

# Az Audi TT oldalfal-lemez gyártási folyamata

## Herstellung des Seitenwand-rahmens Audi TT





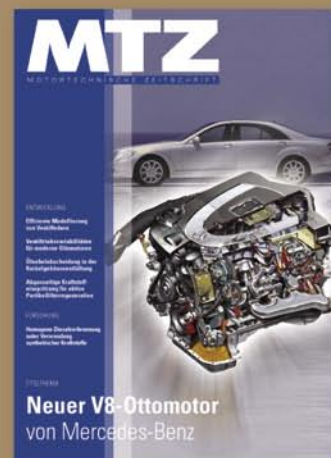


# $H_2O$ -val A-ból B-be? A tudás képes megváltoztatni a világot!

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 híeiről. Ez a koncepció teszi a német nyelvű, de angol nyelvű kivonattal is megrendelhető ATZ és MTZ folyóiratokat olyan kiadványokká, melyekből ön naponta profitálhat. Hozzá szeretne járulni jövőnk formálásához? Örömmel tölt el bennünket, hogy segíthetünk ebben, és a megfelelő tudáselőnyt nyújthatjuk önnek.

**Kérjen ingyenes próbaszámot!**



További információkat a [www.all4engineers.com](http://www.all4engineers.com) honlapon, az autópári mérnökök tudásportálján olvashat, ahol az ön munkáját egyedülálló online szakkikarchívum is segíti.



## A Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont egy éve

Az egyetemi tudásközpontok hazai létrehozása része annak a kutatási stratégiának, melyet az Európai Unió Lisszabonban fogadott el. Ennek hangsúlyos eleme az egyetemek és a vállalatok kutatási együttműködése, amely a mi tudásközpontjainknak is meghatározó működési formája. A Széchenyi István Egyetemen létrejött tudásközpont profilját Győr járműipari hagyományai, valamint a térség gazdasági adottságai határozták meg. A kutatások a járműgyártási technológiákra és járműrészegység-fejlesztésre fókuszálnak, emellett hangsúlyos eleme a programnak a technológiatranszfer. Az egyetemi tudásközpont szorosan együttműködik a 2005-ben létrejött kooperációs kutatóközponttal, melynek meghatározó tevékenysége szintén a járműipari kutatás-fejlesztés. E két központ 2006. évi eredményeit mutatja be a folyóirat mostani száma.

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpontjának küldetése az, hogy a gazdasági szférával együttműködve járműipari tudományos és technológiai innovációs centrumként működjék, a régióban kiemelkedő kutatási-fejlesztési hálózatot működtessen, ezzel növelje az ország versenyképességét és támogassa a térség gazdasági fejlődését. A tudásközpont minden vállalkozás számára elérhető kutatási infrastruktúrát és azt működtető humán erőforrást kínál új technológiák fejlesztéséhez, bevezetéséhez és versenyképes járműipari termékek létrehozásához. Hosszú távon olyan kiválósági központként kíván működni, amely az osztrák–szlovák–magyar határ régióban a járműipari fejlesztések egyik meghatározó szereplője.

Küldetésnek megfelelően a tudásközpont a térségi és az európai járműipar fejlődésével összhangban három kiemelt szempont érvényesülését tekinti céljának, ezek a biztonság, a környezetbarát működés és a gazdaságos gyártás. E célok megvalósulását szolgálja a járműgyártáshoz kapcsolódó korszerű anyagok és technológiák kutatása, valamint az új lehetőségeknek a mechanikai konstrukciókban való megjelenítése. Az átfogó célokat megvalósító technológiai kutatások felölelik a járműiparban használt legfontosabb előgyártási technológiákat és a befejező megmunkálásokat. A konstrukcióhoz kötődő kutatások a járműrészegységek fejlesztésének elméleti alapjait és több prototípus konkrét megvalósítását tartalmazzák. Ezen belül különös figyelmet kap a csapágyazások és fogazatok méretezésének kutatása, valamint a minimális zajkibocsátást eredményező megoldások keresése. A részegységfejlesztés az új futóműmegoldásokra irányul, ezek fő alkalmazási területei a mezőgazdasági erőgépek és haszonjárművek. A

technológiák fejlesztésében és a konstrukcióban egyaránt kulcsszerepe van a számítógépes szimulációnak, amely mind a technológiai folyamatok modellezésében, mind a járművekben lejátszódó bonyolult áramlási és hővezetési feladatok megoldásában hasznosul.

A tudásközpont konzorciumi partnerei a régió jelentős járműipari vállalatai, tulajdonviszonyaik, illetve vállalati méreteik közötti eltérések a járműipari beszállítói struktúra teljes keresztmetszetét adják. Tradicionális magyar nagyvállalként a Rába Futómű Kft. érdekltsége a kutatás-fejlesztésben meglévő hagyományai miatt is nyilvánvaló, melyet több innovációs díj elnyerése is bizonyít. A mintegy kétezer embert foglalkoztató vállalat több jelentős termékcsoporthal van jelen a világpiacon. A cég futóműveket, illetve azok alkatrészeit állítja elő közepes- és nehéz-tehergépkocsikhoz, buszokhoz, mezőgazdasági és munkagépekhez. A Borsodi Műhely Kft. magyar tulajdonú, stabilan fejlődő közép-vállalkozásként csúcstechnológiára alapozott beszállítói tapasztalataival működik hatékonyan közre a technológiai fejlesztésben és alkalmazásban. Fő erőssége a magas szintű forgácsolási technológia, precíziós szerelés és mérés. Profilja folyamatosan bővül, tevékenységén keresztül a tudásközpont munkájában a földi járművek mellett megjelenik célterületként a repülőgépipar is. A mosonszolnoki SAPU Bt. (a német Schefenacker-cégcsoport leányvállalata) szinte valamennyi jelentős autóipari cégnek szállít belső és külső visszapillantó tükröket. Legnagyobb vevői a Mercedes, az Opel, az Audi, a VW, a Ford, a BMW. A szerelési technológia fejlesztése 11 éve folyik a cégnél, a műanyag burkolatok nagyszériás festése pedig 2 éve. A konzorcium tagjaként korszerű műanyag-alakítási technológiák adaptálását és továbbfejlesztését végzi.

A tudásközpont és kooperációs kutatóközpont ez évi záró értékelése egy nevezetes jubileumhoz kapcsolódott: a kutatási pályázat kezdeményezője és meghatározó szervezeti egysége, a Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszéke idén ünnepelte 30 éves működését. Ebből az alkalomból több partner tanszék és vállalat képviselője is megtisztelte a konferenciát, amely ezáltal nemzetközi eseménnyé vált. A tudományos program felölelte a gyártásfolyamat-tervezést, a képlékeny alakítási és forgácsolási technológiákat, a felületkezelést, mérési módszereket, valamint a folyamat-szimulációt. Összesen 17 előadás hangzott el, ebből tízet az egyetem és kutatási partnerei mutattak be, hat külföldi előadás volt és egy nemzetközi, az egyetem és a külföldi partner tanszék közös munkája. A folyóirat ezeknek az előadásoknak a szerkesztett változatát tartalmazza.

## Tartalomjegyzék

|    |                                                                                                                                                 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | A Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont egy éve                                                                                           |
| 5  | Előszó – Dr. Kardos Károly                                                                                                                      |
| 6  | Autószalonok, járműipari szakkiállítások 2007-ben                                                                                               |
| 7  | Beszámoló a Tech4Auto 2006 – Járműgyártás-technológiai Konferencia és Szakkiállításról                                                          |
| 8  | Exhibitions on 8-10 May 2007, Stuttgart Messe, Germany                                                                                          |
| 10 | A BMW-csoport és a hidrogénhajtás                                                                                                               |
| 12 | ITS, intelligens közlekedési rendszerek hazai fejlesztése – Petrók János                                                                        |
| 16 | Leichtbaukonzepte für PKW kleiner Gesamtstückzahlen – Dr. Stefan Wagner, Dr. Mathias Liewald                                                    |
| 19 | A Bosch kibővíti oktatási kezdeményezéseit Magyarországon                                                                                       |
| 20 | Komplex lemezvizsgálati technika fejlesztése a Széchenyi István Egyetemen – Dr. Czinege Imre                                                    |
| 24 | Az anyagismereti és járműgyártási tanszék digitális optikai mérőrendszereinek ipari alkalmazása – Kozma István                                  |
| 27 | Optische 3D-Messtechnik als Ersatz für konventionelle Weg- und Beschleunigungssensoren – Dirk Behring, Oliver Erne, Mladen Gomercic             |
| 30 | Kisszerűs lemezalakító szerszámok kopásvizsgálata – Dr. Kirchfeld Mária, Dr. Kardos Károly, Joao Souza                                          |
| 34 | Untersuchung der Topologie von Oberflächen nach dem Laserhonen – Dr. Solecki Levente, Dr. Palásti-Kovács Béla, Kiss Barnabás                    |
| 38 | Regranulátum autóiipari alkalmazásának lehetősége – Dogossy Gábor, Ódor Zoltán, Rácz Ilona, Andersen Endre                                      |
| 41 | Szálgyűrődési problémák vizsgálata térfogat-alakításnál, végelelemes módszerrel – Dr. Halbritter Ernő, Dr. Tisza Miklós, Tancsics Ferenc        |
| 44 | Anwendung von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik im Fahrzeugbau – Dr. Egon Müller                                                     |
| 46 | A gyártásfolyamat-szimuláció alkalmazása a kisszerűs termelésben gyakorlati példa alapján – Dr. Kardos Károly, Jósai János, Békési Zoltán       |
| 48 | Szenzorfüzión alapuló önkalibráló navigációs látórendszer – Dr. Loványi István, Egri Attila                                                     |
| 52 | Könyvajánló                                                                                                                                     |
| 54 | Gépjárművek mérésére szolgáló és gépjárművekbe épített biztonsági radarok statisztikai elmélete (1. rész) – Dr. Molnárka Győző, Dr. Oláh Ferenc |



## Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszék tudományos konferencia

**Dr. Kardos Károly**  
tanszékvezető egyetemi docens



A Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszékének életében lassan haladó hagyománynak tekinthető, hogy félévente 1-1 alkalommal szakmai napot, szemináriumot, konferenciát rendez a tanszék oktatási és kutatási kompetenciájának valamely témakörében. Fontos feladatunknak tekintjük időről időre szakmai fórumokon bemutatni, hogy a tudás közvetítésében és generálásában milyen szerepet töltünk be. A tanszék és jogelődei a hetvenes évek közepétől kezdődően kezdeményező szerepet vállaltak a járműgyártási szak megindításában, a régió szakemberigényének kielégítésében. Későbbiekben három szakirány – autógyártási, gyártási rendszerek, minőségirányítás – gondozását vállaltuk fel a gépészmérnök-képzés keretén belül. Az ezredfordulót követően a valós igényekre alapozva kezdeményezői voltunk a mechatronikai mérnöki alapszak (BSC) és mesterszak (MSc) megalapításának és elindításának.

A tanszék mindig fontosnak tartotta a hallgatók gyakorlati képzését. 1996-ban pályázati támogatás útján 11 vállalat bevonásával elindítottuk PRACTING gyakorlatorientált képzési projektünket. Ezen program keretében tíz év alatt közel 1000 hallgató gyakorlati képzésben történő részvétele vált lehetővé a konzorcium 72 vállalati tagjának valamelyikénél.

Az ipar a minőség és a színvonal állandó dinamikus fejlesztését várja tőlünk a régióban, mert számára a partnerség, a kihívásoknak megfelelés csak így realizálható. A vállalatokkal való együttműködés – az újra, a jobbra, hatékonyabbra, illetve magasabb műszaki és minőségi színvonalra való törekvés igényével – a K+F tevékenység, a képzés, továbbképzés minden szintjén jelen van. Ezért korszerűsítettük, fejlesztettük laboratóriumainkat, és nagy öröm számunkra, hogy 2006 decemberétől a NAT sikeres akkreditációját mondhatjuk magunkénak.

A tanszék hazai és nemzetközi kutatási projektekbe való mind erőteljesebb bekapcsolódását jól reprezentálják 2000–2006 között megjelent publikációi, amelyek 52 folyóirat, 54 konferenciakiadvány és 13 könyv, jegyzet és elektronikus jegyzet megjelenésével összegezhetőek. Külön öröm, hogy ezek több mint fele idegen nyelven készült.

A 2006. november 7-8. között megtartott tudományos konferencia és a hozzá kapcsolódó rendezvények a jogelőd tanszék alapításának 30 éves évfordulójának megünneplésével kapcsolódott össze. Nagy öröm számunkra, hogy ebből az alkalomból több hazai és külföldi partnerünk, valamint a tanszéken és a kooperációs kutatóközponton keresztül együttműködő vállalat képviselője is megtisztelte konferenciánkat. Az elhangzott előadások anyagát a résztvevők számára CD-n juttattuk el, e folyóiratban pedig – a Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközponttal közösen – az előadások szerkesztett változatát adjuk közre.



*Dr. Péter László oklevelet ad át dr. Kardos Károlynak a tanszék 30 éves évfordulója alkalmából*



# Autószalonok, járműipari szakkiállítások 2007-ben

Az alábbi táblázat a 2007-es év legfontosabb járműipari szakkiállításainak, illetve vásárainak – nem teljes körű – felsorolása. A feltüntetett időpontok tájékoztató jellegűek, a rendezők a változtatás jogát fenntartják. A félkövér betűtípussal szedett kiállítások az OICA, az Autógyártók Nemzetközi Szövetségének kiemelten támogatott kiállításai.

| Időpont                             | Helyszín                       | Rendezvény                                                                                                           | Honlap                                               |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>Március 6–18.</b>                | <b>Genf, Svájc</b>             | <b>Genfi Autószalon</b>                                                                                              | <b>www.salon-auto.ch</b>                             |
| <b>Március 14–16.</b>               | Lipcse, Németország            | Zuliefermesse                                                                                                        | www.zuliefermesse.de                                 |
| <b>Március 21–25.</b>               | Kolozsvár, Románia             | Auto, Expo Truck&bus, Moto velo, Tehnica auto                                                                        | www.expo-transilvania.ro                             |
| <b>Március 22 – április 1.</b>      | Belgrád, Szerbia               | International Motor Show                                                                                             | www.begfair.com                                      |
| <b>Március 27 – április 1.</b>      | Zágráb, Horvátország           | International Auto Show                                                                                              | www.zv.hr/transport                                  |
| <b>Március 27 – április 9.</b>      | Amszterdam, Holland            | International Motor Show                                                                                             | www.autorai.nl                                       |
| <b>Március 29 – április 1.</b>      | Kuala Lumpur, Malajzia         | Automechanika Asia                                                                                                   | www.automechanika, messefrankfurt.com                |
| <b>Április 5–15.</b>                | Szöul, Dél-Korea               | International Motor Show                                                                                             | www.motorshow.or.kr                                  |
| <b>Április 11–15.</b>               | Vilnius, Litvánia              | International Motor Show                                                                                             | www.litexpo.lt                                       |
| <b>Április 14–18.</b>               | Lipcse, Németország            | AMITEC                                                                                                               | www.amitec-leipzig.de                                |
| <b>Április 14–22.</b>               | Lipcse, Németország            | AMI                                                                                                                  | www.ami-leipzig.de                                   |
| <b>Április 16–19.</b>               | Detroit, Egyesült Államok      | SAE World Congress                                                                                                   | www.sae.org/congress                                 |
| <b>Április 17–22.</b>               | Pozsony, Szlovákia             | AutoSalon, AutoServis, Motocykel                                                                                     | www.incheba.sk                                       |
| <b>Április 19–22.</b>               | Istanbul, Törökország          | Automechanika Istanbul                                                                                               | www.automechanika.messefrankfurt.com/istanbul        |
| <b>Április 24–29.</b>               | Riga, Lettország               | Auto 2007                                                                                                            | www.lpaa.lv                                          |
| <b>Május 8–10.</b>                  | Stuttgart, Németország         | Engine Expo / Automotive Testing Expo / Crash Test Expo, Vehicle Dynamics Expo / European Automotive Components Show | www.messe-stuttgart.de                               |
| <b>Május 9–13.</b>                  | Poznan, Lengyelország          | Poznan Motor Show                                                                                                    | www.motorshow.pl                                     |
| <b>Május 11–20.</b>                 | Athén, Görögország             | International Motor Show                                                                                             | www.amvir.gr                                         |
| <b>Május 13–16.</b>                 | Moszkva, Oroszország           | Automechanika Moscow                                                                                                 | www.automechanika.messefrankfurt.com/moskau          |
| <b>Május 23–27.</b>                 | Bologna, Olaszország           | Autopromotec                                                                                                         | www.autopromotec.it                                  |
| <b>Május 23–29.</b>                 | Kijev, Ukrajna                 | SIA 2007                                                                                                             | www.autoexpo.ua                                      |
| <b>Május 27–29.</b>                 | Dubai, Egyesült Arab Emírátsok | Automechanika Middle East                                                                                            | www.automechanikagulf.com                            |
| <b>Június 7–14.</b>                 | Brno, Csehország               | Autosalon 2007                                                                                                       | www.bvv.cz                                           |
| <b>Június 7–17.</b>                 | Barcelona, Spanyolország       | International Motor Show                                                                                             | www.firabcn.es                                       |
| <b>Június 14–24.</b>                | Buenos Aires, Argentína        | International Motor Show                                                                                             | www.elsalondelautomovil.com.ar                       |
| <b>Június 15–24.</b>                | Szófia, Bulgária               | International Motor Show                                                                                             | www.svab.bg                                          |
| <b>Június 17–19.</b>                | Amszterdam, Hollandia          | ReMaTec                                                                                                              | www.rematecnews.com                                  |
| <b>Július 11–13.</b>                | Mexikóváros, Mexikó            | PAACE-Automechanika                                                                                                  | www.usa.messefrankfurt.com/shows/northamerica/paace  |
| <b>Augusztus 29 – szeptember 2.</b> | Moszkva, Oroszország           | Moscow International Motor Show                                                                                      | www.motorshow-ite.com                                |
| <b>Szeptember 11–23.</b>            | <b>Frankfurt, Németország</b>  | <b>IAA</b>                                                                                                           | <b>www.iaa.de</b>                                    |
| <b>Szeptember 26–28.</b>            | Toronto, Kanada                | Automechanika Canada                                                                                                 | www.usa.messefrankfurt.com/shows/northamerica/amc_07 |
| <b>Szeptember 27 – október 3.</b>   | Nyitra, Szlovákia              | Autosalon Nitra                                                                                                      | www.agrokomplex.sk                                   |
| <b>Október 4–7.</b>                 | Milánó, Olaszország            | Transpotec Logitec 2007                                                                                              | www.transpotec.com                                   |
| <b>Október 4–14.</b>                | Bukarest, Románia              | International Motor Show                                                                                             | www.siab.ro                                          |
| <b>Október 11–21.</b>               | Sydney, Ausztrália             | International Motor Show                                                                                             | www.sydneymotorshow.com.au                           |
| <b>Október 15–20.</b>               | Párizs, Franciaország          | Equip Auto                                                                                                           | www.equipauto.com                                    |
| <b>Október 19–28.</b>               | Budapest, Magyarország         | Automobil 2007                                                                                                       | www.automobil.hungexpo.hu                            |
| <b>Október 24–28.</b>               | Szentpétervár, Oroszország     | Auto & Automechanika                                                                                                 | www.automechanika.messefrankfurt.com/petersburg      |
| <b>Október 24 – november 11.</b>    | <b>Tokió, Japán</b>            | <b>Tokyo Motor Show</b>                                                                                              | <b>www.tokyo-motorshow.com</b>                       |
| <b>Október 25 – november 3.</b>     | Amszterdam, Hollandia          | The European Road Transport Show                                                                                     | www.roadtransportshow.nl                             |
| <b>Október 30 – november 2.</b>     | Minszk, Belorusszia            | AutoBelService                                                                                                       | www.greenexpo.by                                     |
| <b>November 30 – december 9.</b>    | Essen, Németország             | Essen Motor Show                                                                                                     | www.essen-motorshow.de                               |

Forrás: OICA, Interpress Kiállítások Kft.



# „Innovatív gyártástechnológiák innovatív járművekhez” – Beszámoló a Tech4Auto 2006 – Járműgyártás- technológiai Konferencia és Szakkiállításról

**Szilasi Péter Tamás**

A mai, modern posztfordista európai gazdasági térben egy technológiai régió számára megkezdhetetlen feladat, hogy markáns, megkülönböztethető arculatot alakítson ki a régió nemzetközi pozicionálása érdekében. A befektetőkért, valamint a gazdasági siker letéteményeseinek tekinthető szervezeti (vállalati), illetve egyéni tudáshordozók megszerzéséért, letelepítéséért, illetve megtartásáért vívott piaci versenyben olyan eszközök alkalmazására van szükség, melyek egyértelműen képesek közvetíteni egy térség erősségeit és lehetőségeit.

Ezen eszközök közül központi fontosságúak azok a specializált technológiatranszfer rendezvények (kiállítások, szakmai konferenciák), melyek felületet biztosítanak a meglévő vagy kiépíteni szándékozott kompetenciák bemutatására, és ezáltal a célterület körülhatárolására. Ezek a rendezvények képesek megjeleníteni azt a gazdasági környezetet és innovációs miliőt, mely a tudásalapú iparágak telephelyválasztásánál jelentős hatású telepítő erővel bírhat.

A Pannon Autóipari Klaszter (PANAC) már 2004-ben ezzel a szándékkal rendezte meg a PANTECH regionális járműipari szakkiállítást, illetve 2002 és 2005 között három ízben a Nemzetközi Járműipari Szakkonferenciát. Erre a szellemiségre alapozva, valamint apropóként használva a Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszéke fennállásának 30 éves évfordulóját és az ehhez kapcsolódó jubileumi tudományos konferenciát, az egyetemen megalakult Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont (JRET) 2006 novemberében első ízben, de hagyományteremtő szándékkal rendezte meg a Tech4Auto járműgyártás-technológiai rendezvénysorozatát.

A programsorozat fő rendezvénye, a „Járműipari Innováció – Nemzetközi Gyártástechnológiai Tudományos Konferencia” keretében a JRET-hez és a jubiláló anyagismereti és járműgyártási tanszékhez kötődő, elsősorban vállalati vagy nemzetközi kutatási együttműködés keretében zajló projektek eredményeiről számoltak be a tudásközpont, illetve a tanszék kutatói. Nemzetközi projektpartnereink közül a stuttgarti, a chemnitzi és a karlsruhei egyetem, illetve a zwickaui főiskola elismert szakemberei ismertették legfrissebb kutatási eredményeiket.



A Tech4Auto szakkiállítás kiállítótere

A vállalati kooperációs kutatások bemutatására az AUDI Hungaria Motor Kft., a GM Powertrain Magyarország Kft., a GOM mbH., valamint a Borsodi Műhely Kft. kutató-fejlesztő szakembereinek részvételével került sor. A konferencia kísérőrendezvényeként megrendezett regionális fókuszú Tech4Auto szakkiállításon és a kapcsolódó laborbemutatókon a látogatók közel harminc hazai és nemzetközi kiállító cég technológiai újdonságaival ismerkedhettek. A rendezvény az elsődleges célcsoportot jelentő nyugat-dunántúli régió képviselői mellett az ország távolabbi térségéből, így a Dél-Dunántúlról és a Dél-Alföldről is számos látogatót vonzott.

A rendezvénysorozat egyben a formálódó AUTOPOLIS Nyugat-magyarországi Fejlesztési Pólus, illetve a járműipari pólusprogram kialakítása érdekében együttműködő szakmai konzorcium zászlóbontásaként is tekinthető. A rendezvény előkészítésében és lebonyolításában jelentős szerepet vállalt a programgazda JRET-n, illetve a társszervező anyagismereti és járműgyártási tanszéken túl a Pólusfejlesztési Kft., a Pannon Autóipari Klaszter, a Győr-Moson-Sopron Megyei Kereskedelmi és Iparkamara, az INNONET Innovációs és Technológiai Központ, valamint a Győri Nemzetközi Ipari Park Kft. A szervezők szándékai szerint, s ezt a célt erősítették meg Borkai Zsolt, Győr Megyei Jogú Város polgármesterének megnyitó szavai is, a Tech4Auto rendezvénysorozat piaci bevezetését és megerősödését követően, az „AUTOPOLIS” központi szakmai rendezvényének szerepét lesz majd képes betölteni.

A szervezők és együttműködő partnereik az első rendezvénysorozat sikereire és tapasztalataira építve 2007-ben is megrendezik a Tech4Auto szakkiállítást és tudományos konferenciasorozatot. A rendezvény tervezett időpontja 2007. szeptember 21–23. A programsorozat ez alkalommal a Széchenyi István Egyetem Laborépületében kerül megrendezésre.



Borkai Zsoltot, Győr város polgármesterét dr. Szekeres Tamás rektor és dr. Czinege Imre, a JRET Irányító Testületének elnöke tájékoztatta a JRET keretében az elmúlt időszakban történt kutatási célú fejlesztésekről

## Exhibitions on 8-10 May 2007, Stuttgart Messe, Germany



Engine Expo 2007 is set to be the biggest ever Engine Expo with more space devoted to exhibits than in any previous year. In fact, in 2007 the show will move to more spacious halls to accommodate the largest ever number of exhibits. As always, the highlight of the event will be the staging of The International Engine of the Year Awards on the second day of the show when the Awards will be presented at 14 hours in Hall 9.

Engine Expo attracts visitors from all over the world including many of the most influential car engine designers in the industry today. With leading-edge exhibits, a great networking opportunity and the chance to see the International Engine of the Year Awards presented live at the show, it's hardly surprising that this event has become one of the most important in the car engine design calendar. And this year for the first time you can reserve your seat at the Awards presentation online!

Please note that Engine Expo will be held in Halls 7 and 9 with more space than ever before and it will be held at the same time as Automotive Testing Expo, Vehicle Dynamics Expo and European Automotive Components Expo. Together these shows will occupy 7 complete exhibition halls! The events will be staged at the existing Messe in Killesberg due to delays with the completion of the last phase of the new facility at the airport.

Visitors to the Engine Expo Conference can pick and choose relevant topics from a unique free-of-charge programme of specialised presentations from many of the world's leading experts in engine design, development and manufacture.

Engine Expo will be showcasing the very latest technologies and developments covering:

- Electric & Hybrid powertrain technologies
- Engine design
- Engine electronics
- Engine testing
- Fuels & lubricants
- Engine materials
- Emissions controls
- Engine components
- Quality control
- Production technology

Bearing in mind that with so many exhibitors and activities, you should plan to spend at least two days at the event to ensure you have enough time to visit every relevant exhibitor and presentation.

More information: [www.engine-expo.com](http://www.engine-expo.com).

Now in its ninth year, Automotive Testing Expo Europe has become the most important event anywhere in Europe covering the automotive test, evaluation and quality-engineering sector. For 2007, an additional exhibition hall has been added, increasing the floor space by an amazing 25%. This will also enable a further 50 companies to display their very latest technologies and services that are all working toward the reliability, durability, safety and quality of automotive vehicles and components.

As organiser, UKIP Media & Events has ensured that, in marketing the event, a high quality of visitors are in attendance. Exhibitors have grown with the show, by displaying more exciting, cutting-edge equipment and by building bigger, more elaborate, stands. It is this partnership between exhibitor and organiser that sets the show aside from any other automotive engineering show, anywhere in the world. From the beginning, the aim has been to create a show where all the visitors are relevant to all the exhibitors and vice versa. The key to the success of Automotive Testing Expo Europe is consistency. It consistently has the world's leading test equipment manufacturers and test service providers exhibiting at the show. It consistently brings in high level decision makers and specifiers, and above all, it consistently generates a high level of business during and after the event.

Automotive Testing Expo Europe is Europe's most relevant and most significant trade fair for automotive test, evaluation and quality engineering, and is a 'must attend' event for any engineer involved in this sector of the automotive industry.

More information: [www.testing-expo.com](http://www.testing-expo.com).

Crash Test Expo Europe, is an integral part of Automotive Testing Expo Europe and has increased for 2007 by 25 per cent. As part of the largest OEM show in Europe, which is constantly expanding and attracted about 10,500 visitors in 2006, Crash Test Expo is at the forefront of industry trends and technology developments.

Crash Test Expo Europe is the continent's most important event for the discussion of crash testing and safety analysis. This year's show will prove an unrivalled meeting point, with the majority of the world's leading organisations present. All of these organisations are producing and developing the very latest technologies for improving occupant and pedestrian safety.

More information: [www.crashtest-expo.com](http://www.crashtest-expo.com).



## VEHICLE DYNAMICS EXPO 2007

Vehicle Dynamics Expo 2007 will incorporate an exhibition and a conference entirely focused on components and technologies relating to chassis, suspension, steering, braking, ride and handling.

The exhibitors are all Tier 1 and Tier 2 component and service providers in this area of technology and the visitors are OEM and Tier 1 vehicle dynamics engineering teams.

With the majority of Tier 1 dynamics technology suppliers presenting papers or exhibiting, the show provides an excellent opportunity for dynamics engineers to keep up-to-date with developments in this important area of vehicle engineering.

More information: [www.vehicledynamics-expo.com](http://www.vehicledynamics-expo.com).

## EUROPEAN AUTOMOTIVE COMPONENTS EXPO '07

European Automotive Components Expo has firmly established itself as the essential OE supplier exhibition for the automotive industry. The 2006 show provided an unrivalled international stage for product launches and industry announcements from a host of exhibitors.

European Automotive Components Expo is an essential, annual OE supplier exhibition for the European automotive industry. Running alongside Engine Expo, Vehicle Dynamics Expo and Automotive Testing Expo, a cluster of shows now in their ninth year, European Automotive Components Expo 2007 is a must-attend event for anyone involved in new technology or material sourcing, specifying or purchasing.

This is the largest industry-only exhibition staged in Europe, with admission exclusively open to automotive industry personnel. The show is not open to the general public. It provides an unrivalled opportunity to check out the latest automotive innovations and technologies the industry has to offer. The 2007 event will attract exhibitors from all areas of the industry, presenting the latest advances in everything from advanced materials to in-vehicle electronics.

More information: [www.eac-expo.com](http://www.eac-expo.com)



**"Automobile for the Future"**



## EAEC 2007 11<sup>TH</sup> EUROPEAN AUTOMOTIVE CONGRESS

30 May – 1 June 2007  
Eötvös University Congress Centre  
Budapest, Hungary

Információ, előzetes regisztráció és  
kiállítói szándék bejelentése

<http://www.diamond-congress.hu/eaec2007>

<http://www.gte.mtesz.hu>

[eaec2007@diamond-congress.hu](mailto:eaec2007@diamond-congress.hu)

[mail.gte@mtesz.hu](mailto:mail.gte@mtesz.hu)



# A BMW-csoport és a hidrogénhajtás

## A JÖVŐ ENERGIAFORRÁSA: A HIDROGÉN

A hidrogén vitathatatlanul a 21. század energiahordozója. Az emberiség már egy ideje új energiaforrást keres, amely környezetbarát, nem fosszilis eredetű, és könnyen előállítható. A hidrogén színtelen, szagtalan, nem mérgező, a természetben leggyakrabban előforduló és legkönnyebb elem. Folyékony halmazállapotban csaknem háromszor több energia nyerhető belőle, mint a benzínből, vízből környezetbarát módon, elektrolízis során állítható elő, és a levegő oxigénjével elégye ismét vízzé kondenzál. Kedvező tulajdonságainak köszönhetően a tudósok a jövő legfőbb energiaforrásának tekintik. 1998-ban az Európai Gépkocsi Gyártók Szövetsége (ACEA) az Európai Unió felé tett kötelezettségvállalásában azt tűzte ki célként, hogy az újonnan regisztrált gépkocsik által kibocsátott szén-dioxid mennyiségét 2008-ra átlagosan 140 g/km-re csökkentik. További 14 százalékos csökkentést terveznek 2008 és 2012 között, ám ezek a célok nem valósíthatók meg csupán olyan fejlesztésekkel, amelyek az üzemanyag-felhasználás csökkentését célozzák meg. A hidrogénautó elterjedése csökkenti a környezetszennyezést és az olajfüggőséget, jelentősége ezért felmérhetetlen.

