legmegfelelőbb szívó- és kipufogórendszer-geometriát határoznánk meg. Ugyanilyen lényeges volt az emelési görbék meghatározása. Ezek meghatározásához mérőóra segítségével lemertük a bütőkprofilokat (1. és 2.

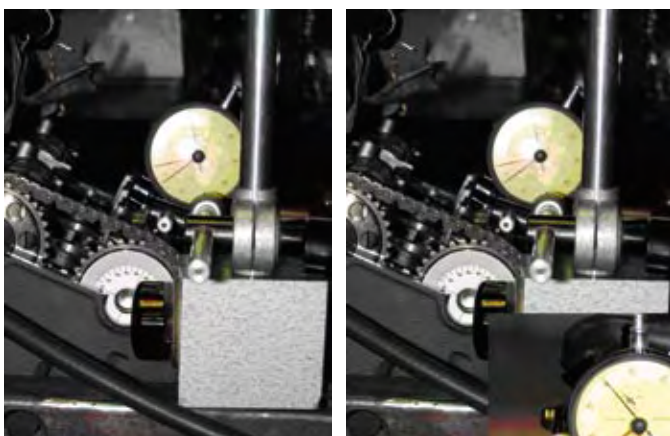
A bütőkprofilokból Matlab segítségével meghatároztuk az emelési görbéket (3. és 4. ábra).



3. ábra: szívószelep-emelési görbe



4. ábra: kipufogószelep-emelési görbe



1. ábra: a mérőóra és a szög tárcsa

2. ábra: mérőóra a tengelyen

ábra). A méréshez 0,01 mm pontosságú mérőórát és papírból készült 2 fokként skálázott szög tárcsát használtunk. A bütőkkel átellenes oldalra tettük az órát, mert ott biztos 0 az emelés, és úgy állítottuk be, hogy 0-t mutasson. A főtengety elforgattuk úgy, hogy az 1. henger felső holtpontban legyen (kompresszióütem vége). A vezérműtengety forgatva nemcsak a bütőkprofil, de az emelés kezdetéhez és végéhez tartozó vezérműtengety-szögértéket is meg tudtuk határozni.

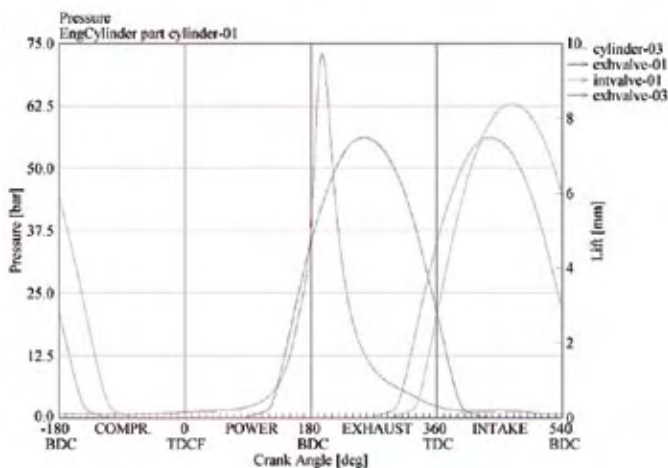
A motormodell felépítése előtt el kellett döntenünk, hogy milyen kialakítású kipufogórendszert és szívórendszert szeretnénk használni. A szívórendszer kialakításakor két típus közül választhatunk. Az egy levegőelosztónak (airbox) az előnye, hogy olcsó és egyszerűen gyártható, hátránya, hogy a hengerek zavarják egymás töltetcserejét. 1342 gyújtássorrendet feltételezve ugyanis, amikor az 1. henger a szívóütem végéhez ér – alsó holtpont után – a 3. henger szívószelepei már elkezdtek kinyitni (felső holtpont előtt), tehát egy ideig a két henger szívószelepei egyszerre vannak nyitva, zavarják egymás töltetcserejét, aminek eredménye a kisebb töltet, tehát kisebb teljesítmény. A két airboxos rendszerrel ez a kellemetlen hatás elkerülhető, hiszen itt egy airboxba attól a két hengertől jövő szívócsövet csatlakoztatják, amik közt a gyújtástávolság 360 fok, tehát 1342 gyújtássorrend esetén az 1-es és 4-es hengert, valamint a 2-es és 3-as hengert. Mi első évünkben az egyszerűbb kivitelezhetőség szempontjából az egy airboxos megoldást alkalmaztuk. A kipufogórendszer lehet egy vagy két kipufogódobos 4-1, 4-2-1 vagy 4-2 rendszerű [1.]. A 4-1 rendszert magas csúcsteljesítmény eléréséhez szokták használni. A 4-2-1 rendszereket a lapos nyomatékgörbe elérése miatt alkalmazzák, a különbség a négy elsődleges cső két csőbe való összefogásánál van. Ez alapján megkülönböztetünk 4-2-1 180 és 4-2-1 360 kialakítású rendszereket. Az első azt jelenti, hogy attól a két hengertől jövő csövet fogjuk egybe, amelyek gyújtása egymáshoz képest 180 fokkal következik be, tehát 1342 gyújtássorrend esetén az 1-es és 3-as, valamint a 4-es és 2-es csöveket kötjük egybe. Ezzel a kialakítással az a probléma, hogy a szelepösszenyitás miatt az 1. henger kipufogószelepe és szívószelepe egy ideig egyszerre

van nyitva, tehát az 1. henger kipufogószelepe még nyitva van, amikor a 3. henger kipufogószelepe nyitni kezd. Mivel a kipufogószelepet belenyitják a munkáütembe, hogy a nyomáskülönbség miatt minél jobban kiürüljön a henger, tehát minél kisebb legyen a kitolási munka, ezért ez a nagy nyomás megakadályozhatja az 1. henger öblítését, esetleg kipufogógáz áramolhat vissza a hengerbe, csökkentve a teljesítményt (5. ábra).

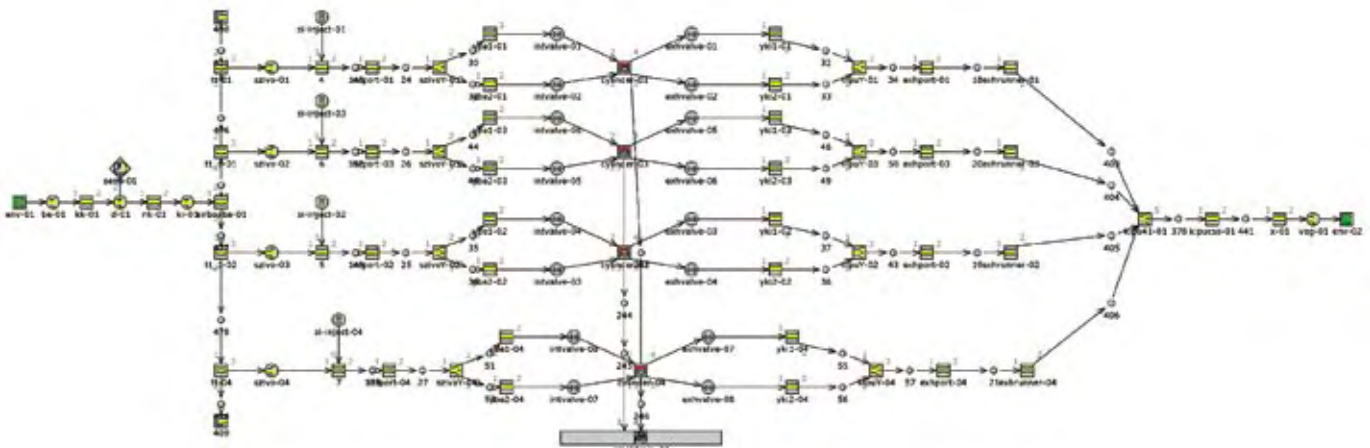
A második eset azt jelenti, hogy az egymáshoz képest 360 fokkal eltolt gyújtású hengerekhez tartozó csöveket fogjuk össze, tehát az előbbi gyújtássorrend esetén az 1-es és 4-es, valamint a 3-as és 2-es hengerhez tartozó csöveket. Ebben az esetben az előbbi esetről fellépő kellemetlen hatástól nem kell tartani. Végül a rendelkezésünkre álló információk alapján a 4-1 rendszer mellett döntöttünk. A szívórendszer kialakításánál az egyszerűség és ezzel a könnyű gyárthatóság volt a legfontosabb szempont, ezért a fix csőhosszas szívórendszer mellett döntöttünk. Miután a szükséges bemenő adatokat kiszámítottuk és lemértük, következtethetünk a motor modelljének felépítése (6. ábra). A modell elkészülte után hozzáláttunk a szükséges szívó/kipufogó geometria közelítő meghatározásához. A többi csapat rendszereit tanulmányozva meg lehetett határozni, hogy várhatóan milyen hosszú és átmérőjű szívó/kipufogó csöveket kell majd alkalmaznunk. Erre azért is szükség volt, hogy az optimalizálás során a programnak minél kevesebb kombinációt kelljen kiszámolni, azaz minél hamarabb meg tudjuk határozni a végleges csőhosszakat és átmérőket.

A SZÍVÓ- ÉS KIPUFOGÓRENDSZER OPTIMALIZÁLÁSA

A motor optimalizálásához a program DOE (Design of Experiments) menüjét használtuk. Ez egy strukturált, szervezett módszer, amellyel meghatározó a független és függő változók közti kapcsolat. Kiindulásként meg kellett adni, hogy mely paramétereket akarjuk változtatni az optimalizálás során, és ezeket a paramétereket milyen intervallumban változtassuk, és ezt az intervallumot hány részre ossza fel. Itt a szívó/kipufogó csövek hosszát és átmérőjét adtuk meg. A szívócsövek hosszát 150 és 250 mm közötti tartományban kívántuk vizsgálni 20 mm-es lépésekben, míg az átmérőjét 30 és 40 mm között, 2 mm-es lépésekben. A kipufogócsövek esetében a hossz 750 és 800 mm közt 20 mm-enként, míg az átmérőt 30 és 36 mm közt 2 mm-enként vizsgáltuk. A program az összes lehetséges variációt lefuttatta. A kapott eredmények kiértékelését háromféleképpen végezhetjük el. Az egyik megoldás az, hogy minden fordulatszámra külön meghatározzuk az optimális geometriát, a másik az, amikor az összes fordulatra optimális állandó geometriát határozzuk meg, a harmadik pedig az, amikor valamelyik változó(k) értékét



5. ábra



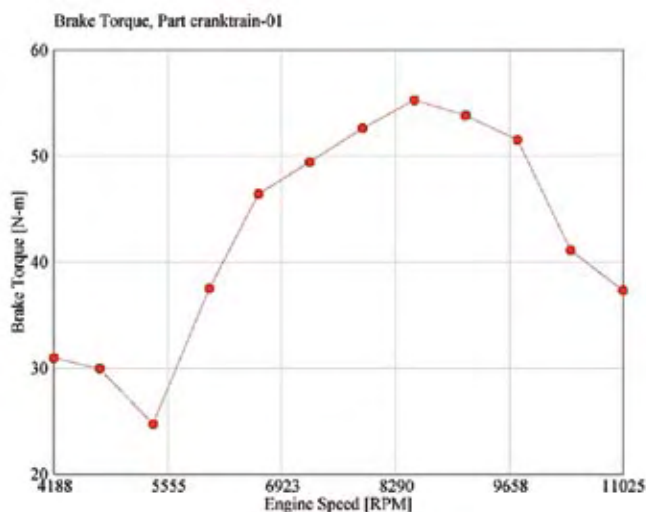
6. ábra: a motor modellje

rögzítjük, és az optimalizálást az előbbi két megoldás valamelyikével végezzük. Ez utóbbi megoldást használják például változtatható szívócsőhosszas lengőcső-feltöltésű motorok optimalizálásához. Mi a második megoldást alkalmaztuk, tehát egy olyan geometriát kerestünk, amelyik a teljes fordulatszám-tartományban optimalizálja a motor működését. A program lehetőséget ad továbbá a fordulatszámok súlyozására is. Ez azt jelenti, hogy ha például fix szívócsőhosszas szívórendszert akarunk, és azt akarjuk elérni, hogy inkább alacsony fordulaton legyen képes a motor nagy nyomatékot leadni, akkor az alacsony fordulatszámok súlyát egynek, míg a magasakét egynél kisebbnek vagy akár nullának érdemes választani. Elvégezve az optimalizálást úgy, hogy a súlyozásban csak a 6 000-tól 10 000 fordulatig terjedő tartomány súlya volt egy, a többi pedig nulla, a következő geometriát kaptuk:

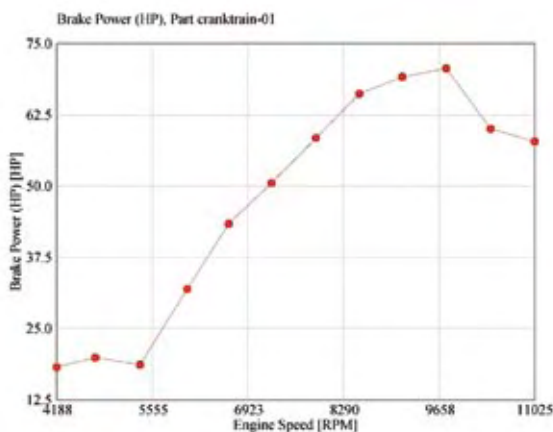
- Szívócsőhossz: 200 mm
- Szívócső átmérője: 35 mm
- Kipufogócsőhossz: 800 mm
- Kipufogócső átmérője: 34 mm

AZ OPTIMÁLÁS UTÁN KAPOTT MOTOR JELLEMZŐ GÖRBÉI

A motor nyomatéki görbét nézve megállapítható, hogy a kitűzött célt elértük, a motor nyomatékát sikerült alacsony fordulatszámra hangolni. A maximális nyomaték 55 Nm, ezt 8500 1/perc-nél éri el a motor, de már 6000 1/perc-nél is 37 Nm áll rendelkezésre.

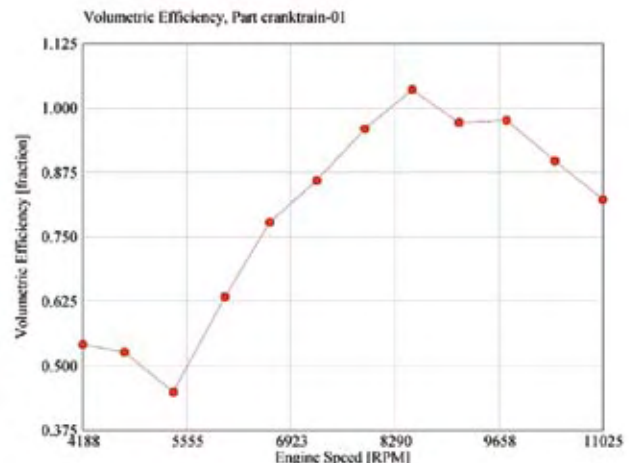


7. ábra: nyomatéki görbe



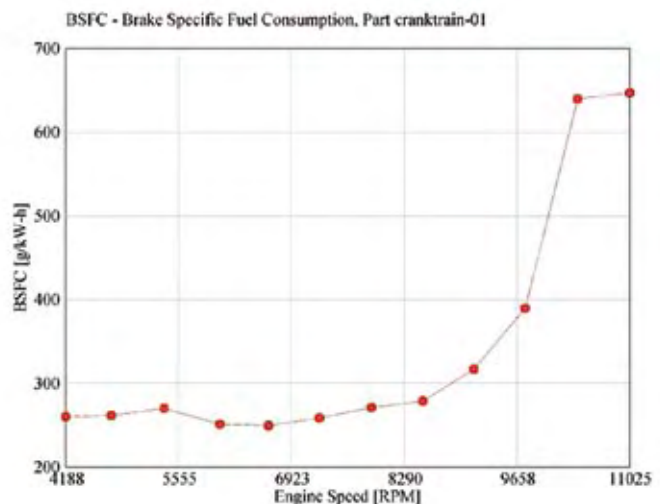
8. ábra: a teljesítménygörbe

Mivel a változtatások módosítására nem volt lehetőségünk, a motor maximális teljesítményénél sokkal fontosabb volt, hogy olyan karakterisztikát kapjunk, amely megfelelő teljesítménykihasználási tényező elérését teszi lehetővé. Az elért 70.6 Le átlagosnak mondható, és megfelel a többi olyan csapat teljesítményének, akik szintén alacsony fordulatszámra hangolták a motort, és nem használnak változtatható szívócsőhosszas szívórendszert.



9. ábra: volumetrikus hatásfok

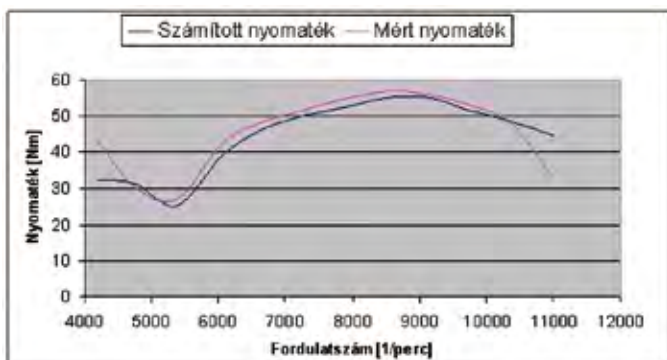
A volumetrikus hatásfok a henger töltésére és ezzel a nyomatékára utal. A volumetrikus hatásfok maximális értékét ezért a nyomatékcúcsnál éri el, értéke 103%.