## A BMW-CSOPORT ELKÖTELEZETT A HIDROGÉN ALKALMAZÁSA MELLETT

A BMW volt az első autógyártó a világon, amely hidrogénhajtású autók fejlesztésébe kezdett. A bajor autógyár ugyanis már 1978 óta folytat kísérleteket folyékony hidrogén használatára motorokban és járművekben. A cég 2000. május 11-én mutatta be a 15 hidrogénhajtású, BMW 750hL jelzésű tesztmodellből álló flottáját. Az autók bizonyították a mindennapi használat, és az időközben megtett 170 000 km során. Néhány autó részt vett a 2001-es és 2002-es BMW CleanEnergy WorldTour-on, amelyet azzal a céllal szerveztek, hogy felhívják a nemzetközi közvélemény figyelmét a hidrogénteknológiára és annak előnyeire. Összesen öt nagyvárosba látogatott el a túra, ahol a résztvevők a politikai és tudományos élet, valamint a média képviselőivel találkoztak. A CleanEnergy WorldTour elérte célját, és nagy sikert aratott a nemzetközi közönség körében. Míg a többi gyártó üzemanyagcella használatával végez fejlesztéseket, a BMW a jelen technológiákat alkalmazva a belső égésű motor használata mellett döntött, kedvező tulajdonságainak köszönhetően ez bizonyult a legmegfelelőbbnek a hidrogénüzemű autók meghajtására. A kettős üzemű, benzinnel és hidrogénnel egyaránt működtethető motor előnye, hogy megfelelő alternatívát nyújt, amíg nem épül ki megfelelő hidrogén üzemanyagút hálózat. Az első, kereskedelmi forgalomba kerülő kettős üzemű limuzin



hidrogénnel mintegy 200–300 kilométert, benzinnel pedig akár 500 kilométert is meg tud majd tenni, maximum sebessége pedig elérheti a 215 km/h-t. A hibrid autót egy 6.0 literes, 12 hengeres motor hajtja, amelynek teljesítménye 170 kW, maximum forgatónyomatéka pedig 337 Nm. A BMW terve szerint már a 7-es széria következő generációjával egy időben, akár 2009-ben megkezdődhet a hidrogénüzemű modellek értékesítése, az évtized végére pedig várhatóan a BMW, a MINI és a Rolls-Royce valamennyi modellje elérhető lesz hidrogénhajtású változatban is. Bár egyelőre alig néhány hidrogénkút üzemel Németországban, Klaus Töpfer, az ENSZ Környezeti Programjának (United Nations Environment Program) igazgatója szerint a hidrogén a legvalószínűbb hosszú távú megoldás az autóipar és egyben az áruszállítás számára.

## AZ ELSŐ HIDROGÉN ÜZEMANYAGKÚT

A BMW volt az első autógyártó, amely közreműködött a világ első nyilvános hidrogén üzemanyagútjának megnyitásában, és ezzel ismét példát mutatott a jövő technológiáinak a kifejlesztésében. A müncheni repülőtérén található üzemanyagútöltő állomást, amelyet 1999. május 5-én avattak fel, egy német cégekből álló konzorcium fejlesztette ki és építette fel. A jövőbe mutató technikai megoldások sorát a világon először egy repülőtér kemény körülményei között próbálták ki: a sűrített gáz vagy –250 °C-os folyékony halmazállapotú hidrogén előállítását, tárolását, illetve a tankolást robotok végzik.

## BMW ÉS GM KÖZÖS HIDROGÉNTANKOLÁSI SZABVÁNY

A BMW-csoport és a General Motors 2003 tavaszán nyílt konzorciumot alapított a folyékony hidrogén alapú töltőberendezések szabványának kifejlesztésére. Mindkét partner más autógyárat és beszállítót is meghívott, hogy járuljanak hozzá a közös munkához. „Szeretnénk a folyékony hidrogén mint üzemanyag tárolására és adagolására irányuló fejlesztéseket felgyorsítani” – nyilatkozta akkor dr. Larry Burns, a General Motors kutatásért, fejlesztésért és tervezésért felelős alelnöke. Laut Christoph Huss, a BMW-csoport gazdaság- és közlekedéspolitikai vezetője szerint a közös munkában a hangsúly a globális szabványok megalkotásán, a beszállítókra vonatkozó különleges elvárásokon és a műszakilag legjobb és legolcsóbb megoldás megtalálásán lesz. „Hosszú távon egy egész Németországot lefedő, 10 000 folyékony hidrogén tankolásra képes kútból álló hálózatban gondolkodunk. A szabvány kidolgozásába azonban már most bele kell fognunk, hogy az ügy-





feleknek ne kelljen a jövőben eltérő rendszerekkel találkozniuk. A tankszelep szabványosítása abszolút szükségszerű. A folyékony hidrogén azt a lehetőséget nyújtja, hogy a hidrogént még azelőtt lehessen szállítani, hogy a hidrogénvezetékek és az azokhoz tartozó infrastruktúra rendelkezésre állna. Ugyanakkor összefogásunkkal azt is elősegítjük, hogy ez az infrastruktúra minél előbb megvalósuljon” – tette hozzá Huss. „A BMW és a GM azt szeretné, hogy ez a tankolási rendszer globális szabvány legyen, benne az általunk kifejlesztendő tankszeleppel” – mondta Huss. A jelenlegi technológia mellett ugyanakkor a belső égésű motor képes biztosítani, hogy az autót kettős meghajtással lehessen üzemeltetni, benzinnel és hidrogénnel. Ez a megoldás kiküszöböli azokat a nehézségeket és hiányosságokat, amelyek a hidrogén üzemanyagutak széles körű elterjedéséig felmerülhetnek.

#### A HIDROGÉN ALKALMAZÁSA

A benzin- és dízelmotorok közös hátrányát, a nyersolajkészlet elhasználását és a légkör szennyezését teljesen kiküszöböli a hidrogénüzemű belső égésű motor. Felépítése ugyanolyan, mint a benzinmotoré, éppen ezért ugyanúgy gyártható és karbantartható. Nem térnek el nagyon a költségek sem. Csupán annyi a különbség, hogy a befecskendezőrendszer nem benzint, hanem hidrogént adagol a szívócsőbe. Az égésfolyamat nagymértékben hasonló. A teljesítmény nem változik lényegesen, annál inkább a kipufogógáz, amely nem más, mint tiszta vízgőz. A hidrogén autóz-üzemanyagként való felhasználásának két módja van. Az egyik esetben szokványos belső égésű motor alakítja át a hidrogén energiáját az autó működtetéséhez szükséges energiává, míg a másik eljárás során egy úgynevezett „hideg” égésű üzemanyagcella termel elektromos energiát. A BMW mindkét lehetőséggel kísérletezik, de nagyobb figyelmet szentel a belső égésű motorra, mivel annak tulajdonságait összességében kedvezőbben lehet használni az autók működtetésére. Ezzel párhuzamosan a BMW az üzemanyagcella alkalmazására a fedélzeti hálózat elektromosenergia-ellátásában,



a légkondicionálásban és egyéb kényelmi funkciók biztosításában lát lehetőséget. A BMW a kutatások és fejlesztések során nemcsak a motortekológiára koncentrál, hanem a hidrogén előállítására, tárolására és a gépjárművekbe való üzemanyag-tankolásra is. Az elektromos energiával ellentétben a hidrogén nagy mennyiségben is tárolható, folyékony vagy gáz állapotban. A hidrogént folyékony halmazállapotban mínusz 253 °C-on, gáz halmazállapotban a tankban 700 bar nyomás alatt lehet tárolni. A folyékony halmazállapotú hidrogénből 1,78-szor több energia nyerhető mint a gáz halmazállapotúból, így a BMW a folyékony hidrogén alkalmazását vizsgálja.

#### TÖRÉSTESZTEK FOLYÉKONY HIDROGÉN TANKOKKAL

A BMW a dél-németországi Műszaki Ellenőrzési Hatósággal együttműködve átfogó tesztelést végzett, miként viselkedik a folyékony hidrogén tankja különböző baleseti helyzetekben. Az egyik kísérletben nagy erővel összetörték az üzemanyagtankokat, miközben a biztonsági szelepeket blokkolták. Az előre meghatározott belső repedési pont, amelyet hasonló szélsőséges esetekre terveztek, biztosítja, hogy a hidrogén szabályozottan, nagyobb veszély nélkül távozzon. A további tesztek során a folyékony hidrogénnel feltöltött üzemanyagtartályokat speciális körülmények között csaknem 1000 °C-os tűz hatásának tették ki mintegy 70 percig. A sűrített hidrogén lassan, alig észrevehető gáz formájában szivárgott el a biztonsági szelepeken keresztül. A kísérlet harmadik szakaszában a folyékony hidrogénnel teli tankokat kemény, szilárd tárgyakkal súlyosan megrongálták, azonban egyik tartály sem robbant fel. A gépkocsikon végzett kísérletek is hasonló eredményekkel jártak, bizonyítva, hogy a hidrogén ugyanolyan biztonságosan alkalmazható üzemanyagként, mint a benzin.

#### SEBESSÉGREKORD HIDROGÉNHAJTÁSÚ AUTÓVAL

Az innovatív technika feltűnéséről már 2004-ben gondoskodott a BMW, amikor H2R jelzésű hidrogénhajtású autója 9 nemzetközi sebességrekordot ért el. A jármű csúcsebessége 300,175 km/h. A franciaországi Miramasban elért sebességi rekordjaival a BMW bebizonyította, hogy a hidrogén képes helyettesíteni a manapság használatos üzemanyagokat, anélkül, hogy az autósoknak bármilyen kompromisszumokat kellene kötniük a jármű sebességét vagy dinamizmusát illetően. A H2R jelzésű rekordautó, amelyet a BMW kutatás-fejlesztési központjában mindössze 10 hónap alatt alkottak meg, a leginkább kételkedőket is meggyőzi a belső égésű motorral szerelt hidrogénhajtású autó fantasztikus teljesítményéről: a hatliteres, 12 hengeres hajtómű több mint 285 lóerő (210 kW) teljesítményre képes, gyorsulása állásból 100 km-es óránkénti sebességre mindössze 6 másodperc. A hidrogénnel hajtott autó mért legnagyobb sebessége 302,4 km/h volt. A rekordsebességre képes autót a 760i típusból átvett benzinmotor átalakított verziója hajtja, felhasználva természetesen a BMW csúcstechnológiáját, a teljes mértékben variálható szelepezérlésű VALVETRONIC-ot. A fő változtatások a motorban a befecskendezést érintették, amelyet a BMW mérnökei a hidrogén tulajdonságaihoz igazítottak.

#### A BMW H2R JELZÉSŰ JÁRMŰVÉVEL ELÉRT SEBESSÉGI REKORDOK:

Repülőrajt, egy kilométer: 11,993 másodperc, 300,190 km/h  
Repülőrajt, egy mérföld: 19,912 másodperc, 290,962 km/h  
Állórajt, 1/8 mérföld: 9,921 másodperc, 72,997 km/h  
Állórajt, 1/4 mérföld: 14,933 másodperc, 96,994 km/h  
Állórajt, fél mérföld: 17,269 másodperc, 104,233 km/h  
Állórajt, egy mérföld: 36,725 másodperc, 157,757 km/h  
Állórajt, tíz mérföld: 221,052 másodperc, 262,094 km/h  
Állórajt, egy kilométer: 26,557 másodperc, 135,557 km/h  
Állórajt, tíz kilométer: 146,406 másodperc, 245,892 km/h

# ITS, intelligens közlekedési rendszerek hazai fejlesztése

**Petrók János**

Az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások hazai fejlesztése a minőségi megújulás szakaszába lépett. Az új minőséget a tárgykör kutatás-fejlesztését és oktatását megújító két egyetemi tudásközpont és az euroregionális projektekben részt vevő hazai szervezetek innovációs munkái jelentik. Írásunk, e fejlesztések fő irányait törekszik bemutatni.

Időrendben haladva, 2005-ben a BME-n, a jármű-elektronikai és a mechatronikai „tudás-típusú” termékek létrehozására Elekttronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJJT) alakult. Ezt 2006-ban az Intelligens Közlekedési Rendszerek hazai tudásbázisának megalapozását célul tűző Közlekedésinformatikai és Telematikai Egyetemi Tudásközpont (KITT) létesítése követte, a Budapesti Műszaki Főiskolán.

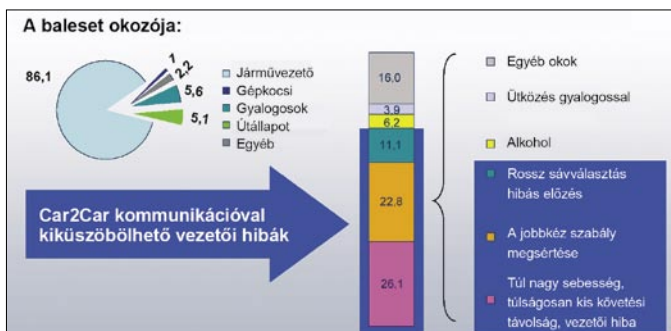
A kutatás-fejlesztési és oktatási célú programokat jól egészítik ki az Ipari és Közlekedési Minisztérium felügyeletével folytatott euroregionális fejlesztések. Ezekben minisztériumok, úthálózat-üzemeltetők, hazai gyártók, fejlesztők és szolgáltatók, kutatással foglalkozó intézmények, tanácsadó cégek vesznek részt a feladatok, ITS Hungary Egyesület által végzett koordinálásával.

## „EUROREGIONÁLIS” PROJEKTEK CONNECT

Az EU Bizottság (EB) fontos célja a TEN (Trans European Network) transzeurópai közlekedési hálózatok egységesítése, a regionális kapacitások működésének összehangolása, továbbá a műszaki és szolgáltatási színvonal-különbségek kiegyenlítése. Az ITS közúti alkalmazásaival kapcsolatos TEMPO (Trans European intelligent transport systems Projects) projekt-csomag, az EB Többéves Előretételező Programja (MIP: Multi Annual Indicative Programme) foglalja magába.

A TEMPO legfőbb célja, az információs társadalom megvalósítása a közúti közlekedés területén, az ITS-rendszerek és szolgáltatások transzeurópai úthálózaton végzett harmonizálásának ösztönzésével, a nemzeti/regionális tervezés közötti konvergencia érdekében.

Az EB 2004-től kezdődően, 3 éves időtartammal, CONNECT névvel, új, hetedik „euroregionális” projekt indítását határozta el. [A CONNECT jelentése: Co-ordination and stimulation of innovative ITS activities in Central and Eastern European Countries (Innovatív ITS tevékenységek koordinációja és ösztönzése a közép- és kelet-európai országokban)]. Az elnevezés, mint kitűnik, a projekt céljait és feladatait is kifejezi egyben.



1. ábra: a német közúti baleseti okok megoszlása 2003-ban

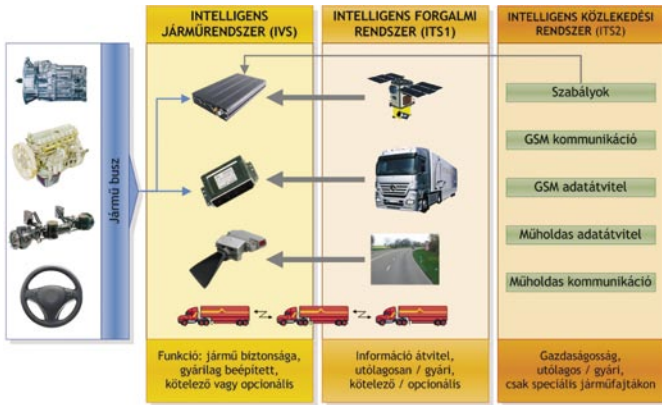
A CONNECT résztvevői: Lengyelország, Csehország, Szlovákia, Szlovénia és Magyarország, továbbá Ausztria, Németország és Olaszország, ideértve a felsorolt országok főhatóságait, autópálya-üzemeltetőit és rendszerszolgáltatóit. A hazai résztvevők az Informatikai és Hírközlési Minisztériumot is magába foglaló Gazdasági és Közlekedési Minisztérium (koordinátor), az ÁAK Zrt. a Magyar Rádió, illetve a Magyar Közút Kht. az UKIG és Budapest főváros.

A CONNECT koordinált forgalmi menedzsmentet és forgalom-szabályozást, továbbá magas színvonalú utazási információs





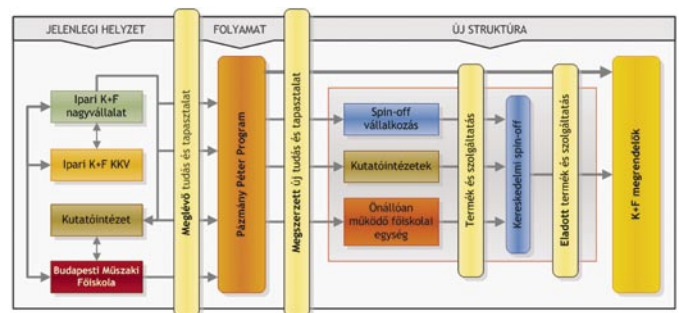
## MAGYAR RÉSZVÉTEL A CONNECTBEN



2. ábra: az ITS egyszerűsített felépítése

szolgáltatásokat alapoz meg a II., a III., a IV., a V., a VII. és a X. páneurópai közúti folyosókon.

Az EU-támogatás mértéke tanulmányok/megvalósíthatósági tanulmányok és pilotprojektek esetében 50%, a projektek megvalósítása esetében 10%. Az interoperabilis európai projektek megvalósításának EB-támogatása, lehetőséget nyújt az új EU-tagországok közlekedésének felzárkózására.



3. ábra: a tudásközpont egyszerűsített felépítése

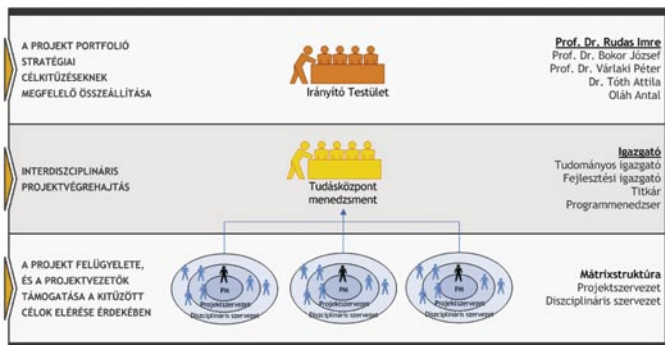
CONNECT II. fázis: 2006. év. A II. projektfázis hazai munkavégzése megkezdődött, jelenleg a részprojektek műszaki előkészítése folyik. Új partnerek is részt vesznek a II. fázis munkájában, így az UKIG, illetve a Budapest Főváros Főpolgári Hivatal Közlekedési Ügyosztály, továbbá a Fővárosi Közterület-fenntartó Zrt.

Kiemelt jelentőségű az M7-es autópálya forgalomszabályozó és információs rendszere (változtatható jelzéseképű táblákkal), az autópálya-forgalomirányító központ és a utazási forgalomirányító központ együttműködése, valamint az utazási információs rendszerek (internetes, rádiós). Jelentős szerepe van ebben a fázisban a határon átnyúló forgalmi menedzsmentnek is, megkezdődik az együttműködés az osztrák partnerekkel. A II. fázis összköltsége: 2,96 millió euró.

CONNECT III. fázis: 2007. év. Ebben a projektfázisban folytatódik a II. fázisban megkezdett munkák az autópálya forgalomszabályozása, a fővárosi együttműködés és az információs rendszerek területén. Kiemelt jelentőségű az autópálya-hálózaton megvalósuló, változtatható jelzéseképű táblákat használó forgalomszabályozási és információs rendszer, valamint az ÁAK Zrt. forgalomirányító központjának fejlesztése. A III. fázis összköltsége: 3,76 millió euró, ebből az EU-támogatás 680 000 euró.

## AZ EB 2007–2013 KÖZÖTTI KÖLTSÉGVETÉSI IDŐSZAKA

Az EB értékelte a 2001-ben kiadott „Fehér Könyv” eddigi eredményeit. Ennek megfelelően az intelligens közlekedési rendsze-



4. ábra: a Közlekedésinformatikai és Telematikai Egyetemi Tudásközpont felépítése

rek/szolgáltatások témája, illetve a határon átnyúló forgalmi menedzsment feladatait kiemelt prioritásként fogalmazta meg, a 2007–2013 közötti költségvetési időszakban is.

A harmonizált fejlesztések a MIP II program keretében, EU-támogatással folytatódnak. Ennek megfelelően kerül előkészítésre az EASYWAY elnevezésű projekt, amely a közúti közlekedési akadályok csökkentését, az interoperabilitás megvalósítását, a közlekedésbiztonság növelését, az infrastruktúra hatékony kihasználását, a fenntartható mobilitást irányozza elő a TERN-hálózaton.

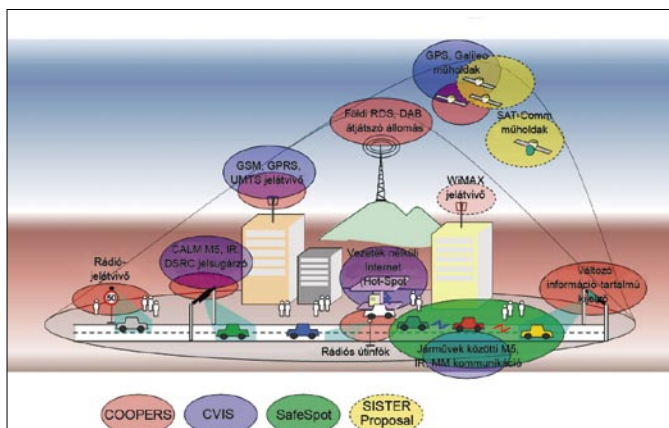
Az EASYWAY tervezett témakörei a célkitűzéseknek megfelelően többek között a nagytávolságú korridorok integrált menedzsmentjének megvalósítása, jármű/infrastruktúra együttműködés megvalósítása, intermodális információs rendszerek megvalósítása a TERN-hálózaton.

A hazai bekapcsolódás az EASYWAY projektbe – a CONNECT országokkal közösen – megindult.

Az előbbi, főképp az útinfrastruktúrához kötődő ITS-fejlesztéseken kívül, az EJJT és a KITT tudásközpontokban járműves fejlesztőmunka folyik. Az EJJT tagja többek között annak a CVIS-projektnek, amelynek vezető magyarországi képviselője a RAMSYS Zrt.

#### A CVIS-PROJEKT

Nem sok idő múlva a világ útvonalain olyan járművek fognak közlekedni, amelyek egymással és az intelligens módon kialakított infrastruktúra (út-) hálózat elemeivel, valamint a lokális és országos forgalomszervező és -irányító hálózatokkal állandó, vezeték nélküli kommunikációs kapcsolatban állnak. Ennek révén az utazás és szállítás szolgáltatási színvonala, a járművek aktív biztonsága jelentős mértékben fog különbözni a ma ismert rendszerektől. A járművek képesek lesznek a járműve-

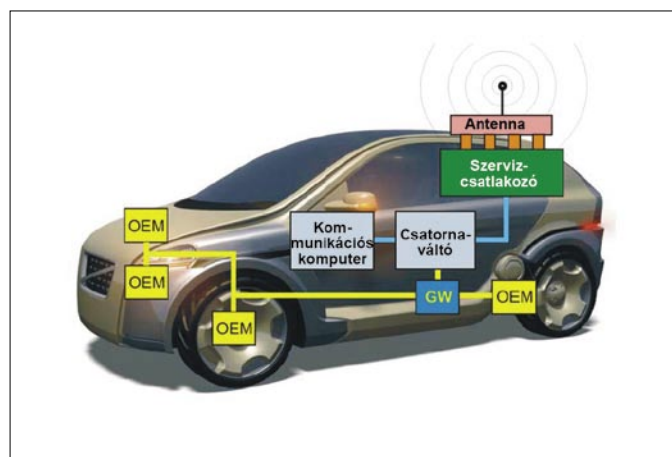


5. ábra: a kooperatív jármű-infrastruktúra (CVIS) kapcsolati rendszerének felépítése

zető hibáit részben vagy egészen kompenzálva elhárítani a bal-eseteket, kényelmesebbé, gyorsabbá, biztonságosabbá tenni a közúti közlekedést az úthasználók számára. Az ilyen rendszerek kialakítását lehetővé tevő fejlesztések, nem kis közösségi (EU-s) támogatások igénybevétele mellett már folynak.

Az EU 6. Kutatás-Fejlesztési Keretprogramja a DG IST (Információs Társadalom Főigazgatósága) több egymással párhuzamosan futó, ITS-eszközök létrehozását, megalkotását célzó pályázat keretében támogatja a jármű kommunikációs módszerekre támaszkodó alkalmazástechnikai és alap kommunikációs technológiafejlesztéseket.

Ezek közül az egyik legjelentősebb a CVIS (Kooperatív Jármű-infrastruktúra Rendszerek) projekt, amely több mint 60 konzorciumi partner (köztük igen jelentős autógyártók, infrastruktúraépítők és szolgáltatók, mobilkommunikációs vállalatok) részvételével, 2006 februárjában indult. A projekt vezetője az Ertico. A mintegy négyéves kutatás-fejlesztési munka eredmé-

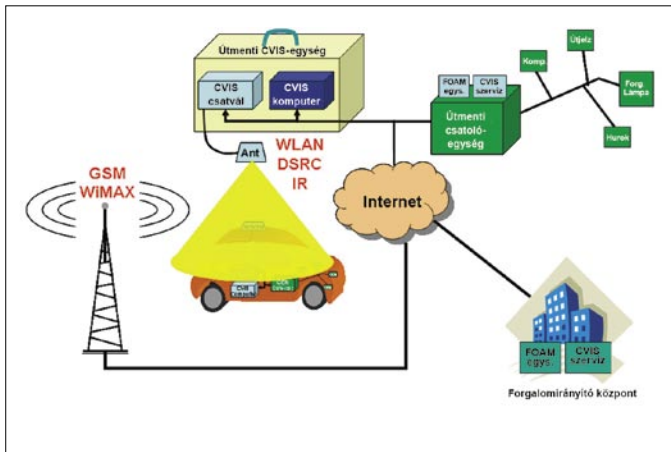


6. ábra: a CVIS fedélzeti egységei (OEM: beépített gyári jeladók, irányítóegységek, GW: csatolóegység)

nyeként megalkotásra kerül az információtechnikai-kommunikációs platform, amely a jövőbeli intelligens kommunikációs rendszerek járműbe integrálását hivatott elősegíteni. Ennek a rendszernek a fejlesztésében és tesztelésében magyar érdekelt-ségek is, így a RAMSYS Zrt. és EJJT, kulcsfontosságú szerepet töltenek be.

Nyilvánvaló, hogy az időben gyorsan változó és átszerveződő mobil kommunikációs hálózatokban az egyetlen lehetséges adatcse-re-megoldás vezeték nélküli rádiós kommunikációs módszereken alapulhat. A projekt sikerének előfeltétele tehát egy harmonizált kommunikációs technológia kidolgozása a mobil „ad-hoc” hálózati kommunikációs feladatok megoldására. IP és nem-IP alapú kommunikációs módszerek, az IEEE 802.11a, b, g, n szabványokon nyugvó rádiós kommunikációs air-interfészek széles választéka, az infravörös adatátvitel, a celluláris rádiótelefonía elemei (tipikusan a GSM, 2G GPRS és 3G UMTS egyaránt szóba jönnek. Külön kihi-vás a kommunikációs módszerek geográfiai pozícióinformációk-kal való ötvözése, az ún. geocoding technikák kidolgozása. A heterogén kommunikációs módszerek egységes rendszerbe szervezése az ún. CALM-szabvány („Continuous Communications Air Interface for Long and Medium Range Communication”) kidolgozásával és alkalmazásával lesz lehetséges, amely szab-vány megalkotása a projekt egyik fő feladata. A kommunikációs partnerek folyamatos elérhetőségének biztosítása, a speciális követelmények az információcsere valósidejűségére és az adat-biztonságra, a kommunikációs módszerek robusztussága és hibatűrése stb. csak néhány a műszaki tudományok területéhez tartozó kihívások közül.





7. ábra: a CVIS kommunikációs kapcsolatai

A CVIS a korábbinál fejlettebb helymeghatározást, dinamikus térképkészítést és referenciatelepítést tesz lehetővé, a Galileo műholdjelek felhasználásával. A nyílt alkalmazásmenedzsment [Framework for Open Application Management (FOAM)] program széles körű támogatást nyújt a különféle online úti, és úti környezethasználat számára. A program a járművezetők megfelelő útbaigazításával kiküszöböli a téves útválasztást, felgyorsítja és élvezetessé teszi a hálózati utakon való utazást. A hivatásos járművezetők a kívánt célállomás gyors és biztonságos eléréséhez, ott szabad parkoló vagy rakodóhely kereséséhez egyaránt kapcsolatba léphetnek a diszpécserükkel, és a helyi forgalomirányítókkal. Veszélyes áruk szállításakor, a választott útvonalon folyamatosan ellenőrizhetik az út szabaddá tételét. A CVIS kifejlesztése új lehetőséget kínál az úthálózat megfigyelésére és a kooperatív közlekedésre. Az úton bekövetkezett balesetokról, folyamatos információkat szolgáltat esőben, ködben, hóesésben vagy jeges úton, nemcsak ott, ahol ezt kamerás és/vagy hurokdetektoros érzékelők jelzik.

A CVIS-projekt egy rendkívül bonyolult, sokrétű fejlesztési feladat. A központi laboratóriumi tesztprogram kimunkálásán túl, olyan tesztrendszer kifejlesztését is magába foglalja, amely a fedélzeti, az út menti és az irányítóközpontbeli eszközök alkalmasságát teszi próbára, a tervezett kommunikációk lefolytatásához, hat európai nagyváros közlekedési környezetében illetve egyéb kijelölt autópálya-szakaszokon (pl. Nürnberg–Verona tengely).

A RAMSYS Zrt. a fenti tulajdonságokkal bíró mobil kommunikációs rendszer járműfedélzeti és közúti infrastruktúrába helyezett számítógép-rendszerei egy referenciakészülékének (kommunikációs host és router) szoftver kutatás-fejlesztését végzi. Az EJTT a prototípusrendszer validációs eljárásainak kidolgozásában és a tesztek végrehajtásában érdekelt.

A laboratóriumi tesztrendszer kifejlesztése mellett, a fejlesztők azon lobbiznak, hogy a Győr–Székesfehérvár–Budapest tengely mentén, hazánkban is létrejöjjön egy teszthelyszín.

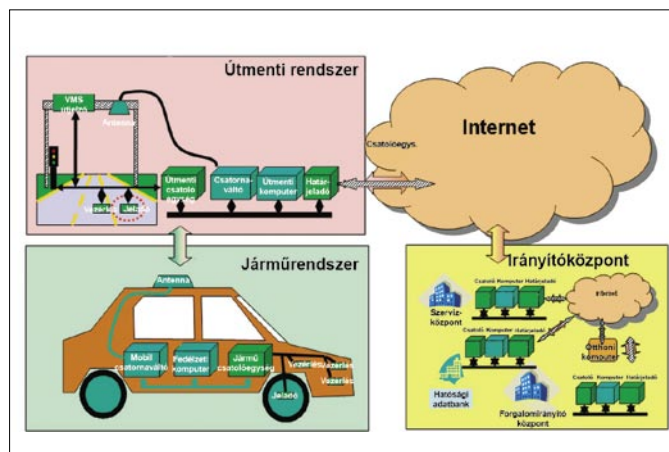
A fejlesztett termékeket a konzorcium iparvállalati partnerei állítják elő. A konzorciumon belül, a főiskolai kutatás állami támogatást élvez. Az ebben nem részesedő ipari cégek tevékenységét alvállalkozói szerződésekkel és pályázatok útján finanszírozzák. A konzorciumi együttműködést a főiskola koordinálja.