10. ábra: fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás

Magas fordulaton a szűkítő és a gyári elektronika miatt a keverék túl dús lett. A tüzelőanyag-fogyasztás nagyon fontos a verseny alatt. A megbízhatósági versenyszám alatt mérik és 0-tól 50 pontig pontozzák. A legkisebb fogyasztású csapat kapja az 50 pontot, a többiek a fogyasztásuknak megfelelően arányosan kevesebbet. A jövő évtől a fogyasztás még fontosabb lesz, mivel a legjobb már 100 pontot fog kapni, aki pedig túllépi a másfél gallonos limitet, az akár – 100 pontos büntetést is kaphat. A szimuláció eredményét szükséges hitelesíteni, mivel így fény derülhet a modell esetleges hibáira, amik javítása kiemelt fontosságú a következő autó tervezésének megkezdése előtt. A hitelesítést egyetlen módon lehet megvalósítani: fékpadon le kellett mérni az autó teljesítményét. A mérési eredmények (11. és 12. ábra) birtokában megállapíthatjuk,

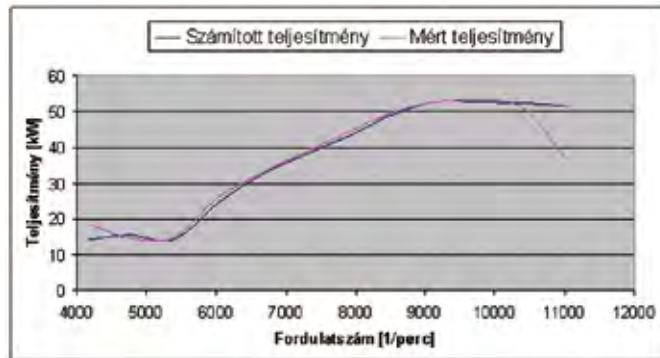
hogy a motor modelljét sikerült elsőre jól elkészíteni. A szimulációval elért nyomaték- és teljesítménygörbék a mért görbék alatt vannak szinte a teljes fordulatszám-tartományban. Ebből arra lehet következtetni, hogy olyan hiba van a rendszerben, ami fordulatszámtól függetlenül mindig jelentkezik. Ilyen hibaforrás lehet a befecskendező-rendszer, ugyanis a használt befecskendező-rendszer a programban létező legkezdetleesebb. Lehetőség lett volna szekvenciális befecskendezés alkalmazására is, de ehhez olyan adatokra lett volna szükségünk – például befecskendezési térkép –, amiket nem tudtunk beszerezni. Ugyancsak hibaforrás lehet a szűkítő modellje, ami a modellben két kúppal lett modellezve, pedig a valóságban csak a diffúzor része kúp, a konfúzor része nem. A kipufogódob modellje szintén nem tökéletes, mert a programban nem lehet csak akusztikus csillapítású dobot modellezni, a miénk pedig nem ilyen, hanem üveggyapattal tömött.



11. ábra: nyomatéki görbék

ÉRTÉKELÉS

A versenyek után kijelenthető, hogy a számítógéppel meghatározott geometria a valóságban jól vizsgázott, hiszen a német versenyen a gyorsulási versenyszámban az első 30 között végeztünk, amely a elsőéves csapattól rendkívül jó eredménynek számított. Különösen igaz ez, ha azt figyelembe véve, hogy 4,729 s-es időt autózva egy üresen is 308 kg-os autóval mindössze 0,8 s-mal maradtunk el a legjobb csapattól, akiket a 3,9 s-os idő elérésében rajtautomatika és kipörgésgátló is segített. A német versenyen végül a 49. helyen végeztünk a 78 indulóból a jobb oldali féltengelycsukló törése miatt, az olasz versenyt pedig 31 induló közül 16. helyen fejeztük be, amivel a versenytársak és a bírák elismerését is kivívtuk. Fontos



12. ábra: a teljesítménygörbék

megemlíteni, hogy a motor az elvégzett átalakítások ellenére is használható maradt a gyári vezérlőelektronikával.

FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A jövő évi autó fejlesztéséhez a motor GT-Power modelljét kiegészítjük az autó GT-Drive modelljével, ami a GT-Ise programcsomag azon része, amivel járműdinamikai számításokat lehet végezni. Az új kiegészített modellel lehetőségünk lesz arra, hogy az optimalizálást úgy végezzük el, hogy a szívó/kipufogó csövek hosszát és átmérőjét változtatva azt a geometriát keressük, amivel az autó gyorsulása maximális, vagy ami ezzel ekvivalens, az autó 0-ról 100-ra gyorsulási ideje minimális. Ilyen megoldást egyik csapatnál sem láttunk, ami a műszaki tartalom bemutatásánál előnyt jelent. Az új autóban továbbá szeretnénk egy változtatható szívócsőhosszas szívórendszert kifejleszteni. Jövőre a gyári vezérlőelektronika helyett versenyelektronikát szeretnénk használni, mivel a szabályok lehetővé teszik, hogy a különböző versenyszámokhoz különböző beállításokat használjanak a csapatok. Például gyorsuláson dús keveréket használhatnánk, megbízhatóságon sztöchiometrikust vagy enyhén szegényet, hangerőteszten pedig az előgyújtás korábbra időzítésével csökkenthetnénk a mért hangerőt. Hosszú távú terveink közt szerepel új vezérműtengelyek tervezése, amivel a nyomaték alacsony fordulatszámra hangolása hatékonyabban elérhető.

Irodalom

- [1] Badih Jawad, Christopher Biggs and Bradley Klein (2002): Exhaust System Design for a Four Cylinder Engine SAE Motorsports Engineering Conference and Exhibition

NABI 45 C-LFW CompoBus

Balvin Nándor
ipari formatervező,
a Kaposvári Egyetem
Művészeti Karának oktatója,
a Moholy Nagy Művészeti
Egyetem Doktori
Iskolájának hallgatója

2001-ben a NABI (North American Bus Industries) megkezdte a kompozit felépítésű CompoBus 45 C-LFW típusú autóbuszok gyártását Magyarországon, a kaposvári gyáregységében. A járműből 164 db-ot gyártottak le és exportáltak a tengerentúlra. Az Amerikai Egyesült Államok Szövetségi Közlekedési Hatósága 2005-ben nem hosszabbította meg a cég Buy America törvény alóli mentességét, így a gyártást leállították. A cég tulajdonosváltása és átszervezése után a termelés ez évben újraindult. Jelenleg nem kész járműveket szállítanak, hanem csak a karosszériát. A végső összeszerelés a NABI annistoni gyárában történik.

In 2001 the NABI (North American Bus Industries Inc) started to produce the composite-structured Compo Bus 45 C-CLW vehicles in Hungary at Kaposvár. They made and exported 164 buses to the USA. In 2005 the FTA (Federal Transit Administration) wasn't give the exemption from law 'Buy America' no longer, as follows the making stopped. After changed the owner of the factory and reshuffled it the produce restarted in this year. At the present time they not carry complet buses just the bodywork. The final assembly happens in Anniston.

ELŐZMÉNYEK

A NABI (North American Bus Industries) 2001-ben Magyarországon új telephellyel bővítette kapacitását. A zöldmezős beruházásban létrehozott üzem Kaposvár keleti ipari parkjában kapott helyet. A cég 2002 nyarától kezdte meg a 45 C-LFW CompoBus műanyag karosszériájú jármű sorozatgyártását. A kaposvári üzem csaknem teljesen készre szerelt járműveket szállított az ALABAMA államban, Anniston városában működő NABI Inc-nek, ahol az autóbuszok készreszerelése történt. Phoenix és Los Angeles városok voltak a különleges új busz első vevői. A tengerentúli piacon rendkívül sikeresnek ígérkező termék gyártása azonban sajnálatos módon 2005 nyarán a 164. busz legyártása és leszállítása után megakadt. Ettől kezdve a gyár „hibernált” állapotban várta sorsát egészen 2008-ig. A cég ekkor indította újra a CompoBus gyártását.

OKOK

Egy üzemplátogatás keretében Pais Nimród, a NABI kaposvári gyárának igazgatója mesélte el a történet hátterét.

– A termelés indulásától a gyár ideiglenes bezárásáig csaknem készre szerelt járműveket szállítottunk a tengeren túlra. 2004



A NABI kaposvári gyáregysége



Karbon- és üvegszövet terítése

decemberében azonban az USA Szövetségi Közlekedési Hatósága, az FTA (Federal Transit Administration) a továbbiakban nem hosszabbította meg a Buy America szabály alóli mentességünket. A törvény kimondja, hogy közbeszerzési eljárás kapcsán importált termékek esetében az áru költsége összértékének 60%-a belföldi előállításból kell hogy származzon, és maximum 40%-a lehet a külföldi hányad. Ugyanakkor előírja azt is, hogy a járművek végösszeszerelését az államokban kell elvégezni. A hatóság döntése nehéz napokat (éveket) hozott a kaposvári üzem számára – mondta Pais Nimród igazgató, aki a gyár alapkövének letétele óta vezetője a kaposvári gyárnak.

– A termelés befagyasztásához nagyban hozzájárult a dollár árfolyamának drasztikus csökkenése is, amely minden exportra termelő vállalat rémálma.

Az időközben történt tulajdonosváltás után idén újra indult a gyártás. Ennek két meghatározó előzménye van. Az egyik, hogy a NABI új tulajdonosa hasznosítani kívánta a kifogástalan állapotban lévő gyárat, a másik, hogy a Los Angeles-i Közlekedési Vállalat (LAMTA) megerősítette szándékát újabb 45'-as CompoBus-ok vásárlására. Jelenleg az amerikai törvényekkel összhangban nem készre szerelt buszokat szállítunk, hanem csak a járművek karosszériáját. A jármű gépészeti, felépítmény- és elektromos kiserelését is a NABI annistoni gyárában végzik, tette hozzá az igazgató.



Kompozit gyanta infúzió

A TECHNOLÓGIA ÉS A TERMELÉS

A rövid megbeszélés után, ami az igazgatói irodában történt, elindultunk a műhelyekbe. A kompozitgyártó csarnok felé közeledve feltűnő volt a csend, ami szokatlan egy buszgyár esetében. Az üzemi környezeti zajszennyezése nem mérhető. Külső szemlélő számára a gyár logikusan rendezett, funkcionálisan ésszerűen telepített, megjelenésében high-tech építészeti jegyeket mutat, mértékartó kialakítása jól illeszkedik a kellemes, zöldövezeti somogyi tájba. A funkció és forma találkozását a gyártási technológiához kitűnően tervezett és méretezett épületek garantálják. Az egyedi gyártási technológiáról az igazgató a következőket mondta:

– Az itt alkalmazott buszgyártási technológia más eszközöket igényel, mint a hagyományos acélvázas buszok előállítás. Itt



Balsafa elemek előkészítése



Szerszámból kiemelt héjszerkezet

nincs hegesztés, forgácsolás, fémmegmunkálás. Az egyedi technológia alapját képező SCRIMP-eljárás szabadalmát a NABI az amerikai TPI Composites Inc-től vásárolta. Ezzel egyedülálló a világon, mivel a NABI az egyetlen buszgyártó, aki komplett kompozit karosszériát gyárt. Maga a SCRIMP megnevezés egy angol mozaikszó, a Seemann Composites Resin Infusion Molding Process szavak kezdőbetűiből áll össze, ami magyarul: Seemann-féle kompozit gyanta infúziós formázási eljárás.

Az üzemszarnokba lépve hatalmas speciális formázószerszámok között folytattuk a sétát, hallgatva Pais Nimród igazgató úr technológiai ismertetőjét.

Maga a gyártási eljárás egyszerű, ugyanakkor mégis roppant összetett. A gyár indulása óta a munkafolyamat a gyakorlatban szerzett tapasztalatok alapján sok ponton módosult. A NABI buszspecifikussá fejlesztette a TPI-től átvett technológiát.

Az üvegszövetek, erősítő betétanyagok terítése szigorúan meghatározott rétegtervek szerint, nagy gondossággal történhet, hiszen ez a munkafázis a végtermék szilárdsági paramétereinek fontos tényezője. Csak emberi élőmunka képes ezt a precíziós folyamatot megoldani, az automatizálás elképzelhetetlenül bonyolult feladat lenne. Hogy milyen az optimális szövetelhelyezés, amely a legjobb strukturális szilárdságot adja? A kérdésre különlegesen képzett mérnökök adtak választ egy véges elem modellező program segítségével.

A járműkarosszéria héjszerkezete nem egy szimpla üvegszövet réteg, hanem egy pontosan tervezett szendvicsszerkezet. A külső rétegekben a kívánt szilárdságnak megfelelő szövésű és sűrűségű karbon- vagy üvegszövetet alkalmazunk. A rétegek közé a nyírószilárdság növelése érdekében balsafát építünk be.



Pais Nimród gyárigazgató és Farkas László feltaláló

A karbonszövet alkalmazása a jármű tetőszerkezete szilárdságának növelése céljából történik, ugyanis a tetőn kerülnek elhelyezésre a motor üzemanyagát tároló gáztartályok. A szendvicsszerkezet falvastagsága a jármű alján 5 cm. Az előkészített üvegszövetes szendvicsszerkezet átítatása a Derakane 411.200 típusjelű vinylészter gyantával történik. A jármű alsó részét képező szerszámba ebből a gyantából 750 kg-ot injektálunk. Ez az anyag a kitűnő mechanikai tulajdonságai mellett rendkívül ellenálló vegyi anyagokkal szemben is, az infúziós eljárásban optimálisan működik. A gyantához különböző promótereket keverve (kobalt naftenát, dimetil anilin, pentandion), kémiai befolyásoljuk a keménységet, a térhálósodási tulajdonságot, például a gélidőtartamot. A katalizátor (MEKP) hozzáadása az így előkészített gyantához közvetlenül az infúzió előtt történik meg.



Héjszerkezet előkészítése

A polimerizációs folyamat hőfejlődéssel jár, ami nyári időszakban okoz problémát, ilyenkor hűteni kell a felületet. A gyantainfúziós műveletet optimálisan 18 °C hőmérsékleten lehet végezni. A szerszámfelületre fújt gel-coat-ra kézi laminálással kerül felvitelre egy skin-coat égésgátló réteg. Az amerikai DOCKET 90 A szabvány előírja, hogy tűz esetén nem keletkezhet toxikus gáz, gátolni kell az égéskiterjedés esélyét, valamint minimum fél órát ki kell bírnia a szerkezetnek összeomlás nélkül. A szerszámban a gyantafeltöltő csövek a hosszanti szimmetriatengelytől kiindulva párhuzamosan kerülnek behelyezésre. A gyantával történő feltöltés is hasonlóan, a felezővonalától kiindulva fokozatosan haladva történik, egészen a szerszám külső pereméig. A feltöltéskor az egész szerszám fóliával fedett, amelynek szélei légmentesen zárnak. A szerszám peremvonalán a fólia alatt, körben elhelyezett spirállal erősített vákuumcső kerül behelyezésre. A feltöltés közben a fólia alatt keltett vákuum segíti az egyenletes gyantaeloszlást – mondta Pais Nimród.



Padlólemezek beragasztása

A rengeteg műgyanta és üvegszövet láttán megkérdeztük az igazgatót, vajon a dolgozók részére milyen veszélyeket rejt a technológia?

– Sokszor előkerül a kérdés. A munkavédelmi szabályok számunkra szigorú paramétereket írnak elő. A munkavédelmi eszközök kötelező használatától kezdve a levegő léghőmérsékleten kívüli megengedett szennyezőanyag-tartalmáig. A csarnok mennyezetén, valamint a talajszinten elhelyezett, nagy teljesítményű szűrőberendezések biztonságot garantálnak. A munkafolyamat kívánta védőeszközök használatát pedig szigorúan betartatjuk – mondta az igazgató.



Részelem szerszámának üvegszövet terítése



Előkészítés fényezésre



Részelem beillesztése

A méretre szabott üvegszövet elemek tárolását szolgáló állvány mellett elhaladva, a balsafa-előkészítő részleghez értünk.

– A világon egyedül Equadorban található fát New Jersey-ben dolgozzák fel, onnan kerül át Európába, mi a Le Havre-i elosztóból vásároljuk. Az üvegszöveteket az olasz SELCOM szállítja. A csarnokon belül egy zárt helyiség ablakán bepillantva figyeltük a szakfanderbe öltözött szakemberek munkáját, akik a szerszámból kiemelt részelemek szélezését végezték. A csarnok következő részlegében a már szélezett elemeket építették tovább. A jármű alsó héjszerkezetébe ragasztották be a középső és hátsó padlóelemeket.

– A technológiai folyamatnak ezen a pontján történik a strukturális elemek beragasztása, valamint a két nagy elem (busz alsó és felső rész) összeillesztése. Az alkotóelemek egyesítéséhez Plexus metil metakrilát ragasztót alkalmazunk. Az erőbevezetési helyeken 10–12 rétegű üvegszövetből előállított, előformázott elemeket használunk (a balsafa helyett). Amennyiben a hagyományos kötőelem használata elkerülhetetlen, akkor ragasztott talpas csavarokat építünk be. A motortartó és futóműtartó bakok is ragasztással kerülnek a helyükre, de ezeknél a szekunder biztonság érdekében a teljes keresztmetszeten átmenő vastag falú alátétekkel biztosított csavarrögzítést is alkalmazunk. (Ha csak ragasztással oldanánk meg a rögzítést, szilárdság szempontjából az is elegendő volna, de a biztonság mindennél előbbre való – mondta Pais Nimród.)

Elhagyva a csarnokot, egy rövid séta után átértünk a gyártásfolyamat következő állomására, a fényezőműhelybe.

– A festési műveletek sora megegyezik egy hagyományos járműfényező műhely technológiai folyamatával. Az ide átszállított karosszériát kitteljük, majd csiszoljuk, szóró kittreteget hordunk fel, majd ismét csiszolás következik. Ezután kerül fel a felületre a töltőalapozó, fugázás, majd színre fújás következik. A kerékdobokat 1,5–2 mm vastag Thermashield nevű anyaggal felületkezeljük, amely bevonat 1900 Fahrenheit hőmérsékletig tűzálló és zajszigetelő. A tetőt egy speciális, érdes felületet adó, csúszásmentes festékréteggel vonjuk be, ami biztonságosabbá teszi a tetőn elhelyezett gáztartályok szervizelését. A járművön megjelenő színeket a megrendelő amerikai közlekedési vállalat igényei szerint alakítjuk. Az itt látható járművek a Los Angeles-i Metro Közlekedési Vállalat Orange Line vonalán, a San Fernando völgyben lesznek üzembe állítva. A színe emiatt természetesen narancs és ezüst kombinációja. A busz formatervét az amerikai Anderson Design cég készítette. A tetszetős külsőn alkalmazott formai játékok tökéletes festése nagy szakértelmet és biztos kezet igényel. A jármű oldalán végigfutó, valójában csak esztétikai célokat szolgáló hornyon hibátlanul tükröződő felületet létrehozni nehéz feladat. A plusz erőfeszítés azonban nem hiábavaló, hiszen az USA járműpiacán egyre fontosabb tényező, hogy milyen egy busz külső designja.

A KÉSZTERMÉK

A festőműhelyből kiérve beléptünk egy újabb csarnokba, ahol a színre festett burkolóelemek karosszériatestre történő felszerelését végzik, megpillantottuk az impozáns, gyönyörű, kész karosszériát. Beszálltunk az ideiglenes tengelyekre szerelt jármű utasterébe, ahol az igazgató folytatta a beszámolót.

– Ez a 36-os sorszámú jármű, amit az újraindulásunk óta készítettünk el. A jelenlegi kiszerelés csak minimális, összhangban a Buy America követelménnyel.



Hátsó fal nélküli karosszéria



Karosszéria belső tér

Az autóbusz Annistonban kapja meg az igazi futóműveit, a jelenlegit csak a szállítási könnyítése céljából szereltük fel. Ugyanígy került felszerelésre az ideiglenes vonókeret, ami a jármű vontatását teszi lehetővé.

Az annistoni gyárban kerül beépítésre valamennyi gépészeti főegység, ott kerül kialakításra a hidraulika- és fékrendszer, a busz elektromos rendszere, ott épülnek be a gáztartályok, a légkondicionáló, az utasülések, kapaszkodók.

Az utasterbe itt, Kaposváron ragasztjuk a Taraflex műanyag padlót. Elvégezzük a zajszigeteléshez szükséges munkálatokat, a zárt terek kihabosítását. Szállításra előkészítjük a karosszériát, hogy az lehetőleg sérülés nélkül érkezzen Annistonba.



Műszerfal „ősforma”

Két szerszámban heti 3 buszt állítunk elő. Jelenleg 260 busz karosszériagyártására van szerződés, amit 2010. június 30-ig kell teljesítenünk Los Angeles közlekedési vállalata felé. Ugyanakkor szintén a Los Angeles-i METRO Közlekedési Vállalattal van egy 740 jármű leszállítására szóló opción, ami azt jelenti, hogy nem kell előzetes tárgyalások sorozata után szerződéskötésre várni, a rendelés újabb közbeszerzési eljárás nélkül lehívható. A szerződésekkel a hátunk mögött biztos jövőképünk van. Természetesen sok függ a teljesítőképességünkötől, és az amerikai gazdaság jövőbeni alakulásától.

Kíváncsiak voltunk, ha összehasonlítunk egy hagyományos lemezbust és egy kompozit műanyag karosszériával szerelt járművet, akkor mik azok a műszaki tartalmak, különbségek, amik alapján a megrendelő egyik vagy másik megoldás mellett dönt?

– Az általunk gyártott termék nem az olcsó megoldásokat kereső közlekedési vállalatok alternatívája. A műanyag karosszériával szerelt buszok ára mintegy 2,5-szerese a lemezből készülték-

nek. Los Angeles ennek ellenére mégis a CompoBus-t preferálja. Részben, mert megteheti, de valójában a döntésük mögött megfontolt, komoly termékelemzés húzódik meg.

Egyik legfontosabb tényező az utasvédelem. A műanyag karosszéria erősebb a fémbuszokhoz képest, ugyanakkor 20–25%-kal könnyebb. Egy tesztelés során a tetőn 21 tonna megoszló terhet helyeztek el. A leszálló ajtónál 21 mm-es lehajlási értéket mértünk. A súlyok eltávolítása után a karosszéria visszarugózott, maradandó alakváltozás nélkül. Az AUTOKUT Kft. oldalirányú ütközéssel tesztelte a karosszériát, ahol egy személygépkocsi 40 km/h sebességgel csapódott a jármű oldalába. Ez esetben sem volt a buszkarosszérián mérhető alakváltozás. A könnyebbösszsúly rövidebb fékutat eredményez. A fékrendszer élettartama is jelentősen hosszabb. Az összsúlycsökkenés alacsonyabb fogyasztást jelent, az üzemeltetés kevesebb emissziókibocsátással jár. A 45 C-LFV CompoBus hossza 45 láb, az ilyen méretű fémbuszoknál hátul dupla futóművet szoktak alkalmazni. A karosszéria szilárdságából adódóan a Compo-nál elegendő egy is. A jármű utasterébe 4-gyel több ülést tudunk behelyezni, amivel természetesen nő a busz utaskihhasználtsága. Egy másik fontos adat, ha egy lemezbusz frontálisan ütközik, annak helyreállítása kb. 2–3 hét, költsége 50–60 000 dollár.



A motortér



Szállításra váró karosszériák

Javítás esetén a kieső idő a műanyag karosszéria esetében szinte elenyésző, mert a jármű a balesetet követő napon újra forgalomba állítható. A jármű szélsőséges időjárási viszonyokban, tengerparti párasós levegővel szemben is rendkívül ellenálló. Élettartamát 15 évre tervezik, azonban a karosszéria ennél az időintervallumnál lényegesen többre képes – fejezte be Pais Nimród gyárigazgató a bemutatót.

JÖVŐRE VONATKOZÓ ELKÉPZELÉSEK

Szerencsés véletlen volt, hogy gyárlátogatásunkhoz csatlakozott az igazgató Kaliforniából érkező vendége, Farkas László feltaláló. László évtizedekig az USA Űrtutazási és Hidrogén Fúziós Energia Programjának dolgozott. Nemrég megkapta a „Tiszta energia iskolák és iskolabuszok részére” projektjét. László röviden ismertette a projektben alkalmazott elképzeléseit, vázolta a tömegközlekedés megújításának lehetőségét. Utazásának célja, hogy személyesen szerezzon tapasztalatot a Kaposváron gyártott kompozit busz nyújtotta lehetőségekről. László az üzemlátogatás során meggyőződött a konstrukció alakításának rugalmasságáról, hiszen az korlátlanul formálható bármilyen hajtási módozat köré. Kaliforniában a legtöbb szennyező anyagot az iskolabuszok termelik a légkörbe. Az államban hozzávetőleg 25 000 van forgalomban. László a járműveket elektromos meghajtással kívánja üzemeltetni. A buszok üzemanyaggal, vagyis elektromos árammal történő feltöltési rendszerének ötlete keltette fel a támogató politikusok érdeklődését. László elképzelése szerint az új viszonylat minden egyes megállójában egy mikroturbina termelné az áramot a járművek feltöltéséhez. A turbináktól vezetéken egy wireless felületre továbbítja az energiát. Ez a vezetékek nélküli energiaközvetítőt az úttest aszfaltjába ágyazva helyezné el. A megállóban várakozó autóbusz pontosan a wireless csatló felület felett megállva, a fenéklemezén elhelyezett ultra vékony



Üzemben a NABI 45 C-LFW CompoBus

fogadófelületen keresztül 40–60 sec. alatt, részlegesen feltöltené telepeit. A feltöltéssel annyi energiához jutna, amely elég lenne ahhoz, hogy a következő csatló felületig történő eljutáshoz bőséges töltési kapacitással rendelkezzen. A turbina működésének hőenergiáját is hasznosítani kívánja, pl. iskolák fűtésére, hűtésére, vízmelegítésre. Elmondása szerint a mikroturbinákat működtető üzemanyag mintegy 70%-a hasznosul. Kalifornia kormányzója, és Los Angeles polgármestere támogatásáról biztosította Farkas Lászlót.

Személygépjárművek radarhálózatának alkalmazhatósága és azok mérés technikai tulajdonságai

dr. Oláh Ferenc

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

Horváth Richárd

okl. közlekedésmérnök,
egyetemi tanársegéd,
doktorandusz,
Széchenyi István Egyetem,
Műszaki Tudományi Kar,
Közlekedési Tanszék

A jövő járműve című folyóirat korábbi számaiban a gépjárművekben használt radarok statisztikai elméletével foglalkoztunk, ami a radarok zaj alatti vételének problémájára irányult. Ebben a cikkben a gépkocsiknak azokat a kinematikus tulajdonságait vizsgáljuk, amelyeket a mérés során meg kell határozni ahhoz, hogy a gépkocsi a cikk elején felsorolt tulajdonságokat teljesíteni tudja.

In the previous editions of this magazine, we dealt with the statistical theory of radars used in vehicles, more precisely the problem of receiving under noise. In radars this article we will examine the dynamic characteristics of cars, which must be determined during measurements in order for the car to be capable of producing the characteristics listed in the beginning of the article.

1. BEVEZETÉS

Az ún. RadarNet európai fejlesztésű projekt középpontjában a 77 GHz-en működő többfunkciós gépjármű-radarhálózat és néhány újszerű speciális alkalmazása áll. Ilyenek a városi ütközésselhárító (UCA – Urban Collision Avoidance), ütközés előtti érzékelés (Pre-crash), ütközésérzékelő, parkolást segítő és Stop&Go rendszer. Valójában mindez az ACC (Adaptive Cruise Control) részét képezi valamilyen szinten. A projekt 2000. január 1-jén indult és 2004. október 31-ig tartott, amelyet az Európai Bizottság (EC-European commission) rögzített IST 1999-1A-1403 számon.

Megjegyzés: Jelenleg (2008) a 77 GHz frekvenciájú radarok mellett 24 GHz-es radarokat is alkalmaznak.

A 24 GHz-es közeldarok (Short Range Radar = SRR, nevezik még Near Distance Sensors – NDS néven is) és a 76,5 GHz-es távolradarok (Long Range Radar = LRR, nevezik még Far Distance Radar Sensor – FDS néven is), amelyek új biztonsági és kényelmi funkciókat látnak el. A tervek szerint Európában az ultraszéles 24 GHz-es frekvenciatartomány alkalmazása új járművek esetében csak 2013. júniusig van engedélyezve. 2012 közepétől már az SRR-radar rendszer is csak a 77 GHz ... 81 GHz közötti tartományban (79 GHz-es sáv) lesz alkalmazható. (Az ITV szerinti besorolásban 11-es frekvenciaszám, szimbóluma EHF, az IEEE szerinti besorolásban W sáv, NATO szerinti M sáv). A 24 GHz-es közeldarokra jelenleg lefoglalt pontos frekvenciatartomány 21,625...26,625 GHz (ITV szerinti besorolásban 10-es frekvenciaszám, szimbóluma SHF, az EU, NATO és IEEE szerinti besorolásban K sáv). A gépkocsigyártók és -szállítók konzorciuma, a SARA (Short Range Automotive Radar Frequency Allocation) dolgozik az UWB frekvenciatartományú radarok egész világra kiterjedő frekvenciakiosztásán. A már említett 77 GHz-es sávról a döntés ECC/DCC (04)03) 2004. március 9-től hatályos.

2. A RADARNET FŐBB FUNKCIÓI

2.1. Ütközés előtti érzékelés (Pre-crash)

Ha a becsapódásnak nagy a valószínűsége, a biztonsági korlátozásokért felelős ECU rövid idő alatt (néhány milliszekundum) információt szolgáltat a becsapódó tárgyról, még mielőtt a becsapódás bekövetkezne. A Radarnet által gyűjtött információk olyan döntések meghozatalát is befolyásolják, mint pl. a légzsák kinyitása, de természetesen a jármű lassításával együtt, melyért a g-szenzor a felelős. Azonban a Radarnet által begyűjtött információk önmagukban nem elegendőek a légzsák működésbe hozásához.

A valós ütközés előtti érzékelőrendszerek működéséhez, melyek mivel a becsapódás előtt egy meghatározott idővel lépnek működésbe, az ütközés előtti információknak már jóval a becsapódás előtt (jellemzően kb. 200 ms) rendelkezésre kell állniuk, hogy a rendszerek működésbe lépéséhez elegendő legyen. Ezt az időszakot, amíg a rendszerkorlátozások életbe lépnek nevezik „Time to impact” becsapódási felkészülési időnek, melynek értéke állandó. A becsapódási felkészülési idő és relatív sebesség függvényében közvetlenül meghatározható a Radarnet számára szükséges tér. Egy közeledő tárgyat tudni kell egy meghatározott távolságból észlelni és nyomon követni. A becsapódási felkészülési idő és az aktuális közlekedési sebesség függvényében kiszámolható egy „döntési távolság”, amelynél az akadály helyzete pontosan meghatározható. Ez a „döntési távolság” az utolsó érték, melynél a Radarnet még el tudja küldeni azokat az információkat, amely alapján a rendszer még dönteni tud, hogy életbe lépjenek-e a korlátozások vagy ne. A lehetséges hamis riasztások és az éppen elkerült ütközések miatt a rendszerkorlátozások visszafordíthatóak, és így nem feltétlenül aktiválnak pl. olyan pirotechnikai

rendszereket, mint pl. a légszák. Az alkalmazástól függően, a nem kívánt aktiválások száma nem haladhat meg egy a vezető által meghatározott értéket.

2.2. Kiemelt parkolásegítő rendszer

A parkolás manőver általános definíciója szerint egy a forgalomból kilépő járművet, egy közel eső helyen jelentősebb ideig mozdulatlanul, vezető nélkül állni hagyunk. Ez magában foglalja a parkolási manőver megtervezését, a parkolóhely nagyságának vizsgálatát (ismerve a jármű méretét és az egyéni vezetési képességeinket). A parkolásegítő célja, hogy támogatást nyújtson a jármű vezetőjének a parkolási manőver során. Ez több szinten is végbemehet. A legalsó szinten a feladat információt szolgáltatni optikai vagy akusztikus úton, amennyiben akadály található a host (hordozó jármű, amire a radar van telepítve) jármű előtt vagy mögött. Ez kombinálható figyelmeztető jelzéssel is, amennyiben az akadály egy bizonyos távolságon belül van. Ezen a szinten a jármű vezetőjének egyedül kell eldöntenie, hogy a kívánt parkolóhely megfelel-e a járműnek és a tervezett parkolási manővernek. A parkolásegítés következő szintjén a rendszer feladata, hogy a kiválasztott parkolóhelyről információkat szolgáltatson. A legmagasabb szinten az egész parkolási manővert a jármű önmaga végzi el.

Jelenleg a legalsó szint azokban a járművekben érhető el, amelyek ultrahangos érzékelőket használnak távolságmérésre.

A parkolásegítésre használt Radarnet szenzor rendszeres információkat adhat azokról az akadályokról is, amelyek a host jármű közelébe kerülnek. Ezen információk tartalmazzák a távolságot, az oldalszöveget és a relatív sebességet. Amennyiben felgyorsul a host autó haladási sebessége, a rendszer figyelmeztető jelzést küld a vezetőnek. Ilyenkor a vezető informálásának egyik lehetősége, hogy a rendszer különböző frekvenciájú hangjelzést küld a vezetőnek (attól függően, hogy elől vagy hátul van az akadály, úgy, hogy a távolság függvényében még a lejátszott hangsor is változik. A különböző színeket használó optikai kijelző a másik lehetőség. Új funkcionalitás a parkolóhely nagyságának a mérése és számolása. Ez a grafikus kijelzőre vetítve segíti a vezetőt.

A szenzorrendszer nagy pontossággal képes megmérni az akadályig lévő legrövidebb távolságot, valamint az oldalsó helyzetet és a relatív sebességet. Az információk frissítési gyakorisága a parkolási manőver kis sebessége miatt nagyon alacsony. Az érzékelők mindegyike könnyű, kicsi, olcsó (nagy mennyiség esetén) és láthatatlan (amennyiben a jármű műanyag részei mögé helyezik őket).

A különböző parkolási helyzetek főként a környezeti feltételekkel írhatóak le. A helyzetek során ezek a szilárd határolóelemektől, mint pl. autók, falak vagy oszlopok a fehér vonalig egy üres parkolóban bármitől függhetnek.

A parkolásegítő rendszer alapja az aktív térfelmérő rendszer, ez azonban korlátozásokat okoz. A földön lévő fehér vonalak ugyanis nem észlelhetőek, mivel szilárd határolóelemekre van szükség. A legjellegzetesebb parkolási helyzet, amikor a parkolóhely párhuzamos a haladási iránnyal, és amikor 90°-os szöveget zár be vele. A rendszer a következő határolóelemeket tudja figyelembe venni: autók, tehergépkocsik, falak, oszlopok (fém- és/vagy műanyagból) és a járdaszegélyek.

2.3. Ütközésfigyelmeztető (CW – Collision Warning)

Az ISO-szabvány jelenleg érvényben lévő előírásai az ütközésfigyelmeztetésre: az „Elöl Haladó Jármű Ütközés Figyelmeztetés” (ISOCW – Forward Vehicle Distance System). A dokumentum hivatkozik az ISO TC204/WG14-es csoport tevékenységére. Az említett ISO-szabvány 4 rendszerkategóriát határoz meg, aszerint, hogy az észlelt akadály milyen összefüggésben van az út görbületével:

Osztály	Görbületsugár
I.	Nincs meghatározva
II.	Görbületsugár > 500 m
III.	Görbületsugár > 250 m
IV.	Görbületsugár > 125 m

Ebből következően a rendszerek osztályozása szerint néhány egyéb paramétert is meghatároztak, mint pl. oldal vagy egyenes irányú helyzetfelismerés.

Ez a dokumentáció az ISO-szabványra hivatkozik az alkalmazott definíciók és osztályozások megközelítéséből.

Az ISO-dokumentumra hivatkozva, az ütközésfigyelmeztető rendszernek olyan információkat kell adnia a jármű vezetőjének, hogy az eldönthesse, szükség van-e azonnali beavatkozásra az ütközés elkerüléséhez vagy nincs. A figyelmeztetésnek a veszélyes helyzet későbbi fázisában is rendelkezésre kell állniuk, így a vezetőt végig figyelmeztetni tudja a vészfékezés, sávváltás vagy más vészmanőverek szükségességéről.

2.4. Városi ütközésselhárító (UCA – Urban Collision Avoidance)

A városi ütközésselhárító rendszer (UCA) legalapvetőbb funkcionális követelménye, hogy megelőzze az ütközést, vagy legalább csökkentse az ütközés sebességét.

A Radarnet érzékelőrendszernek feladata, hogy információt szolgáltatson a céltárgyak helyzetéről és sebességéről városi körzetekben a járműtől 30 m-es távolságon belül. Az UCA-rendszer feladata eldönteni, hogy a céltárgyak helyzete mekkora ütközési kockázatot rejt, és szükséges-e működésbe hozni a jármű fékeit, amivel elkerülhető az ütközés vagy csökkenthető a sebesség.

A rendszer ezen alkalmazásának fő célterülete a városok és azok környéke, ahol a sebesség általában 80 km/h alatt van. A rendszernek ezen túlmenően nagyon alacsony téves riasztási aránnyal kell rendelkeznie még egy olyan erősen összetett városi környezetben is, ahol a céltárgyak különböző irányokból érkezhetnek, pl. ha host jármű útját egy csomóponthoz közelítve keresztezik. De a rendszernek meg kell tudnia birkózni olyan helyzetekkel is, amikor a host jármű hirtelen irányt vált (kis ívben) és relatív közel (<0,5 m) halad el a potenciális veszélyforrás mellett.

A járdafelderítő funkcióval lehetővé válna, hogy kiszűrjünk azokat a céltárgyakat, amelyek nem az útról érkeznek.

Az UCA-rendszer határozza meg, hogy mely célpontok becsapódása jelenti a legnagyobb fenyegetést a host járműre. Amennyiben ez a rizikófaktor elég magas szintű, a rendszer működésbe hozza a jármű fékeit, hogy az elkerülje az ütközést.

2.5. Stop&Go

A Stop&Go az alkalmazkodó automatikus sebességtartó funkció (ACC – Adaptive Cruise Control vagy Adaptive (Active) Autonomus Cruise Control – Automatikus /Adaptív/Szélesség/ vagy Távolság Szabályozó Rendszer) kiegészítésének tekinthető.

A Stop&Go funkció megnöveli az alkalmazkodó automatikus sebességtartás előnyeit, és lehetővé teszi, hogy városi forgalom esetén alacsony sebességnél is használható legyen. A Stop&Go rendszer fő funkciója (beleértve az ACC-t is), hogy fenntartsa az elől lévő járműig mért távolságot a szabályozószervek használatával.