A tudásközpont költségvetése a teljes időtartamra 524 millió forint. Ebből 300 millió forintot a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal biztosít, a további 224 millió forint a konzorcium által vállalt önrész. Az állami támogatás a tervezett demonstrációs

rendszer kifejlesztésére és a hozzá kapcsolódó szervező-kutató munkára nyújt fedezetet.

A Budapesti Műszaki Főiskola Közlekedésinformatikai és Telematikai Egyetemi Tudásközpontja (KIT) és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpontja (EJTT) együttműködési megállapodást kötött a két tudásközpontban végzett tudományos-munkai, illetve a kutató-fejlesztő munkához kapcsolódó oktatási tevékenységek összehangolása céljából. A megállapodás kiter arra is, hogy a KIT működése során felhasználja az EJTT innovációs és menedzsment tapasztalatait.

Az egyetemi tudásközpontok közlekedésprofilú tevékenységében épp oly kevésbé kimutathatók az Ipari és Közlekedési Minisztériumhoz, mint szakmai irányító szervezethez fűződő szakmai kapcsolatok, mint a tárca munkaprogramjában. Pedig a közlekedésünk intelligens közlekedéssé formálása valamennyi szakmai szerveződés közös érdeke. A CVIS-projektben kifejlesztett fedélzeti eszközök alkalmasak navigációs információk továbbítására. A terv az, hogy ezek az eszközök minden EU-ban forgalmazott gépkocsiba beépítésre kerüljenek, azzal a céllal, hogy az autógyártók számára egységes lehetőség nyíljon a



8. ábra: - a CVIS műszaki alrendszerei (VMS: változtatható jelzőképző tábla)

forgalmi és a navigációs információk kezelésére. Közérdekből, társadalmi, üzleti és biztonsági céllal.

E célok megvalósítása nemcsak döntéshozói, hanem szakmai felkészítést is igényel. Az egyetemi tudásközpontok különösen fontos feladatot tölthetnek be az ehhez kapcsolódó oktatási és képzési munkában. Az intelligens közlekedést értő és fejlesztő szakemberekre ugyanis nélkülözhetetlenül szükség lesz, kis hazánkban is. Olyan szakemberekre, akik egységes és gyakorlati igényeket kielégítő tantervek alapján szerezhetnek szaktudást. Erre a KIT és az EJTT közös szakmai irányítói, személyükben jelentenek megfelelő garanciát.

Más a helyzet a hazai ITS-fejlesztések egységesítésével és koordinálásával. Ez ugyanis mindmáig nem intézményesült. Az ezzel foglalkozó szervezetek örülnek, ha a maguk feladatait el tudják látni. A tárca, nemkülönben. Az ITS-fejlesztések koordinációja így jobbára informális módon, személyes szakmai kapcsolatokra épül. Összehangolt egységes célok mentén nyilvánvalóan kiszámíthatóbbak és hatékonyabbak lehetnének az ez irányú fejlesztések. Reméljük, hogy az előttünk álló EU-támogatású feladatok az eddiginél több lehetőséget adnak hazai szakmai szervezeteink együttműködésére, az ezzel összefüggő üzleti modellek kimunkálására, az érdekek összehangolására és irányítottabb működtetésére.

# Leichtbaukonzepte für PKW kleiner Gesamtstückzahlen

**Dr.-Ing. Stefan Wagner,  
Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald**

A globalizálódó piaci körülmények között a jelentős ráfordítással megvalósuló beruházások számos kockázatot rejtenek. A lemezalkatrész-gyártó iparra is nagy gazdasági nyomás nehezedik. A járműkarosszéria-iparban az egyre komplexebb elemgeometria, az egyes gyártmányok csökkentett darabszáma, a könnyűszerkezetes megoldásokra való törekvés következtében a lemezipar figyelme új technológiák és szerszámmegoldások felé fordul. A cikk az alternatív lemezalakítási technológiák alkalmazási lehetőségeit ismerteti. Elsőként a hidromechanikus mélyhúzással foglalkozik. Ismerteti az eljárás elvét, részletesen taglalja a technológia minden előnyét. Külön kiemeli, hogy az alakított edény fala és a bélyeg közt fellépő nagyobb súrlódási erőnek köszönhetően az eljárással az alakíthatóság mértéke jelentősen növelhető. Optimális nyomásvezérléssel ferde falkialakítású elemek ráncosodás nélkül, egy fokozatban húzhatók. Az ellennyomásnak köszönhetően konvex és konkáv geometriájú alkatrészek egyaránt, matrica nélkül alakíthatók. Az alkatrészek teljes felületére kiterjedő, egyenletesen nagy alakváltozásának köszönhetően a visszarugózás mértéke kicsi. A matrica alakadó felületének kiváltásával mind a gyártási idő, mind az előállítási költségek csökkennek, ugyanakkor a sajtolóberendezés hidraulikus egységei növelik a beruházási költségeket. A szerző részletesen bemutatja az IFU saját fejlesztésű hidraulikus berendezését. A cikk a továbbiakban az alumínium lemezanyagok szuperképlékeny alakítási lehetőségével foglalkozik, vázolja a jelenség fémtani alapjait, ismerteti a szuperképlékeny alakítás anyagszerkezeti feltételeit. Részletes leírást ad a gyakorlati megvalósítás lehetőségeiről. A szuperképlékeny lemezalakítással olyan komplex geometriájú alkatrészek húzhatók le, melyek egyébként nem, vagy csak több egységből, hegesztéssel állíthatók elő. Az utolsó részben a szerző az IFU magnézium lemezanyagok megalakítási kísérleteibe ad betekintést. Ismerteti a kísérleti szerszámot, a kísérleti körülményeket és az elért eredményeket. Végezetül a szerző rövid számadást ad az alternatív technológiák alkalmazásával elérhető költségmegtakarításról.

## 1 HYDROMECHANISCHES TIEFZIEHEN

Beim hydromechanischen Tiefziehen wird durch die Abwärtsbewegung des Stempels das im Gegendruckbehälter befindliche Wirkmedium (HFA-Fluid) komprimiert, so dass ein hydraulischer Gegendruck erzeugt wird, der das Blech gegen den Stempel presst (Bild 1). Der Gegendruck kann außer durch diese „passive“ Kompression des Mediums infolge der Abwärtsbewegung des Stempels auch „aktiv“ mittels Pumpenantrieb erzeugt werden.

Der von der Bauteilgeometrie abhängige Gegendruckverlauf über dem Stempelweg kann über ein Hydraulikabströmventil gesteuert werden. Infolge des hydraulischen Gegendrucks beim hydromechanischen Tiefziehen wird das Blech zwischen Blechhalterradius und Blech/Stempel-Kontaktlinie entgegen der Ziehrichtung geformt (Bild 1). Die Geometrie der dabei entstehenden Wulst ist abhängig von der Festigkeit und der Dicke des Bleches, dem Gegendruck und der Ziehspaltweite. Der geometrisch- und blecheigenschaftsbedingte Berstdruck der Wulst stellt die obere Grenze des Gegendrucks dar.

Die Vorteile des hydromechanischen Tiefziehens gegenüber dem

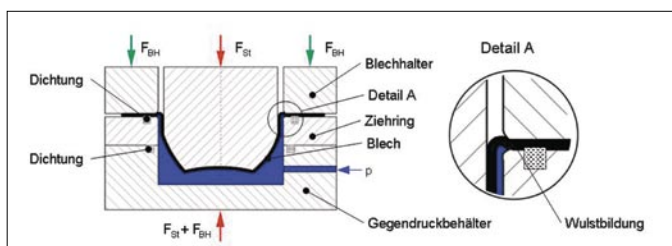


Bild 1 - hydromechanisches Tiefziehen von Blechformteilen

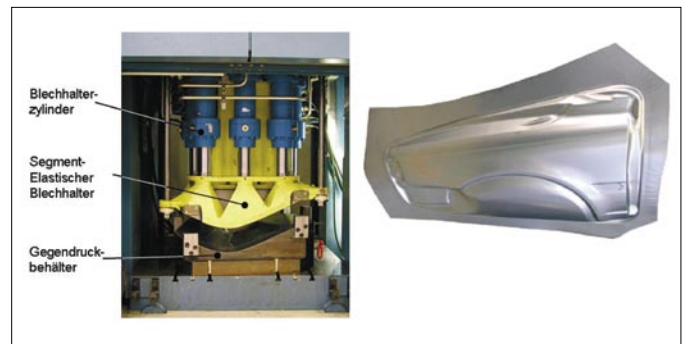


Bild 2 - Versuchswerkzeug und hydromechanisch tiefgezogener Kotflügel im Maßstab 1:1, FeP04,  $t = 0,8 \text{ mm}$

konventionellen Tiefziehen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Aufgrund größerer Reibungskräfte zwischen Bauteilzarge und Stempel infolge des Gegendrucks können ohne Versagen durch Reißen höhere Stempelkräfte in die zwischen Blechhalter und Ziehring geführte Umformzone eingeleitet werden, so dass größere Grenzziehverhältnisse  $\beta_{\text{max}}$  möglich sind.
- Blechformteile mit schräger Zarge, können bei optimierter Steuerung des Gegendrucks über dem Stempelweg in einem Zug ohne Auftreten von Falten in der Zarge (Falten 2. Art) hergestellt werden. Konventionell können solche Teile nur in mehreren Ziehstufen mit nachfolgendem mechanischen Tiefen hergestellt werden. Dabei entstehende „Anhiebkanten“ müssen ggf. durch Nacharbeit entfernt werden.
- Die während der Umformung ausschließlich mit dem Hydrostatik-Medium in Kontakt stehende Bauteiloberfläche ist wegen des Entfalls von Reibung zwischen Blech und



## 2 SUPERPLASTISCHE ALUMINIUMBLECHUMFORMUNG

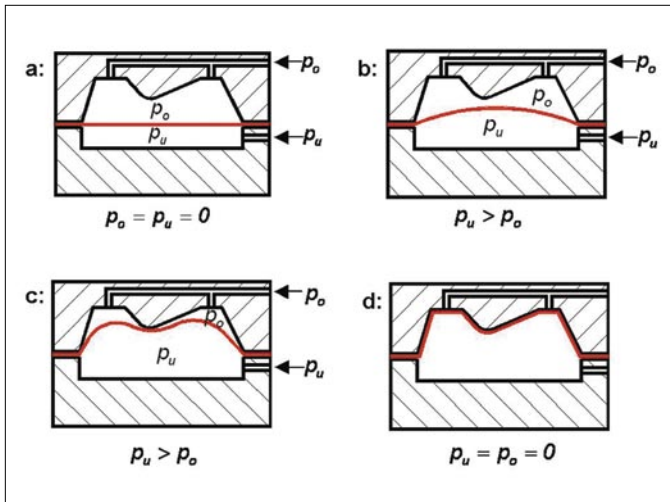


Bild 3 - schematische Darstellung des Matrizenverfahrens der Superplastischen Blechumformung

Matrize von hoher Qualität und damit für den Einsatz im Pkw-Außenhautbereich geeignet.

– Infolge des wirkenden Gegendrucks können konvex/konkave Bauteilkonturen ohne Matrize erzeugt werden. Dabei wirkt lediglich vernachlässigbare Flüssigkeitsreibung an der Blechoberfläche.

– Durch eine gleichmäßig hohe Formänderung über der Bauteilfläche entsteht eine geringere Rückfederung am Bauteil.

– Aufgrund höherer Kaltverfestigung des Werkstoffs als sie beim konventionellen Tiefziehen gegeben ist, ergibt sich ein größerer Widerstand gegen Hagelschlag bei gleicher Blechdicke.

– Durch die Substitution der formgebenden Werkzeugfläche der Matrize durch den Wirkdruck im Gegendruckbehälter sinken die Werkzeugkosten und die Werkzeuganfertigungszeit.

Es ist jedoch anzumerken, dass das hydromechanische Tiefziehen eine Reihe zusätzlicher Investitionen für Pressen mit hohen Stößelkräften und für Hydraulikanlagen erfordert. Die Stößelkraft ergibt sich aus der Summe der für das Ziehen des Bauteils notwendigen Kraft und der aus dem Gegendruck resultierenden Kraft entgegen der Ziehrichtung. Ferner sind beim hydromechanischen Tiefziehen längere Taktzeiten als beim konventionellen Tiefziehen gegeben.

Das im 2 dargestellte, am IFU entwickelte Versuchswerkzeug zum hydromechanischen Tiefziehen eines PKW-Vorderkotflügels besteht aus Grundplatte, Stempel, einer in das Werkzeug integrierten Vielpunktzieheinrichtung mit 12 Hydraulikzylindern, einem segmentelastischen Blechhalter und dem Gegendruckbehälter. Am Gegendruckbehälter angeschlossen ist ein zweistufiges Druckbegrenzungsventil, das es ermöglicht, einen konstanten Druckverlauf in der ersten Phase des Ziehvorgangs zu realisieren, um dann am Ende des Prozesses mit dem zweiten Ventil einen steilen Druckanstieg bis zum gewünschten Maximaldruck zum Ausformen kleiner Radien erzeugen zu können.

Die Drücke in den Hydraulikzylindern der Zieheinrichtung werden mittels Proportionalventilen über dem Ziehweg gesteuert. Von großem Einfluss auf die Bauteilqualität ist der Zusammenhang zwischen dem Verlauf des Gegendrucks und dem Verlauf der Blechhalterkraft jeweils über dem Stempelweg, weil dadurch die Formänderung des Werkstoffs beeinflusst werden kann. Für Außenhautteile ist eine gleichmäßig hohe Formänderung über dem Bauteil wichtig, um eine hohe Beulsteifigkeit zu erzielen.

Durch die oben beschriebenen Optimierungsmaßnahmen war es letztlich möglich, einen versagensfreien Kotflügel im Maßstab 1:1 mittels hydromechanischen Tiefziehens herzustellen (Bild 2).

In der Literatur wird die Superplastizität von Werkstoffen allgemein durch die erreichbaren hohen Formänderungen von zum Teil mehreren 100 % definiert. Diese können im einachsigen Zugversuch bei verschiedenen polykristallinen Werkstoffen unter bestimmten Formänderungsgeschwindigkeiten und Temperaturen erreicht werden.

Superplastizität tritt abhängig vom Umformgut innerhalb eingrenzter Bereiche der Umformtemperatur und der log. Hauptformänderungsgeschwindigkeit auf und wird durch Korngrenzengleiten mit überlagerter Versetzungsbewegung und Diffusionskriechen an den Korngrenzen erklärt. Im Bereich der log. Hauptformänderungsgeschwindigkeit, in dem Superplastische Umformung gegeben ist, kommt es trotz extrem hoher Formänderungen aufgrund des Korngrenzengleitens zu einer nur geringen Streckung der Körner. Da die Umformtemperaturen oberhalb der Rekristallisationstemperatur liegen, kommt es zu dynamischer und thermischer Rekristallisation.

Superplastisch umformbare Werkstoffe müssen bestimmte werkstofftechnische Voraussetzungen erfüllen:

- Isotropes Werkstoffgefüge;
- Globulares, feinkörniges Gefüge mit einer durchschnittlichen Korngröße <10 µm;
- Stabilität gegen Kornwachstum;
- Die beiden wichtigsten verfahrenstechnischen Kriterien für Superplastisches Umformen von Werkstoffen sind die Umformtemperatur und die Einhaltung einer bestimmten log. Hauptformänderungsgeschwindigkeit.

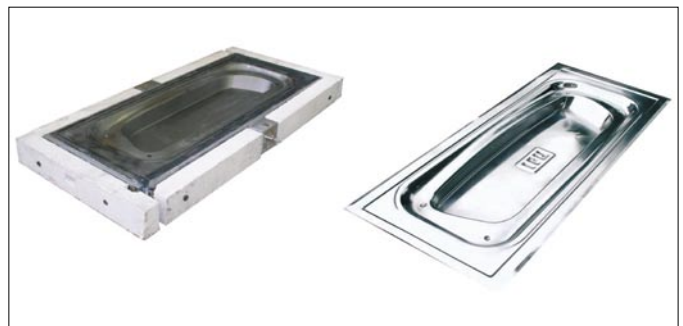


Bild 4 - Werkzeug für die Herstellung einer Kennzeichenmulde durch superplastische Umformung. links) beheizte und thermisch isolierte Matrize, rechts) superplastisch umgeformtes Bauteil

Allen superplastischen Herstellungsverfahren ist gemeinsam, dass die Platine fest zwischen den beiden Werkzeughälften eingeklemmt wird und dadurch die bei der Umformung zu verzeichnende Oberflächenvergrößerung des Bauteils ausschließlich zu Lasten der Blechdicke erfolgt. Als Druckmedium wird in der Regel heißes Gas eingesetzt.

Das Matrizenverfahren stellt die einfachste Verfahrensvariante der Superplastischen Umformverfahren dar. Hier wird gemäß Bild 3 der Werkstoff durch Druckbeaufschlagung in die obere Druckkammer hineingedrückt, wobei im Werkstück Zug-Zug-Spannungen herrschen. Die obere Kammer beinhaltet die Negativform des Bauteils. Möglich ist auch das Aufbringen eines Gegendruckes in der oberen Kammer.

Das Matrizenverfahren erlaubt die Herstellung von Werkstücken mit genauer Außenkontur. Es eignet sich insbesondere zur Fertigung von Werkstücken mit flachen, konvexen Konturen. Beim Matrizenverfahren ist zu beachten, dass sich der Werkstoff nur zu Beginn der Umformung frei ausformen kann. (Prozessstadium b). Bei Kontakt zwischen Umformgut und

Werkzeug (Prozessstadien c-d) wird die Umformung durch eine im Kontaktbereich Blech/Matrize einsetzende Haftreibung behindert. Damit unterteilen die Kontaktstellen die Werkstoff-Membran in mehrere „Einzel-Membranen“. Es ergeben sich somit Einzelsysteme, in denen unterschiedliche Bedingungen herrschen.

Bei der superplastischen Blechumformung handelt es sich prinzipiell um die Herstellung komplexer Bauteilgeometrien, die sonst gar nicht oder nur durch Fügen mehrerer Teile herstellbar sind. Die Werkzeuge werden entweder außerhalb der Schließvorrichtung (meistens eine hydraulische Presse) in einem Ofen vorgewärmt und dann eingebaut. Üblich sind auch Heizplatten in der Presse, über die das Werkzeug auf Solltemperatur erwärmt wird.

Am IFU Stuttgart wurde ein vorhandenes Werkzeug für ein Karosseriebauteil (Kennzeichenmulde) für die superplastische Umformung aufgebaut. Bild 4 zeigt dieses Werkzeug sowie das dazugehörige Aluminiumblechteil.

### 3 UMFORMEN VON MAGNESIUMBLECHEN

Magnesium lässt sich bei Raumtemperatur aufgrund der hexagonalen Gitterstruktur und der dadurch nur sehr geringen Anzahl an Gleitsystemen nur schwer umformen. Wird die Umformtemperatur erhöht, lassen sich durch die thermische

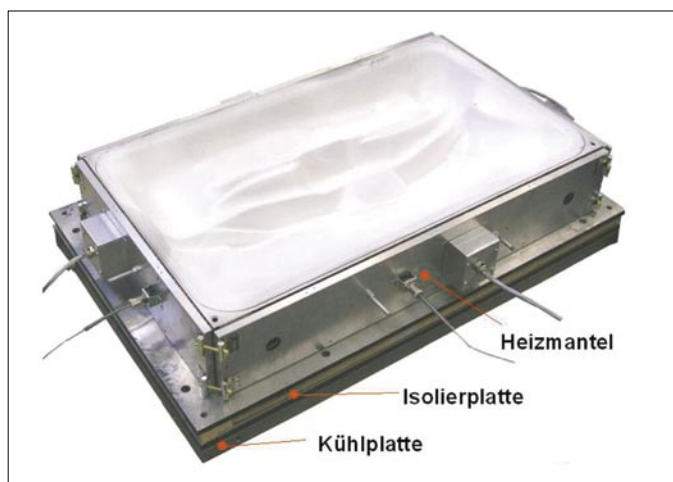


Bild 5 - Werkzeug zum pneumatischen Tiefen einer Türinnenverstärkung

Aktivierung weitere Gleitsysteme sowie durch das Auftreten dynamischer Rekristallisation höhere Formänderungen erzielen.

Die am IFU durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass innerhalb des Temperaturbereichs von 235°C bis 350°C bei einer konstanten, relativ niedrigen log. Hauptformänderungsgeschwindigkeit große log. Hauptformänderungen bis zum Eintreten von Versagen durch Bruch möglich sind. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde ein Werkzeug zum pneumatischen Tiefen einer Türinnenverstärkung aufgebaut. Das Werkzeug besteht aus Ober- und Unterwerkzeug, wobei beide Werkzeugteile elektrisch beheizbar sind. Das Oberwerkzeug wird mittels Heizpatronen beheizt, das Unterwerkzeug mittels eines Heizmantels. Um eine thermische Entkopplung der beiden Werkzeugteile gegenüber der Presse zu gewährleisten, wurden am Ober-



Bild 6 - Türinnenverstärkung aus Magnesium AZ31 hergestellt durch pneumatisches Tiefen bei 400°C

sowie am Unterwerkzeug pressenseitig eine Isolierplatte und eine Kühlplatte angeordnet. Das Wirkmedium Stickstoff mit definiertem Innendruck wird durch das Oberwerkzeug zugeführt. Möglich ist auch die Aufbringung eines Gegendrucks. Die Druckzufuhr wird mittels Proportionaltechnik geregelt.

Bild 5 zeigt das realisierte Versuchswerkzeug ohne umschließende Isolierung, jedoch mit pressenseitiger Isolier- und Kühlplatte.

Um einen reproduzierbaren Umformprozess zu gewährleisten, ist sicherzustellen, dass das Werkzeug vollständig durchwärmt ist. Nach vollständiger Durchwärmung wird das erwärmte Blech eingelegt, das Werkzeug geschlossen und der Ausformdruck über Proportionalventil aufgebaut. Am Ende des Umformvorgangs wird der Druck kontrolliert abgelassen und das Teil entnommen.

Die Versuche wurden bei einer Temperatur von 400°C durchgeführt. Bild 6 zeigt ein bei 400°C umgeformtes Bauteil aus Magnesium AZ31 mit einer Ausgangsblechstärke von 3mm. Der maximale Ausformdruck beträgt 11 bar.

### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Werkzeugkosten eines PKWs für die Tiefziehopoperationen betragen insgesamt ca. 50 Mio. €. Somit verlangen PKW der Premiumklasse und viele Sportwagen aufgrund kleiner Gesamtstückzahlen möglichst geringe produktspezifische Investitionskosten, um die Kosten pro Blechteil niedrig zu halten.

Beim hydromechanischen Tiefziehen können bis 40% der Kosten für Tiefziehwerkzeuge eingespart werden. Von Nachteil beim hydromechanischen Tiefziehen ist jedoch die Erfordernis extrem hoher Presskräfte und die geringe erreichbare Hubzahl pro Minute.

Für die Kleinserien-Produktion sind u.a. auch Magnesiumbleche und superplastisch umgeformte Aluminiumbleche von Interesse. Zu beachten ist, dass für die superplastische Blechumformung und für das pneumatische Tiefen bei erhöhten Temperaturen beheizbare Werkzeuge erforderlich sind. Neue kostenreduzierte Pressenkonzepte bzw. der Einsatz von speziellen Zuhaltvorrichtungen führen zu geringeren Maschinenminutensätzen.



# A Bosch kibővíti oktatási kezdeményezéseit Magyarországon

A Bosch egy új oktatási kezdeményezéssel erősíti társadalmi elkötelezettségét Magyarországon: a vállalat a jövőben szorosan együttműködik a BME-vel és 2007-ben 65 000 000 forintot ruház be közös projektekbe. Ezzel a Bosch a gazdasági és tudományos cserét segíti elő és biztosítja a magyar mérnökutánpótlást. Az erről szóló együttműködési szerződést Thomas Schöenberg, a Robert Bosch Elektronika Kft. ügyvezetője és a Bosch budapesti fejlesztési központjának vezetője, Henk Becker írta alá a BME rektorával, dr. Molnár Károllyal.

A SZERZŐDÉS RÉSZEI: ÖSZTÖNDÍJAK,  
SZAKMAI GYAKORLATOK, ÜZEMLÁTOGATÁS

Az együttműködés előre vetíti, hogy a Bosch a gépészmérnöki kart, valamint a villamosmérnöki és informatikai kart ebben az évben 20 000 000 forinttal támogatja. További 45 000 000 forintot folyósít kutatási és fejlesztési megbízásokra. Ezen kívül a Bosch a 8-9. szemeszter 20, valamint további 10, diplomamunkáját készítő hallgatónak a magyarországi Bosch-csoport üzeimében szakmai gyakorlatot kínál. Ehhez még a Bosch a budapesti egyetem hallgatóinak évi négy gyárlátogatást is lehetővé tesz. A már korábban meglévő ösztöndíjai mellé egy további ösztöndíjat is ad a Bosch a gépészmérnöki és informatikai fakultás egy hallgatójának, évi 1 000 000 forint értékben. A jövőben minden ösztöndíjat „Bosch PhD. Ösztöndíjnak” neveznek. A Bosch 10 ösztöndíjjal finanszírozza a BME német nyelvű mérnökképzésének hallgatóit is. Továbbá Bosch-szakértők, vendég docensek közreműködésével az egyetemi előadással párhuzamosan a gépjárműtechnika terén előadás-sorozatot, valamint az ezeket kísérő gyakorlatokat is tervezik egy már felszerelt Bosch-laboratóriumban. A vállalat a BME elektronikai technológia tanszék munkáját egy 14 millió forint értékű Viscom képfeldolgozó berendezés adományozásával is támogatja.

## MINŐSÉGI MUNKAERŐ IRÁNTI KERESLET

A Bosch kezdeményezései a Bosch beruházási programjának részei. A vállalat 2003 és 2006 között 150 millió eurót ruházott be magyar székhelyeibe. A Bosch-csoport magyarországi fejlődése a hatvani, miskolci, egri és budapesti Bosch-székhelyeken a minőségi munkaerő iránti megnövekedett kereslethez vezetett. 2007 elejére a magyarországi Bosch-csoport munkatársainak száma 7000 fölött volt.



A BME rektora, dr. Molnár Károly a szerződés aláírását követően az egyetem emlékművét nyújtotta át Henk Beckernek, a Bosch budapesti fejlesztési központja vezetőjének és Thomas Schöenbergnek, a Robert Bosch Elektronika Kft. gazdasági ügyvezető igazgatójának

## A BOSCH OKTATÁSI KEZDEMÉNYEZÉSEI MAGYARORSZÁGON KIBŐVÜLTEK

A Bosch már számos oktatási együttműködéssel rendelkezik. A Miskolci Egyetemen a Bosch-csoport miskolci, egri és hatvani üzeimének kezdeményezésére létrehozta a Robert Bosch Mechatronikai tanszéket. A Robert Bosch mechatronikai tanszék 1945 után az első iparvállalat által alapított egyetemi tanszék. A tanszéket a Bosch-csoport Magyarország alapította három évre 2007 végéig, aztán átmegy az egyetem tulajdonába. Ezen felül a Bosch Magyarországon az oktatás gyakorlati részének növelése érdekében további főiskolai kezdeményezésekkel és a műszaki iskolákkal folyó együttműködéssel is rendelkezik. 2005. december 15-én a magyarországi Bosch-csoportot Mang Béla, az Oktatási Minisztérium felsőoktatásért felelős helyettes államtitkára az oktatás, a képzés és a felnőttoktatás terén nyújtott kezdeményezéseiről a Kármán Tódor-díjjal tüntette ki.

Forrás: Bosch-sajtóközlemény, [www.bosch.hu](http://www.bosch.hu)

# Komplex lemezvizsgálati technika fejlesztése a Széchenyi István Egyetemen

**Dr. Czinege Imre**

Az autókarosszéria-gyártás tervezésekor alkalmazott számítógépes szimulációs eljárások az alakítandó lemez komplex jellemzését igénylik. Ezen anyagjellemzők meghatározása magas szintű mérés technikával és korszerű berendezésekkel lehetséges. A cikk bemutatja a minősítések helyét a funkció-anyag-alak-megmunkálás kapcsolatrendszerben, meghatározza a mérendő paramétereket és azok kapcsolatát a szimulációs szoftverekkel. Bemutatja továbbá a mérések elvégzésére alkalmas berendezéseket és néhány tipikus alkalmazási példát.

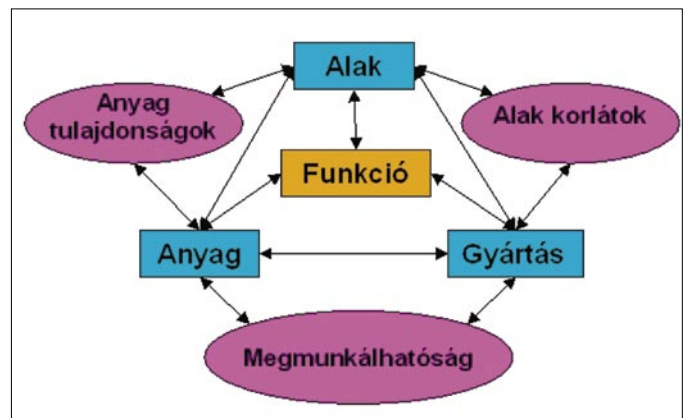
## 1. AZ EZREDFORDULÓ AUTÓIVAL KAPCSOLATOS IGÉNYEK

A járműgyártás mindenkor a technológiai fejlődés élvonalát képviselte, és ez a megállapítás fokozottan érvényes korunk autóiira is. A piaci verseny, a megnövekedett vevői igények minden gyártót arra ösztönöznek, hogy a fokozott biztonság és komfort mellett folyamatosan csökkentsék az üzemanyag-fogyasztást és a károsanyag-kibocsátást, ráadásul mindezeket az előnyöket kedvező áron kínálják a vásárlóknak. Ha csak a karosszériagyártás szempontjából nézzük az igények kielégíthetőségét, a hagyományos gondolkodás mellett nyilván ellentmondásokra jutunk, ugyanis például a növekvő biztonság a gépkocsi tömegének növelésével járna, amely növeli a fogyasztást. Az ellentmondás feloldása abban rejlik, hogy olyan új, nagy szilárdságú anyagokat kell alkalmazni, amelyekkel az utastér biztonsága növekszik, de a gépkocsi tömege nem nő. A tartósság, korrózió elleni védelem szintén alapvető igényként jelenik meg, erre a lemezgyártók új bevonatok alkalmazásával reagálnak. Természetesen mindezek az újdonságok növelik a gyártás költségeit, mert a nagy szilárdságú lemezek alakítása különleges technológiai megoldásokat igényel. Hasonlóan új feladatok elé állítja a gyártókat az, hogy bevonatos lemezek vagy egymástól eltérő tulajdonságú anyagok kötését kell megoldani.

## 2. A KAROSSZÉRIA TERVEZÉS ÉS -GYÁRTÁS ELEMZÉSE

A bevezetőben elmondott komplex rendszert az Ashby által kidolgozott modell segítségével elemezzük [1], amely a gyártmány funkcióját az alak, anyagválasztással és a megmunkálással egy-egyben kezeli. Az autó funkciójából levezethetően a karosszériával szemben támasztott fő követelmények a biztonság, tartósság és a kedvező ár, ezek kapcsolatát kell megteremteni a másik három tényezővel. A biztonság a karosszériának mint komplex szerkezetnek a szilárdságával, merevségével és energiaelnyelő képességével hozható kapcsolatba, amely az anyag és az alak összhangjával teremthető meg. A tartósság a kifáradással szembeni ellenállás és a korrózióállóság növelésével érhető el, amely inkább az anyagtulajdonságokon alapul, de nyilván a kifáradás folyamatában a szerkezetnek (alaknak) is szerepe van. Végül a kedvező ár az alkalmazott anyag és a megmunkálás költségével függ össze.

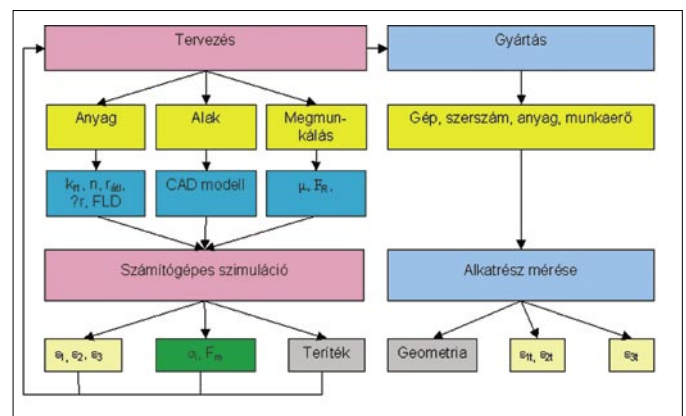
A három meghatározó tényező kapcsolatában olyan új elemek is megjeleníthetők, amelyek az eredeti Ashby-féle modellben nem szerepelnek, de hatásuk két-két tényező kapcsolatában nagyon lényeges. Az alak-anyag kapcsolatban ilyenek a tervezéshez szükséges anyagjellemzők, amelyek a méretezési képletekben szerepelnek (például a szakítószilárdság, folyáshatár). Az anyag és gyártás kapcsolatában a megmunkálhatósági jellemzőket kell figyelembe venni (technológiai próbák), míg az alak és a gyártás összhangba hozása az alak korlátok tiszteletben tartását igényli,



1. ábra: bővített Ashby-modell

ilyen például a lemezek alakíthatósága. Ezeket a kapcsolatokat mutatja összefoglalóan az 1. ábra.

A továbbiakban a most feltárt kapcsolatrendszert illesztjük a technológiai tervezés folyamatába, ahol meghatározó elemként jelenik meg a számítógépes szimuláció. A 2. ábrán bemutatott modellben az anyagjellemzők a lemezalakítást szimuláló szoftver bemenő adatai, nevezetesen a folyási görbe paraméterek, a képlékenységi anizotrópia mérőszámok és az alakváltozási határdiagram (FLD). Az alakot az alkatrész CAD-modellje testesíti meg, a megmunkálási paramétereket például mélyhúzás esetében a súrlódási tényezővel és a ráncgátló erővel jellemezzük, de egyes szoftverek igénylik a sajtológép egyéb műszaki adatainak megadását is. A számítógépes szimuláció eredményeként megjelenik az optimális teríték, a szerszámgeometria, valamint a sajtoló erő. Az alkatrész helyi alakváltozását (nyúlásokat) pontról pontra meghatározzák a



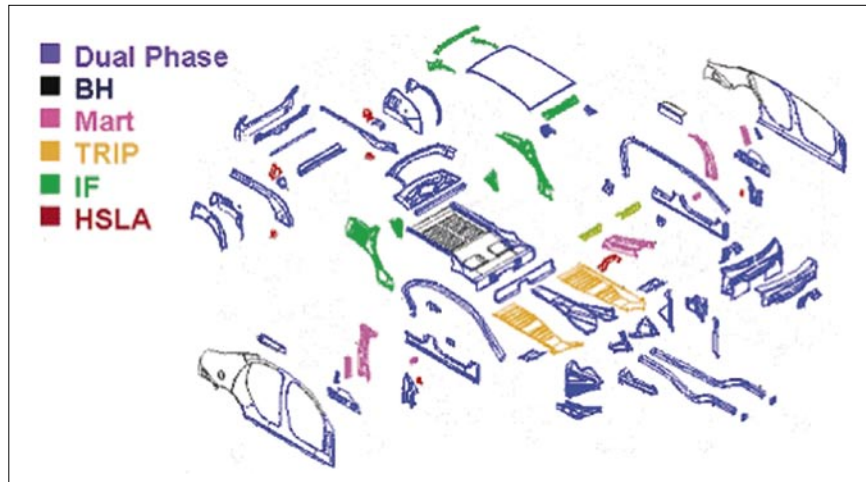
2. ábra: a tervezés és gyártás kapcsolata



szoftverek, és ezt az alakváltozási határdiagrammal összehasonlítva adnak felvilágosítást az alakítás végrehajthatóságáról. Természetesen a tervezési folyamat végeredménye többszöri iterációval alakul ki. Ezután léphetünk a gyártás fázisába, amelynek meghatározói a 2. ábrán feltüntetett gép-szerszám-anyag hármass, valamint a folyamatot megvalósító dolgozó. A gyártás eredményeként létrejön az alkatrész, melynek prototípusvizsgálata során ellenőrizni kell a geometriát a CAD-moddal összehasonlítva, az alkatrész helyi alakváltozásait és mindezek összhangját a számítógépes szimuláció eredményeivel.

### 3. KAROSSZÉRIALEMEZ-ANYAGOK

Az előzőekből levezethető, hogy a tervezés folyamatában az anyagválasztásnak és az alakítandó anyag jellemzőinek meghatározó szerepe van. Ezért a 3. ábrához kapcsolódva áttekintjük a jelenleg rendelkezésre álló anyagok választékát [2]. Az ábra a szakítószilárdság és a nyúlás függvényében rendezi el az acélokat és egyéb fémeket, ebből látható, hogy egy anyagcsoporton belül a nyúlás és a szilárdság hiperbolikus kapcsolatban van. Akkor lehet ebből az összefüggésből kitörni, ha valamilyen új anyagszerkezetet sikerül létrehozni, például az RA-val jelölt többes fázisú, más néven TRIP



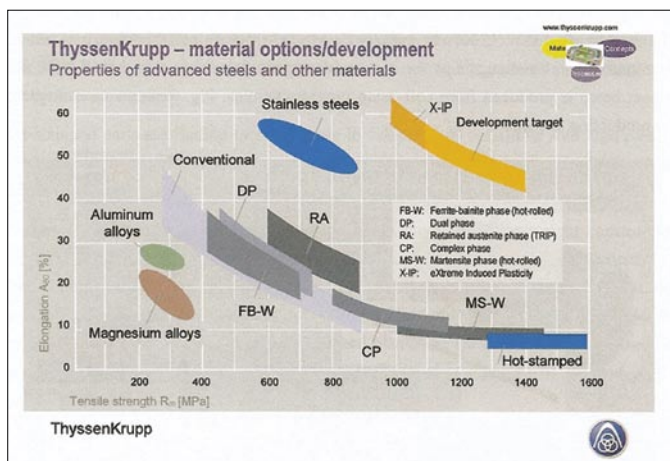
4. ábra: különféle lemezminőségek alkalmazása a karosszériaépítésben

a torziós merevség 80%-os és a hajlító merevség 52%-os növelését sikerült elérni, valamint az új szerkezet nagy biztonsággal megfelelt az összes törésteszt-előírásnak. Külön előnye az egyre inkább terjedő többes fázisú acéloknak, hogy ezeknek az energiaelnyelő képessége is jobb a hagyományos acéloknál, mert az ütközés okozta képlékeny alakváltozás a szövetszerkezetben meglévő maradék ausztenitet martenzitté alakítja, ezáltal a deformáció közben jelentős a felkeményedés [6]. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a nagy szilárdságú acélok alakítása számos új problémát vet fel, az alakító erő és a szerszámterhelés növekedése mellett sokkal erőteljesebb a visszarugózás is, melyet különleges megoldásokkal lehet kompenzálni [7]. Egyes nagy szilárdságú acélból készült kulcsalkatrészek alakításánál ezen hátrányok miatt egyre inkább teret hódít a melegalakítás, majd az alakítást követő gyors hűtés a szerszámban [8]. Tipikus példa erre a két ajtó közötti oszlop (B-tartó) vagy az első szélvédő két oldalán elhelyezkedő tartók. Természetesen ennek a technológiának a költsége lényegesen magasabb, mint a hagyományos gyártású alkatrészé, de az újabban megjelent szigorú törésteszteknek az így gyártott alkatrészek felelnek meg elfogadható tömeg mellett.

### 4. A LEMEZEK VIZSGÁLATA

A vázolt anyagminőségek és azok anyagjellemzőinek vizsgálata különleges minőségű, komplex vizsgálótechnikát igényel. Ennek fő jellemzői a teljes körű számítógépes irányítás és értékelés, növelt pontosság és felbontó képesség, a vizsgálóberendezések tág határok közötti szabályozhatósága. Megfigyelhető az optikai elvű mérések előtérbe kerülése (optikai vagy lézer extenzométer, komplex alakjellemzés, alakváltozások mérése, keménységmérési lenyomat automatikus értékelése). Hasonlóan természetesen követelmény az adatkezelés, archiválás, statisztikus feldolgozás számítógéppel segített megoldása is. Mindezen igényeket kielégítő komplex laboratóriumokat fejlesztettünk ki a Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszékén több projekt támogatásával (GVOP-KMA, GVOP-KKK, NKTH Pázmány Péter Program). A laboratórium alkalmas a lemezek szilárdsági és alakíthatósági jellemzőinek, kémiai összetételének és mikroszerkezetének meghatározására, valamint az alakított termék geometriájának ellenőrzésére és a helyi alakváltozás mérésére. A legfontosabb berendezések a következők:

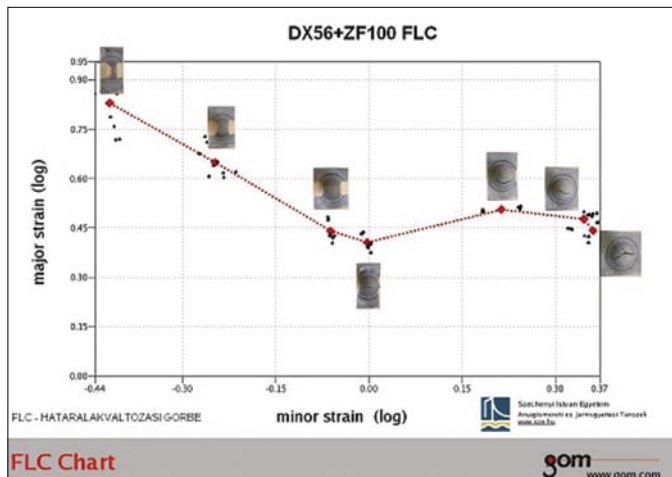
a lemezanyagok szilárdsági tulajdonságainak, folyási görbéjének és képlékenységi anizotrópiájának meghatározására szolgál az Instron 5802 típusú egyetemes szakítógépet, melynek erőhatára 100 kN, fel van szerelve a hossz- és keresztirányú nyúlás mérésére alkalmas optikai extenzométerrel, valamint –150...+350 °C között



3. ábra: lemez anyagok választéka

acélokat. Hasonló minőségjavulást jelentenek a korszerű rozsdamentes acélok és a jelenleg még kutatási fázisban lévő X-IP acélok. A 4. ábrán bemutatjuk a lemezek alkalmazását a karosszériaépítésben [3, 4]. Ebből látható, hogy jelenleg a karosszériaalkatrészek háromnegyede kettős fázisú (DP) acélból készül, a többi alkatrész pedig egyéb nagy szilárdságú acélból, vagy ahol nincs jelentős szilárdsági igénybevétel, ott jól mélyhúzzható lemezekből. Természetesen a karosszériaépítésben megjelennek az alumínium- és magnéziumötvözetek is. Ahogy a 3. ábra mutatja, ezek szilárdsága kisebb, viszont kedvező az alakíthatóságuk, és emellett a szilárdság/sűrűség hányadosuk is előnyösebb, mint egyes acéllemezeké. Ezért alkalmaznak a járműgyártásban hibrid és teljesen könnyűfémekből készült karosszériákat is.

Ezek a nagy szilárdságú lemezek kitűnő lehetőséget kínálnak a karosszéria tulajdonságainak jelentős javítására. Ehhez a tervezés során az anyag és alak optimális kombinációját kell létrehozni, melynek kulcseszköze a végeelem-technika. Egy, az International Iron & Steel Institute által koordinált kutatási projektben [5] például a referencia karosszériához képest 25% tömegcsökkentést,



5. ábra: mélyhúzó lemez alakíthatósági diagramja

működő klímakamrával. Az értékelés a Bluehill-szoftverrel történik. A kémiai összetétel mérésére Foundry Master spektrométer áll rendelkezésre. A klasszikus metallográfiai vizsgálatok előkészítő berendezései Buehler gyártmányúak, a sztereo- és optikai mikroszkópok Nikon termékek. A mikroszerkezeti laboratóriumot univerzális automata keménységmérő és mikrokeménységmérő gép egészíti ki. A szövetanalízishez és a mikroszkópon megjelenített képződmények méréséhez automatikus képelemző szoftver áll rendelkezésre.

A lemezek alakíthatósági vizsgálatára saját berendezést fejlesztettünk ki, melynek különlegessége az optikai alakváltozás-mérő rendszert szerves egységként befogadó konstrukciós megoldás. A vizsgálógép az ISO 12004 szabvány szerinti Nakayima-tesztre és más lemezvizsgálatokra szerszámozható fel, a bélyeget mozgató hidraulikus henger 600 kN erőt képes kifejteni, a ráncgátló erő 400 kN. A szánsebesség 0,5...5 mm/min között programozható, az erőhatárok is tetszőlegesen állíthatók mikroprocesszoros vezérléssel. A digitális optikai rendszert a GOM szállította, ez része annak az integrált mérőrendszernek, amely alkalmas alakzatok geometriai méreteinek meghatározására, szabályos pontháló alakváltozásából a lemez helyi alakváltozásának mérésére, valamint az alakíthatósági diagram felvételére szabálytalan mintázat mérésével [9]. A berendezéssel felvett alakíthatósági diagram az 5. ábrán látható. A 6. ábra a laboratórium látképét mutatja, előtérben a hidraulikus lemezvizsgáló berendezés, mellette a GOM Argus alakváltozás-mérő egység, majd az automata keménységmérő és a szakítógépp.



6. ábra: az anyagvizsgáló laboratórium részlete



7. ábra: alakított munkadarab helyi alakváltozásának meghatározása

A GOM Argos rendszerrel készült mérést mutat a 7. ábra. Az előtérben jól látható az alakított alkatrész a szabályos raszterhálójával, a számítógép képernyőjén pedig a feldolgozás eredménye található. A GOM Atos geometriai méretmeghatározó rendszer a gyártás során alakított lemezekről készült felvételekből rekonstruálja a CAD-modellt, és azt összehasonlítja az eredeti rajzzal. Ezáltal kimutathatók az előírt alaktól való eltérések, ahogy ezt a 8. ábra mutatja. Szintén az alkatrész-geometria mérését szolgálja a Mahr gyártmányú 3D mérőgép, amely az optikai digitalizálással kiegészítve a teljes alkatrész-geometria meghatározására alkalmas egységet alkot. A gyártás során keletkező felületi mikrogeometriai változások (például szerszámkopás) követésére a Taylor-Hobson Talysurf CLI készüléke szolgál, amely lézeres letapogatással 10 nm függőleges irányú felbontásban képes a felület háromdimenziós képét elkészíteni.

## 6. SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓ

A 2. ábrán bemutatott funkcióvázlat szerint az alakítási folyamat számítógépes szimulációja kulcsszerepet tölt be a technológiai tervezésben. E számítások elvégzésére az AutoForm és a DEFORM 3D szoftverek állnak rendelkezésre. Az AutoForm elsősorban lemezalakítási folyamatok modellezésére és a szerszám tervezésére alkalmas, a DEFORM 3D pedig térfogatalakítások szimulációjára.

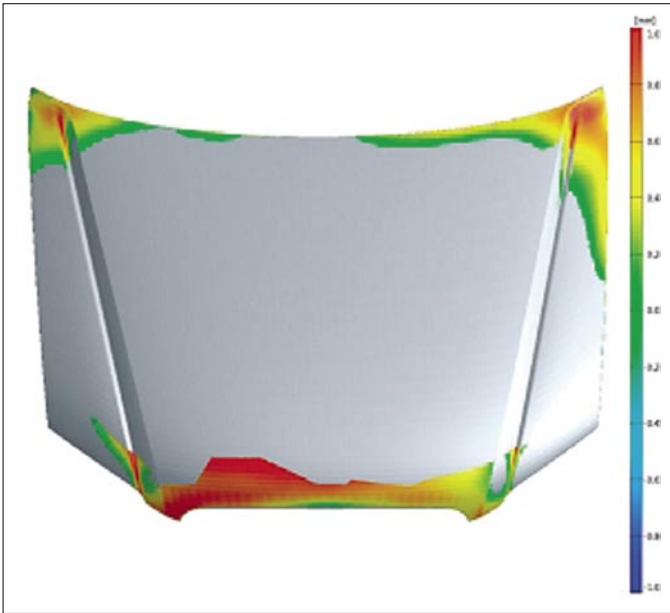


## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

A járműipar fejlődése rendkívül magas igényeket támaszt az anyagtulajdonságok mérésével, a technológiai tervezés minőségével és a gyártással kapcsolatban. Ezért ma az anyag, alak és megmunkálás tervezése integrált rendszerben történik, melyet számítógépes szimuláció támogat. A karosszéria-gyártásban alkalmazott anyagok és a gyártott alkatrészek új, elsősorban digitális optikai elvű anyagvizsgálati technikákat igényelnek, amelyek alkalmazásakor kiemelkedő szerepe van a számítógépes értékelésnek és adatfeldolgozásnak. Ezeket az igényeket a Széchenyi István Egyetem laboratóriumaiban korszerű méréstechnikával és magas szintű szakmai ismeretekkel elégítjük ki.

## Irodalom

- [1] Ashby, M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, Pergamon Press, 1992.
- [2] ThyssenKrupp információs anyag
- [3] Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines. International Iron & Steel Institute, 2005.
- [4] International Iron & Steel Institute publikáció. <http://autofieldguide.com>
- [5] USLAB: Ultra Light Steel Auto Body Projekt. <http://worldautosteel.org>
- [6] Krizan, D.: TRIP Steels: Advanced High Strength Multiphase Steels for Automotive Applications. 14th International Scientific Conference CO-MAT-TECH 2006, p. 659-668.
- [7] Noel, J. M.: Forming Advanced High Strength Steel for Light Weight Auto Body Structures. „New Developments in Sheet Metal Forming”, MAT INFO 2004, p. 37-48.
- [8] Tröster, T.: Advanced Hot Forming. „New Developments in Sheet Metal Forming”, MAT INFO 2004, p. 49-64.
- [9] Behring, D., Kardos, K., Solecki, L., Kozma, I.: Felületek digitalizálása és lemezek alakváltozásának mérése optikai úton, Gépgyártás, XLV. 2005. 3. szám, p. 7-12.



8. ábra: motorház tető geometriai eltérései

A vázolt komplex laboratórium előnye az, hogy a számítógépes szimuláció megkezdése előtt lehetőség van a szoftver input adatainak méréssel való meghatározására az alakítandó lemezen (szakítóvizsgálat, alakíthatósági diagram felvétel), majd a számítások elvégzése után megtervezhető és legyártható a prototípus szerszám, amelyet a sajtológépre szerelve elkészíthetők a kísérleti alkatrészek. Ezek geometriai ellenőrzése, valamint a helyi alakváltozás-mérések elvégzése után lehet visszacsatolni a szimuláció eredményeire, és öntanuló rendszerben fejleszteni a tervezési metodikát. Hasonló megállapítás érvényes a DEFORM 3D-hez kapcsolódó alkalmazásokra is, amelyet elsősorban kovacsolt alkatrészek modellezésére használunk.

# Az anyagismereti és járműgyártási tanszék digitális optikai mérőrendszereinek ipari alkalmazása

**Kozma István**

A cikk a Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszék felületdigitalizáló laboratóriumában lévő korszerű optikai mérőrendszereket mutatja be vázlatosan. Ipari példák alapján ismerteti a berendezések alkalmazhatóságát a prototípusgyártásban, a gyártásközi minőség-ellenőrzésben, valamint adott darab CAD-modelljének elkészítésénél.

## 1. BEVEZETÉS

A gyártásközi minőség-ellenőrzésben és a termékek minőségbiztosításában a mérés technika központi helyet foglal el. A hagyományos mérőműszerek érintkezéssel (tapintással) vagy érintkezés nélkül (optikai módszerrel) működnek.

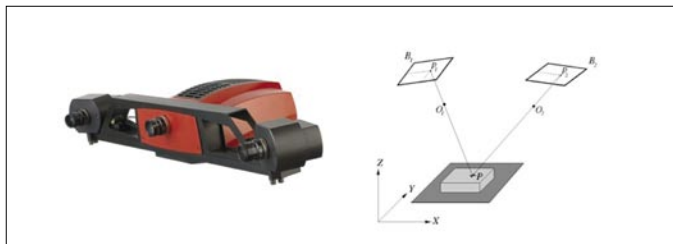
Összetett geometriájú alkatrészeknél az optikai érzékelők eredményesebben használhatók, mint a tapintásos elven működők. Az optikai érzékelők a teljes felületet felvételezik. A méréssel kapott adatbázis lehetőséget ad a valós és a kívánt állapot összehasonlítására, az ellenőrzésre.

A Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszék felületdigitalizáló laboratóriuma a legkorszerűbb optikai mérőberendezésekkel (ATOS, TRITOP) rendelkezik.

## 2. A MÉRŐBERENDEZÉSEK

A laboratórium ATOS és TRITOP (Braunschweigi GOM) optikai felületdigitalizáló berendezései a fotogrammetria elvén működnek.

A mérőrendszerekkel végzett mérés során a darab felületéről felvételek készülnek. A felvételek alapján a képalkotás triangulációval történik. Adott alkatrész felületének teljes leképezéséhez különböző nézetből készült felvételekre van szükség. A készült résznézetek közös koordináta-rendszerbe kerülnek. Transzformálásukra a felvételezésnél használt referenciapontok segítségével kerül sor. A felvételkészítés folyamata képernyőn követhető. A felvételek



1. ábra: ATOS mérőfej és a trianguláció elve

digitalizált pontjainak 3D-s koordinátáit a mérőrendszer képkiértékelő programja lépésekben határozza meg, majd a kapott pontfelhőre hálót illeszt. [1]

Nagyfelületű darabok, pl. karosszériaelemek vagy nagyméretű alakítószerszámok mérésekor a referenciapontok közvetlenül a mért felületre kerülnek. A referenciapontok helyzetének meghatározása a TRITOP mérőrendszerrel történik.

A mérések kiértékelése, egy adott darabról felvétellel kapott valós háromszögháló és a darab CAD-modelljének összehasonlítását, vagy egy adott darab (alkatrész, szerszám) CAD-modelljének elkészítését jelenti.



2. ábra: TRITOP mérőrendszer

Az összehasonlító mérés alapja, a generált háló és a mért darab CAD-modelljének összeillesztése egy közös referencia koordináta-rendszerben. Az illesztés tetszőlegesen választott, vagy rajzdokumentációban megadott bázispontok segítségével történik. Az illesztés után a kívánt és a tényleges geometria közötti eltérést a mérőrendszer kiértékelő programja számítja. A program az eredményeket a képernyőn szinképpel, illetve számszerűsítve jeleníti meg.

CAD-modell készítésénél a darabról az ATOS mérőberendezéssel leképzett háromszöghálót speciális CAD-szoftverrel (Geomagic Studio) folytonos NURBS-felületté generáljuk. Ezt a módszert (Reverse Engineering) használja az autógyárak többsége a karosszériaelemek tervezésénél. A formatervező megálmodta forma alapján készített mintából a 3D-s CAD-felületeket digitalizálással állítják elő. Az így nyert modellel az elemzések és a módosítások szimulációval történnek. [2]

Az ATOS optikai 3D-mérőrendszer az autógyártásban:

- prototípus alkatrészek ellenőrzésére,
- gyártásközi minőségbiztosításra,
- a gyártásban használt báziszámok méret-ellenőrzésére alkalmas.

A TRITOP mérőrendszert nagyméretű darabok bemérésénél tájoláshoz, továbbá környezeti hatásra bekövetkező deformáció kiméréséhez alkalmazzák.

A mérőberendezések legfontosabb előnyei:

- a munkadarab teljes 3D-felvételezése,
- az eredmény vizualizálása,
- az eredmények összehasonlíthatósága CAD-adatokkal,
- a mérés viszonylagos gyorsasága,
- a nagy felbontóképesség,
- a mobilitás.

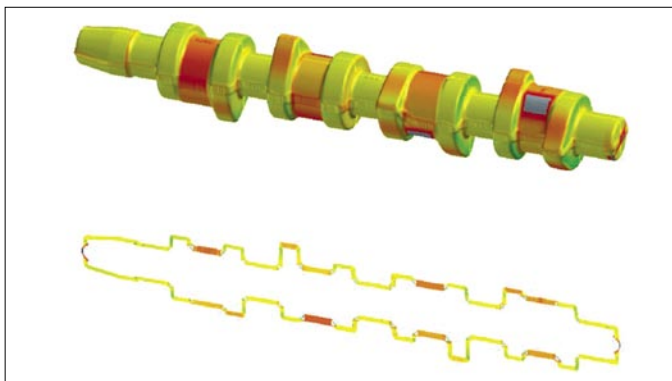


## 3. ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

A Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszék Felületdigitalizáló laboratóriumának ATOS és TRITOP mérőrendszerét a kutatásban és számos ipari probléma megoldásánál alkalmazzuk. A feladatok szerteágazók, az elsőminta darabok bemérésétől a CAD-modell generálásáig terjednek.

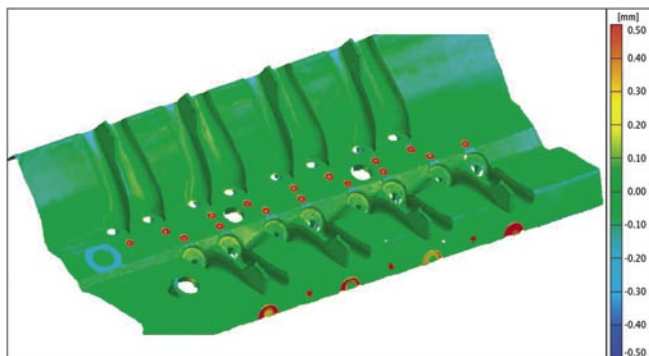
A prototípus alkatrészek mérésére jó példa a hengerfejgyártás elsőminta darabjának teljes körű elemzése (2. ábra). A megbízó nemcsak a végtermék bemérését, hanem a gyártóeszköz ellenőrzését is kérte. Az ATOS más mérőrendszerekkel szemben lehetőséget adott az öntéshez használt homok öntőmag méreteinek meghatározására. Számszerűsített mérési eredményre nem volt szükség. A minősítés a tényleges és a CAD-felületek összehasonlításával történt. A kapott eredmények alapján a gyártástechnológia megbízhatónak minősült.

A gyártásközi minőségellenőrzés területén a feladatok sokfélék. A nyers kovácsdarab vezérműtengely mérésének célja, a forgácsolási ráhagyás ellenőrzése volt (3. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a forgácsolási ráhagyások a megadott tűrésmezőn belül helyezkednek el. A közös referencia koordináta-rendszerben egymáshoz illesztett metszetek, a méréssel generált vezérműtengely-felületről és a kész alkatrész CAD-modellből készültek. A vizsgálat célja a mérési eredmények számszerűsítését ebben az esetben sem követelte meg.



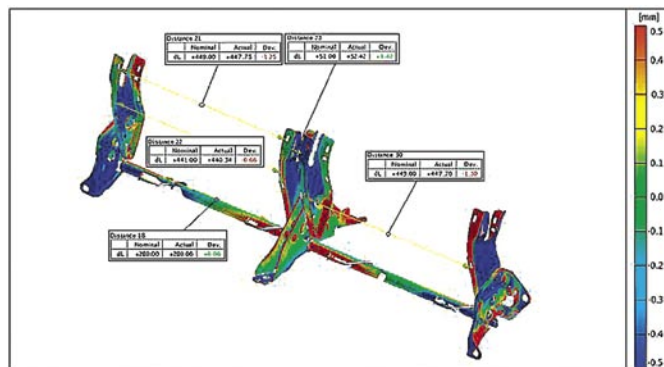
3. ábra: vezérműtengely-forgácsolási ráhagyás ellenőrzése

A 4. ábrán látható magszekerény az öntött gyártmányból észlelt tömítetlenségi probléma miatt került a laboratóriumba. Az elvégzett mérés egyértelmű szerszámkopást mutatott ki. A magszekerénykopás nagyobb öntőmagméretet és egyben kisebb öntvény-falvastagságot jelent. A kimért kopás magyarázatot adott a gyártmányból észlelt tömítetlenségi problémára. A mérési jegyzőkönyv alapján a szerszámot javították. A selejtszázalék jelentősen csökkent.



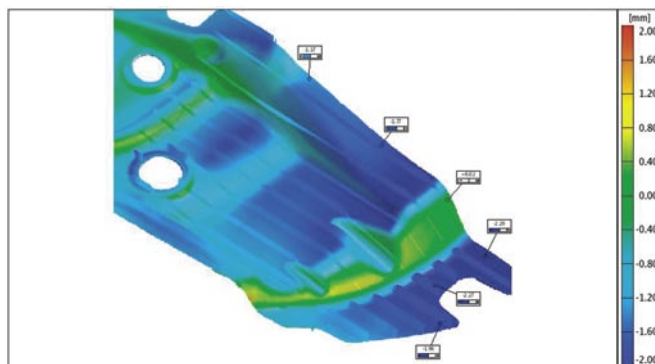
4. ábra: magszekerény mérési eredménye

A mérési eredmények felületszerű áttekintő megjelenítése helyett sok esetben a méretek pontos meghatározására van szükség. Jó példa erre az autóüléstartó váz furatpozícióinak ellenőrzése (5. ábra). A sajtolt lemezből készült támasztartó elemeken a furatok méretét és helyét határoztuk meg, és hasonlítottuk össze a műszaki dokumentációban megadott értékekkel. A vizsgálat eredményeként a gyártó a technológiát módosította, a gyártásközi ellenőrzést szigorította.



5. ábra: üléstartó méret- és pozíció-ellenőrzése

Hasonló jellegű feladat volt a módosított sajtolószerszámmal húzott karosszériaelem bemérése. A lemezalkatrész méretei a CAD-modelltől jelentősen eltértek (6. ábra). A számszerűsített mérési eredmények a 6. ábrán láthatók. A vizsgálat egyértelműen kimutatta, hogy az alakítószerszám a módosított formában gyártásra alkalmatlan.

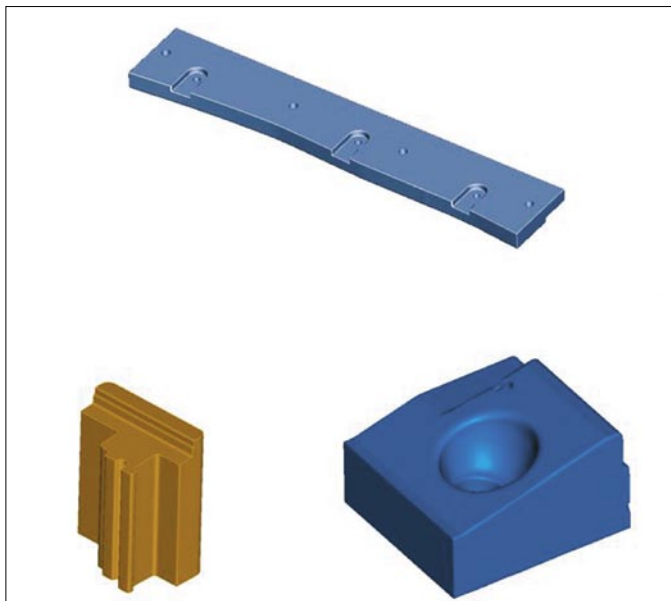


6. ábra: sajtoló karosszériaelem

CAD-modell generálására van szükség, ha többek között a szerzőgyártáshoz csak a mesterminta áll rendelkezésre, vagy az eredeti számítógépes műszaki dokumentáció nem áll rendelkezésre.