Annak az adottságnak a következtében, hogy a jármű teljesen megállítható, a Stop&Go funkció tovább növeli a sebességtartó funkció felhasználhatóságát azáltal, hogy városi forgalomban a zsúfolt utakon is használható.

A fő különbség a mai használt ACC-rendszerekhez képest az, hogy a Stop&Go rendszer képes a járművet teljesen megállítani, majd amennyiben az előtte lévő jármű továbbhalad, felgyorsítani. A teljes megállás utáni gyorsításhoz azonban a vezető beavatkozására is szükség van. Így a jármű csak biztosan akkor indulhat el, ha a környező forgalmi rend tartósan helyreállt. Mivel követelmény a kis hatótávolságú észlelés és a rövid reakcióidő, a rendszerhez néhány fajta kis hatótávolságú érzékelőre is szüksége van. A rendszernek képesnek kell lennie megállítani a járművet, amennyiben az előtte haladó teljesen lefékezi járművét, valamint kezelni azokat a helyzeteket, amikor hirtelen bevágnak a jármű elé.

Természetesen az is lehetséges, hogy maximális teljesítményen sem tudunk lefékezni egy álló tárgy mögé minden forgalmi helyzetben. Ilyen esetekben a közlekedés biztonsága és a vezető gyors helyzetfelismerése szempontjából nagyon fontos felismerni a megfelelő fékezési kritériumot, és annak eldöntése, hogy mikor fékezzünk és mikor ne.

Amennyiben a maximális teljesítmény nem érhető el minden helyzetben, 2-féle „menekülési stratégia” közül választhatunk:

1. Csak szemléljük a céltárgyat, ami mozgott vagy amit korábban mozgónak észleltünk. Ez az a helyzet, amikor a Stop&Go rendszernek képesnek kell lennie követni az észlelt céltárgyat akár 0 km/h sebességig, de nem szabad reagálnia olyan álló céltárgyakra, amelyeket korábban mozgónak észlelt.
2. A teljes Stop&Go funkció csak alacsony sebesség mellett kivitelezhető.

Mindkét menekülési stratégia feltételezi, hogy a fő probléma okozója annak az észlelése, hogy a céltárgy a járművünk útjába esik vagy nem. Ebben a projektben a 2 lehetőség kombinációját választották menekülési stratégiának: a mozgó tárgyat nagy távolságból kell észlelni, méghozzá az alatt, amíg még mozog. Az álló célpont pedig kis távolságból is minden esetben észlelhető.

Másik lehetséges probléma a nagy látószögű lefedettség elérése, amely a helyes működéshez nagy városi forgalom esetén nélkülözhetetlen. Ez meglehetősen kényes pont, hogy az optimális működési szükségletek teljesen rendelkezésre állnak-e vagy sem, azaz hogy lehetséges-e elég pontosan meghatározni a vizsgált host jármű útját. Ez elengedhetetlen, hogy a rendszer tényleg csak valóban álló célpontok esetén fékezhessen le.

A Stop&Go rendszer optimális működési tulajdonságai:

- A Stop&Go rendszernek alacsony sebesség mellett (0–50 km/h) éppúgy tudnia kell kényelmesen és biztonságosan követnie az előtte haladó járművet, akár csak nagyobb sebességnél (50–110 km/h).
- A Stop&Go funkciónak tudnia kell követni az előtte haladó járművet akár annak megállása esetén is.
- A Stop&Go rendszernek akkor is képesnek kell lennie teljesen megállítani a járművet, amennyiben az útjában egy mozdulatlan járművet észlel. Ez az akadály lehet bármilyen jármű vagy az úttesten áthaladó gyalogos, aki a jármű útjában áll.
- A Stop&Go funkciónak tudnia kell kezelni azokat a helyzeteket is, amikor jobb, illetve bal oldalról valaki/valami bevág a host jármű elé.
- A Stop&Go funkciónak egyszerűen át kell tudnia állni az egyik céljárműről a másikra sávváltás esetén is.
- A Stop&Go funkciónak 2 irányú forgalom és kanyarodó útvonal esetén is működnie kell.
- A Stop&Go funkcióban nem szabad, hogy megzavarja a szembe jövő forgalom vagy azon járművek, amelyek keresztezik az útját.
- A Stop&Go funkciónak csak azon járműveket kell figyelembe vennie, amelyek a saját várható útvonalában vannak vagy valószínűsíthető, hogy rövid időn belül oda kerülnek (pl. ha egy jármű bevág elé).
- A Stop&Go funkciónak nem kell lehetővé tennie csomópontok esetén a jobbra, illetve balra kanyarodást.

Az egyetlen nagy nehézség a teljes Stop&Go funkció megvalósítása során a host jármű pályájának a meghatározása. Ez a kérdés különösen fontos lehet, amikor egy álló tárgyról van szó (fékezés, amikor csak hosszirányú korrekció megengedett), mivel a helyes kontrollreakciót ilyenkor a nagy távolság miatt időben meg kell kezdeni, hogy az biztonságos és kényelmes maradjon.

3. RADARHÁLÓZAT

3.1. Multilateráció

A korábban leírt feltételeknek megfelelően a konzorciumban részt vevő (1. ábra) járműgyártók meghatározták a radarhálózattal kapcsolatos követelményeket.

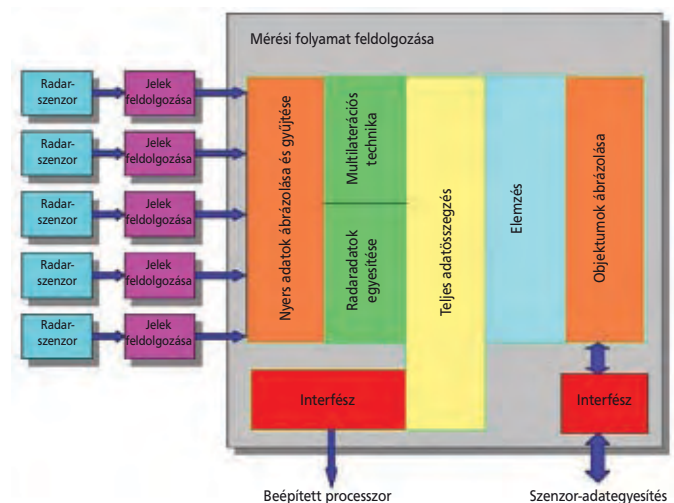
Ennek megfelelően a radarhálózatnak 4 db egymással szinkronban lévő 79 GHz-es kis hatótávolságú (30 m) érzékelőradarból kell



1. ábra: a konzorcium tagjai

állnia. (Ez jelenleg 24 GHz.) Azoknál az alkalmazásoknál, amelyek nagy hatótávolságot igényelnek (Stop&Go vagy CW – Collision Warning stb.), ott a hálózat információit összevonják egy további 77 GHz-es nagy hatótávolságú távolradar-információval.

Minden kis hatótávolságú szenzor területet és Dopplerfrekvenciát mér. Radarhálózat összesíti a 4 különálló kis hatótávolságú szenzortól érkező információt (NDS). A kialakított radarhálózat blokkvázlatát a 2. ábra mutatja.

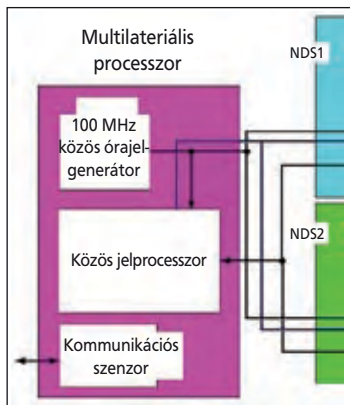


2. ábra: radarhálózat blokkvázlata

Az összehangolt működés érdekében közös órajelet kell használni a 3. ábra szerint.

A radarhálózat megértéséhez először vizsgáljuk meg a különböző radarérzékelő csoportokat (4. ábra).

A gépjárműveknél alkalmazzák a monostatikus és multistatikus változatokat. Ha ismert az érzékelő pontos pozíciója, akkor a központi processzor Descartes koordináta-rendszerben háromszögelési technikával meg tudja becsülni a céltávolságot.

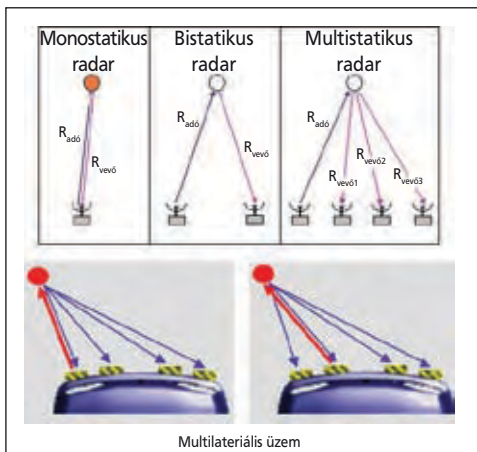


3. ábra: közös órajel használata

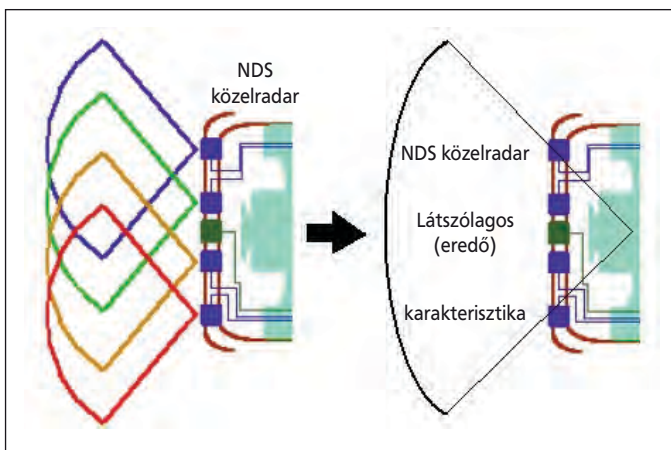
A multistatikus érzékelő-csoporton belül váltakozva egy radarszenzor az adó szerepét tölti be, míg a többi szétszórott érzékelő vevőként működik, egyidejűleg. Legyen „n” mennyiségű radarszenzorunk, és mindegyik működjön adóként is, akkor:

$$\frac{n \cdot (n + 1)}{2}$$

Különböző vett jelet kapunk különböző késésekkel az „n” számú vevőn. Mivel minden érzékelő szinkronizálva fut, és egyszerre csak egy radarszenzor tölti be az adó szerepét, ezért nincs a vevők között zavar. Az érzékelők a célistát a vétel után egyszerre továbbítják, ezért a központi processzor azonnal feldolgozza a listán szereplő információkat. A leírt elvet tovább vezetve eljutunk az ún. multilaterációs technikához. A multilateráció elve leírja a céltávolság becslésének folyamatát a multistatikus NDS-csoport által mért távolságok alapján. A multilaterális radarhálózat tehát olyan radarrendszer, amely egy adót és több térbelileg elosztott vevőt tartalmaz. A kialakítás olyan, hogy minden egyes radarszenzor képes adóként is és vevőként is funkcionálni. De arra is képes, hogy csak vevő legyen, mint egy multistatikus radarhálózat része. A radarhálózat lehetőséget ad arra, hogy különböző sugárzási szögekkel képes legyen felderíteni a céltárgyakat, mivel minden egyes radarszenzor karakterisztikájának iránya külön-külön állítható, pl. azzal, hogy a



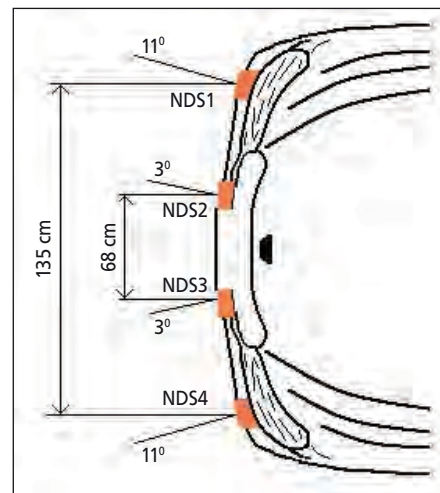
4. ábra: radarérezékelő csoportok



5. ábra: az eredő karakterisztika szabályai

radarantenna nyílása valamilyen szöget zár be a jármű hosszanti tengelyével. Ez a megállapítás egyúttal azt is jelenti, hogy az egyes radarszenzorok egyedi karakterisztikáinak eredőjéből adódik a széles nyalábú karakterisztika (5. ábra).

A multilaterációs folyamat megvalósításához szereljük 4 db NDS radarszenzort a 6. ábra szerint szétszórva. A radarszenzorok helye Descartes-koordináta-rendszerben van megadva az alábbi kétdimenziós vektorokkal: s_1, s_2, s_3, s_4 . A cél (egy másik jármű) szintén Descartes-koordinátákkal veendő figyelembe. Jelentse a D_{ij} a mért távolságot, ami az adó NDS-ek és a feltételezett célok közötti távolságok összege, illetve a céltól a vevő NDS-ig mért távolságok összege. A D_{ij} távolság így analitikusan meghatározható a két távolság összegéből (R_i és R_j). Mindkettő alkalmazza az összes érzékelőt és célt (7. ábra).



6. ábra: multilaterációs technika megvalósítása

$$D_{i,j} = R_i + R_j = |\vec{t} - \vec{s}_i| + |\vec{t} - \vec{s}_j| \quad (1)$$

A teljes mérési folyamat után, mivel minden NDS-érezékelő szerepelt egyszer adóként és egyszer vevőként, összesen 16 különböző távolságot kapunk a célról.

$$\vec{D}_{i,j} \mid_{i=1 \dots 4, j=1 \dots 4}$$

Az alábbi nemlineáris egyenlet leírja a teljes multistatikus mérést:

$$\begin{bmatrix} D_{1,1} \\ D_{1,2} \\ \vdots \\ D_{1,n} \\ D_{2,1} \\ \vdots \\ D_{n,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\vec{t} - \vec{s}_1| + |\vec{t} - \vec{s}_1| \\ |\vec{t} - \vec{s}_1| + |\vec{t} - \vec{s}_2| \\ \vdots \\ |\vec{t} - \vec{s}_1| + |\vec{t} - \vec{s}_n| \\ |\vec{t} - \vec{s}_2| + |\vec{t} - \vec{s}_1| \\ \vdots \\ |\vec{t} - \vec{s}_n| + |\vec{t} - \vec{s}_n| \end{bmatrix}$$

(2)

Amennyiben a D_{ij} csak i -től j -ig változik, a háromszögelés

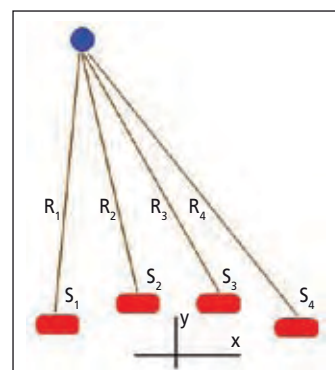
$$R_i = \frac{D_{i,i}}{2}$$

szerint történik.

Ez a nemlineáris egyenletrendszer felírható mátrix alakban is:

$$\vec{D} = M(\vec{t}) \quad (3)$$

A célhelyzet $\vec{t}$ becslésének meghatározásához szükség van egy ismétlődő algorit-



7. ábra: távolság analitikus meghatározása

musra, pl. ami lehet Gauss-Newton algoritmus (lásd később). A multilaterális algoritmus tárgyalható a következő módon is. A célról visszavert jeleket leírhatjuk úgy, mint a kisugárzott jel egy késleltetett másolatát.

$$z(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cdot s(t - \tau_k) \quad (4)$$

Az (n) a különböző útvonalakon visszaérkező visszavert jelek száma. A különböző útvonalak azt jelentik, hogy több utas terjedés és közvetlen úton történő visszaverődés. A_k a (k)-ik útvonal jelének amplitúdója és (T_k) ugyanazon jel késleltetési ideje.

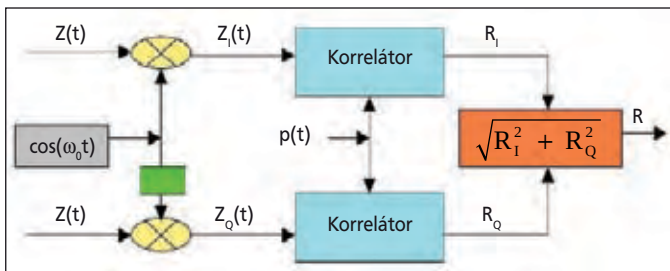
$$z(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cdot n(t - \tau_k) \cdot [\cos \omega_0(t - \tau_k)] = \sum_{k=1}^n A_k \cdot n(t - \tau_k) \cdot \cos(\omega_0 - \Theta_k) \quad (5)$$

$$\text{és } \Theta_k = \omega_0 \cdot \tau_k. \quad (6)$$

A feldolgozás kétsatornás korrelátorral történik. A jel aluláteresztő szűrőn történő áthaladása után a következő módon írható:

$$Z_I(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cdot n(t - \tau_k) \cdot \cos \Theta_k$$

$$Z_Q(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cdot n(t - \tau_k) \cdot \sin \Theta_k \quad (7)$$



8. ábra: kétsatornás korrelációs vevő

A vevő felépítése a 8. ábrán látható.

A távolságok felírhatók a következő módon:

$$R_I = \text{IFFT} \{ Z_I(f) \cdot \text{conj} [P(f)] \}, \quad (8)$$

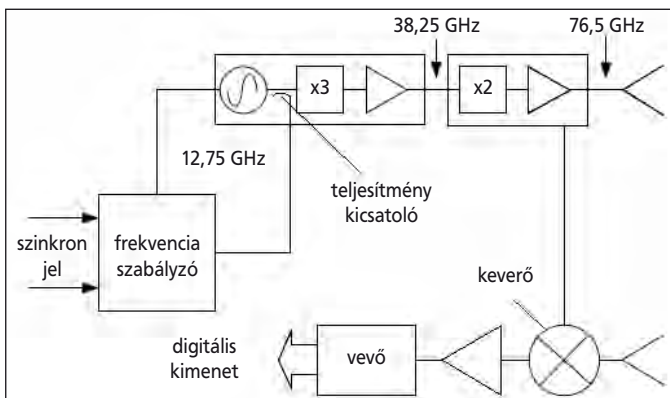
$$R_Q = \text{IFFT} \{ Z_Q(f) \cdot \text{conj} [P(f)] \},$$

ahol: IFFT az inverz gyors Fourier-transzformációt jelenti.

A tényleges távolság

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_Q^2}$$

A rendszer érzékelést, nyomkövetést, objektumosztályozást és adatgyűjtő algoritmusokat végez a legújabb technológiát használva, amelynek neve MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits – monolitikus integrált mikrohullámú áramkör).



9. ábra: távolradar blokkvázlata

A 77 GHz-es radar egyszerűsített blokkvázlata a 9. ábrán látható. Az ábra elsősorban az adórészt tartalmazza részletebben.

A vevő szuperheterodin elven dolgozik és az FMCW-elvet alkalmazza.

A frekvenciaeltolódás:

$$f_r = \frac{2 \cdot R}{c} \cdot \frac{df}{dt}, \text{ ahol: } R - \text{tárgy távolsága [m], } c - \text{fénysebesség}$$

$\left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$ és df/dt frekvenciaváltozás sebessége $\left[\frac{\text{Hz}}{\text{sec}} \right]$, amelyet még pásztázási aránynak is neveznek.

A közeldaradar maximális érzékelési tartománya 30 m és a maximális pásztázási arány 500 GHz/sec.

A Doppler-eltolódás:

$$f_D = \frac{2 \cdot v}{c} \cdot f$$

ahol: v – a céltárgy relatív sebessége [m/sec], c – fénysebesség [m/sec] és f – a kisugárzott frekvencia [Hz].

A közeldaradarokat úgy tervezték, hogy az alkalmazható maximális relatív sebesség 250 km/óra, amihez 35 648 Hz Doppler eltolási érték tartozik. Ehhez tartozó legnagyobb középfrekvencia (1 F) 135648 Hz. Shannon 1. sz. mintavételi tétele értelmében a mintavételi frekvencia ennek legalább kétszeresének kell lennie, a biztonság kedvéért ezt még kétszereszik (alakhű jelátvitel) érdekében.

$$f_{\text{minta}} = 2 \times 2 \times 135\,648 = 534 \text{ kHz.}$$

Dinamikus távolságbecslésnél egy jármű tolatásakor, amikor az egy nagy fémfelület felé közeledik (pl. teherkocsi oldalfala, garázkapu stb.), akkor a viszonyok a 10. ábra alapján határozhatók meg.

A visszavert teljesítmény számítható az alábbi kifejezéssel:

$$P_r = \frac{P_t \cdot \lambda^2 \cdot G^2}{(4 \cdot \pi \cdot r)^2}$$

ahol: P_r – átlagos

teljesítmény [W],

P_t – leadott teljesítmény [W],

G – antenna nyeresége

[viszonyszám] és λ

– hullámhossz [m].

A függőlegesen

visszavert jel (R)

távolságot mutat,

de a legtávolabbi,

ami a kúpszög (ka-

rakterisztika) szé-

lén van $R \cdot \cos \Theta/2$

értéket szolgáltat.

Ebből átlagot képe-

pezni.

A Doppler elvű ra-

darok működése

az előző számban

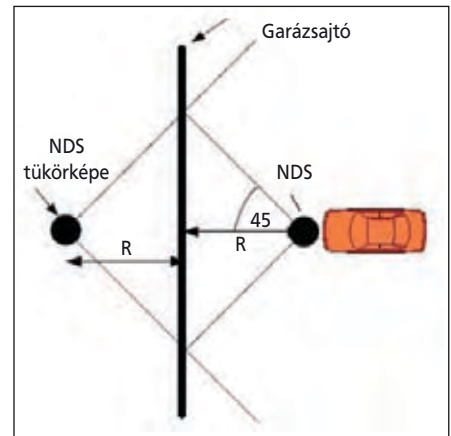
(2008/1–2) megtalálható, kivéve a sok céltárgy együttes feldol-

gozását. Ezt most ismertetjük röviden.

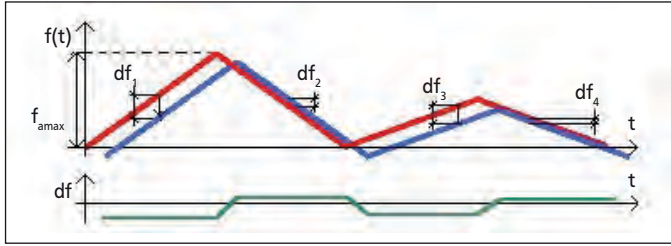
3.2. Lineáris frekvenciamoduláció

sokszoros céltárgy esetén

A közutakon szinte minden esetben több – esetenként kifejezetten tömeges mennyiségű – gépjármű fordul elő egy időben. Ekkor minden egyes céltárgyról történő visszavert jelnek saját frekvenciaváltozása van, amelynek oka a különböző gépjárművek különböző távolsága és sebessége. A vevőbe érkező jelek sokaságának spektrumanalízisével meg tudjuk határozni a céltárgyakról visszavert



10. ábra: dinamikus távolságbecslés



11. ábra: chirpek változtatása több céltárgy esetén

frekvenciákat egyetlen méréssel. Ehhez azonban tudnunk kell azt is, hogy mely frekvencia tartozik az első méréshez és melyik a másodikhoz és így tovább. Ezzel a módszerrel lehet kezelni a többszörös céltárgyakkal kapcsolatos szituációkat. Az upchirp/downchirp szekvenciák használatával a mérések eredményeként a frekvenciák két sorozatát kapjuk. Több alternatívát is találunk arra, hogy a mért frekvenciákat hozzárendeljük az egyik chirptól a másik frekvenciájához. A fellépő bizonytalanság feloldása, hogy az összes lehetséges hozzárendelést összehasonlítjuk a többi mérés eredményével. Az NDS által alkalmazott algoritmus két további chirpet használ, amelyeket csatolni kell az upchirp/downchirp szekvenciákhoz. Az alkalmazott chirpek sávszélességei $f_{a3} = 0,5 f_{a1}$ és $f_{a4} = 0,5 f_{a2}$.

A két újabb chirp alkalmazása az NDS hullámalakban (11. ábra) újabb két egyenletet eredményez, ami már négy db ismeretlent, így négy db egyenletet jelent, amivel ellenőrizni tudjuk a céltárgyak távolságát, sebességét és ellenőrizni tudjuk a hozzárendelések érvényességét.

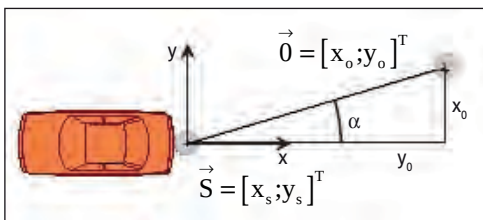
A négy egyenlet a következő alakú:

$$\vec{df} = f_D + \left(-\frac{2}{c \cdot T} \right) \cdot \vec{f}_a \cdot R$$

$$\vec{f}_a = \begin{pmatrix} f_{a1} \\ f_{a2} \\ f_{a3} \\ f_{a4} \end{pmatrix}$$

Csak a négy egyenletből álló hozzárendelések tekinthetők érvényesnek.

4. A MÉRÉS GEOMETRIAI ÉS KINEMATIKAI TULAJDONSÁGAI



12. ábra: geometriai összefüggés a tárgy helyzete és a szenzor helyzete között

4.1. Radiális távolság mérése

Említettük korábban, hogy a pozíciót általában Descartes koordináta-rendszerben írjuk fel. Vizsgáljuk meg a 12. ábrát. Itt a céltárgyat helyzetvektorokkal jellemezzük.

$$\vec{O} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_o \\ \alpha_o \end{bmatrix}$$

(9)

$$\begin{aligned} x_o &= r_o \cdot \cos \alpha_o \\ y_o &= r_o \cdot \sin \alpha_o \end{aligned} \quad (10)$$

A célpont helyzete felmérhető az alábbiak szerint is:

$$r = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix}^T$$

A szenzor és a céljármű közötti relatív távolság:

$$r = |\vec{O} - \vec{S}| = \sqrt{(x_o - x_s)^2 + (y_o - y_s)^2} \quad (11)$$

A céljármű azonban általában mozgásban van, ezért a helyzete az idő függvényében változik.

Ekkor:

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

$$\vec{O}(t) = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \cdot t \quad (13)$$

4.2. Radiális sebesség mérése

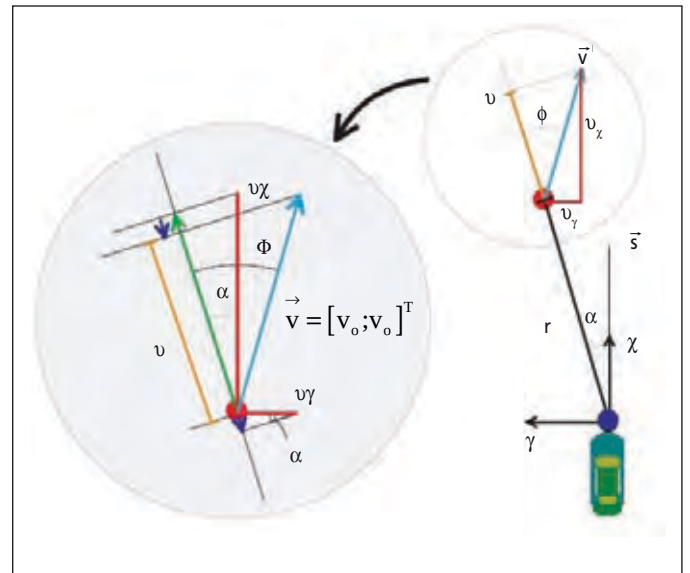
A radarok nemcsak a cél helykoordinátáit mérik, hanem a se-

bességet is. Ha egy $\vec{O} = [x_o; y_o]^T$ koordinátájú céltárgyat egy

$\vec{S} = [x_s; y_s]^T$ koordinátájú érzékelőből vizsgálunk, akkor a Dopp-

ler-effektus csak a $\vec{v} = [v_o; v_o]^T$ objektum relatív sebességének radiális komponensére hat, amely a következő összefüggéssel írható le (13. ábra).

$$v = |\vec{v}| \cdot \cos \Phi = \frac{x_o - x_s}{r_o} \cdot v_x + \frac{y_o - y_s}{r_o} \cdot v_y = v_x \cdot \cos \alpha + v_y \cdot \sin \alpha \quad (14)$$

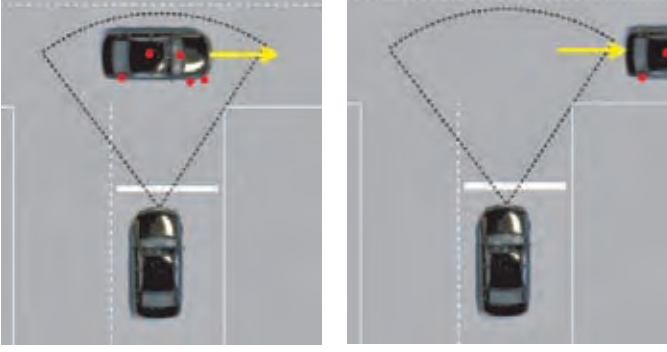


13. ábra: radiális sebesség-összetevő mérése

A képletben (Φ) a megfigyelési és mozgási irány közt bezárt szöget jelöli, az (α) pedig a cél oldalszögét.

4.3. Sebesség meghatározása keresztirányban mozgó járművek esetén

Tételezzük fel, hogy egy keresztteződésben a saját jármű radarjához képest keresztirányú járműmozgás észlelhető. A Doppler-elv alapján csak sugárirányú elmozdulás mérhető. Itt a mozgás csak nagyon kis Doppler-eltolódást okoz, sőt a megfigyelési idő is rövid, ami tovább fokozza a nehézségeket (14. ábra).



14. ábra: ábra a keresztirányú mozgássebesség meghatározásához

Felhasználva a 13. ábrát számolással a már korábban tárgyalt módszer alapján a sugárirányú sebességek számíthatók. Ezeket kombinálva a mért szögekkel a következő lineáris egyenletrendszerrel nagy biztonsággal megoldható a tényleges sebesség iránya.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ \cos \alpha_2 & \sin \alpha_2 \\ \vdots & \vdots \\ \cos \alpha_n & \sin \alpha_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \quad (15)$$

Ezek felhasználásával bizonyítás nélkül:

$$\vec{v} = (M^T \cdot M)^{-1} \cdot M^T \cdot \vec{v}_M$$

Amennyiben csak két mérési érték van, akkor:

$$\vec{v} = M^{-1} \cdot \vec{v}_M, \quad M^{-1} = \frac{1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \begin{bmatrix} -\sin \alpha_2 & \sin \alpha_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

A tapasztalat azt mutatja, hogy a mérések során létrejövő hiba normál eloszlású. Ekkor a szórás mind szögben, mind sebességben jelentkezik.

$$\sigma_{v_x}^2 = \sigma_a^2 \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial \alpha} \right)^2 + \sigma_v^2 \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial v} \right)^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot [(v_2 \cdot \cos \alpha_1)^2 + (v_1 \cdot \cos \alpha_2)^2] + \frac{\sigma_v^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot (\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2)$$

$$\sigma_{v_y}^2 = \sigma_a^2 \cdot \left(\frac{\partial v_y}{\partial \alpha} \right)^2 + \sigma_v^2 \cdot \left(\frac{\partial v_y}{\partial v} \right)^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot [(v_2 \cdot \sin \alpha_1)^2 + (v_1 \cdot \sin \alpha_2)^2] + \frac{\sigma_v^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot (\cos^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_2)$$

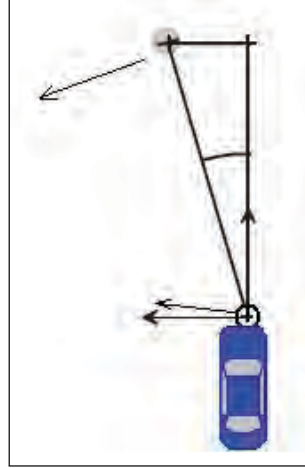
Jelenleg valószínűleg ez a legjobb megközelítést adó algoritmus keresztirányú sebességek nagyságának és irányának mérésére.

4.4. Oldalszög (azimut) mérése

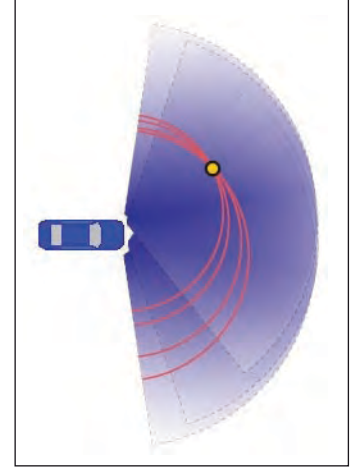
4.4.1. Trilateráció (háromszögelés) elve

Egy céljármű pozíciójának pontos leírásához, mint láttuk, a céltávolság mellett az oldalszög meghatározására is szükség van, amely a 15. ábra alapján történik. Ekkor az oldalszög:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{y_o - y_s}{x_o - x_s} \right).$$



15. ábra: trilateráció elve



16. ábra: körívek metszési felülete

A multilaterális technikánál – mint korábban tárgyaltuk – több radarérzékelőt alkalmaznak. Azt is tárgyaltuk, hogy két érzékelő esetén a céljármű helyzete egyetlen metszéspontban ábrázolható. A multilaterális technikánál általában négy db NDS-radart alkalmazunk. Ekkor a 16. ábra szerint négy körívet kapunk. Mivel a távolságmérés mindig egy adott hibával történik, valójában kettő radarszenzornál több szenzor esetében metszési felület jön létre a metszési pont helyett. Ilyenkor, ha több cél is jelen van, akkor szellemkép (fantomkép) is létrejön, ami viszont redundáns érzékelőkkel kiszűrhető.

Matematikailag a trilateráció egy nemlineáris optimalizálási feladatnak felel meg.

A megfigyelt cél helyzete:

$$\vec{O} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix}$$

Az i -ik radarérzékelő helyzete:

$$\vec{S}_i = \begin{bmatrix} x_{si} \\ y_{si} \end{bmatrix}$$

Ebből a sugárra a következő kifejezés adódik:

$$r_i = f(\vec{O}) = \sqrt{(x_o - x_{si})^2 + (y_o - y_{si})^2} \quad (17)$$

Felírható továbbá a következő összefüggés:

$$\vec{m} = \vec{r} \cdot \begin{pmatrix} \vec{O} \end{pmatrix} + \vec{e}$$

Az $(\vec{e})$ tag a mérésnél fellépő additív hibát jelenti, ennek megfelelően $(\vec{m})$ a különböző radarszenzorok sugárainak (r_i) tényleges hibáit (m_i) .

A mérési feladat megoldása adott mérésértékeknél $(\vec{m})$ az érzékelők adott pozíciói mellett $(\vec{s})$ egy becslést adni a cél helyzetére $(\vec{O})$. Ekkor a négyzetes középeltérési hibát $E_2(\vec{O})$ minimalizálni kell.

$$E_2(\vec{O}) = \left| \vec{m} - \vec{r}(\vec{O}) \right|^2 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 [m_i - r_i(\vec{O})]^2$$

Ez nemlineáris egyenletrendszer, amit Taylor-sorral O_k munkapontban linearizálni kell, így egy lineáris egyenletrendszert kapunk.

$$\delta \cdot \vec{m} = J_k \cdot \delta \cdot \vec{O}_k + \vec{\tilde{e}}_k$$

ahol: J_k a Jacobi-mátrix:

$$J_{(i,1)} = \frac{\partial r_i}{\partial x} \vec{O}_k = \frac{x_o - x_{si}}{\sqrt{(x_o - x_{si})^2 + (y_o - y_{si})^2}}$$

$$J_{(i,2)} = \frac{\partial r_i}{\partial y} \bigg|_{\vec{O}_k} = \frac{y_0 - y_{si}}{\sqrt{(x_0 - x_{si})^2 + (y_0 - y_{si})^2}} \quad (18)$$

E lineáris egyenletrendszert egy normál egyenlettel már megoldhatjuk

$$\delta \cdot \vec{A} = (J_k^T \cdot R^{-1} \cdot J_k)^{-1} \cdot J_k \cdot R^{-1} \cdot \delta \cdot \vec{r}_k,$$

ahol (R) a sugár értékeinek kovarianciamátrixát adja és az egyes értékek súlyozását jelenti.

Mikor megtörtént az érték becslése a folyamat egy (k+1) értékkel (O_{k+1}) újra kezdődik. Így egy iteratív módszert kapunk a céljármű pozíció meghatározására, amit Gauss-Newton algoritmusnak nevezünk, és már korábban hivatkoztunk rá.

Kettőnél több radarszenzor esetén a helymeghatározás pontosabb értéket ad. Az érzékelők elrendezéséből és a cél helyzetéből kiadódik a kovarianciamátrix (R).