Az ATOS rendszer 2D-re visszavezethető modellek esetében – pl. a 7. ábrán szereplő lemezalakító szerszámok – egy általános CAD-szoftverrel kiegészülve önállóan is képes felületek generálására. Rendszerint a digitalizált háromszöghálóról származtatott metszetek IGES formátumban exportálhatók a gépészeti tervező rendszerbe, ahol extrudálással és testprimitívek alkalmazásával a végleges geometria elkészül.

Szabadformájú felületek az előbbi módszer szerint nem, vagy csak korlátozott mértékben generálhatók Reverse Engineering szoftver nélkül. A tanszék által használt GEOMAGIC STUDIO szoftver az exportált STL formátumú háromszöghálóra NURBS felületet illeszt. Ez a geometria már alkalmas megmunkálási feladatokra és számítógépes elemzési célokra is. A 8. ábrán szereplő karosszériaelem alakítás közben elszakadt.

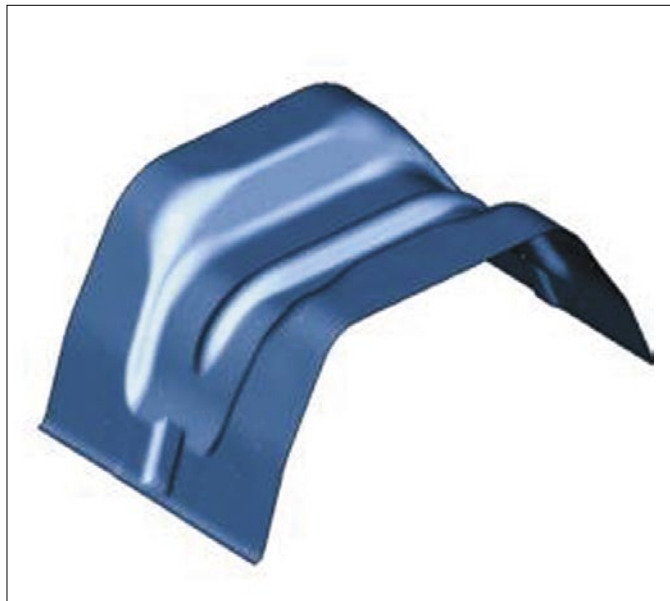


7. ábra: lemezalakító szerszámok CAD modelljei metszetek alapján

A szerszámról elkészítettük a CAD-geometriát, a mélyhúzási paramétereket változtatva az alakítást szimuláltuk, amíg a megfelelő beállításokkal mérethelyes és szakadásmentes alkatrészt gyárthattak.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ipari feladatok rövid ismertetésével célunk az volt, hogy felhívjuk a figyelmet a mérőrendszerek sokoldalú alkalmazhatóságára és a berendezésekkel végzett vizsgálatok hatékony eredményességére.



8. ábra: lemezalkatrész CAD modell elemzési célokra

#### Irodalom

- [1] GOM – ATOS Handbuch  
GOM, Braunschweig, 2005
- [2] Bob Cramblitt  
AEI Magazine, 2003



# Optische 3D-Messtechnik als Ersatz für konventionelle Weg- und Beschleunigungssensorik

**Dirk Behring,  
Oliver Erne,  
Mladen Gomercic**

Az alkatrészek hatékony fejlesztése napjainkban többnyire az azokon történő finomítások által realizálható megtakarításokon keresztül valósul meg. Ez egyaránt magába foglalja a komplex és látványos szimulációkat és azok kísérleti jellegű illesztését. Ennek során az optikai 3D mérés technika a nagyon gyors és egyszerű alkalmazásnak köszönhetően számos táv- és gyorsító érzékelőt képes pótolni, illetve lehetővé teszi új, eddig elképzelhetetlen mérési feladatok megoldását. A megkívánt mérési környezethez történő gyors igazodási képesség és az alkalmazható 3D mérési pozíciók nagy száma által egy precíz és hatékony szimulációs leképezés valósulhat meg. Az optikai mérés technika különlegessége az eredmények vizuális megjelenítésében rejlik, amely komplex mozgási folyamatok egyszerű, intuitív értékelését teszi lehetővé. A technológia számos elvégzett kísérlet konkrét példáján keresztül kerül bemutatásra.

## 1. EINLEITUNG

Unter heutigem Kostendruck bei der Entwicklung von Fahrzeugen sind innovative und kostensenkende Entwicklungsmethoden wichtig. Daher werden weitreichende Simulationen eingesetzt, um z.B. komplexe Bewegungs- und Verformungsvorgänge vorab zu simulieren und die Detailkonstruktionen zu optimieren, ohne teure Prototypen herstellen zu müssen. Das Ziel, die Entwicklungszeit zu verkürzen und die Anzahl der Entwicklungsiterationen zu minimieren steht hierbei im Vordergrund. Allerdings müssen Simulationen im Versuch abgeglichen werden und Belastungsgrenzen von Bauteilen verifiziert werden.

Hierzu werden aufwendige Messtechniken genutzt. Im Falle von Bewegungs- und Verformungsanalysen werden häufig Wegaufnehmer eingesetzt. Die Einfachheit dieser Sensorik beschränkt sich auf die eindimensionale Erfassung von Verschiebungen, die durch eventuell mehrdimensional auftretende Verschiebungen verfälscht werden können. Des Weiteren muss ein aufwendiges Referenzsystem meist in Form eines Referenzrahmens geschaffen werden, an welchem der Sensor montiert wird. Bei mehreren Sensoren besteht auch die Problematik der Verdrahtung, Erfassung der Koordinaten der Antastpunkte und der Ergebnispräsentation. Mehrdimensionale Wegmessungen beinhalten einen aufwendigen Kalibrierprozess, welcher vor Ort durchgeführt werden muss.

Falls dynamische Zustände vorliegen, können Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern ermittelt werden. Der Vorteil dieser Sensorik liegt im Verzicht des Referenzsystems, wobei die Genauigkeit der Wegmessung bei geringen Beschleunigungen aufgrund von Integrationsfehlern leidet. Zudem kann durch eine Drehung des Sensors bei komplexen Bewegungen, wie z.B. bei Crashapplikationen, die absolute Koordinate verfälscht werden, da sich das Sensorkoordinatensystem mitdreht, die Drehung aber nicht bekannt ist.

An dieser Stelle kann die optische Messtechnik Hilfe leisten. Die Koordinaten bzw. Positions- und Bewegungserfassung von Messpunkten mit Hilfe von Kameras kann die Messzeit verkürzen. Durch die Vereinfachung des Messaufbaus und den Verzicht von aufwendig gestalteten Referenzrahmen kann eine Vielzahl an Messpunkten sehr schnell erfasst werden. Dadurch wird einerseits eine Zeitersparnis erzielt, andererseits besteht auch die Möglichkeit, mit geringstem Aufwand mehr Messpunkte als unbedingt nötig zu erfassen. Dies führt somit zu mehr Informationen über das

Bauteil, welches potentielle Schwachstellen identifizieren kann bzw. dem Entwicklungsingenieur ein Plus an Informationen für weitere Änderungen verspricht.

## 2. OPTISCHE MESSMETHODEN

Im Folgenden sind zwei Messmethoden aufgeführt, die im industriellen Einsatz bei der Fahrzeugentwicklung genutzt werden. Grundsätzlich unterscheiden sich die Methoden in der Anwendung. Mit der Photogrammetrie können statische Applikationen bzw. quasistatische Verschiebungen und Deformationen ermittelt werden. Auf Basis des kalibrierten Stereokamera-Aufbaus können, abhängig von der Geschwindigkeit der eingesetzten Kameras, auch schnelle Bewegungen und dynamische Deformationen erfasst werden. Beide Methoden messen prinzipiell die Koordinaten von aufgeklebten Messmarken. Diese Messmarken bestehen aus einer dünnen Klebefolie mit einem definierten Messpunkt, die einfach am Objekt angebracht werden.

### 2.1 QUASISTATISCHE VERSUCHE

Für statische Applikationen wurde das mobile System TRITOP (Bild 1) genutzt, das auf der Photogrammetrie basiert. Die 3D-Koordinaten der aufgeklebten Messpunkte werden automatisch mit Hilfe von digitalen Bildern berechnet. In [1,2] sind das Prinzip



Bild 1 - Mobiles Photogrammetriesystem TRITOP

und der Ablauf detailliert beschrieben. Heutzutage werden Kameras mit 6-17M Pixel genutzt, wobei ein drahtloses Netzwerk (WLAN) zwischen Kamera und Laptop die Datenübertragung komfortabel und schnell gestaltet. Die Ergebnisausgabe erfolgt grafisch anhand von Vektoren auf Messbildern oder kann in Diagrammen bzw. als ASCII-Format ausgegeben werden.

## 2.2 DYNAMISCHE VERSUCHE

Im Fall von dynamischen Applikationen wurde das PONTOS-System (Bild 2) eingesetzt. Dieses System nutzt das Prinzip des kalibrierten Stereokamera-Aufbaus, um 3D-Koordinaten der aufgeklebten Messpunkte zu jedem Zeitpunkt zu bestimmen [3]. Die Berechnung der Koordinaten und Verschiebungen bzw. Objektdeformationen erfolgte automatisch in einer Offline-Auswertung. In den vorliegenden Applikationen wurde das PONTOS-System in Verbindung mit High-Speed-Kameras und getriggert LED-Beleuchtung eingesetzt. Hiermit können typischerweise Aufnahmefrequenzen bis zu 500 Bilder/s bei 1,3M Pixel Kameraauflösung bzw. höhere Frequenzen mit reduzierter Kameraauflösung erreicht werden. Die Problematik der kurzen Belichtungszeiten bei High-Speed-Aufnahmen, welche üblicherweise aufwendige Lichtanlagen erfordert, wurde hier



Bild 2 - PONTOS-System zur dynamischen Verschiebungs- und Deformationsanalyse

mit Hilfe der integrierten Beleuchtung und retroreflektierende Marken gelöst. Komplexe und dynamische Bewegungen und Verformungen wurden anhand einer Bildserie aufgenommen und können im Ergebnis auch als Video wiedergegeben werden. Zusätzlich steht hier die Ausgabe im ASCII-Format bzw. im Diagramm zur Verfügung.

## 3. APPLIKATIONEN

Die Anwendungen der oben beschriebenen Messsysteme sind im Folgenden an zwei Beispielen dargestellt. Die Versuche aus der Fahrzeugentwicklung wurden hier ebenfalls in quasistatische und dynamische Versuche gegliedert.

### 3.1 BAUTEILDEFORMATIONEN UNTER TEMPERATURBELASTUNG

Zur Ermittlung der Deformationen einer Autotür unter Temperatureinfluss wurde diese vorab mit ca. 700 selbstklebenden Messpunkten bestückt. Anschließend wurde die Tür ohne Verspannung auf einen Rahmen montiert und in einer Klimakammer

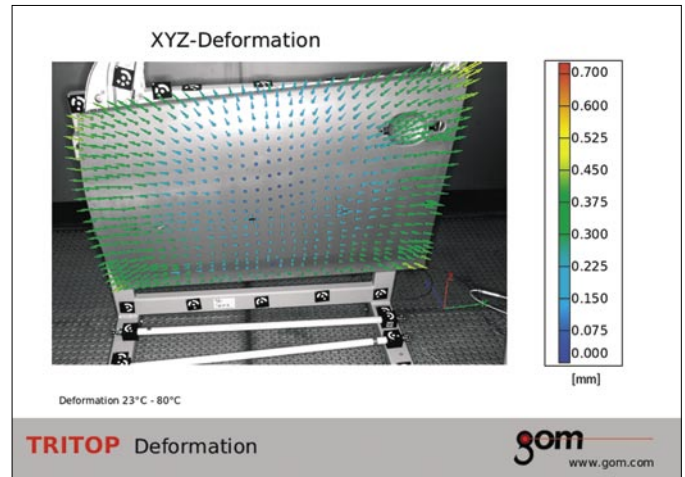


Bild 3 - Tür auf Rahmen in Klimakammer. Türdeformation bei 80°C

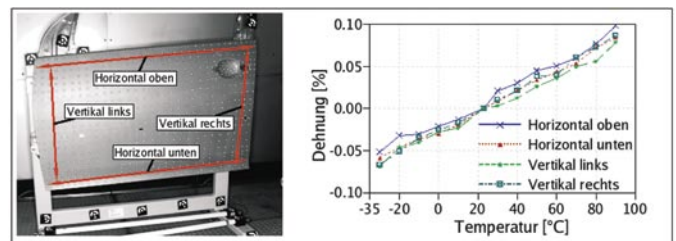


Bild 4 - Dehnungsverlauf über den gesamten Temperaturbereich für 4 ausgewählte Distanzen

Temperaturen von -30°C bis +90°C ausgesetzt. Bei spezifischen Temperaturen wurden photogrammetrische Aufnahmen der Messpunkte erstellt und diese im Anschluss an die Messungen berechnet. Bild 3 zeigt beispielhaft das 3D-Verschiebungsfeld für den Zustand bei 80°C mit Referenz zur Raumtemperatur. Die horizontale und vertikale Gesamtausdehnung der Tür über vier Distanzen ist in Bild 4 über den ganzen Temperaturbereich dargestellt.

### 3.2 BAUTEILVERHALTEN UNTER TRANSIENTEN BELASTUNGEN

Das mechanische Verhalten einer Autotür wurde während eines Türzuschlags gemessen. Hierzu wurden ca. 90 selbstklebende retroreflektierende Messmarken auf der Tür und auf umgebenden Bauteilen aufgebracht. Das PONTOS-System wurde vor der Tür

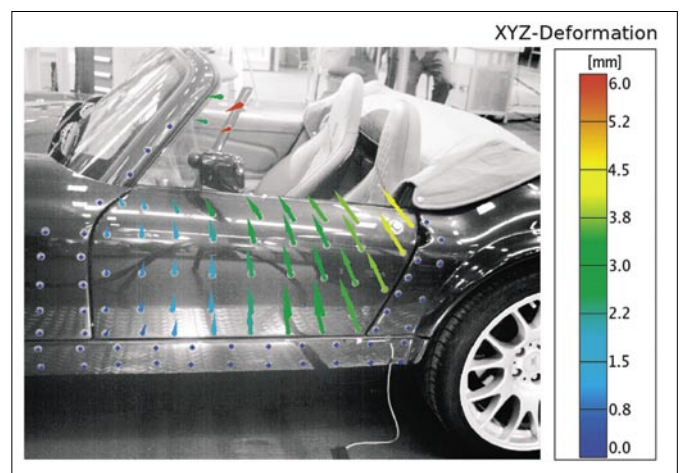


Bild 5 - Verschiebungsfeld optischer Messpunkte zum Zeitpunkt t=15ms während eines Türzuschlags

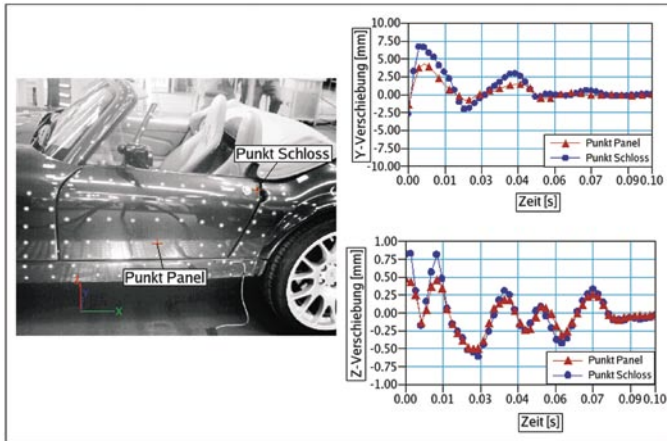


Bild 6 - Zeitlicher Verlauf von horizontalen und vertikalen Verschiebungen während eines Türzuschlags

ausgerichtet und eine Referenzaufnahme der geschlossenen Tür aufgenommen. In der Referenzbilddauswertung wurden Messmarken aus dem Schwellerbereich als dynamische Referenz definiert, um globale Bewegungen des Fahrzeugs zu kompensieren. Daraufhin wurde die Tür geöffnet und mit einer Schließgeschwindigkeit von 3m/s geschlossen. Die optische Messung wurde wenige Zentimeter vor dem Schließvorgang mit Hilfe einer am Schweller angebrachten Lichtschranke gestartet und Stereobilder mit einer Frequenz von 480Hz aufgenommen. In der anschließenden automatischen Auswertung der Bilder wurden die 3D-Verschiebungen Messpunkte und Deformationen der Tür bestimmt. In Bild 5 ist das Verschiebungsfeld aller Messpunkte zum Zeitpunkt  $t=15\text{ms}$  dargestellt. Der komplette zeitliche Verlauf des Überschwingens der Tür (y-Richtung) und der vertikalen Auslenkung (z-Richtung) ist an ausgewählten Messpunkten in Bild 6 dargestellt. Der komplette Versuchablauf der dynamischen Messung inklusive Aufbau, Auswertung und Visualisierung betrug weniger als 1h.

#### 4. DISKUSSION UND AUSBLICK

In den Applikationsbeispielen wurden praktische Einsätze der optischen Messtechnik in der Fahrzeugentwicklung aufgezeigt. Das Photogrammetriesystem TRITOP zur Messung quasistatischer Belastungsvorgänge ist ein mobil einzusetzendes System, welches eine einfache und schnelle Bestimmung der 3D-Koordinaten und Verschiebungen von vielen Messpunkten zulässt. Es wurde gezeigt, dass das System den Anforderungen industrieller Umgebungsbedingungen, wie z.B. dem Einsatz in der Klimakammer gerecht wird. Neben Verschiebungen an vielen Punkten wurde auch die relative Ausdehnung des Bauteils exemplarisch an

wenigen Messpunkten aufgezeigt. Die berührungslose Erfassung gewährleistet sehr geringe Einflüsse auf das Messobjekt, wodurch auch bei einer hohen Anzahl an Messstellen keine negativen Einwirkungen zu erwarten sind. Da die Messtechnik auf Basis von photogrammetrisch aufgenommenen Bildern beruht, ist die Darstellung der Ergebnisse mit Hilfe von Bildern einfach zu erstellen und sehr intuitiv zu erfassen.

Auch im Falle der dynamischen Messung ist ein klarer Zeitvorteil im Vergleich zu herkömmlichen Messtechniken zu erkennen. Hier zeigen sich ebenfalls die Vorzüge der geringen Einwirkungen auf das Messobjekt. Insbesondere ist auch bei empfindlichen Bauteilen in Verbindung mit hohen Beschleunigungen aufgrund des geringen Gewichts der Messpunkte ( $<0.1\text{g}$ ) mit keiner Verfälschung des Messergebnisses zu rechnen. Das intuitive Erfassen der Messergebnisse wird bei dynamischen Messungen durch Videos unterstützt, welche im Rahmen dieser Veröffentlichung hier leider nicht dargestellt werden können.

Ein limitierender Faktor, die Kameraaufnahmefrequenz, spielt bei der Fahrzeugentwicklung meist eine untergeordnete Rolle, da größere Bauteile in der Regel niedrigere Resonanzfrequenzen besitzen, die mit heutigen Kameras (typ. 500-1000Hz Aufnahmefrequenz) noch problemlos erfasst werden können. Des Weiteren besteht eine Einschränkung der Aufnahme von Messpunkten in der Zugänglichkeit und Sichtbarkeit. Während das quasistatisch messende System durch viele Einzelbilder auch komplexe Geometrien mit Hinterschneidungen erfassen kann, bedarf es bei dynamischen Vorgängen mehrerer Aufnahmesysteme, um Bauteile von mehreren Seiten gleichzeitig zu messen. Andererseits sind mit der optischen Messtechnik die erfassbaren Verschiebungswege nicht begrenzt, sofern sich die Messpunkte noch im sichtbaren Bereich befinden.

Es wurde gezeigt, dass mit Hilfe der optischen Messtechnik Versuchsaufbauten deutlich vereinfacht und mit geringerem Aufwand eine Vielzahl an Messstellen schnell und somit effizient erfasst werden können. Damit ist diese Messtechnik nicht nur aus technischen, sondern auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen oftmals eine ernste Alternative zur herkömmlichen Weg- und Beschleunigungssensorik.

#### Literatur

- [1] Behring, D.; Thesing, J.; Becker, H.; Zobel, R: Optical measuring techniques for the determination and visualization of 3D displacements in crash investigations. SAE, 2001
- [2] Bertil, E.: Use of optical measurement techniques in furniture design. Building design papers nr2-2005, Chalmers University, Sweden 2005
- [3] Gölling, B.; Erne, O.: Experimental investigations on periodic rolling of a delta wing flow at transonic Mach numbers. 14th Symposium of STAB 2004



# Kisszériás lemezalakító szerszámok kopásvizsgálata

**Dr. habil. Kardos Károly**  
**Dr. Kirchfeld Mária**  
**Joao Souza**

A cikk a Széchenyi István Egyetemen folyó műanyag alapú lemezalakító szerszámok kopásvizgálatáról számol be.

Ismerteti a munka célját, a vizsgálat körülményeit, részletesen tárgyalja a mérés és a kiértékelés módszerét. Elemzi a szerszámok, a műanyag tulajdonságaiból adódó acélszerszámhoz viszonyított eltérő viselkedését. Ezt végelelemes szimulációval támasztja alá. Bemutatja a DX56+ZF100 lemezanyag-minőséggel kapott eredményeket.

## 1. BEVEZETÉS

A járműgyártásban a lemezalakító technológiák kiemelkedő szerepet játszanak. A lemezalkatrészek viszonylag kis tömege megfelelő szilárdsággal és merevséggel párosul. Előállításuk nagymértékben automatizált gyártósorokon nagysorozatban gazdaságos.

A lemezalkatrészek előállítási költségének túlnyomó részét a szerszámköltségek teszik ki. A lemezalakító szerszámok zöme forgácsolt, acél- vagy szürkeöntvény, beüzemelésük igényes kézimunka. A hagyományos képlékeny lemezalakító szerszámok, a számítógéppel segített tervezés és gyártás ellenére még mindig nagyon drágák és az előállításuk időigényes.

Napjainkban, amikor a járműipar a piaci követelményekhez igazodva egyre nagyobb hangsúlyt fektet a közép- és kisszériás, valamint az egyéni luxuskövetelményeket kielégítő egyedi gyártmányokra, a képlékeny lemezalakító szerszámok gazdaságos gyárthatóságának vizsgálata is előtérbe kerül.

A közép- és kisszériás lemezalkatrészek gazdaságos előállítása

- kedvező árfekvésű szerszámanyagokkal,
- a szerszámok gyártási idejének lerövidítésével és
- a szerszámok gyors módosíthatóságával oldható meg.

A felsorolt követelmények szempontjából a műanyag lemezalakító szerszámok számításba jönnek. A műanyag szerszámok igénybevételtől függő élettartamára, valamint a szerszámokkal gyártott lemezalkatrészek minőségére (alakhűség, felületi minőség) vonatkozó irodalom azonban nagyon kevés és hiányos.

A Széchenyi István Egyetem Kooperációs Kutatóközpontjában folyó lemezalakító szerszámok kopásvizsgálatának célja, hogy behatárolja a műanyag alapú képlékeny lemezalakító szerszámanyagok alkalmazhatóságát a járműiparban használatos finomlemezanyagok esetében. A kísérleti program komplex, a kiválóan mélyhúzzható lemezanyagoktól kezdve egészen a nagyszilárdságú lemezminőségekig terjed.

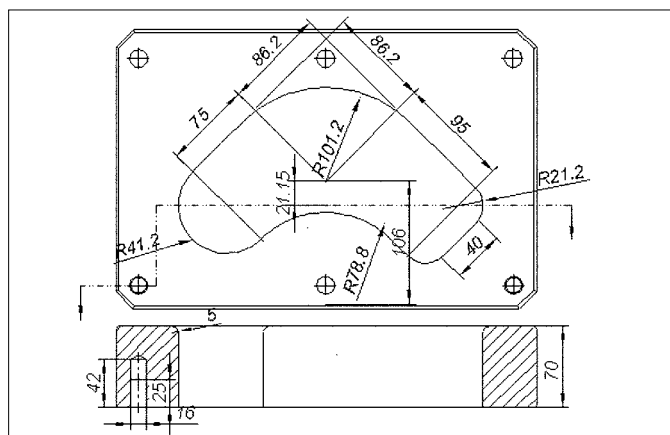
A cikkben az eddig elért eredményeinkről kívánunk beszámolni.

## 1. A VIZSGÁLAT ISMERTETÉSE

### 1.1. A vizsgálati körülmények

A lemezalakító szerszámok élettartama

- az alakított alkatrész geometriájától,
- a szerszám anyagától,
- az alakított lemezanyag minőségétől, vastagságától, felületminőségétől,
- az alakítási folyamat során kialakult tribológiai viszonyoktól, valamint
- a lehúzott darabszámtól függ.



1. ábra: a vizsgálati szerszám

| Igénybevétel  | R [mm] (névleges sugár) | Jelölés |
|---------------|-------------------------|---------|
| mélyhúzás     | 21,2                    | R1      |
| mélyhúzás     | 41,2                    | R2      |
| mélyhúzás     | 101,2                   | R3      |
| hajlítás      | 5,0                     | R4      |
| nyújtva-húzás | 78,8                    | R5      |

A vizsgálati szerszám geometriáját úgy alakítottuk ki, hogy az egyes szerszámtartományokban a lemez alakváltozása a különböző képlékeny alakító alaptermészetű mélyhúzás, falvékonyító mélyhúzás (nyújtva-húzás), illetve hajlítás hatására jöjjön létre. Továbbá a mélyhúzott részeket eltérő rádiusz nagysággal képeztük ki. Így módunkban állt az alakváltozás mértékének a szerszámkopásra gyakorolt hatását is vizsgálni.

Vizsgálatainkat a kereskedelmi forgalomban kapható műanyag alapú képlékeny alakító szerszámanyagokra, különböző töltőanyagokkal kombinált epoxigyanta alapú öntőgyantákra és öntött poliuretánra korlátoztuk.

Az EP-alapú öntött szerszámokat heterogén szerkezettel alakítottuk ki. A szerszámok felülete jó minőségű öntőgyantából, a szerszámtest pedig minden esetben olcsó minőségű kvarchomok-epoxigyanta keverékből készült. A poliuretán alapú szerszámokat blokkformában forgalmazott anyagból forgácsoltuk.

A műanyag képlékeny lemezalakító szerszámok alkalmazhatósági tartományát jól alakítható karosszérialemezek esetében a kiválóan mélyhúzzható DX56+ZF100 lemezanyag-minőséggel vizsgáltuk.

|                          | Anyagjellemzők                                               |            |           | $\sigma_H$ [MPa] |      | E[Mpa]    |      |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------|------|-----------|------|
|                          |                                                              |            |           | szavatolt        | mért | szavatolt | mért |
| Vizsgált szerszámanyagok | DEVCON WR epoxigyanta mátrix $ZrO_2 + MoS_2$                 | öntött     | fedőréteg | 51,6             | 43,4 | 1496      | 2144 |
|                          | DEVCON B epoxigyanta mátrix+Fe-por                           | öntött     | fedőréteg | 45,3             | 46,3 | 1421      | 1101 |
|                          | Pentagroup László György sajátkeverés epoxigyanta mátrix SiC | öntött     | fedőréteg | -                | 32,7 | -         | 2150 |
|                          | SICA G30 epoxigyanta mátrix kvarchomok                       | öntött     | alap      | 54               | 47,6 | 6830      | 6530 |
|                          | 0,28                                                         | forgácsolt | -         | 100              | 97,6 | 7800      | 7750 |

1. táblázat: vizsgált szerszámanyagok

A összehasonlító méréseket a Széchenyi István Egyetem Technológia Laboratóriumának 2000 kN-os hidraulikus prégépén végeztük. A lemezteríték ideális alakját és méretét a SZE anyagismeret és járműgyártási, valamint a BME gyártástechnológia tanszék munkatársainak közös fejlesztő munkájával készült PLANE szoftverrel határoztuk meg.[1] A PLANE-ben kapott terítékgeometria jó közelítéssel megegyezett az Autoform véges elemes programban szimulált terítékgeometriával.[2]

### 1.2. A kopás mértékének jellemzése, mérési módszer

A kopás mértékét a szerszámgeometria, pontosabban a legnagyobb igénybevételű szerszámtartomány, a húzóél geometriai jellemzőinek változásával írtuk le.

A különböző szerszámanyagok összehasonlíthatósága érdekében, a szerszámoknál a húzások számát a legnagyobb igénybevételű húzóéltartományban R1 ( $R = 20,0$  mm ívsugár, mélyhúzás) a húzóélrádiusz „ $\Delta R$ ”=1,5 mm-es növekményével határoltuk be.

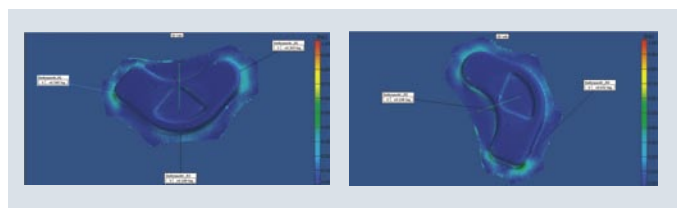
A húzóélkontúr változását, a húzóélsugár növekményét az egyes alakadó szerszámszegmensek legnagyobb igénybevételi helyein határoztuk meg. Ezek a vizsgálati szerszámmal alakított darabok mélyhúzással, nyújtva-húzással, hajlítással kialakított tartományainak a legnagyobb mértékben alakváltozott részével esnek egybe, melyeket jól szemléltet a vizsgálati szerszámmal készített darab alakváltozás-eloszlása.

|                  | 0°    | 45°   | 90°   |
|------------------|-------|-------|-------|
| $R_{p0,2}$ [MPa] | 141,2 | 154,1 | 151,6 |
| $R_m$ [MPa]      | 300,6 | 302,7 | 300,9 |
| $A_g$ [%]        | 26,1  | 25,1  | 24,9  |
| $A_{80}$ [%]     | 46,7  | 45,4  | 44,6  |
| n                | 0,260 | 0,248 | 0,254 |
| r                | 1,749 | 1,799 | 2,365 |

2. táblázat: DX56+ZF100 karosszéria-lemezanyag mechanikai jellemzői

A méréseket a SZE felületdigitalizáló laboratóriumának ATOS berendezésével végeztük.

A mérőrendszer adott felületről digitális felvételt készít. A felületen elhelyezett referenciapontok segítségével a leképezett felület 3D-s pontthalmazát referencia koordináta-rendszerben helyezi el. A mérőrendszer kiértékelő programjával, az azonosító koordináta-rendszerben elhelyezett felületről metszetek készíthetők. Az egymás utáni állapotot rögzítő képek, illetve a felületekről készített metszetek kontúrjai az azonosító koordináta-rendszerben egymáshoz illeszthetők.



2. ábra: a vizsgálati szerszámmal alakított darab alakváltozási mezője

| $\phi M$ összehasonlító alakváltozás |       |
|--------------------------------------|-------|
| R1 mélyhúzás                         | 0,54  |
| R2 mélyhúzás                         | 0,365 |
| R3 mélyhúzás                         | 0,199 |
| R4 hajlítás                          | 0,052 |
| R5 nyújtva-húzás                     | 0,108 |

Az alakváltozási mezőket az ARGUS (GOM) felületdigitalizáló mérőrendszerrel mértük a SZE Anyagvizsgáló Centrumában

Egymástól való eltérésük a mérőrendszer kiértékelő programjával meghatározható, számszerűsíthető. A kopásvizsgálatoknál végzett méréseknél a mérőrendszer ezen lehetőségét használtuk ki.