A pozíciófüggő kovarianciamátrix a következő módon számítható:

$$P \begin{pmatrix} \vec{0} \\ 0 \end{pmatrix} = \left[y^T(\vec{0}) \cdot R^{-1} \cdot y(\vec{0}) \right]^{-1}$$

A Jacobi-mátrix kifejezéseit az alábbiak szerint lehet összefoglalni:

	$m = f(r, v)$	$\frac{\partial m}{\partial x}$	$\frac{\partial m}{\partial y}$	$\frac{\partial m}{\partial v_x}$	$\frac{\partial m}{\partial v_y}$
Távolság	$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$	$\frac{\bar{x}}{r} = \cos \alpha$	$\frac{\bar{y}}{r} = \sin \alpha$	0	0
Sebesség	$v = \frac{\bar{x}}{r} \cdot v_x + \frac{\bar{y}}{r} \cdot v_y$	$\frac{v_x \cdot \bar{y} - v_y \cdot \bar{x}}{r^3}$	$\frac{v_y \cdot \bar{x} - v_x \cdot \bar{y}}{r^3}$	$\frac{\bar{x}}{r}$	$\frac{\bar{y}}{r}$
Szög	$\alpha = \arctg\left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}}\right)$	$-\frac{\bar{y}}{r^2} = -\sin \frac{\alpha}{r}$	$\frac{\bar{x}}{r^2} = \cos \frac{\alpha}{r}$	0	0

Ezeket kell használni a pozíció és sebesség meghatározásához. Kritériumként szolgál a hibabecslésnél egy alkalmasan megválasztott hibahatár:

$$\delta \cdot \vec{0} \leq \varepsilon$$

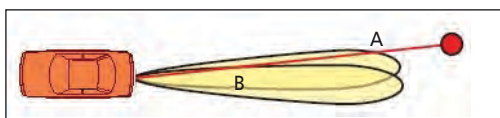
Gondoljunk itt a korábbi számban leírt adaptív küszöbérték CFAR által történt képzésére.

4.4.2. Szögmeghatározás monopuls eljárással

A trilaterális technikával ellentétben használatban vannak olyan érzékelő hálózatok, amelyeknél egyetlen szenzorral történik a szögmeghatározás. Ekkor az antennák jelei a visszavert jel amplitúdójával vagy fázisával hozhatók össze-függésbe.

4.4.2.1. Szögmeghatározás amplitúdó monopulse segítségével

Ennél az eljárásnál egy antennát és több jól szétválasztható, illetve megkülönböztethető sugárirányú antennahurkot használnak (17. ábra).



17. ábra: szögmeghatározás amplitúdó monopulse eljárással

A kisugárzott (A) és a vett visszavert jel (B) amplitúdók egyetlen jármű céljel esetén különbözőek lesznek, feltéve, hogy a céljel nem a hurkok szimmetria-

tengelyében helyezkedik el. Amennyiben ez utóbbi eset nem áll fenn, akkor a szöghibajel:

$$\varepsilon(\alpha) = \frac{|\Delta|}{|\Sigma|}$$

ahol:

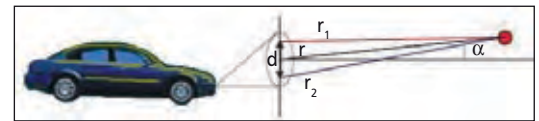
$$\Sigma = A + B,$$

$$\Delta = A - B.$$

Végezetül a hibák átlagát kell képezni.

4.4.2.2. Szögmeghatározás fázismonopuls segítségével

Ebben az esetben nem különböző irányú antennahurkokat, hanem egymáshoz közel ($d \approx 0,5 \lambda$) elhelyezett vevőantennákat (18. ábra) alkalmaznak.



18. ábra: szögmeghatározás fázis monopulse eljárással

Ekkor a vett jelek azonos amplitúdójúak, de fázisban különböznek. Ennél a módszernél a Ψ fáziskülönbség az oldalszög értékétől a hullámhossztól (λ) és az antennák közötti (d) távolságtól függ.

$$\Psi = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (r_1 - r_2) = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin \alpha \quad (19)$$

A fáziskülönbség méréstechnikai meghatározásához egy hányszor kell bevezetni mindkét komplex alakú vett jelnél.

$$A = B \cdot e^{-j\Psi}$$

Az összeg és különbség ekkor:

$$\Sigma = B \cdot (1 + e^{-j\Psi}),$$

$$\Delta = B \cdot (1 - e^{-j\Psi}).$$

Így a fázisdifferencia:

$$\frac{|\Delta|}{|\Sigma|} = \tan \left(\frac{\Psi}{2} \right)$$

5. JÁRMŰVEK MINT CÉLOBJEKTUMOK KITERJESZTÉSE

A járművek radarjaival történő mérés sajátosságaiából következik, hogy a radarszenzor, egy részletesebb elemzéssel több információt adhat a visszavert jeltől, mint egy kevésbé részletes elemzés. Azonban a részletesebb jelfeldolgozás sem ad több információt egy célmodellről.

Ahhoz, hogy egy visszavert jeltől megfelelően részletes leírást kaphassunk, be kell vezetni és definiálni kell a kiterjesztett modell fogalmát. Ezzel elérhető pl. az objektum hosszának becslése, vagy a modell osztályozása stb.

5.1. A megoldás és a kiterjesztés közötti összefüggés

Legyen egy objektum mérete (A), ami a hosszúsággal és szélességgel írható le. Egy célról több pontról érkezik a visszavert jel. Ekkor a legnagyobb és legkisebb mért távolság különbségéből megkaphatjuk az objektum (A_i) sugárirányú méretét. Az objektum bármilyen olyan tárgy lehet, amely nagyságával, típusával és pillanatnyi sebességével jellemezhető.

Egy szenzor U értéke az objektum egyes visszavevő pontjainak megkülönböztethetőségét, felbontóképességét írja le, mint pl.:

$$\Delta m_1 = \Delta r; \quad \Delta m_2 = \Delta r; \quad \Delta m_3 = \Delta r.$$

Ekkor az objektum (A_i) fizikai mértékei és a hozzá tartozó (Δm_i) mért értékek meghatározzák az objektum (M) mértékének (kiterjedésének) azon tulajdonságát, hogy egyetlen értékről ($A_i / \Delta m_i < 1$), vagy egy nagyobb értéktartományról ($A_i / \Delta m_i > 1$) van-e szó.

Az A_i kiterjesztésének meghatározásához legalább két mért értékre van szükség.

A leírtak alapján tehát megállapítható, hogy A_i kiterjedése alatt egy adott m_i maximális és minimális értéke közötti különbséget értjük.

$$A_i = \max m_i - \min m_i$$

$$m \in IM \quad m \in IM$$

Amikor a szenzor rendelkezik a távolságra és sebességre vonatkozó adatokkal, akkor sugárirányú kiterjedésről (A_r) és kinematikus kiterjedésről (A_v) beszélünk. Ekkor valójában egy térbeli kiterjedésről van szó, amit az irodalom dilatációnak nevez.

Az (r) távolság, a (v) radiális sebesség és az (α) szög által kifejez-

hető az általános három dimenziós $\vec{m}$ mértékvektor:

$$\vec{m} = [r, v, \alpha]^T$$

Ha az (0) objektum mérhető dilatációját ismerjük, akkor nemcsak

az $\vec{m}$ vektor, hanem annak IM tömege is meghatározható

$$M: 0 \leq \left\{ \vec{m} : \vec{m} \in IM \right\}$$

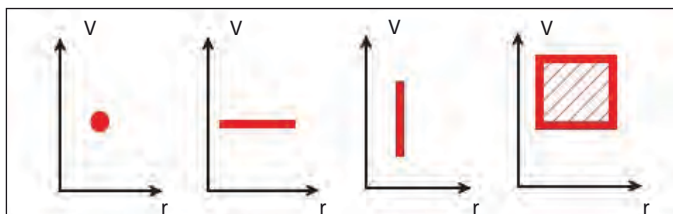
Megjegyzés: az IM tömeg nem fizikai tömeget jelent, hanem az objektum felületén mérhető visszaverő pontok számát.

Egy szenzor (U) értéke:

$$U = \Delta r \times \Delta v \times \Delta \alpha$$

Ha egy radarszenzor nagyszámú távolság- és sebességmérési adattal rendelkezik, akkor a megfigyelt objektumnak négy különböző típusát különböztetjük meg a szenzor típusától függetlenül.

Mikor egy ilyen objektumot vizsgálunk, általában célmodellről beszélünk. A célmodell alatt olyan objektumot értünk, ahol a megvizsgált dimenzióban a fizikailag mért méretek kisebbek, mint a felhasznált szenzorok méretei, vagyis az objektumok jellemzése nem a szenzortól való távolságtól, hanem a szenzor tulajdonságaitól függ. Az objektum tényleges fizikai méretei



19. ábra: célkiterjesztési módok

nem határozhatók meg, ami azonban nem azt jelenti, hogy az objektum nem rendelkezik fizikai méretekkel, hanem csak mint célmodell érzékelhető. Vizsgáljuk a 19. ábrát, amelyet r_v diagramunkban ábrázoltunk.

A (19. a) ábra a célmodellt mutatja be.

$$IM_{\text{pont}} = \{[r, v]\}$$

Erre példa lehet pl. az utca szélén álló közlekedési lámpa vagy egy autó.

A modellt azonban kiterjeszthetjük, ha a szenzor fizikai mérete legalább egy dimenzióval nagyobb. A (19. b) ábrán egy geometriai kiterjesztéssel rendelkező objektum található. Mint látható, ez a modell a távolsági tengellyel párhuzamos.

A részhalmaz matematikailag a következő módon írható:

$$IM_{\text{geom}} = \{[r_i, v_i] : r_i \in [r_{\min}, r_{\max}] \wedge v_i = \text{konst.}\}$$

Az ilyen célmodell lehet személygépkocsi és tehergépkocsi. Az olyan objektum, amely csupán A_r radiális kiterjesztéssel írható le, egy hosszú célmodellben határozható meg.

A (19. c) ábrán mint kinematikailag kiterjesztett modell látható, amelynek matematikai alakja:

$$IM_{\text{kinem}} = \{[r_i, v_i] : r_i = \text{konst.} \wedge v_i \in [v_{\min}, v_{\max}]\}$$

Erre példa egy gyalogos, aki ahogyan a szenzor felé radiálisan közelít, az a lépések távolságát leméri. Ekkor a modell kizárólag (A_v) paraméterrel rendelkezik, végül a negyedik típusú célmodell a területi modell, vagy más néven geometriailag és kinematikailag együttesen kiterjesztett modell (19. d). A matematikai alakja:

$$IM_{\text{terület}} = \{[r_i, v_i] : r_i \in [r_{\min}, r_{\max}] \wedge v_i \in [v_{\min}, v_{\max}]\}$$

Erre a típusra az olyan objektumokat lehet példaként említeni, amelyek a radarszenzor közvetlen közelében mozognak, amelyek modell jellegű objektumokra vonatkoznak.

Az itt leírtak pontcéloknak tekinthető objektumokra vonatkoznak, de a valóságban a radar a közúti forgalom valós tárgyainak méréseivel, analitikai megfigyeléseivel kell hogy foglalkozzon, így a következőkben ezeket tárgyaljuk.

6. A FORGALOM VALÓS TÁRGYAI ÉS AZOK TULAJDONSÁGAI

A RadarNet fő feladata a valós céltárgyak paramétereinek meghatározása, azok geometriai és kinematikus tulajdonságainak feldolgozása. Láttuk, hogy a pontcélokat helyi vektorokkal lehet meghatározni, a közutakon azonban határozott mértani (véges kiterjedésű) tulajdonságokkal rendelkező célok mozognak. Egy autópályán néhány száz méter távolságban mozgó objektum – tekintve a távolság és a célpont geometriai méretének nagy különbségét – pontcélként is meghatározható adott pontossággal, de sűrűbb közlekedési viszonyok mellett ez a fajta meghatározás már megengedhetetlen leegyszerűsítésekhez vezetne. Ekkor már nem lehetne pontosan meghatározni a járművek tényleges mennyiségét és a célok követéséhez szükséges csatornák számát.

6.1. Hosszú célpontok radiális kiterjedésének mérése (geometriai kifejezés)

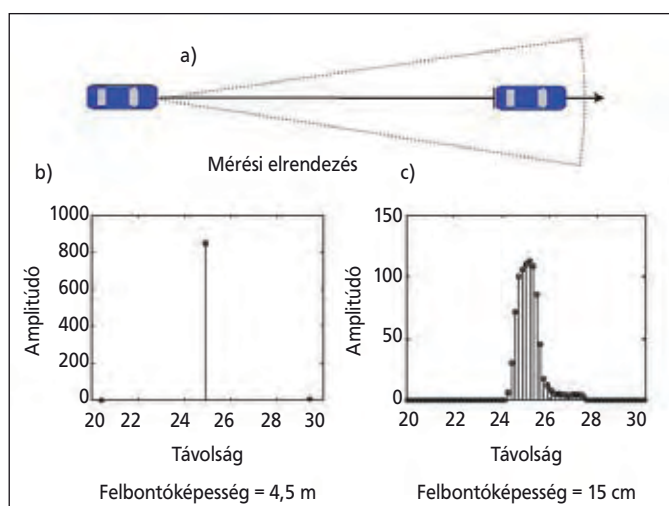
Legyen egy cél hossza (L) és ha ez, illetve a céltárgy sugárirányú A_r mérete nagyobb, mint a távolsági felbontóképesség (Δr) értéke:

$$A_r > \Delta r,$$

akkor a radarszenzornak legalább a cél első és hátsó pontját két különböző pontnak kell érzékelnie, így írható.

$$\hat{L} \approx A_r = k \cdot \Delta r, \quad k \in \mathbb{N}.$$

A 20. ábrán látható céljárművet mérjük két különböző radar-szenzorral. Egyik esetben legyen a felbontóképesség $\Delta r = 4,5$ m,



20. ábra: mérés két különböző felbontóképességgel rendelkező radarral

akkor a célt pontcélként látjuk a (20. b) ábra szerint. Amennyiben a felbontóképesség $\Delta r = 15$ cm, akkor a mérés eredményéből egy részletes távolsági profil rajzolódik ki (20. c ábra). Eszerint az objektum hossza $A_r = 22 \cdot 0,15 = 3,3$ m.

Megjegyzés: az objektumot 22 mérésből határozzák meg $\Delta r = 0,15$ m felbontóképességgel (20. c ábra).

A hosszú célpontok megfigyelése során a mért értékek sokasága adódik, amelyek mindegyike azonos sebességgel és közelítőleg azonos α azimuttal rendelkeznek. A különböző sugarak és referen-

ciapont $\begin{pmatrix} 0 \\ \vec{r}_R = [x_o, y_o] \end{pmatrix}^T$ megfigyelt sugarából és az ismertként elfogadott l_i távolságból adódik. A 21. ábra a hosszú célpontok hosszúsága és a mozgása közötti összefüggést mutatja, amelynek matematikai alakja:

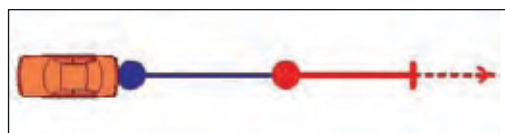
$$r_i = \sqrt{(x_o - x_s)^2 + (y_o - y_s)^2} + l_i$$

$$v_i = v,$$

$$\alpha_i = \alpha.$$

Az RV diagramban a hosszú célpontok méretei vagy méretértékei a távolsági tengellyel párhuzamos egyenest szolgáltatnak a korábban látott 19. b ábra szerint. A cél jelen esetben mozog. Amennyiben

nyben a céltárgy bármely pontjának a $\vec{O}_R$ referenciaponthoz viszonyított



21. ábra: hosszú célpontok mérete és mozgása közötti összefüggések

lehet határozni. Ez a feltétel azokra a célokra vonatkozik, amelyeknél a mozgás iránya a kiterjedés irányával megegyezik. Ez megfelel annak az esetnek, amikor nagyobb távolságban előrehaladó járműről van szó, ennek szélességét radarral nem lehet érzékelni.

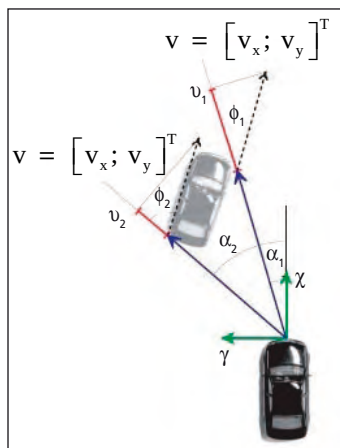
6.2. Kinematikus kiterjesztésű célpontok

A kiterjedés definíciója a geometriai méreteket a radarszenzor felbontóképességéhez igazítja. A radarérzékelő méri a sebesség radiális összetevőjét is. Amennyiben a céltárgy geometriai tulajdonságai a mért szög és távolság értékeit jelentősen befolyásolják, akkor a céltárgy kinematikai tulajdonságai befolyásolják a mért sebességet, így az (A_r) kiterjesztést is.

Amennyiben egy tárgy különböző sebességű részekből áll, mint egy gyalogos, vagy egy olyan gépjármű, amelynek kiterjedése elég nagy, és olyan geometriai mozgást végez, amely esetben a különböző pontjai látszólagosan más és más sebességgel mozognak, akkor sebesség kiterjesztésű – kinematikus kiterjesztésű – célpontot kapunk.

$$A_v = k, \Delta v, k \in \mathbb{N}.$$

Amennyiben a cél minden visszaverő pontjának azonos a sebessége, akkor minden sebességadat számítható a 14. sz. kifejezéssel. A céloknál gyakran különböző visszaverő pontok is



22. ábra: kinematikus kiterjesztésű célok mérése

megfigyelhetők, mint ahogy a 22. ábra mutatja. Ebben az esetben a különböző reflexiós pontokra más-más sebesség adódik. Ennek az a feltétele, hogy a különböző reflexiós pontoknak különböző legyen az irányuk (α_i). A cél azimutján kívül kiszámítható egy másik szög is (A_{α_i}), amely a céltárgy geometriai méretétől és abszolút helyzetétől függ. Ez a szög határozza meg a szélességre és a hosszúságra kibővített tárgy sebességét (A_v). Így meg lehet egy tárgyat jeleníteni különböző helyzetekben és különböző sebességek mellett.

Egy tárgy lehet pl. az autópályán közlekedő autó, amely egy másik érzékelővel felszerelt jármű előtt halad nagy távolságban, így a valós szélessége nem jelenik meg sem szögben ($A_{\alpha} < 1^\circ$), sem sebességben. Ez a hosszú tárgyak speciális esete.

Teljesen más a helyzet a városi közlekedésben, ahol a távolságok jelentősen kisebbek, sőt a járművek ferdén is mozoghatnak, ezért a radarszenzortól nézve a távolság és szélesség felcserélődhet. Ezt az esetet ábrázolja a 23. ábra. A városi forgalomban tehát a szög mértékének meghatározása fontosabb. A radiális sebesség meghatározása a következő összefüggéssel lehetséges:

$$v = \frac{x_o - x_s}{r} \cdot v_x + \frac{y_o - y_s}{r} \cdot v_y = \frac{\langle \vec{r}, \vec{v} \rangle}{|\vec{r}|} = |\vec{v}| \cdot \cos \Phi$$

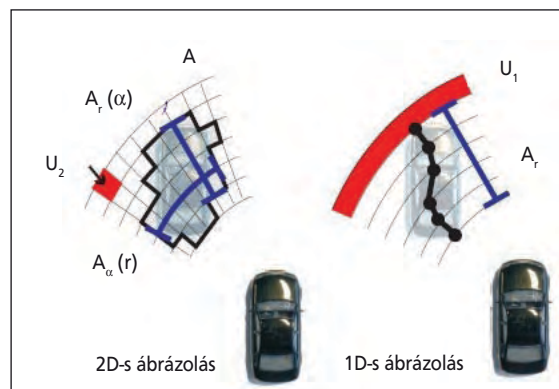
Látható tehát, hogy a radiális irány és a sebességvektor iránya által bezárt szög határozza meg a mért sebesség nagyságát, amely többnyire kisebb a tényleges értéknél.