A prégép univerzális szerszámházába beépített szerszámról a vizsgálatot megelőző állapotban, majd előre meghatározott számú (a kopás kezdeti szakaszában, 10-10 illetve 25, állandósult szakaszában pedig 100-100) húzás után felvételt készítettünk. A húzóélkontúr változását az egymásra illesztett metszetkontúrok összehasonlításával követtük. A műanyag szerszámok az alakítás során, a hagyományos acélszerszámok rugalmassági modulusához viszonyított kis E-modulusuk miatt deformálódnak. A deformáció hatása következtében a húzóél ívkontúrja egzakt módon nem írható le kör alakzattal. Ezért a „húzóélsugár” növekedését, az egymásra illesztett kontúrvonalak közötti legnagyobb távolsággal jellemeztük. A húzóél deformációja miatt, ami egyben a húzóélen a lemez felfekvési felületének az eltolódását is jelenti, célszerűnek tartottuk a kopás mértékét adott metszetben a metszetkontúrhoz rendelt felület csökkenésével jellemezni. Adott metszetben a felületcsökkenést ProE-szoftverben határoztuk meg. A metszet-kontúrvonalak digitalizált 3D-s koordináta-pontjait ProE-be exportáltuk. A 3D-s tervezőprogramban a kontúrvonalhoz egyenes szakaszokkal behatárolt felületet rendeltünk. A felületek nagyságát a programban számítottuk. A felületcsökkenést az adott húzási ciklus után, adott metszet-kontúrvonalhoz rendelt felületek különbségeként adtuk meg.

### 1.3. A vizsgálati szerszám szimulációja

A vizsgálati szerszám szimulációjára, a REGINS program keretein belül az adott témában a Széchenyi István Egyetemmel együttműködő Stuttgarteri Egyetem Képlékenyalakítási Intézetében (IFU) került sor.

A lemezalakítási folyamatok hagyományos szimulációja adott alkatrész gyárthatóságáról ad megfelelő információt. Feltételezi, hogy a lemezalakító szerszám kialakítása a szokásos tervezési elvek szerint történik. Az aktív szerszámrészeket merev testként kezeli, az aktív szerszámfelületeket merev héjként modellezi. A szerszámanyag tulajdonságait a számítások során nem veszi figyelembe.

A lemezalakító acélszerszámoknál a szerszám deformációja a szimuláció eredménye szempontjából elhanyagolható. Műanyag szerszámoknál ez nem tehető meg. A műanyag kis rugalmassági modulusából adódóan a szerszám rugalmas alakváltozása viszonylagosan nagy. A matrica működő húzóéleinek deformációja befolyásolja az alkatrészminőséget. A nagyobb szerszámterhelések a szerszám fokozott kopásához, a szerszámanyag tönkremeneteléhez vezetnek.

A vizsgálati szerszámban ébredő feszültségek és a szerszám-deformáció számításához a matrica modellezése folytonos rugalmas elemként történt. A legnagyobb igénybevételű tartományban az aktív húzóélen a háló sűrűsége a tartomány egészéhez viszonyítva finomabb volt. A matrica előkészítése Ansys 10.0, a héjelemekkel modellezett aktív bélyegé és a lemezé Dynaform 5.2 programban készült.

A szimuláció a lemezalakítási folyamat, a matricán ható felületi nyomások, valamint a matrica deformációjának egyidejű számítását tette lehetővé. A 4. ábra a matrica aktív húzóéleének deformációját mutatja a nagy igénybevételű tartományban. A húzóél sugár látszólagos csökkenése csak fenntartással fogadható el. A nagymértékű torzulás miatt a kontúr, a



3. ábra: a vizsgálati szerszám véges elemes modellje

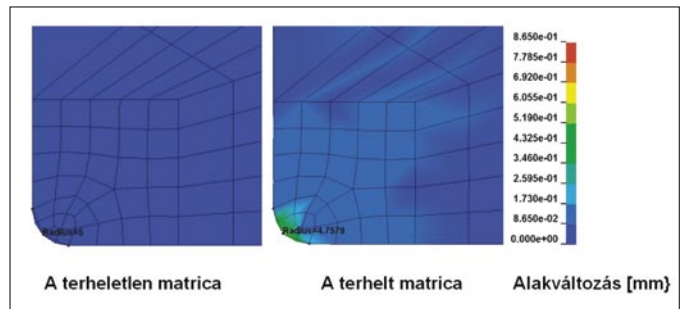
| Anyagjellemzők PUR matrica | Érték        |
|----------------------------|--------------|
| E-modulus                  | 7800 [MPa]   |
| Poisson-szám               | 0,34         |
| Sűrűség                    | 1,76 [g/cm³] |

3. táblázat: a végeleemes szimulációnál használt szerszámanyag-jellemzők

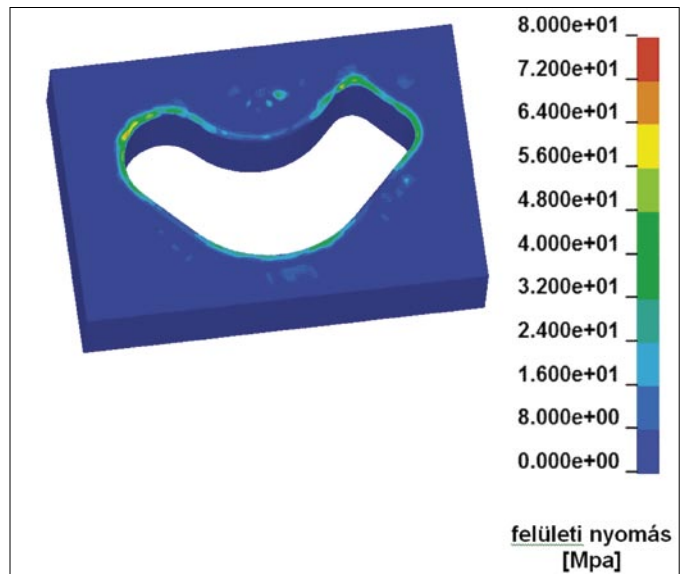
szerszámélkontúr már nem felel meg egy negyed körívnek. A felületi nyomáseloszlást a matricán az 5. ábra mutatja. A legnagyobb mértékű kopás a legnagyobb mértékben terhelt tartományokban várható.

### 2. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A különböző műanyagból készült szerszámok alaptechnológiákkal alakadó szegmenseinek kopását a húzóél „rádiusz-növekmé-



4. ábra: a húzóél metszet terheletlen és terhelt állapotban



5. ábra: a felületi nyomáseloszlás a matricán

nyével” ( $\Delta R$  [mm]), illetve adott metszetben a húzóélkontúrhoz rendelt, egységnyi hosszra vonatkoztatott területcsökkenéssel ( $\Delta T$  [%]) jellemeztük a húzások számának függvényében. A kopásgörbék jól illeszkednek a mérési pontokra. A regressziójuk általában 99% fölött van.

Az extrapolált görbék jól mutatják a kopási folyamatok mechanizmusát leíró három kopási szakaszt.

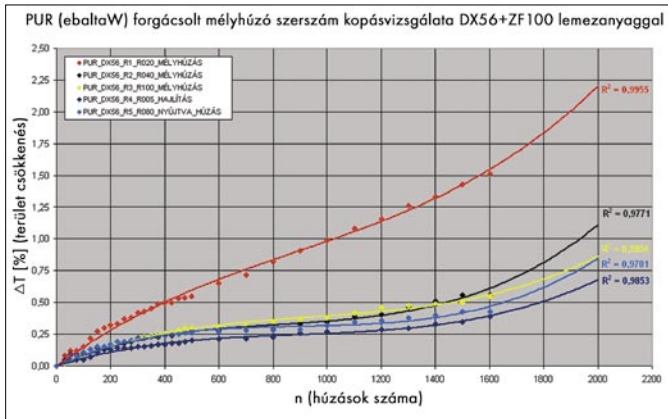
A vártak megfelelően a legintenzívebben igénybevett szerszámszegmens húzóél-(R1) kopása a legnagyobb mértékű. A mélyhúzott tartományok kopása a görbületív rádiuszának (R2, R3) növekedésével csökkent. A szerszámkopás mértéke a hajlítással és nyújtva-húzással alakító szegmensekben volt a legkisebb (R4, R5), (6–7. ábra).

A húzóélkontúrhoz rendelt területcsökkenés mint mérőszám valamennyi szerszámszegmensben, tehát a különböző alakítótechnológiákkal alakadó tartományokban, mindhárom szerszám esetében ugyanazt a tendenciát mutatja.

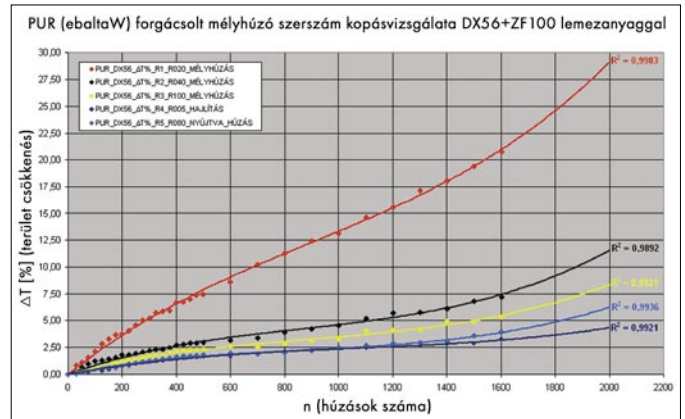
Ami a szerszámanyagok összehasonlítását illeti, az öntött epoxigyanta alapú vizsgálati szerszámok kopása a DX56+ZF100 karosszéria-lemezagyag alakításakor a legnagyobb igénybevételű tartományban (R1  $r=20,0$  mm; mélyhúzás) jóval kisebb mértékű volt, mint az öntött tömbből forgácsolt poliuretán alapúé (8. ábra).

Az Fe töltőanyagú epoxiöntőgyanta mutatkozott a leginkább kopásállóknak. A tömbből forgácsolt PUR-szerszámnál az R1 szerszámszegmensben 1000 húzás után az egységnyi hosszra vonatkoztatott területcsökkenés értéke  $\Delta T \sim 13\%$ , ezzel szemben az Fe töltőanyagú epoxigyanta kopása kisebb mint  $\Delta T=5\%$ .

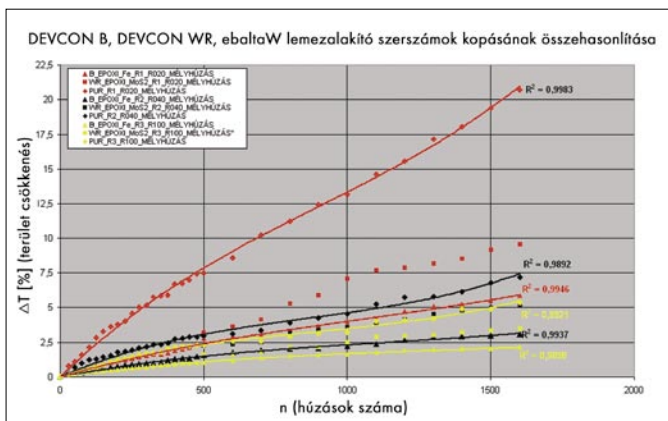




6. ábra: PUR lemezalakító szerszám kopásgörbéje



7. ábra: PUR lemezalakító szerszám kopásgörbéje



8. ábra: a különböző szerszámanyagok kopásának összehasonlítása mélyhúzó igénybevételnél

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddig elvégzett vizsgálatok általános érvényű megállapításokat nem tesznek lehetővé.

A DX56+ZF tűzi horganyzott, kiválóan mélyhúzható lemezanyagokkal kapott eredmények azt mutatják, hogy a lemezanyag nagymértékű alakításánál, kisszériás gyártáshoz az öntött epoxigyanta szerszámanyagok jöhetnek szóba.

#### Irodalom

- [1] Plane szoftver
- [2] AutoForm végelelemes szoftver
- [3] Ansys 10.0 végelelemes szoftver
- [4] Dynaform végelelemes szoftver
- [5] LS-Dyna multifunkcionális végelelemes szoftver

# Untersuchung der Topologie von Oberflächen nach dem Laserhonen

**Dr. Solecki Levente,  
Dr. Palásti-Kovács Béla,  
Kiss Barnabás**

A hónolás felületek befejező finommegmunkálási eljárása, ami a méret- és alakpontosság mellett kedvező siklási és kopási tulajdonságú felületi struktúrát hoz létre. Az egyenes, egyenletes mélységű eloszlású és adott szögben elhelyezkedő felületi barázdák segítik a kenőanyag megtapadását, helyet biztosítanak a belső égésű motor égésterében képződő koks- és kopadékszemcséknek, de a barázdák között marad hordozófelület is, ami a lassú kopás és a hosszú élettartam előfeltétele. A lézerhónolás azt a megmunkálási műveletsort jelenti, amikor a hagyományos hónolási technológiával megmunkált felületre szabályos mintázatban nagy teljesítményű lézersugárral a felületi barázdáknál nagyobb keresztmetszetű bemélyedéseket égetnek, majd a bemélyedések szélén keletkező revét egy végső hónolással lemunkálják. A cikk ismerteti a lézerhónolás technológiáját és ennek a technológiának az előnyeit a belső égésű motorok hengerének felületmegmunkálásánál. A megmunkált felület mikrogeometriájának érzékelésére áttekintjük a tús és lézeres metszettepintásos érzékelésmérés és az elektronmikroszkópos optikai mérés módszerét, valamint a felület közvetett érzékelésére a szilikonlenyomat lézeres letapogatásának lehetőségét. A közvetett érzékelés mérés technikai szempontból a több hibalehetőség miatt ugyan hátrányos, az az előnye, hogy a belső égésű motorok hengerfelületei a többi módszerrel általában csak roncsolásos módon tehetők vizsgálhatókká. Az érzékelt felületek mikrogeometriáját elemeztük mind hagyományos vonal, illetve felület menti érzékelési kiértékelési, mind a BMF-BGK-n kifejlesztett karcanalízis módszerével is.

## 1. DIE SCHMIERVERHÄLTNISSE ZWISCHEN DEM KOLBENRING UND DER ZYLINDEROBERFLÄCHE

Die Schmierverhältnisse ändern sich mit der Bewegung, und am oberen Totpunkt, wo die Kolbenbewegung ihre Richtung wechselt, können statt reiner Flüssigkeitsreibung auch Mischreibung sogar Grenzreibung auftreten. Bild 2. zeigt wie die Schmierfilmdicke und die Reibungszahl mit der Gleitgeschwindigkeit zusammenhängen, sowie die Bereiche der verschiedenen Schmierzustände (1. Grenzreibung, 2. Mischreibung, 3. elastohydrodynamische Schmierung, 4. hydrodynamische Vollschrmerung). Die Flüssigkeitsreibung wird begünstigt, wenn sich der Spalt zwischen den Reibflächen (Kolbenring und Zylinderlauffläche) verengt, wenn die Gleitflächen zueinander tangentielle Relativbewegung haben,

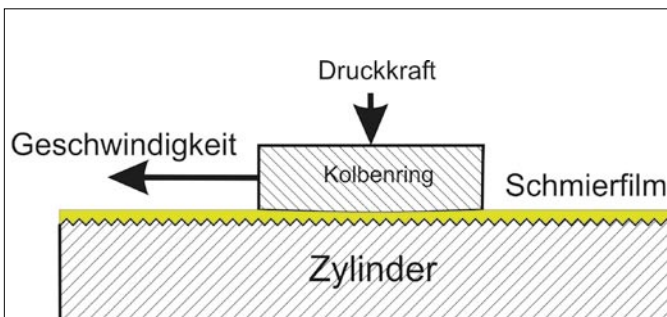


Bild 1 - tribologisches System: Zylinderlauffläche, Kolbenring, Schmiermittel

und wenn genügend Schmierstoff zwischen den Reibflächen vorhanden ist. Ist die Schmierung nicht ausreichend, zieht das Adhäsion (Reibung) und Abrasion (Verschleiß) nach sich. Durch die Topologie der Werkstückoberflächen kann die Bevorratung von Schmierstoff begünstigt werden und damit wird die Entstehung der Vollschrmerung erleichtert.

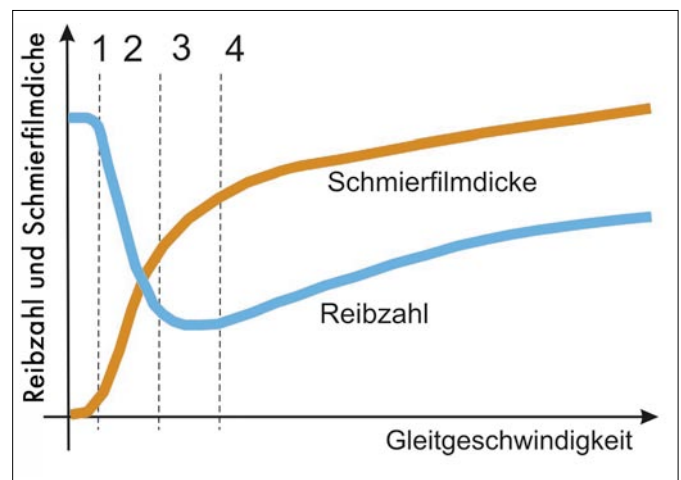


Bild 2 - Schmierfilmdicke und die Reibungszahl in Abhängigkeit der Gleitgeschwindigkeit in den verschiedenen Schmierzuständen

Das Ziel des Laserhonsens ist nicht die Herstellung einer glatten, sondern einer mikrostrukturierten Oberfläche. Das Bild 3. zeigt, dass bei mechanisch hergestellten Rillen der Kolbenring den Schmierstoff in den Rillen verdrängt. Bei lasergehonten Waben wird der Schmierstoff vom Kolbenring nicht verdrängt.

## 2. DIE HERSTELLUNG DER ZYLINDERLAUFLÄCHE

Im Motorblock ist die erste Bearbeitung der Zylinderbohrungen das Feinbohren (Bild 4.). Das gibt das Ausgangsmaß, die Ausgangsform und die Lage für die folgenden Bearbeitungen. Das Vorhonen (Bild 5.) dient zur Erhöhung der Form- und Maßgenauigkeit der Zylinderbohrung. Das Zwischenhonen (Bild 6.) erzeugt die gewünschte Grundstruktur (Kreuzmuster des Honens) der Oberfläche. Die Laserbearbeitung (Bild 7.) erzeugt die Schmieraschen und zum Schluss werden beim Fertighonen

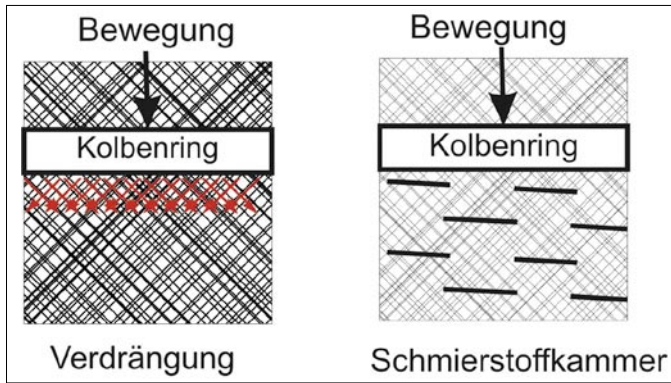


Bild 3 - Verdrängung der Schmiermittel in den Honnillen und die Schmiertaschen der Laserbearbeitung

(Bild 8.) die Schmiertaschen entgratet und wird mit Abtragung der steilsten Erhöhungen eine plateauartige Oberfläche mit hohem Traganteil geschaffen.

Die Laserbearbeitung bedeutet das Einbrennen der ca. 0,06 mm breiten, 0,02 mm tiefen Schmiertaschen in etwa 2,5 mm Länge. Die Schmiertaschen befinden sich regelmäßig an einer flachen Gewindelinie mit 5-6 Gewinden in der Höhe des obersten Kolbenringes am oberen Totpunkt. Die Länge der Schmiertaschen und die Strecke zwischen der Schmiertaschen ist so festgelegt, dass die Schmiertaschen untereinander versetzt liegen, aber mit kurzer Überlappung. Gleichzeitig werden zwei Zylinder des Vierzylindermotors mit je einem Laserkopf bearbeitet. Der rotierende Laserkopf wird mittig in den Zylinder eingeführt, und die Schmiertaschen werden mit einem pulsierenden Laserstrahl in die Oberfläche eingebrannt. Das pulsieren des Hochleistungslasers wird mit einem Ablenkspiegel erzeugt.

Das Einbrennen der Schmiertaschen hinterläßt scharfe Kanten und Spritzkörner am Rand (Bild 6.), die das nachfolgende Entgraten entfernt (Bild 7.).

### 3. MESSUNG DER OBERFLÄCHENTOPOGRAPHIE

Die Zylinderoberfläche wurde mit dem Elektronenmikroskop, und mit dem Rauheitsprüfgerät mittels Tastschnittverfahren und Laserabtastung erfasst. Alle diese Geräte können nicht direkt am Motorblock messen, sondern es müssen für die Rauheitsuntersuchungen Probestücke (ca. 30 mm x 50 mm) aus dem Motorblock geschnitten werden.

Mit dem Elektronenmikroskop kann die höchste Vergrößerung erreicht werden. Auf diese Weise können die kleinsten Details festgestellt werden. Die gewöhnliche und mit Laser gehonte Oberfläche zeigen das gleiche Grundmuster mit Kreuzschraffur (Bild 8).

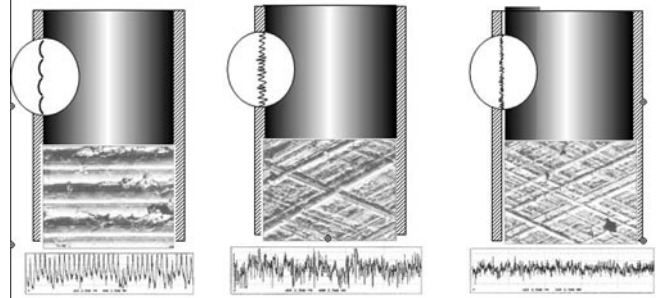


Bild 4 - Feinbohren des Zylinders

Bild 5 - Vorhonen des Zylinders

Bild 6 - Zwischenhonen

Es sind viele kleine Rillen, eine plateauartige Oberfläche, und die Spuren der Bearbeitung sind zu sehen. Es gibt einige tiefe Kratzer und Abriebkörner im  $\mu$ -Bereich (Bild 9).

Die Lasertasche ist relativ gleichmäßig breit und gerade, aber der Boden der Tasche ist sehr wechselhaft. Das zeigt, dass der Laserstrahl optisch genau geführt wird (Breite und Geradheit der Rille), aber die Ungleichmäßigkeit des Bodens der Rille entsteht dadurch, dass der Laserstrahl das inhomogene Material nicht gleich tief verdampfen kann (Bild 10).

Das Elektronenmikroskop gibt von der Oberfläche zweidimensionale und bildliche Informationen wieder, die zahlenmäßig schwer als Oberflächenparameter messbar sind. Die gewöhnliche Rauheitsmessung arbeitet mit dem Tastschnittverfahren, also mit einem Diamanttaster mit definiertem Spitzenradius. Der Taster wird auf der Oberfläche geführt, dazu rangepresst und zwangsläufig kratzt er selber die Oberfläche. Die steile Kante der Schmiertasche kann der Taster nicht folgen. Die Laserabtastung hat die gleiche Auflösung, aber hinterläßt keine Spuren auf der Oberfläche, und kann in schmale Spalten tiefer eindringen. Mit der Laserabtastung (CLI 2000 von Taylor Hobson) konnte der Grund der Schmiertaschen in 3D erfasst (Bild 11) werden. Auf dem

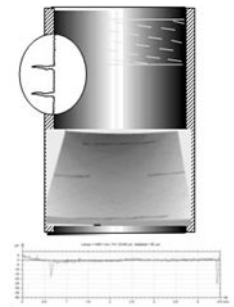


Bild 7 - Laserbrennung der Schmiertaschen

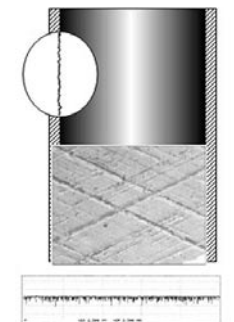


Bild 8 - Fertighonen, Entgraten

|         | gehont, glatt |            |            | gehont, rau |            |            | gehont, mit Nuten |            |            |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
|         | 1. Messung    | 2. Messung | 3. Messung | 1. Messung  | 2. Messung | 3. Messung | 1. Messung        | 2. Messung | 3. Messung |
| Ra [µm] | 0,26          | 0,30       | 0,31       | 0,48        | 0,48       | 0,48       | 0,51              | 0,41       | 0,41       |
| Rz [µm] | 2,44          | 2,89       | 2,72       | 3,33        | 3,33       | 3,39       | 8,16              | 5,36       | 5,86       |
| RSk [-] | 0,59          | -2,19      | -0,87      | -0,82       | -0,44      | -0,91      | -7,71             | -9,03      | -9,19      |
| RKu [-] | 4,86          | 14,03      | 4,79       | 3,73        | 3,21       | 4,46       | 72,04             | 104,1      | 105,9      |
| Pa [µm] | 0,28          | 0,33       | 0,35       | 0,53        | 0,50       | 0,51       | 0,58              | 0,53       | 0,54       |
| Pt [µm] | 3,31          | 4,85       | 4,48       | 4,08        | 4,54       | 4,69       | 19,83             | 23,91      | 18,22      |

Tabelle 6: Rauheitsparameter von 3 unterschiedlich gehonten (glatt, rau, mit Laser) Oberflächen



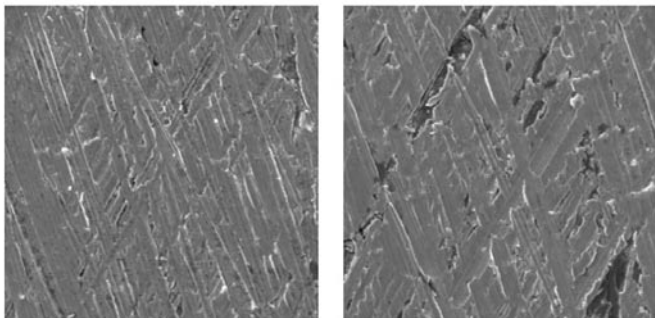


Bild 9 - gleiche Grundmuster der normal- und lasergehonten Zylinderlauffläche

Profilschnitt können die Rauheitsparameter der Grundstruktur und die Abmessungen (Breite und Tiefe) der Schmiertaschen gemessen werden. (Bild 12).

Die Laserabtastung hat noch den Vorteil, sie funktioniert auch auf Silikonabdrücken. Das Silikon ist zwar für den Laserstrahl nicht so gut sehbar wie eine Metalloberfläche, weil es nicht so gut reflektiert, aber das kann mit längerer Meßzeit einigermaßen ausgeglichen werden. Der Silikonabdruck überträgt die Grundstruktur, die Schmiertasche (als Erhöhungen) und sogar die Unebenheiten des Schmiertaschengrundes (Bild 13).

Die Messung auf Silikonabdrücken ist deswegen von Bedeutung, weil die anderen Methoden (Elektronenmikroskop und Tastschnittgerät) in dem Sinne nicht zerstörungsfreie Methoden sind, da dazu aus dem Motorblock ein Oberflächenstück ausgeschnitten werden muss.

#### 4. BEWERTUNG DER OBERFLÄCHENTOPOLOGIE

Die gewöhnlichen Rauheitsparameter basieren auf 2D Profilschnitten, die auf einer bestimmten (von der Rauheit abhängigen) Basislänge ausgewertet werden.

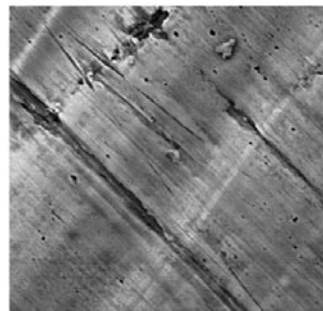


Bild 10 - Elektronenmikroskopbild der plateauartigen Oberfläche mit Honrillen und Abriebkörner

Glatte Flächen und raue Flächen bieten unterschiedliche Vorteile. Glatte Flächen verschleifen langsamer und raue Flächen besitzen die Zwischenräume für Schmiermittel, Abriebkörner und Koks. Bei lasergehonten Flächen werden beide Vorteile von glatten und raue Flächen vereint.

Die 3D Oberflächenparameter (die in 2D mit R werden in 3D mit S gekennzeichnet) enthalten alle Informationen

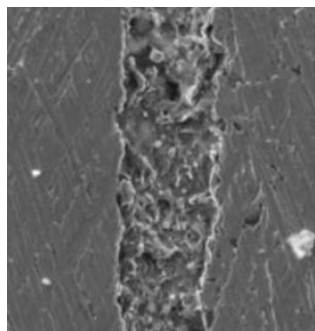
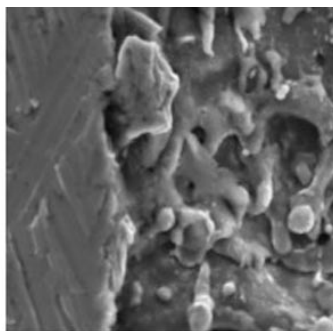


Bild 11 - ungleichmäßiger Boden der Schmiertasche



von den gesamten gemessenen Oberfläche, allerdings wird die ganze Oberfläche in der Regel grundsätzlich nicht erfasst.

Einige 3D Parameter:

Sa= 0,559 µm; Sq= 1,657 µm; Sz= 27,775 µm; SSk= -8,076; SKu= 76,544; Sdq= 8,119 °; Sbi= 2,034;

Taschenbreite: 50-70 µm

Mit der Rillenanalyse der 3D Oberfläche (entwickelt von BMF-BGK) können für das Honen sehr aussagekräftige Kennwerte gewonnen werden.

Bei der Rillenanalyse werden die Rillen in der 3D Punktwolke als Vertiefungen mit Länge und Breite und die dazugehörige 4 Endpunkte gekennzeichnet. Nach dem die Rillen so erfasst wurden, konnten die folgenden Statistiken berechnet werden:

Die Orientierung der Oberfläche zeigt die Häufigkeit der Winkelstellungen der Rillen (Bild 14). Es ist ersichtlich, dass die für das Honen charakteristische Rillen in Winkel 65° und 120° stehen, wobei die ersten 3-4-mal stärker sind. Das Achsverhältnis – d.h. Länge / Breite – der Rillen hat bei 4, dann bei 14 und bei 18 ein Maximum (Bild 15).

Der Spitzewinkel der Rillen läuft ähnlich dem Achsverhältnis ab (Bild 16). Der Spitzenradius der Rillen hat bei 0,499 das Maximum (Bild 17). Die beiden letzten Parameter charakterisieren den Grund der Rillen. Diese Statistiken können gut für Vergleiche für verschiedene Verschleißzustände der gehonten Oberflächen genutzt werden.