A teszteredmények azt igazolják, hogy a sebesség nagyságának főként a ferdén mozgó tárgyak esetén van jelentőségük. Végül a sebesség radiális összetevője a következő módon számítható:

$$v_x(v_y) \Big|_{v, \alpha} = \frac{v - v_j \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{v}{\cos \alpha} - \tan \alpha \cdot v_j$$

6.3. Kiterjedés mérése szögben

Az autógyártásban alkalmazott radarok nem rendelkeznek független szögfeloldásokkal, azonban most tételezzük fel, hogy a szenzor rendelkezik jó távolsági és szögfeloldási képességgel. Ha ez igaz, akkor a 24. a ábra szerinti megoldást kapjuk, amennyiben a korábbi állításunk nem igaz, akkor csak a 24. b ábra szerint 1D megoldás valósulhat meg.



24. ábra: kiterjesztés szögben

Irodalom

- [1] FÖLSTER, Florian; Erfassung ausgedehnter Objekte durch ein Automobil –Radar
Hamburg. 2006. Disszertáció.
- [2] AGHA, Adel: Entwicklung von Postprocessing-Algorithmen für Automotive Radarsysteme. Aachen, Germany, Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, Diss., Juni 2001
- [3] BLAKE, Lamont V.: Radar range-performance analysis. Norwood, MA: Artech House, 1986 (The Artech House radar library). – ISBN 0-89006-224-2
- [4] FÖLSTER, Florian; OPRISAN, Dan; GÖRNER, Stefan; ROHLING, Hermann: Detection and Tracking of extended targets for a 24 GHz automotive radar network. In: Proc. International Radar Symposium 2004. Warsaw, Poland, May 2004, S. 75-80
- [5] FÖLSTER, Florian; ROHLING, Hermann: Data Association and Tracking for Automotive Radar Networks. In: IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. ITS-6 (2005), December, Nr. 4, S. 370-377
- [6] FÖLSTER, Florian; ROHLING, Hermann: Signal processing structure for automotive radar. In: Frequenz 60 (2006), Jan/ Feb, Nr. 1-2, S. 20-23
- [7] KLOTZ, Michael: An Automotive Short Range High Resolution Pulse Radar Network. Aachen, Germany, Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, Diss., Januar 2002
- [8] KRUSE, Frank: Ein Beitrag zur Sensorsignalanalyse für Fahrzeuganwendungen. Göttingen, Germany, Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, Diss., May 2006
- [9] LÜBBERT, Urs: Target Position Estimation with a Continuous Wave Radar Network. Göttingen, Germany, Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, Diss., Juni 2005
- [10] LUTZENBERGER, Christian: Dynamik des menschlichen Ganges. Düsseldorf, Germany, Technische Universität München, Diss., 2002
- [11] MENDE, Ralp; BEHRENS, Marc; MEINECKE, Marc-Michael; BARTELS, A.; TO, Thanh-Binh: The UMRR-S: A High-Performance 24GHz Multi Mode Automotive Radar Sensor for Comfort and Safety Applications. In: Proc. International Radar Symposium 2003. Dresden, Germany, September 2003, S. 113-118
- [12] MENDE, Ralp: UMRR: A certified 24GHz Radar Sensor for Automotive Applications. In: Proc. 1st International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2004.) Hamburg, Germany, March 2004, S. 13-17
- [13] OPRISAN, Dan; FÖLSTER, Florian; ROHLING, Hermann: Monopulse versus Multilateration Technique for azimuth measurement in automotive Radar Networks. In: Proc. International Radar Symposium 2005. Berlin, Germany. September 2005, S. 73-77
- [14] ROHLING, Herman; FÖLSTER, Florian; MEINECKE, Marc-Michael; MENDE, Ralp: A New Generation of Automotive Radar Waveform Design Techniques. In: Proc. First International Conference on Waveform Diversity and Design. Edinburgh, UK, November 2004
- [15] RITTER, Henning; FÖLSTER, Florian; ROHLING, Hermann: Identification of pedestrians with radar sensors. In: Proc. 3rd International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2006). Hamburg, Germany, March 2006, S. 167-171
- [16] ROHLING, Hermann; HÖSS, Alfred; LÜBBERT, Urs; SCHIEMENTZ, Mark: Multistatic Radar Principles for Automotive RadarNet Applications. In: Proc. German Radar Symposium 2002. Bonn, Germany, September 2002, S. 181-185
- [17] ROHLING, Hermann; KRUSE, Frank; FÖLSTER, Florian; AHRHOLDT, Malte: Target Classification with a Narrowband 24 GHz Radar System. In: Proc. 1st International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2004). Hamburg, Germany, March 2004, S. 19-23
- [18] ROHLING, Hermann: Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations. In: IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. AES-19 (1983), July, Nr. 4, S. 608-621
- [19] ROHLING, Hermann: Adaptive Methoden zur Zielerkennung in Pulsradargeräten mit Dopplerprozessoren, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Diss., Juli 1984
- [20] ROHLING, Hermann: Zur Auflösung von Radialgeschwindigkeits und Entfernungsmehrdeutigkeiten bei der Radarmessung. In: ntzArchiv 8 (1986), Nr. 2, S. 25-34
- [21] SCHIEMENTZ, Mark: Postprocessing Architecture for an Automotive Radar Network. Göttingen, Germany, Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, Diss., Juni 2005
- [22] S. Slater, (Jaguar), A. Sjögren (Volvo), A. Beutner (Volvo), W. Bullinger (DC), K. Möhle (DC), D. Maier. (BMW), A. Saroldi (CRF), H. Rohling (TUHH), U. Lübbert (TUHH) M. Schiementz (TUHH), A. Garrod (RMR), B. Rickett (RMR), D. Pycock (Uni Bham) E. Hoare (Uni Bham), F. Castanie (INPT) R. Doerfler (Siemens VDO), M. Brandt (Siemens VDO), A Hoess (Siemens VDO): MULTIFUNTCIONAL Automotive Radar NETWORK (RadarNet). Deliverable D40 Final Report. 2004
- [23] Lecture Script: Radar System Engineering Edition WS 2005/2006
- [24] Skolnik, M: Introduction to Radar Systems McGraw Hill Text. 2000.
- [25] Detlefsen J: Radartechnik, Springer-Verlag, 1989.
- [26] R, Mende: Radarsysteme zur automatischen Abstandsregelung in Automobilen Dissertation. 1999.
- [27] Stove, A. G: Linear FMCW Radar Techniques – IEE Proceedinds-F. 1992 No. 5.
- [28] H. Rohling: Some Radar Topics. Waveform Design Range CFAR and Target Recognition, 2005.
- [29] D. Oprisan and H. Rohling: Tracking system for Automotive Radar Networks. – IEE Radar 2002.
- [30] M. Ezekiel – K. Fox: Korreláció és regresszió analízis – Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest. 1970.

Személygépjárművek folytonos üzemű biztonsági radarjai

Dr. Oláh Ferenc

okl. villamosmérnök,
okl. lokátorszakmérnök,
ny. főiskolai docens
Széchenyi István Egyetem,
Műszaki Tudományi Kar,
Közlekedési Tanszék

Horváth Richárd

okl. közlekedésmérnök,
egyetemi adjunktus,
doktorandusz
Széchenyi István Egyetem,
Műszaki Tudományi Kar,
Közlekedési Tanszék

A személygépkocsik közlekedésbiztonsági rendszerei rohamosan fejlődnek. Ezek központi eleme a radarberendezés. 2013-tól minden új személygépkocsiba be kell építeni a közel és távol radart, amelyek fontos biztonsági feladatokat látnak el. A cikk ezen radarok modulációs módszereivel és azok matematikai elméletével foglalkozik.

Traffic safety system for cars are developing rapidly. The central element of there systems is the radar technology. Starting in 2013 every new vehicle must be equipped with near and far radars, which will provide important safety features. In this article, we will deal with the modulation methods of these radars and their mathematical theory.

1. BEVEZETÉS

A gépjárművekben alkalmazott ACC – Adaptive Cruise Control – és egyéb biztonsági feladatokat ellátó radarok alkalmazása rohamosan terjed. EU-előírások szerint 2013-tól minden új gépkocsiba be kell építeni ezeket a radarokat, amelyek 79 GHz-es sávban fognak működni. Ez vonatkozik mind a közel (NDS – Near Distance Sensor, nevezik még SRR – Short Range Radar-nak is), mind a távol (FDS – Far Distance Radar Sensor, nevezik még LRR – Long Range Radar-nak is) radarok alkalmazására is. Bár a statisztikai elven működő radarok elmélete már régóta ismert, a közlekedés jelenlegi forgalmának nagysága szükségessé tette a különböző algoritmusok kidolgozását és ezekhez illeszkedő új számítási eljárások alkalmazását. Többféle modulációs módot alkalmaznak. Ezen a területen úttörő szerepet játszottak és játszanak: H. Rohling, N. Levanon, R. Mende, D. Oprison, M. Ezekiel, K. Fox, F. X. Hafele, A. G. Stove, F. Fölster, G. M. Dillard, V. G. Richards, G. Galati, A. Di Vito, R. Menning, M. M. Meinecke, M. Schiementz, M. Klotz, J. Detlefsen, R. Dixit, M. Pastorino professzorok és fejlesztőmérnökök. Ebben a cikkben ismertetjük azokat a radarokat és a hozzájuk tartozó modulációs módokat, amelyeket a gépkocsiradarokban alkalmaznak.

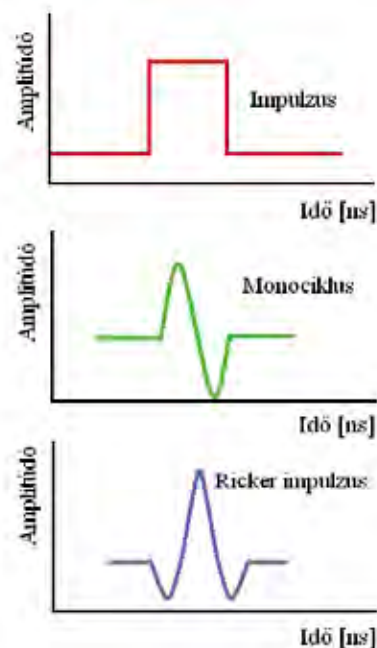
2. ALKALMAZOTT JELFORMÁK

2.1. Folyamatos üzemű (CW) radar

Azt a radarrendszert, amely folyamatosan azonos frekvenciát sugároz, folyamatos üzemű (CW – Continuous-Wave) radarnak nevezzük. Ezt a módszert már régen is alkalmazták, mert mérhető a céltárgy mozgásának sebessége. Hátránya, hogy nem áll rendelkezésre mérés során a cél távolsága, sem a felbontóképesség. E hátrányok kiküszöbölhetők, ha modulációt alkalmazunk, pl. egy impulzus és a CW együttes alkalmazását.

2.1.1. Rövid impulzus

Ezeknek az impulzusoknak az időtartama 0,25–1 ns. Ezeket az impulzusokat alapsávi jeleknek nevezzük. Célszerű ezen impulzusok egyenáramú összetevőjének eltávolítása differenciálással. Az eredményül kapott jeleket monociklus impulzusoknak nevezzük.



1. ábra: különböző hullámformák

Az egyik gyakrabban alkalmazott rövid időtartam hullámforma az ún. Ricker hullám (1. ábra). Ez úgy írható le, mint egy Gauss-impulzus második deriváltjának negáltja.

$$p(t) = -\frac{d^2 [\exp(-a \cdot t^2)]}{dt^2} = -2 \cdot a \cdot \exp(-a \cdot t^2) (2 \cdot a \cdot t^2 - 1),$$

ahol, a olyan állandó, amely a hullám időtartamát és amplitúdóját határozza meg.

Hátránya a módszernek, hogy kicsi az energiája, ezért célszerűen a csúcshővezetést kell növelni kV, 10 kV nagyságrendig, ami kW, 10 kW nagyságrendű csúcsteljesítményt eredményezhet. Ezt a módszert is alkalmazzák, de nem a gépjárművek biztonsági rendszereiben.

2.1.2. Lineáris frekvenciamoduláció (LFM – CW)

Az impulzus energianövelésének elterjedt módja, amelynek segítségével a jó felbontóképesség is megőrizhető, ha chirp hullámformát alkalmazunk. Ez olyan szinuszhullám, amelynek lineárisan nő, illetve csökken a frekvenciája. Egy chirp $f(t)$ frekvenciája a következő egyenlettel írható le:

$$f(t) = f_0 + \alpha \cdot t,$$

ahol: f_0 – kezdőfrekvencia

α – a chirp frekvenciaváltozási sebessége [Hz/s]

A frekvencia és a fázis között a következő összefüggés áll fenn:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi}{dt},$$

ahol: Φ – fázis.

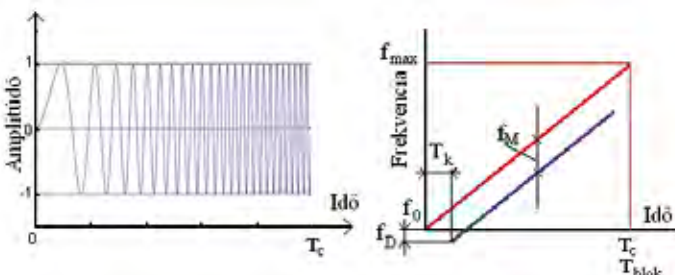
A chirp hullámforma fázisa a következő alakban írható:

$$\Phi(t) = 2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau = 2\pi \left(f_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2 \right).$$

Ezt a másodfokú fázisfüggvényt felhasználva, egy T_c hosszúságú chirp komplex függvénye:

$$p(t) = \exp \left[j \left(\omega_0 \cdot t + \pi \cdot \alpha \cdot t^2 \right) \right] \quad 0 < t < T_c$$

A 2. ábrán az idő-frekvencia függvénye látható.



2. ábra: chirp jel az idő és idő-frekvencia tartományban

A chirp spektrumát úgy kapjuk meg, ha a következő módon írjuk át a $p(t)$ függvényt:

$$p(t) = \left(\frac{t - \frac{T_c}{2}}{T_c} \right) \otimes \exp \left[j \left(\omega_0 \cdot t + \pi \cdot \alpha \cdot t^2 \right) \right] = p_1(t) \otimes p_2(t)$$

Ennek Fourier transzformáltja:

$$P(\omega) = F[p_1(t)] \otimes F[p_2(t)] = P_1(\omega) \otimes P_2(\omega).$$

$$P_1(\omega) = T_c \cdot \frac{\sin \left(\frac{\omega}{2} \cdot T_c \right)}{\frac{\omega}{2} \cdot T_c} \cdot \exp j \frac{\omega}{2} \cdot T_c$$

A $P_1(\omega)$ értékét tehát az impulzus késleltetési idejének a segítségével tudtuk meghatározni.

A második tag:

$$P_2(\omega) = \int \exp \left[j \left(\omega_0 \cdot t + \pi \cdot \alpha \cdot t^2 \right) \right] \cdot \exp(-j\omega \cdot t) dt = \int \exp \left\{ j\pi \cdot \alpha \cdot \left[t^2 - \frac{(\omega - \omega_0) \cdot t}{\pi \cdot \alpha} \right] \right\} dt =$$

$$= \int \exp \left\{ j\pi \cdot \alpha \cdot \left[\left(t - \frac{\omega - \omega_0}{2\pi \alpha} \right)^2 - \frac{(\omega - \omega_0)^2}{(2\pi \alpha)^2} \right] \right\} dt =$$

$$= \exp \left\{ -j \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\pi \alpha} \right] \right\} \cdot \int \exp \left\{ j\pi \cdot \alpha \cdot \left(t - \frac{\omega - \omega_0}{2\pi \alpha} \right)^2 \right\} dt$$

Felhasználva az

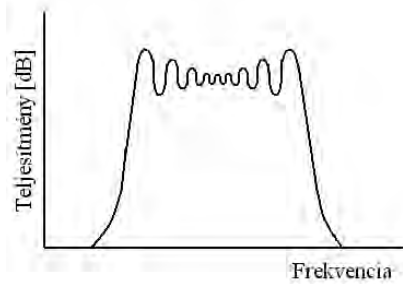
$$\int \exp(j\alpha \cdot x^2) dx = \sqrt{\frac{2\pi}{2\alpha}} \cdot (1 + j)$$

egyenlőséget, írható:

$$P_2(\omega) = \sqrt{2} \cdot \exp \left(j \frac{\pi}{4} \right) \cdot \sqrt{\frac{1}{2\alpha}} \cdot \exp \left\{ -j \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\pi \alpha} \right] \right\}$$

Egy chirp fontos jellemzője a $T_c \cdot B = T_c \cdot (f_{\max} - f_0)$ idő-sávszélesség szorzat.

A 3. ábrán egy chirp spektrum látható.



3. ábra: egy chirp spektruma

Ha növeljük $T_c \cdot B$ értéket, akkor a spektrum szögletesebb lesz és élesebbek lesznek az átmenetek a kezdő- és végfrekvenciánál, miközben a hullámosság változatlan marad. Ezt Gibbs jelenségnek nevezzük, és sok differenciál- és integrálszámítási kézikönyvben megtalálható a leírása.

Lineáris frekvenciamoduláció esetén a visszavert jel két fontos időfüggő információt hordoz.

Egyrészt a visszavert jel sebességének megfelelő frekvenciaváltozást $f_R(t)$, másrészt a mért Doppler frekvencia $f_D(t)$ függ a kisugárzott frekvenciától, és egy chirp jelnek megfelelő lineáris (meredekség) is jellemzi (f_s).

A fentieket matematikailag így fogalmazhatjuk meg:

$$f_M(t) = -2 \cdot \frac{f_{\max}}{c \cdot T_c} \cdot r(t) - 2 \cdot \frac{f_s(t)}{c} \cdot v = -2 \cdot \frac{f_{\max}}{c \cdot T_c} \cdot (r + v \cdot t) - 2 \cdot \frac{f_0 + \left(\frac{f_{\max}}{T_c} \right) \cdot t}{c} \cdot v =$$

$$= -2 \cdot \frac{f_{\max}}{c \cdot T_c} \cdot r - 2 \cdot \frac{f_0}{c} \cdot v - 4 \cdot \frac{f_{\max} \cdot v}{c \cdot T_c} \cdot t$$

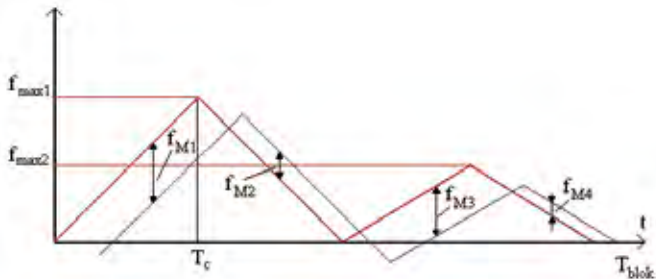
ahol: f_M – a minimális és a maximális frekvenciaváltozás közötti különbség.

$$A_f = |f_{\max}(T_c) - f_{\max}(0s)| = 4 \cdot \frac{f_{\max}}{c} \cdot v_{\max}$$

Amennyiben egy korrekt módon definiált jelformából indulunk ki, akkor:

$$f_M = f_M \left(\frac{T_c}{2} \right) = -2 \cdot \frac{f_{\max}}{c \cdot T_c} \cdot r - 2 \cdot \frac{f_0 + f_{\max}}{c} \cdot v \approx -2 \cdot \frac{f_{\max}}{c \cdot T_c} \cdot r - 2 \cdot \frac{f_0}{c} \cdot v$$

A probléma az, hogy az f_M tartalmazza a cél távolságának és sebességének megfelelő információkat, ami kétértelműséget okoz. Ennek kiküszöbölésére különböző értékű frekvenciaküszöböt alkalmazunk, amelyek mindegyike egy-egy egyenest ír le az r - v diagramban, ahol a metszéspont egyik koordinátája az r értékét a másik koordinátája pedig a v értékét adja meg.



4. ábra: négy chirppel rendelkező jel

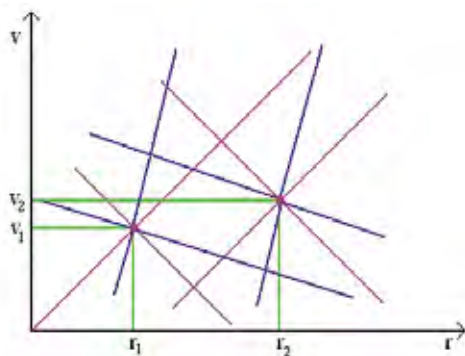
Az elvet a 4. ábra mutatja. A jel két chirppel és 2 upchirppel (le szállóág) rendelkezik és az alábbi mátrix szerint működnek:

$$\begin{bmatrix} f_{M1} \\ f_{M2} \\ f_{M3} \\ f_{M4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ -a_1 & b_1 \\ a_3 & b_3 \\ -a_3 & b_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \\ v \end{bmatrix},$$

ahol: a és b konstansok.

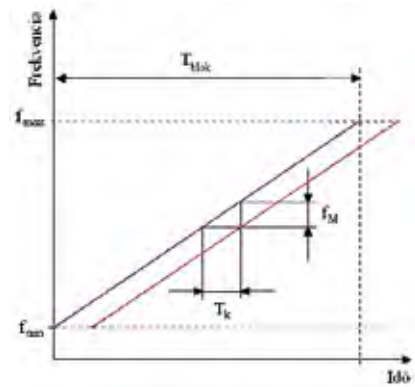
$$a_i = -2 \cdot \frac{f_{\max i}}{c \cdot T_c}; b_i = -2 \cdot \frac{f_0}{c}.$$

Elméletileg két egyetlen rendszer is elég lenne a két keresett érték r és v meghatározásához, de mégis nagyszámú chirpet alkalmaznak, hogy több célpont esetén az egyes objektumokhoz pontosan hozzárendelhetők legyenek a különböző frekvenciák. Eredmény az 5. ábrán látható.



5. ábra: LFMCW jel r - v többértelműségének megoldása

Ha a sugárzott jelsorozat két chirpből (upchirpből) áll, akkor a négy mért frekvenciának megfelelően négy egyenest kapunk. A négy egyenes egyben négy metszéspontot eredményez. A két cél mellett megjelenik két fantom, vagy szellemcél is. Négy chirp alkalmazása esetén nyolc egyenest kaptunk az r - v intervallumon, amelyek alapján az igazi cél már azonosítható. Ez lényeges művelet, különösen városi forgalomban, amikor az idő nagy százalékában tetemes célmennyiség található. Vizsgáljuk meg, hogy a leírt folyamatok hogyan mennek végbe. Vizsgáljuk meg a 6. ábrát.



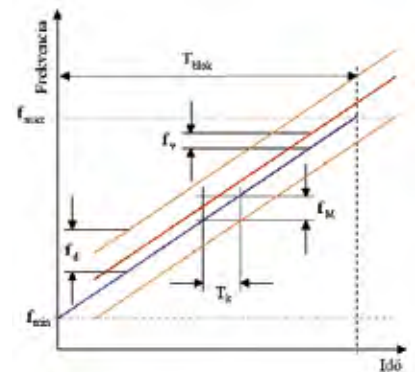
6. ábra: összefüggés a futási idő és frekvenciakülönbség között frekvenciamodulációnál

Az ábrából látható, hogy a frekvenciatartomány, amelyet kisugározzunk, $f_{\min}$ és $f_{\max}$ között változik. Ennek következménye, hogy a visszavert jelben máris lesz egy frekvenciakülönbség (f_M).

$$f_M = \frac{T_k}{T_{\text{blok}}} \cdot f_{\text{löket}} = \frac{2 \cdot R}{c} \cdot \frac{f_{\text{löket}}}{T_{\text{blok}}},$$

ahol: $f_{\text{löket}} = f_{\max} - f_{\min}$

Az elmozduló tárgy járulékos frekvenciát termel, amely Doppler-eltolódásban mutatkozik meg (7. ábra).



7. ábra: függés a távolságtól és a Doppler-frekvenciától FMCW radarnál

A visszavert jel tehát tartalmaz egy f_M távolságinformációt és f_D Doppler-frekvenciát.

A keletkezett vevőfrekvencia

$$f_v = f_D - f_M = \frac{2 \cdot v}{\lambda} - \frac{T_k \cdot f_{\text{löket}}}{T_{\text{blok}}}.$$

A vevő ezeket a frekvenciákat elkülöníti egymástól és azokat dolgozza fel.

2.1.3. Frekvenciamodulált CW (FMCW)

Ha a lineáris (LFM) hullámformát sokkal hosszabbra alakítják ki mint a késleltetési idő, akkor FMCW-ről beszélünk. Ekkor a vevőberendezés már akkor elkezd venni a visszavert jeleket, amikor az adó még sugároz.

Egy FMCW radar jellemző letapogatási ideje 1...100 msec.

Vizsgáljuk meg a 8. ábrát, amely FMCW radart mutat.

Látható, hogy az adó kisugározza a jeleket, de az adó jelének frekvenciájával megegyező jelet egy iránycsatolón keresztül ki-csatolunk és a keverőre vezetjük, ahová a visszavert jel is érkezik. Ekkor egy f_b lebegési (üttető) frekvenciát kapunk, amely arányos a cél T_k késleltetési idejével.



8. ábra: frekvenciamodulált, állandó üzemő radar külön adó- és vevőantennával

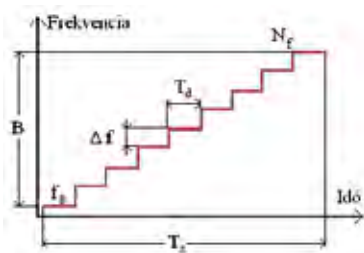
$$\frac{f_b}{T_k} = \frac{B}{T} = \alpha \Rightarrow R = \frac{c \cdot T_k}{2} = \frac{c \cdot f_b}{2 \cdot \alpha}$$

Ha a feldolgozás során illesztett szűrőt használunk, akkor annak B_m zaj sávszélessége fordítottan arányos a t_i integrálási idővel (részletesen lásd: A jövő jármőve 2007. 1–2. számában).

$$B_m = \frac{1}{T_i}$$

2.1.4. Lépcsőfrekvenciás folytonos hullám (SFCW)

Ennél a megoldásnál nem lineáris moduláló jelet, vagyis nem lineárisan változó frekvenciájú jelet használunk, hanem diszkrét frekvenciaváltoztatásokat alkalmazunk a 9. ábra szerint.



9. ábra: lépcsőfrekvenciás CW hullámforma

Kimutatták, ha egy ilyen jelforrás mindegyik frekvenciánál elég hosszú ideig tartózkodik ahhoz, hogy a célról visszavert jelek el tudják érni a vevőt (ez gépjárműveknél a kis céltávolságok miatt mindenképpen teljesíthető), akkor a vevő teljesíti mindazt, amit az FMCW radar is produkál.

Egy SFCW radar működési elve nagyon hasonlít az FMCW radar működési elvéhez, mert az SFCW hullámforma az FMCW hullámforma diszkrét változatának tekinthető. A két rendszerből vett digitalizált alapsávi jelek valójában ugyanazokat az információkat tartalmazzák a visszavert jelekről, mert az SFCW alapsávi jel az FMCW radar üttető jelének diszkrét változata.

Alkalmazva Kotyelnikov-Schannon mintavételi tételét, írható:

$$\frac{1}{\Delta f} \geq 2 \cdot T_{\max}$$

ahol: $T_{\max}$ – a legnagyobb késleltetési idő.

Ekkor:

$$R_{\max} = \frac{c}{2} \cdot T_{\max} = \frac{c}{4 \cdot \Delta f}$$

Ha kvadrátúra keverőt alkalmazunk, akkor elegendő az alábbi feltétel teljesülése:

$$\frac{1}{\Delta f} \geq T_{\max} \Rightarrow R_{\max} = \frac{c}{2 \cdot \Delta f}$$

Ügyelni kell arra, hogy az SFCW hullámformák alkalmazásakor a Δf frekvencialépést elég kicsire kell választani ahhoz, hogy az $R_{\max}$ nagyobb legyen, mint a várható legnagyobb céltávolság.

Ismeret az f_0 és $f_{\max}$ ekkor a frekvenciák N_f darabszámának megadásával megkapjuk a szükséges frekvencialépést:

$$\Delta f = \frac{f_{\max} - f_0}{N_f - 1}$$

A $p(t)$ SFCW jelalaknak megfelelő változata:

$$p(t) = \sum_{i=1}^{N_f-1} \left[\exp j 2 \cdot \pi (f_0 + i \cdot \Delta f) \cdot t \right] \cdot \left(\frac{t - \frac{T_d}{2} - i \cdot T_d}{T_d} \right)$$

ahol: a T_d tartózkodási idő az egyes frekvenciáknál eltöltött időt képviseli. A teljes hullámforma időtartama T_s – letapogatási idő:

$$T_s = N \cdot T_d$$

Tételezzük fel, hogy a gépjármőről visszavert jel olyan felületről verődik vissza, aminek a frekvenciafüggetlen reflexiós tényezője Γ .

Ekkor az $s(t)$ visszavert jel:

$$s(t) = \Gamma \cdot p(t - T_k) = \sum_{i=0}^{N_f-1} \Gamma \cdot \left\{ \exp j 2 \cdot \pi \left[(f_0 + i \cdot \Delta f) \cdot (t - T_k) \right] \right\} \cdot \left(\frac{t - \frac{T_d}{2} - T_k}{T_d} \right)$$

Detektálás után megkapjuk az alapsávi jelet:

$$s_b(t) = \sum_{i=1}^{N_f-1} \Gamma \cdot \left\{ \exp \left[-j 2 \cdot \pi (f_0 + i \cdot \Delta f) \cdot T_k \right] \right\} \cdot \left(\frac{t - \frac{T_d}{2} - i \cdot T_d}{T_d} \right)$$

Az alapsávi jel ekkor lépcsős szinusz hullám, ahol mindegyik lépcső az egyes frekvenciákon mért válaszjelnek felel meg. Az amplitúdót és a fázist a cél reflexiós tényezőjének segítségével határozzuk meg, ugyanakkor a szinusz hullám frekvenciája a T_k késleltetési idővel arányos.

Ha a jelet az egyes lépcsők közepén mintavételezzük, komplex adattömböt kapunk.

$$s(n) = \Gamma \cdot \exp \left[-j 2 \cdot \pi (f_0 + n \cdot \Delta f) \cdot T_k \right] \quad n=0,1,2,\dots,N_f-1$$

Ezt felírva a frekvenciatartományba, kapjuk:

$$S(f_n) = \Gamma \cdot \exp \left(-j 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot T_k \right)$$

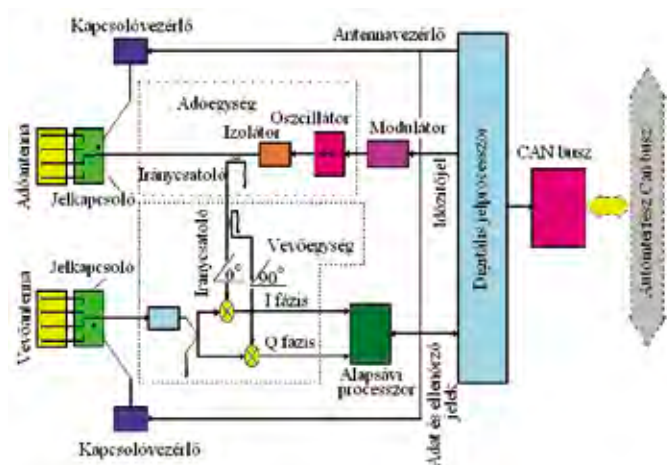
$$f_n = f_0 + n \cdot \Delta f, \quad n=0,1,2,\dots,N_f-1$$

Inverz Fourier transzformációt alkalmazva az időtartománybeli válaszeljelt:

$$s(t) = \Gamma \cdot B \cdot \frac{\sin[\pi \cdot B \cdot (t - T_k)]}{\pi \cdot B \cdot (t - T_k)} \cdot \exp j2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot (t - T_k)$$

ahol: $f_c = \frac{f_{\max} + f_0}{2}$ és B – a kisugárzott jel sávszélessége.

Az amplitúdó kifejezését gyakran nevezik a radar hullámforma szóródási függvényének (PSF – Point-Spread Function). A leírt elven működő személygépkocsiban történő alkalmazásra kifejlesztett rendszer blokkvázlata látható a 10. ábrán.



10. ábra: személygépkocsiba kifejlesztett radar blokkvázlata

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A gépjárművek radarjainak tulajdonságait az alkalmazott modulációs módok jelentősen befolyásolják. Az alkalmazott modulációs jelek típusai meghatározzák a radar alapvető paramétereit, mint pl. a távolság, felbontóképesség stb. pontosságát és megbízhatóságát. Ebben a cikkben a gépjárművek radarjaiban leggyakrabban alkalmazott modulációs módokat foglaltuk össze.

Irodalom

- [1] von Florian Fölster: Erfassung ausgedehnter Objekte durch ein Automobil-Radar Dissertation. 2006.
- [2] Fölster Florian, Rohling Hermann: Data Association and Tracking for Automotive Radar Networks, IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. 2005 dec.
- [3] Fölster Florian, Rohling Hermann: Lateral velocity estimation based on automotive radar sensors, IEEE Press. 2006. okt.
- [4] Fölster Florian, Rohling Hermann: Signal Processing structure for automotive radar, Frequenz. 2006. jan-febr.
- [5] Klauder, J. D.; Price, A. C.; Darlington, S.; Albersheim, W. J.: The Theory and Design of Chirp Radars, Bell System Technical Journal 39 1960. jul.
- [6] Meinecke, Marc-Michael; Rohling, Hermann: Combination of FSK and LFM CW Modulation Principles for Automotive Radars, German Radar Symposium 2000. Berlin.
- [7] Stove, Andrew G.: Linear FMCW radar techniques, IEE Proceedings-F. 1999. okt.
- [8] Rohling, Hermann; Fölster Fölster, Florian; Meinecke, Marc-Michael; Mende, Ralph: A New Generation of Automotive Radar Waveform Design Techniques, International Conference on Waveform Diversity and Design. 2004. nov

IMPRESSZUM

A jövő járműve • Járműipari innováció

II. évfolyam, 2008/3–4. 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 (EJIT)
1111 Budapest, Stoczek utca 6., J épület 516. • Tel.: 1/463-1753 • Fax: 1/463-3255 • E-mail: info@ejit.bme.hu

Széchenyi István Egyetem – Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont (JRET)
9026 Győr, Egyetem tér 1. • Tel.: 96/613-678 • Fax: 96/613-681 • E-mail: jret@sze.hu

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft.
9023 Győr, Csaba u. 21. • Levelezési cím: 9002 Győr, Pf. 156 • Tel.: 96/618-062 • Fax: 96/618-063 • E-mail: nszi@xmeditor.hu

KIADÓ:

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft. • Felelős kiadó: Pintér Imre

SZERKESZTŐSÉG:

X-Meditor Kft. Autóinformatika üzletág
Felelős szerkesztő: dr. Nagyszokolyai Iván • Tel.: 96/618-062 • E-mail: nszi@xmeditor.hu
Szerkesztő: Onódi Gábor • Tel.: 96/618-083 • E-mail: at@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

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

NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:

Palatia Nyomda és Kiadó Kft. • 9026 Győr, Viza utca 4.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.



AMI

AUTO MOBIL INTERNATIONAL

Leipzig, 28.03.-05.04.2009

**Wo die
Liebe hinfährt.**

*premieren
Probefahren
Promis*



www.ami-leipzig.de



AMITEC

WERKSTATT · TEILE · SERVICE

Leipzig, 28.03.-01.04.2009

**Aus Liebe
zum Auto.**

*Technik
Trends
Treffpunkt*



www.amitec-leipzig.de

Az Alternatív Hajtású Járőusport Szővetség és
az INNO-MOBIL Sportegyesület
a Széchenyi István Egyetem közremőködésével meghirdeti



IV. Széchenyi Futam[®] Alternatív Hajtású Járőűvek Versenye[®]

A versenyre egyetemi, főiskolai, középiskolai és egyéni csapatok
jelentkezését várjuk Magyarországról és határainkon túlról.

NEVEZZ TE IS ÉS ÉPÍTSD MEG A HOLNAP JÁRMŐVÉT!!!

Az idei évben betétfutamként, Magyarországon először bemutatkozik az Elektro Go-kart[®] verseny is.

Nevezési határidő: 2009. február 1.

NEVEZNI POSTÁN ÉS E-MAILBAN ELKÜLDÖTT PÁLYÁZATI ADATLAPOKKAL LEHET

Tervdokumentációk leadási határideje: 2009. március 22.

A IV. Széchenyi Futam[®] tervezett időpontja: 2009. április 23-25.

A verseny helyszíne: Széchenyi István Egyetem 9026 Győr, Egyetem tér 1. (parkoló)

További információ: www.ahjv.hu