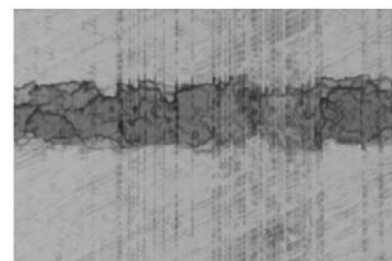


Bild 12 - Laserabtastung der Schmiertasche

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das Abtasten mit Nadel oder mit Laser liefert von der Oberflächenstruktur Höhen- und Tiefenwerte. Damit können

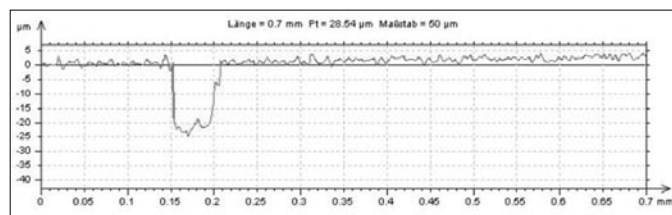


Bild 13 - Profilschnitt der Laserabtastung

von der Oberfläche 2D- oder 3D Parameter gewonnen werden. Die Topologie des Honens kann damit untersucht werden. Mit einer Rillenanalyse können weitere charakteristische Eigenschaften der Honbearbeitung aufgedeckt werden, so wie die Abweichungen bei Doppelrillen. Die Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop erreichen die höchste Auflösung. Damit

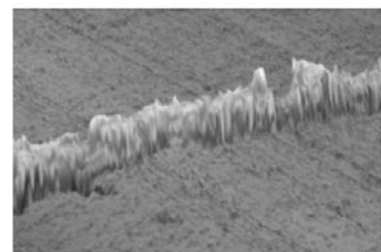


Bild 14 - Laserabtastung der Schmiertasche auf Silikonabdruck

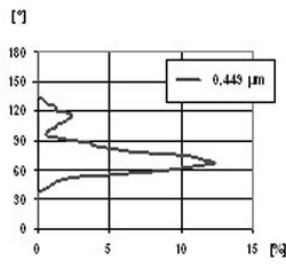


Bild 15 - Orientierung der Oberfläche

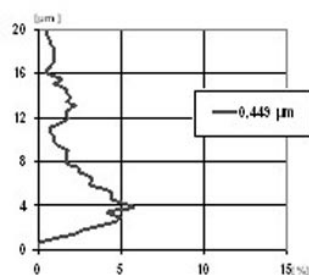


Bild 16 - Das Achsverhältnis der Rillen

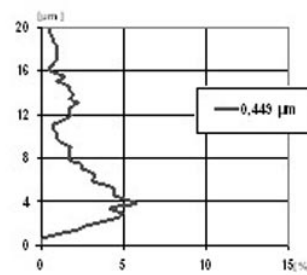


Bild 17 - Der Spitzewinkel der Rillen

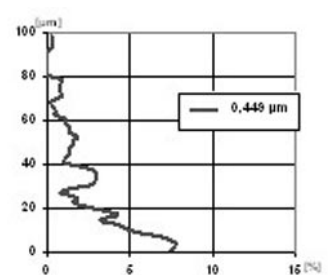


Bild 18 - Der Spitzenradius der Rillen

können kleinste Details der Oberflächentextur aufgedeckt werden, und effizient die Güte der Mikrostruktur bewertet werden.

Mit Abdrucknahme und Laserabtastung kann das Verschleißverhalten von gehonten Laufflächen von Zylindern untersucht werden, in dem der Neuzustand mit den später Aufgenommenen von der gleiche Oberflächenstelle verglichen wird.

Die vorherigen Messmethoden sind bei Zylinderlaufflächen nur bei Ausschnitten ausführbar. Die Abdrucknahme mit Silikon und die Laserabtastung der Silikonoberfläche ermöglicht eine zerstörungsfreie Messmöglichkeit, und so kann nach der Herstellung eine Aufnahme von der Oberfläche mit späteren Oberflächenzuständen verglichen werden und so kann das Verschleißverhalten geprüft werden.

## Literatur

- [1] Gehring GmbH. & Co. KG.: Laserstrukturierung – Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Oberflächen, [www.gehring.de](http://www.gehring.de)
- [2] Gerhard Haasis, Uwe-Peter Weigmann: Neues Honverfahren für umweltfreundliche Verbrennungsmotoren, Werkstatt und Betrieb, Hanser Verlag, Jahrgang 132 (1999) 3 S. 29-35
- [3] Palásti, K.B. Kovács K.: Műszaki felületek mikrotopo-gráfiájának jellemzése háromdimenziós paraméterekkel, Gépgyártástechnológia, 1999/8. 19–24. p.
- [4] Czifra, Á.; Váradi, K.; Palásti K., B.: Analysis of worn surfaces by a slicing method, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2004/9 p.: 193 – 198., Third International Tribology Conference, ITC 2004, Zielona Góra, August 28 – 31, 2004

# Regranulátum autóiipari alkalmazásának lehetősége

**Dogossy Gábor,  
Ódor Zoltán,  
Rácz Ilona,  
Andersen Endre**

Az egyre szigorodó környezetvédelmi törvények arra készítetik az autóiipari beszállítókat, hogy minél kevesebb hulladékkal termeljenek. A keletkezett selejt, illetve gyártási hulladék felhasználására ezért nagy igény van. Az újrahasznosított anyagoknak azonban ugyanúgy meg kell felelni azoknak a követelményeknek, mint az eredeti anyagoknak. A kutatásunk célja ezért az volt, hogy feltárjuk, a SAPU Bt. (Schafenacker Automotive Parts Ungarn) által alkalmazott ABS reciklálás utáni tulajdonságait, annak ismételt felhasználásának lehetőségét.

## FELHASZNÁLT ANYAGOK, BERENDEZÉSEK

A vizsgálatokhoz a LUSTRAN H701 jelű ABS-t használtuk, illetve a gyártás során keletkezett selejtek, illetve csatornamaradékok darálékát. A mérésekhez az 1. táblázat szerinti keverékeket használtuk. A gyártás előtt a különböző anyagokat 80 °C-on 3 órán át szárítottuk.

|   | Eredeti [m%] | Darálék [m%] |
|---|--------------|--------------|
| A | 100          | 0            |
| B | 70           | 30           |
| C | 50           | 50           |
| D | 0            | 100          |

1. táblázat: keverési arányok

A különböző keverékek mechanikai tulajdonságainak meghatározásához az MSZ EN ISO 3167-es szabvány szerinti próbatesteket gyártottunk, a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Anyagtudományi és Technológiai Intézetében található Engel ES 200H/80V/50HL-2 típusú fröccsöntőgéppel. A fröccsöntés során alkalmazott beállításokat a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A legyártott próbatesteket MSZ EN ISO 527 szerinti húzóvizsgálatnak, illetve MSZ EN ISO 179 szerinti Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatnak vetettük alá. A húzóvizsgálatokat 50 mm/perc szakítási sebességgel, 115 mm-es befogási hosszal hajtottuk végre. Az ütvehajlító vizsgálatoknál 5,4 J-os kalapácsot és 64 mm-es alátámasztási távolságot használtunk. A felvett görbékből a szakítószilárdságot, a hozzá tartozó fajlagos nyúlást, valamint a bemetszett Charpy-féle ütvehajlító szilárdságot határoztuk meg.

Az előkísérletek során alkalmazott anyagok közül az A, B, C jelű keverékből próbagyártást végeztünk, a BMW Mini bal visszapillantó tükrén. A SAPU telephelyén található KraussMaffei KM350-1900C2



1. ábra: a próbagyártás során alkalmazott fröccsöntőgép

típusú fröccsöntőgépen (1. ábra) a sorozatgyártásban alkalmazott beállításokat használtuk (3. táblázat).

A legyártott burkolatokat az MSZ EN ISO 6603 ajánlása szerinti ejtdárdás szilárdságvizsgálatnak vetettük alá annak jellemzésére, hogy folyamatos gyártás körülményei között mennyire változik a termék szilárdsága. A vizsgálatokat CEAST Fractovis berendezéssel szobahőmérsékleten végeztük 1,511 m magasságból leejtett 23,62 kg tömegű dárdával. A burkolatok azonos helyen történő megütésének biztosítása céljából töltött epoxigyantából befogószerszámot készítettünk, amit a berendezés alaplapjára rögzítettünk.

A burkolatokról 3 dimenziós felvételeket készítettünk, hogy megvizsgáljuk a különböző keverékek deformációját, az eredeti anyaghoz képest. A méréseket GOM ATOS IIe 400 típusú optikai 3D-digitalizáló rendszerrel végeztük, amely rendszer a trianguláció elvén működik (a vetítőegység különböző csíkmintákat vetít a mérendő tárgyra, amit két kamera figyel). A digitalizálás eredményeként a felületnek egy nagyfelbontású és a felületet teljesen

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Torlónyomás [bar]       | 5          |
| Fúvóka-hőmérséklet [°C] | 230        |
| Szerszám hőfok [°C]     | 70         |
| Szerszámzáró erő [kN]   | 485        |
| Befröccsöntés           | 1 profilos |
| Utónyomás               | 2 profilos |

2. táblázat: fröccsöntésbeállítások

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Torlónyomás [bar]       | 12         |
| Fúvóka-hőmérséklet [°C] | 260        |
| Szerszám hőfok [°C]     | 70         |
| Szerszámzáró erő [kN]   | 3500       |
| Befröccsöntés           | 5 profilos |
| Utónyomás               | 5 profilos |

3. táblázat: a próbagyártás fröccsöntési paraméterei

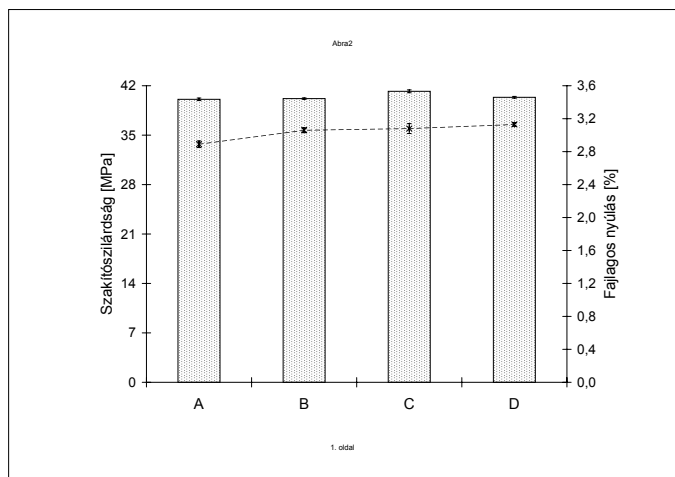


leíró háromszöghálója állt rendelkezésünkre. A kiértékelések során az eltéréseket a mérési pontok nagy sűrűsége miatt felületszerű színes plottok formájában jelenítettük meg.

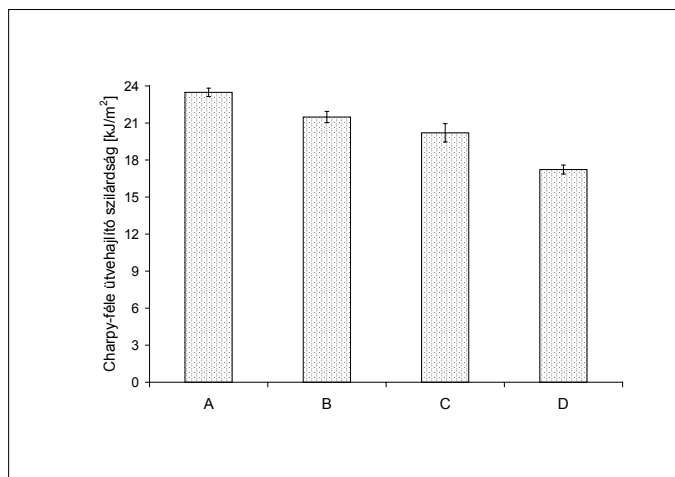
### EREDMÉNYEK

A különböző keverékekből előállított próbatestek gyártása során azonos fröccsöntési paramétereket alkalmaztunk. A húzóvizsgálatok eredményeit a 2. ábrában foglaltuk össze. A kapott eredmények alapján kijelenthetjük, hogy az alkalmazott ABS egyszeri reciklálása nem fejt ki minőségromlást erre a tulajdonságra. A visszapillantó tükrök azonban nem statikus igénybevételnek vannak kitéve, ezért a Charpy-vizsgálat eredményei fontosabbak számunkra (3. ábra). A tisztán reciklátumból készített próbatestek ütvehajlító szilárdsága 27%-kal csökkent az eredeti anyaghoz képest. Azok a keverékek, amelyek csak részben tartalmaztak darálékot (B és C jelű), ugyan kisebb mértékű tulajdonságromlást produkáltak (9 és 14%), viszont ezek is szignifikáns eltérések.

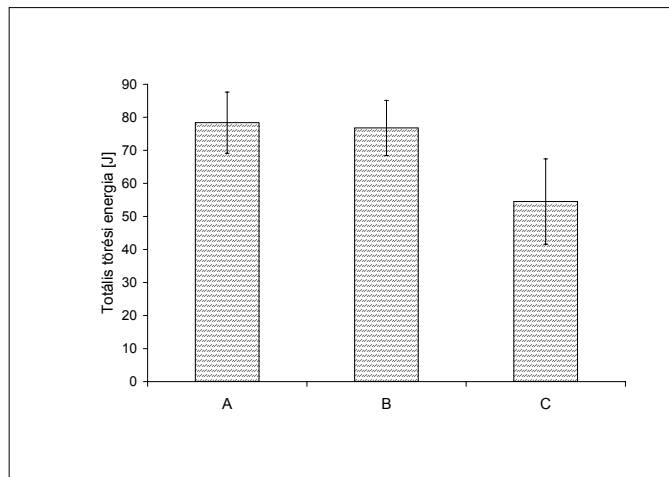
A próbatestek vizsgálatai után kijelenthető, hogy a 100 m% darálék alkalmazása a visszapillantótükör-gyártásnál nem kedvező, ezért a próbagyártást csak a 30 m%, illetve az 50 m% reciklátumot tartalmazó keveréken érdemes elvégezni. A próbagyártás során is azt tapasztaltuk, mint a labor körülmények között, azonos fröccsöntési paraméterek alkalmazásával is elfogadható minőségű termékek állíthatók elő. Azonban fontos megemlíteni, hogy az alkalmazott reciklátumok nem voltak regranolva, csak darálva,



2. ábra: húzóvizsgálat eredményei



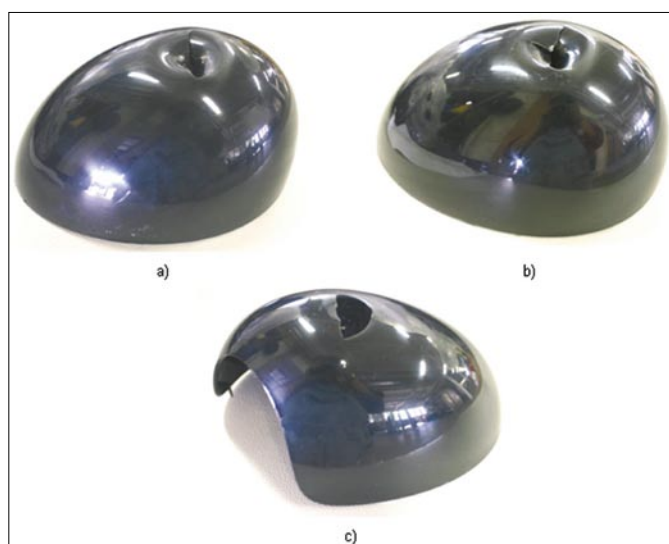
3. ábra: Charpy-féle ütvehajlító vizsgálat eredménye



4. ábra: ejtődárdás vizsgálat eredménye

amelynek hatására nagy lett a porfrakció, ami megnehezítette a pneumatikus szállítást a keverékeknek. A burkolatok ejtődárdás vizsgálatának eredményei az 4. ábrán láthatóak. A termék által elnyelt energia nagysága a kis arányú darálék esetén csak a szóráson belül változott. A nagyobb keverékarányú burkolatok esetén az elnyelt energia értéke már a szóráson túl csökkent, az átlagértéken vett eltérés megközelíti a 30%-ot. Ezen kívül a BMW Mini burkolatok tönkremeneteli képe (5. ábra) is megváltozott, a reciklátum arányának növelésével a fröccsöntött darabok egyre ridegebben törtek.

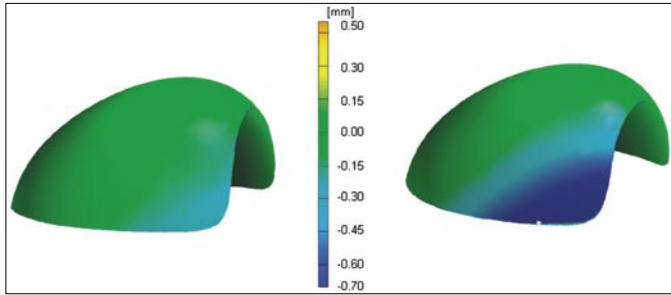
A burkolatokról készített 3 dimenziós felvételek által gyártott interferenciaképeket a 6. ábrán foglaltuk össze. Jól látszik a képeken, hogy minél nagyobb arányban keverünk darálékot az alapanyaghoz, annál jobban fog deformálódni a burkolatunk alsó része. Ez az eltérés ugyan nagynak tűnik, viszont még nem okoz szerelési problémát, ezért ettől még a termék jó.



5. ábra: a burkolatok töretfelülete az ejtődárdás vizsgálat után

### ÖSSZEFOGLALÁS

A munkánk során az ABS reciklálásának autóiipari alkalmazását tűztük ki célul. Ennek érdekében végeztünk egy méréssorozatot, labor körülmények között, hogy megállapítsuk, hogy a darálék különböző arányú bekeverése esetén (0, 30, 50, 100 m%) hogyan



6. ábra: a 3D optikai mérések eredményei

változnak az anyag kvázi-statisztikus, illetve dinamikus tulajdonságai. A mérések eredményeként megállapítottuk, hogy a szakító tulajdonság nem romlott jelentős mértékben, míg az ütvehajlító tulajdonságok a darálék arányának növelésével jelentősen romlottak. Ezután próbagyártást végeztünk, hogy megvizsgáljuk a kész termékek (BMW Mini visszapillantó tükör) viselkedését. Erre a célra az ejtődárdás vizsgálatot alkalmaztuk. A gyártás során nem változtattunk a technológián, bár a rendelkezésünkre álló darálék nagy portartalma miatt egy porleválasztó ciklon beépítése a rendszerbe mindenképpen előnyös lehetett volna. A próbatés-teken és a próbagyártás termékein elvégzett vizsgálatok után megállapítottuk, hogy az 50 m% darálékot tartalmazó keverék

már nem alkalmazható, mert olyan mértékben csökkentek a vizsgált tulajdonságok, amely már nem engedhető meg a sorozatgyártás során. Az optikai vizsgálatokkal az eredeti anyaghoz képest vizsgáltuk a keverékek vetemedését. Találtunk eltérést az eredeti anyagból gyártott termékhez képest, amely a darálék arányának növelésével nőtt, de ez nem jelentett problémát a termék szerelésénél.

#### Irodalom

- [1] European Directive 2000/53/EC – End-of-life vehicles
- [2] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J. „A polimertechnika alapjai”, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
- [3] Dunai A., Macskási L. „Műanyagok fröccsöntése”, Lexica Kft., Budapest, 2003
- [4] Czigány T., Czvikovszky T. „Polimerek és kompozitjaik járműipari alkalmazása – áttekintés”, Műanyag és Gumi, 43 (2006), 45–53.
- [5] Macskási L. „Műszaki fejlesztések a K 2004 idején III. Műanyagok autóiipari alkalmazása”, Műanyag és Gumi, 42 (2005), 114–119.
- [6] Behring D., Galanulis K., Gomercic M., Reitemeyer D. „Új mérési módszerek a Széchenyi István Egyetemen a lemezalakítás során fellépő alakváltozás optikai mérésére és az alakváltozás elemzésére”, „30 év Győrben” Jubileumi Tudományos Konferencia, Szekcióelőadások, Universitas–Győr Kht. Győr, 2004, 12–26.

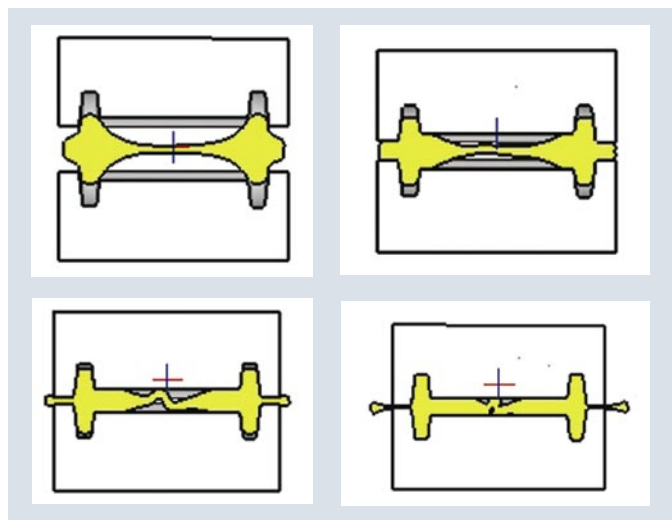
# Szálgyűrődési problémák vizsgálata térfogat-alakításnál végeselemes módszerrel

**Dr. Halbritter Ernő,  
Dr. Tisza Miklós,  
Tancsics Ferenc**

A cikk a koszorúagy többbregű kovácsolásánál fellépő szálgyűrődés okának vizsgálatát mutatja be a Deform végeselemes szoftver felhasználásával. A szálgyűrődés elkerülésére elsősorban a térfogathelyes előalakot javasolja. A térfogathelyes előalak meghatározására a szerzők a Pro Engineer szoftver optimalizáló modulját használták.

## A SZÁLGYŰRÖDÉS FOGALMA, KIMUTATÁSÁNAK LEHETŐSÉGE

A járműalkatrészek gyártásánál gyakran alkalmazott technológia a képlékeny alakítás, ami lehet meleg és hideg térfogatalakítás, valamint lemezalakítás. A képlékeny alakítással biztosítják az előgyártmány, esetenként a kész munkadarab alakját, méretét, valamint javítják a kiinduló anyag mechanikai tulajdonságát. A mechanikai tulajdonságok javításánál fontos szempont a jó szálelrendeződés. A képlékeny alakítás hatására



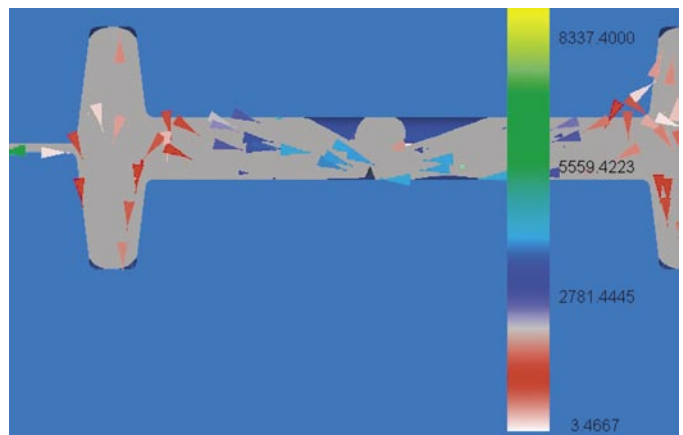
1. ábra: gyűrődés, rálapolás keletkezése súllyesztékes kovácsolásnál

kialakult szálelrendeződés követi az anyagáramlás irányát és jó esetben a munkadarab alakját. Fontos követelmény, hogy az igénybevétel iránya összhangban legyen a szálelrendeződéssel. A szálelrendeződés csiszolatkészítéssel, mélymaratással láthatóvá tehető [1.].

A szálgyűrődés tulajdonképpen anyagáramlási hiba. A 1. ábrason megfigyelhető a munkadarab kihajlása, begyűrődése, az ún. rálapolás keletkezése egy rosszul tervezett súllyesztékes kovácsolásnál.



2. ábra: a rálapolás jelzése a DEFORM szoftvernél



3. ábra: az anyagáramlási sebességek jelzése a DEFORM szoftvernél

A kész munkadarabon a rálapolás gyakran szabad szemmel is látható, a szálgyűrődés csak a szálelrendeződés kimutatásával érzékelhető. A szálgyűrődés okának megállapítására, de még inkább a szálgyűrődés megelőzésére jól alkalmazhatók a végeselemes szoftverek. A térfogatalakítás területén a legelterjedtebb célorientált végeselemes rendszerek a DEFORM, a SuperForge, illetve a QForm. A szoftverek a rálapolás helyét egyértelműen kimutatják, ha az a szimuláció során szintén fellép (2. ábra).

A végeselemes szoftvereknél az anyagáramlási hibára következtetni lehet az anyagáramlási sebesség iránya, nagysága alapján is (3. ábra).

## AZ ANYAGÁRAMLÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

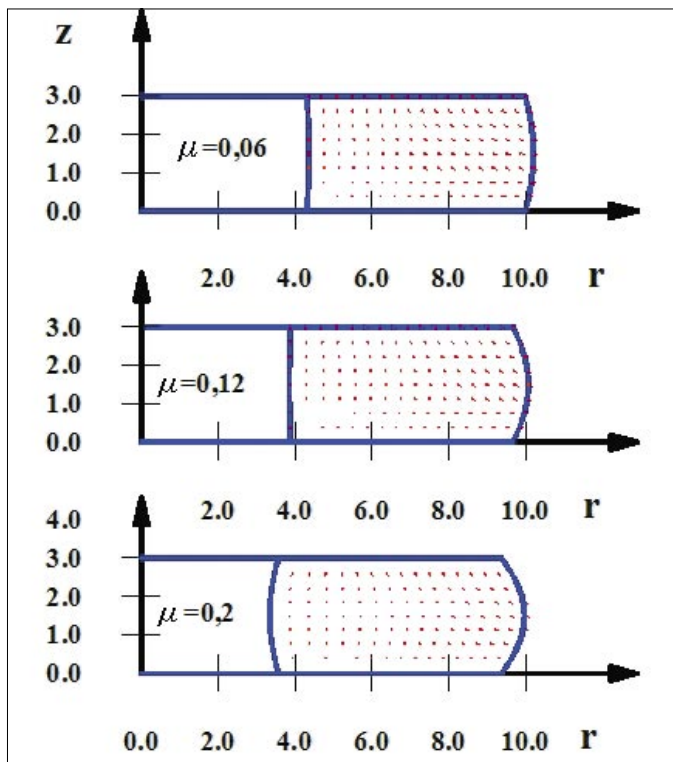
Az anyagáramlási hibák felismerésében, kiküszöbölésében hatékony segédeszköz lehet egy végeselemes szoftver, de csak akkor, ha a szoftver használója ismeri, illetve felismeri azokat a tényezőket, amelyek az anyagáramlást befolyásolják.

Az anyagáramlást befolyásoló tényezők:

- a szerszám geometriája,
- az alakítandó anyag tulajdonságai, térfogata, geometriája, hőeloszlása,
- a munkadarab és a szerszám érintkezésénél fellépő súrlódás,
- az alakító gép típusa, mozgásviszonya.

A képlékenyalakítási problémák végeselemes szimulációjánál alapvetően fontos a súrlódási tényező minél pontosabb ismerete. A térfogat-alakításnál a súrlódási tényezőt leggyakrabban a Burgdorf-féle gyűrűzömítő vizsgálattal határozzák meg [2.]. Zömítés közben a gyűrű külső átmérője mindig nő, de a belső átmérője a súrlódási tényező értékétől függően változik (4. ábra).





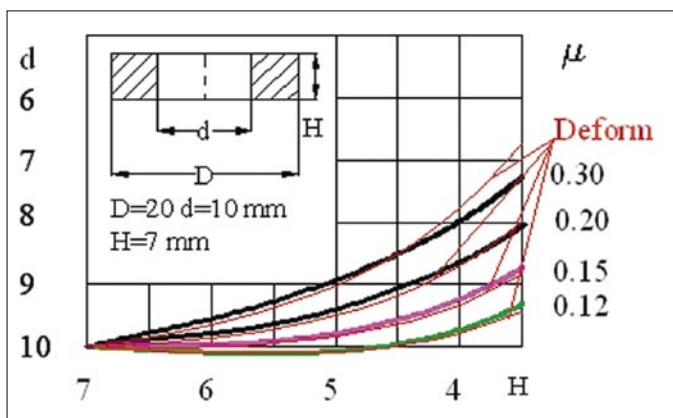
4. ábra: a zömített gyűrű képe különböző súrlódási tényező mellett [3.]  
Kiinduló geometria  $H = 5,3 \text{ mm}$ ,  $r = 4 \text{ mm}$ ,  $R = 8 \text{ mm}$

Ezen kapcsolatot felhasználva elméleti úton felvehető az ún. Burgdorf-féle görbesereg [2.]. A görbesereg felvételére a Széchenyi István Egyetem anyagismereti és járműgyártási tanszékén is készült egy számítógépes program AutoLISP programnyelven. A görbesereg felhasználásával a súrlódási tényező kísérleti úton meghatározható.

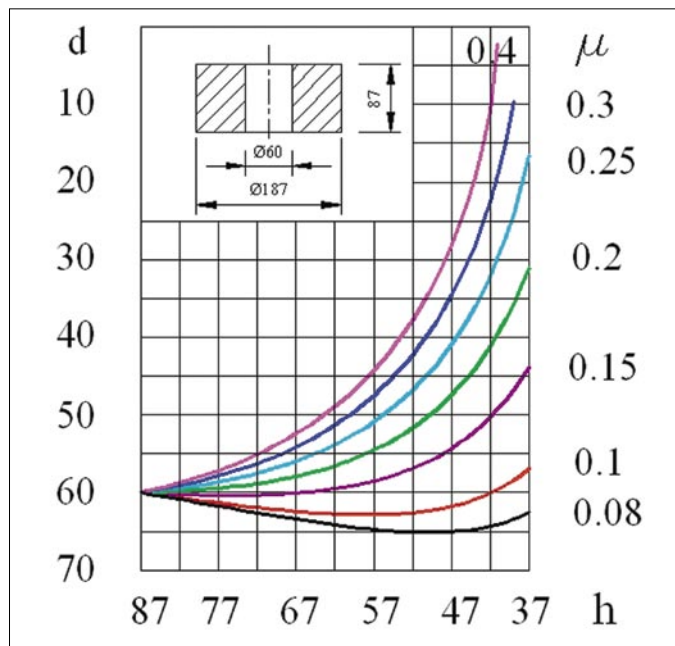
A gyűrűzömítő vizsgálat modellezhető végeselemes módszerrel is. A klasszikus Burgdorf-féle gyűrűzömítő vizsgálatok eredményeihez képest a Deform szoftverrel végzett végeselemes szimulációk némi eltérést mutatnak (5. ábra).

A gyűrűzömítő vizsgálat kiértékelését megbízhatóbbnak tartjuk a használatos végeselemes szoftverrel felvett görbesereg alapján. A végeselemes szoftverrel felvett görbesereg a Burgdorf-féle görbesereg kalibrált változatának fogható fel.

A 6. ábrán látható görbeseregek elsősorban hideg térfogatalakításnál használatosak. A szakirodalmi utalások szerint a gyűrűzömítést megalakításnál is alkalmazzák [4.].



5. ábra: a súrlódási tényező kiértékelése a Burgdorf-féle és a DEFORM szoftverrel felvett nomogrammal



6. ábra: a megalakításhoz felvett görbesereg

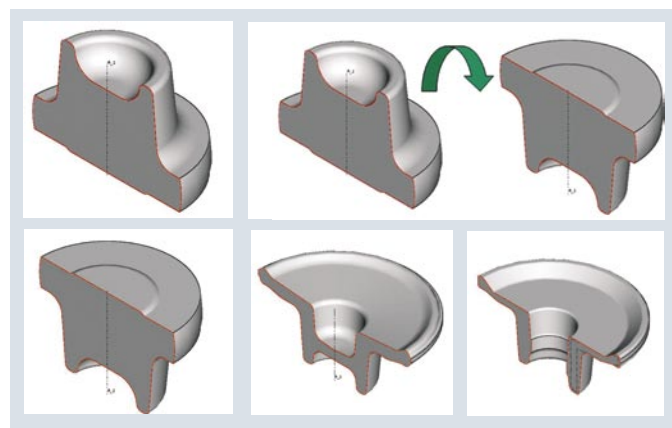
Munkánkban a Burgdorf-féle nomogramot olyan geometriájú gyűrűre vettük fel, amilyen a RÁBA Futómű Kft. kovácsüzemében mindig rendelkezésre áll (6. ábra). A kapott súrlódási tényező értéke  $\mu = 0,25$ .

#### A SZÁLGYŰRÖDÉS OKÁNAK FELTÁRÁSA EGY KONKRÉT PÉLDÁNÁL

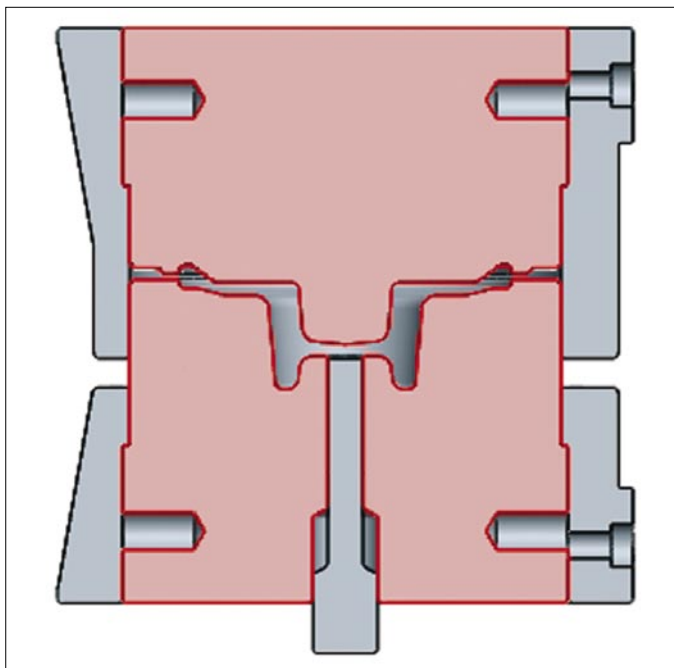
RÁBA Futómű Kft. kovácsüzemében a koszorúagy kovácsdarabját többbűregű kovácsolással állítják elő. A munkadarab kovácsolás közbeni alakját a 7. ábráson, a készre alakító szerszám metszeti képét a 8. ábrán figyelhetjük meg.

A kész kovácsdarab egyik oldalán szálgyűrődés, kismértékű rálapolás mutatható ki (9. ábra).

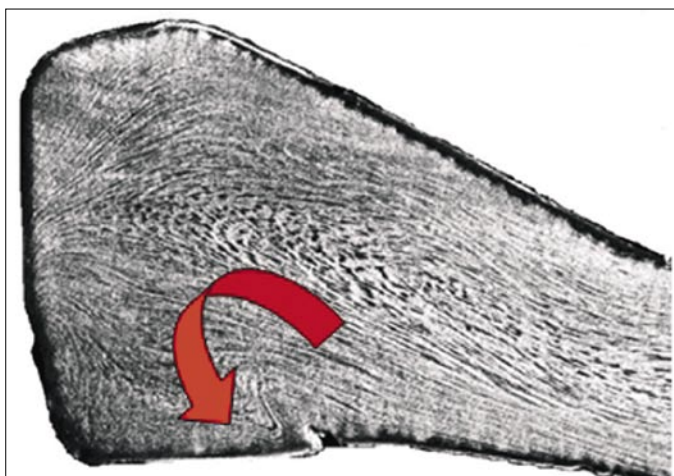
A végeselemes szimuláció felhasználásával kerestük a szálgyűrődés okát, a kiküszöbölésének lehetőségét. Megállapítható volt, hogy a mozgó szerszám alsó holtpontja előtt az anyag már mindenütt kitért az üreget, de az üregkitöltést követően még számottevő anyagfelesleg távozott kedvezőtlen anyagáramlással a sorjacsatornába. A kritikus rész felett az osztósík irányába intenzív anyagmozgás volt tapasztalható, a piros nyíllal jelölt



7. ábra: a koszorúagy közbelső darabjai



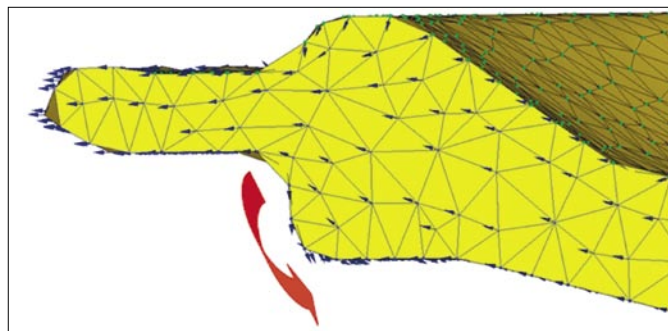
8. ábra: a készre alakítás szerszáma



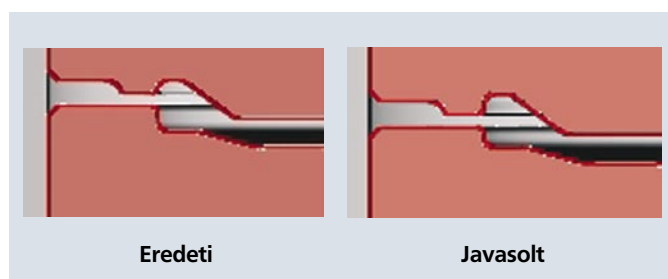
9. ábra: szálgyűrődés a koszoriagy egyik oldalán

rész (9. ábra) környékén pedig egy holttér, illetve örvényáram keletkezett. A holt tér kialakulásához szerintünk hozzájárult az osztósík kedvezőtlen elhelyezkedése (11. ábra), és vélhetően a kérdéses helyen a hiányos kenésből adódó jelentősebb súrlódás. Az anyag örvényáramlását támasztotta alá a csomópontokban felvett sebességvektorok képe (10. ábra).

Ismert, hogy az álló szerszám alakító felületénél az anyagáramlás csak érintőleges lehet. Ha az érintőleges nyílak a



10. ábra: az anyagáramlás sebességvektorai



11. ábra: Az osztósík módosítására tett javaslat

felület mentén irányt váltanak, akkor ott az anyag visszafelé áramlik. A 10. ábrán a piros nyíllal jelölt helyen figyelhető meg a visszaáramlás.

A anyagáramlási hibát elsősorban az előalak térfogatának csökkentésével kívántuk kiküszöbölni. Az előalak méreteinek módosítását úgy kellett megoldani, hogy egy kívánt térfogatú és alakú előalakot kapjunk. Ez csak több méret módosításával volt megoldható. A méretmódosításnál felhasználtuk a Pro Engineer szoftvert, illetve annak optimalizáló modulját. A végrehajtott módosítás egyszerre volt sikeres, anyag- és energiatakarékos, valamint szerszámkímélő.

#### Irodalom

- [1] Szabó Ödön: A vas- és acélipar gyakorlati metallográfiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.
- [2] BURGDORF, M.: Über die Ermittlung des Reibwertws für Verfahren der Massivumformung durch den Ringstauchversuch. Essen, Industrie -Anzeiger Nr. 5 1967.
- [3] Halbritter E.: Modeling of Material Flow During Upsetting Between Parallel Pressure Plates, Hungarian Electronic Journal of Sciences, Széchenyi István University of Applied Sciences, Győr, Hungary, 1999. pp.: <http://heja.szif.hu/MET/MET-990617-A/met990617a/met990617a.html>
- [4] József Danyi – Antal Nagymányai: Friction and Environmentally Friendly Lubrication in Forging Aluminium Parts , 14th International Scientific Conference CO\_MAT\_TECH 2006, Trnava 16 – 20. October 2006.

# Anwendung von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik im Fahrzeugbau

**Prof. Dr.-Ing. Egon Müller**

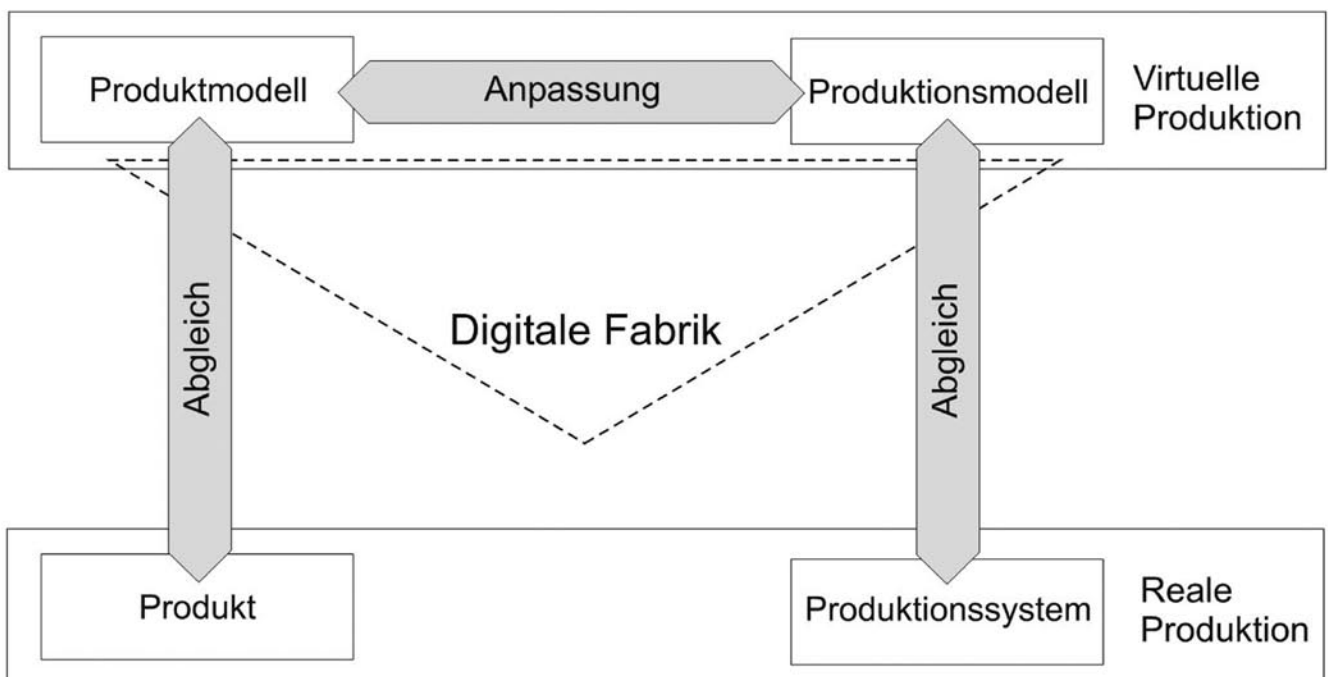
A digitális gyár egy üzem minden aspektusát leképezi egy digitális modellben, amelynek segítségével fejlesztők és tervezők különböző folyamatokat, rendszereket és variánsokat tudnak tervezni és szimulálni. Így lehetséges költséges valós modellek alkalmazása nélkül különböző termékek, folyamatok és létesítmények fejlesztése. Ennek során a digitális gyár közvetlenül a fejlesztéstől veszi át a virtuális prototípusokat, amelyek alapján megtervezi a termelőüzemet és annak adataival karcsú gyártási rendszereket szimulál. A termékek, folyamatok és rendszerek digitalizálása az értékteremtési folyamat során virtuális és valós síkon egyaránt új lehetőségeket nyújt a gazdaságos termék-, gyártásfolyamat- és üzemkonstrukcióban. A virtuális termelés részei a termelési folyamatok kísérleti tervezése és irányítása, valamint a létesítmények digitális modellje, amelyek a megfelelő információs és kommunikációs platformok segítségével problémafüggően összekapcsolhatóak. A gyár digitalizálásának koncepciója egy olyan, az értékteremtési folyamat és az életciklusszakaszok mentén kialakított, átjárható tervezési segédlet létrehozásának ötletén alapszik, amely a realitást jól megközelíti. A vizsgálatok során a termékfejlesztés, folyamattervezés és termelés eljárásai és feladatai állnak a középpontban.

## DIGITALE FABRIK ALS BINDEGLIED ZWISCHEN REALER UND VIRTUELLER PRODUKTION

Sie stützt sich auf Methoden und Werkzeuge, mit denen stets der Abgleich der Daten zwischen Produkt-/Produktionsmodell und dem geplanten bzw. realen Produkt- und Produktionsmodell hergestellt werden muss. Zur Umsetzung des Ansatzes einer digitalen Fabrik müssen für die verschiedenen Aufgaben Voraussetzungen in Form von Modellen und Werkzeugen geschaffen werden. Diese sind unter anderem eine durchgängige Datenbasis, ein CAD-Applikations- und Produktdatenmodell, die Produkt- und Prozessplanung, die Layoutplanung, die Linienausstattung, die Arbeitsplatzgestaltung, die Zeitwirtschaft, die Maschinenprogrammierung, das Monitoring, der Teleservice sowie die Visualisierung und Dokumentation.

Die in der digitalen Fabrik eingesetzten Methoden und Werkzeuge umfassen eine breite Palette, die sich sowohl auf alle Phasen des Lebenszyklus als auch auf alle objektbezogenen Strukturebenen bezieht.

Die Einführung der digitalen Fabrik basiert grundsätzlich auf der Auswahl übergreifender Standards und Produktionsprinzipien. Es sind zunächst für einzelne „Module“ oder Produktionsbereiche die Best-Practices zu identifizieren, die dann als verbindliche Standards in Datenbanken verwaltet und für alle Planungsbeteiligten bereitgestellt werden. Diese Module können bei Bedarf neu zusammengesetzt oder durch Änderungen einiger Parameter modifiziert werden. Wichtig ist, dass alle relevanten Daten nur einmal erfasst werden, um Aktualität, Vollständigkeit und Konsistenz zu gewährleisten. Anschließend ist ein entsprechendes Datenmanagementsystem





zu installieren, dass die Daten verwaltet und über ein Work-Flow-Management allen Beteiligten zur Verfügung stellt. Das Work-Flow-Management regelt Abstimmungen und Synchronisation zwischen den einzelnen Prozessen. Damit wird sichergestellt, dass jeder Mitarbeiter zur richtigen Zeit, im richtigen Kontext und in der richtigen Informationstiefe über entsprechende Daten verfügt.

Da die digitale Fabrik die Gestaltung und Organisation der Prozesse eines Unternehmens wesentlich beeinflusst, sind Umorganisationen unvermeidlich. Nicht einzelne Funktionen, sondern die Gestaltung eines durchgehenden Prozesses steht im Vordergrund. Erst in diesem Sinn funktionierende Geschäftsprozesse ermöglichen einen erfolgreichen Einsatz der digitalen Fabrik. In der Einführungsphase empfiehlt sich daher eine mehrstufige Projektorganisation mit einem leistungsfähigen interdisziplinären Team. Die begleitende Umsetzung durch einen anwendungsorientierten kompetenten Integrations- und Implementierungspartner ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Darüber hinaus sollte ein kontrollierter Vorgehensplan mit gesicherten Ressourcen selbstverständlich sein. Das Gesamtkonzept muss sowohl die Software- als auch die Hardwarekomponenten umfassen. Bei der Auswahl der Software ist es wichtig, auf eine bedarfsgerechte Auswahl zu

achten, die dennoch weitgehend aus Standard-Bausteinen besteht. Letztlich mitentscheidend sind darüber hinaus die Veränderungsbereitschaft und eine gewisse Vertrauenskultur aller mit der digitalen Fabrik befassten Ebenen.

Die digitale Fabrik wird mit dem virtuellen Produkt zu einem gemeinsamen Modell zusammenwachsen. Bereichsübergreifende Zusammenarbeit wird sich verstärken. Der neue Umgang mit den Daten, verursacht durch die vielen jetzt transparenten Informationen, wird die Arbeitsweisen erheblich verändern. So werden sich die Zulieferer stärker vernetzen. Eine steigende Zusammenarbeit mit Systemlieferanten ist z.Z. in der Automobilindustrie zu beobachten. Die Komplexität der Schnittstellengestaltung führt hier zu einer direkten Einbindung der Zulieferer. Generell ist dabei der Handlungsdruck umso größer, je enger der Lieferant mit dem Original Equipment Manufacturer (OEM) verbunden ist. Um das komplexe Modell einer Fabrik inklusive dessen interner Logik übertragen zu können, wird in absehbarer Zeit der Zulieferer unmittelbar auf die Originaldatenbanken des OEM zurückgreifen. Sofern Zulieferanten die Wahl haben und nicht zur Zusammenarbeit verpflichtet sind, gilt: Je komplexer das Produkt und je größer die Anlageninvestition, desto günstiger sind die Voraussetzungen für den Einstieg in die digitale Fabrik.

# A gyártásifolyamat-szimuláció alkalmazása a kisszériás termelésben gyakorlati példa alapján

**Dr. Kardos Károly**  
**Jósvai János**  
**Békési Zoltán**

A Széchenyi István Egyetem Kooperációs Kutatóközpontja együttműködik az ipar számos képviselőjével, köztük a győri Audi-gyárral is. Tudományos munkája során a kutatóközpont az ipar számára is hasznosítható eredményeket céloz meg. A hosszú ideje tartó gyümölcsöző együttműködés révén fogalmazódott meg a kisszériás karosszériaelem-gyártás elemzésének lehetősége.

A kutatómunka során gyakorlati és elméleti ismeretek összesítésének eredményeként jöhetett létre a bonyolult folyamatok leképezése szimulációs eljárás alkalmazásával. A gyártási folyamat ismertetését a szimulációs eljárások rövid bemutatása előzi meg.

## SZIMULÁCIÓS ALGORITMUS

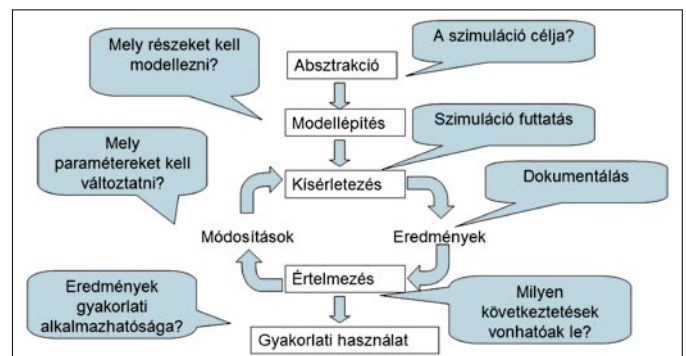
A szimuláció a kutatásban érintett területre az alábbiak szerint definiálható:

„A szimuláció egy rendszer leképezése dinamikus folyamataival együtt egy olyan modellben, amellyel kísérletezni lehet. Célja olyan eredmények szerzése, amelyek a valóságban felhasználhatóak.” (VDI 3633, Blatt 1, 1993)

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 többletköltséggel,
- hosszú időtartamú rendszerviselkedés analízisének rövid szimulációs idővel,
- speciális üzemi állapotok, mint például beüzemelés, hibastratégiák stb. vizsgálata.

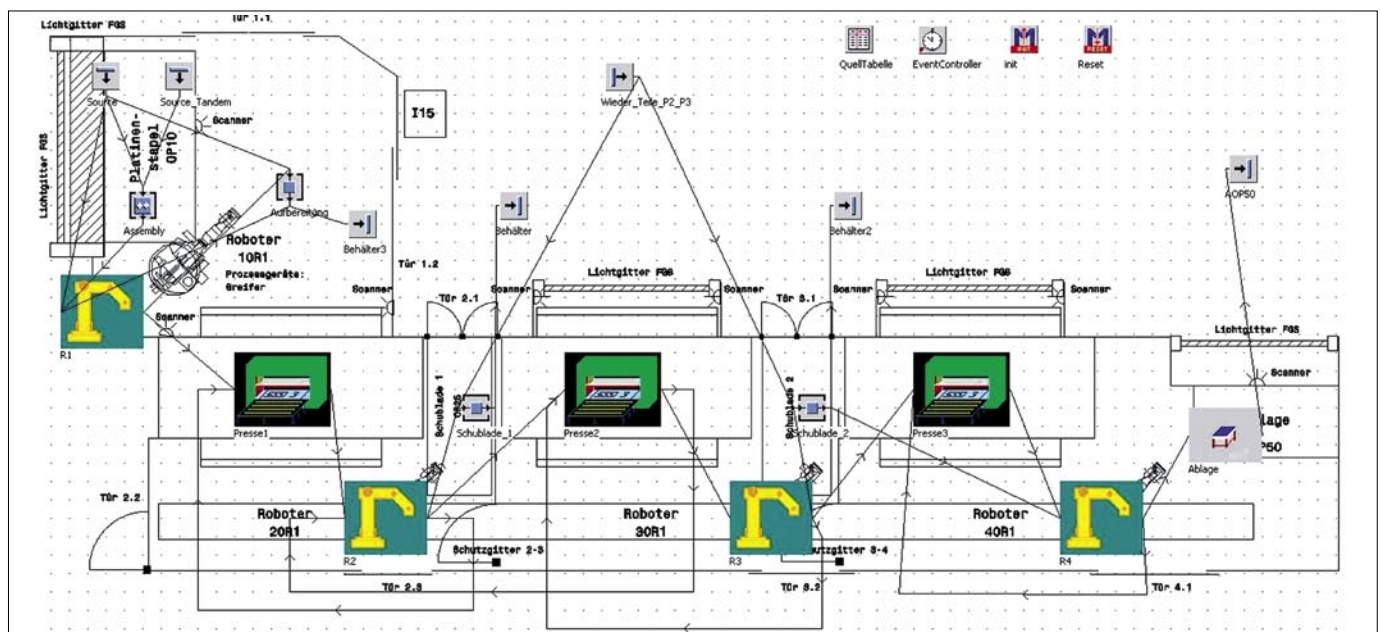
A szimulációs elemzések, vizsgálatok alapján az üzem, gyártási folyamatok tervezési paramétereinek megerősítését (pozitív esetben), módosítását érhetjük el.



1. ábra: szimulációs eljárás metodikája (UGS oktatási anyag alapján)

A vállalat beruházási kockázata csökkenthető, minimalizálható, a tervezett rendszer funkcionalitása értékelhető.

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,



2. ábra: a gyártósor vázlatos elrendezése

a gyors, de nem elegendően pontos modellalkotás esetén pedig kétségessé válhat a kívánt eredmények kalkulációja. A modell megépítése után iterációs eljárás keretében pontosíthatóak a modell beállításai és paraméterei. A futtatások eredményeként kapott értékek értelmezése, elemzése után a gyakorlatba ültethetjük a szimulációs eljárás során szerzett ismereteket.

#### ALKALMAZOTT PROGRAMCSOMAG

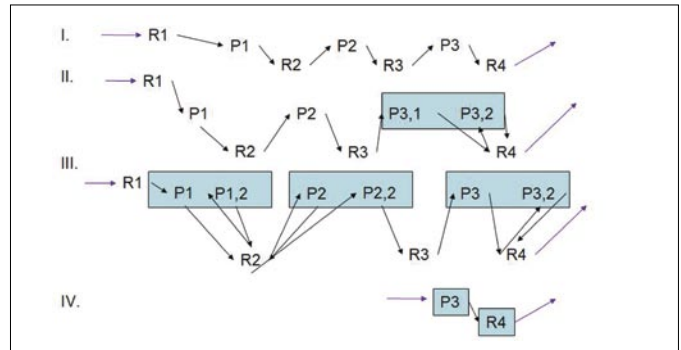
A feladat megoldása során a UGS Tecnomatix szoftvercsomagot alkalmaztuk, amely objektumorientált modellezési környezetet biztosít. A diszkrét sztochasztikus termelési folyamat elemzésére is alkalmas program a Széchenyi István Egyetem kutatóközpontjának 2006 második félévétől áll rendelkezésére. A programcsomag számos összetevőből áll. A FactoryCAD modulal üzemi elrendezéstervezés valósítható meg, a Plantsimulation anyagáramlási, anyagmozgatási folyamatok vizsgálatát teszi lehetővé, a RobCAD robotszimulációs eszköz, míg a Jack a humán ergonómiai tervezést segíti. A kutatási munka során a Plantsimulation részt használtuk.

#### ELEMZÉS

A gyártási folyamat elemzéséhez a három hidraulikus sajtólóból álló kisszeriás gyártósort kellett leképezni, melyet négy robot szolgál ki. A karosszériaelemeket speciálisan erre a célra tervezett megfogókarokkal mozgatják a robotok a sajtolók között. A gyártósor vázlatos elrendezését a 2. ábra mutatja.

A modellezés során számos gyártott karosszériaelemet vizsgáltunk meg, melyek szerszámainak viselkedése típusonként eltérő. Az egyes termékek átfutási időinek, termelési hibáinak, szakadási tulajdonságainak kiértékelése és szimulálása összetett feladat. A különböző alkatrészek többféle gyártási folyamat szerint haladhatnak végig a soron:

- 3 művelet esetén az első megoldással kész darabot kapunk (I)
- 4 művelet esetén, ha a szerszámok mérete és beépítési tulajdonságai megengedik, hogy két művelet egy sajtolási lökethez elvégezhető legyen (II)
- 4 művelet esetén, ha a 4. művelethez még egy szerszámfelfogás szükséges (I)+(IV)
- 6 művelet esetén, ha a szerszámok mérete és beépítési tulajdonságai megengedik, hogy két művelet egy préssel elvégezhető legyen (III).



3. ábra: gyártás folyamatok

Azon darabok esetén, amelyek műveletigénye meghaladja a három prés által egyszerre biztosítható műveletszámot, ott köztes tárolás szükséges, majd a termelési program függvényében újra visszakérülnek a sorra. A lehetséges gyártási folyamatokat a 3. ábra szemlélteti.

A szimulációs elemzés során a gyártásátfutási idők, valamint ezek lehetséges csökkentési módjai szerepeltek a középpontban. A szimuláció kimutatta, hogy a nyersanyag előkészítése, valamint az alkatrészek kedvező gyártási sorrendjével javulás érhető el a kisszeriás termelés esetén is. A kapacitás bővítésével, ha a darabszám indokolja (negyedik sajtológép beépítését kiszolgálórobotjával) az átfutási idő megközelítőleg 15%-kal csökkenthető.

#### KITEKINTÉS

A kutatási feladat során a további szerelési műveletek, valamint a ki-be szállítás paramétereit nem vettük figyelembe. További optimalizálási lehetőséget a genetikus algoritmus alkalmazásával történő vizsgálat jelentheti, mely egyúttal jelentős programozási és számítási teljesítményt és (gépídt) is igényel.

#### Irodalom

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



# Szenzorfüzió alapuló önkalibráló navigációs látórendszer

**Dr. Loványi István  
Egri Attila**

A gépjárművek passzív biztonságtechnikai rendszerei napjainkban már igen magas színvonalat képviselnek. A passzív technikák folytonos tökéletesítése mellett a hangsúly egyre inkább az aktív asszisztencia-rendszerek létrehozására tevődik át. Ezen alkalmazások az a-priori ismeretlennek feltételezett környezetről információt adó olyan érzékelőrendszereket és beágyazott intelligenciát feltételeznek, melyek valós időben döntenek el, hogy szükséges-e az adott pillanatban figyelmeztetés vagy beavatkozás. A járművekbe szerelt környezeti 6DOF geometriát mérő szenzorok (kamera, radar, LIDAR, ultrahang, GPS, giroszkóp, magnetométer, gyorsulásmérő stb.) által szolgáltatott információ felhasználhatóságának fontos előfeltétele e szenzorok együttes kalibrációja, illetve a jármű haladása során folytonos újrakalibrálásuk. A cikkben közölt munka célja a három szenzort (kamera, gyorsulásmérő, GPS) tartalmazó mérőrendszer folytonos önkalibrációjának megvalósítása a kidolgozott egységes szenzorplatform-koncepció keretében.

Passive safety systems of modern vehicles represent high technological level. Although development of this kind of passive tools demands continuous efforts, current research focuses more and more on the creation of active assistance systems which incorporate sensors generating information from the a-priori unknown environment and embed intelligence – such way making capable real-time decisions on necessary interaction and/or warning. Environmental data given by these 6 DOF geometry sensors (like camera, radar, LIDAR, ultrasound, GPS, gyroscope, magnetometer, accelerometer, etc.) can be used for automatic vehicle navigation in case of cross-calibration of this sensor set providing continuous re-calibration throughout the movement. The main goal of the work introduced in this article is to integrate three adequate sensors (CCD camera, accelerometer and GPS), providing continuous self-calibration of these tools during vehicle operation in the frame of a unified sensor fusion platform.

## 1. BEVEZETÉS

A trend nyilvánvaló: az intelligens érzékelők eljutottak már a közúti járművekbe is. Ezen rendszerek funkciója igen széles skálán mozog: az olyan egyszerű feladatokról, mint például annak jelzése, hogy a biztonsági öv nincs bekötve, egészen olyan komplex problémák megoldásáig, mint az automatikus vezetés. Drágább járművekben már napjainkban is egyre több olyan szenzor jelenik meg, mely a környezetről gyűjt információt. Navigációs jellegű alkalmazásokban a vizuális érzékelőknek kiemelt, de nem kizárólagos jelentőséget tulajdoníthatunk. Akár komplex kamerarendszerekre, akár az azokat esetleg kiegészítő tetszőleges egyszerűbb érzékelőkre gondolunk, az alábbi alapvető kérdésekre kell választ adnunk:

- Milyen mérési stratégiát alkalmazzunk, hogy a maximális hasznos adatot gyűjthessük be minimális idő alatt?
- Hogyan tudjuk a mérési hibákat, bizonytalanságokat becsülni és/vagy minimalizálni?
- Hogyan tudjuk az egyedi szenzorfejlesztési eredményeinket egy egységes szenzorplatform-koncepció szerint úgy integrálni, hogy az ezekre alapozott későbbi termékfejlesztési ráfordításokat (idő, költség) minimalizálhassuk?

Jelen cikk fókuszában a kamerás rendszerek önkalibrációjára vonatkozó fejlesztési eredményeink állnak. Ez a szenzorfajta szolgáltatja a legkomplexebb „képet” a környezetről, de megcélzott járműipari alkalmazásainkban nem hagyatkozhatunk egyedül a vizuális információra. Ezért röviden ismertetünk egy ugyancsak fejlesztés alatt álló intelligens szenzorfüziós keretrendszert is, melybe egyszerűen (gyorsan, költséghatékonyan) integrálhatóak további érzékelők is. Ez az egységes szenzorplatform hivatott a különböző,

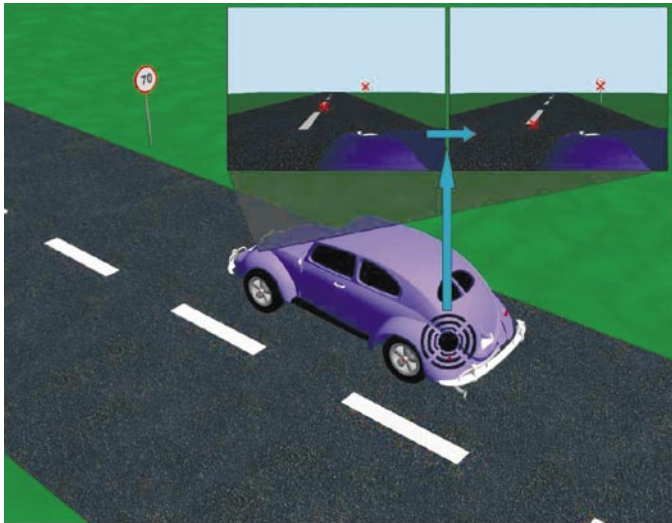
gyakran hibás, részleges vagy ellentmondó érzékelőadatokból a változó, a-priori ismeretlen (vagy részben ismeretlen) környezet megbízható modelljét valós időben generálni.

A szenzorok kalibrálása általában két paraméterhalmazra vonatkoztatható:

- belső paraméterek
- külső paraméterek.

A belső paraméterek meghatározását elég lehet akár csak egyszer, off-line módon elvégezni, míg a külső paramétereket közvetve vagy közvetlenül működés során folyamatosan módosítani kell. A külső paraméterek meghatározása az egyes szenzorok egymáshoz vagy egy globális koordináta-rendszerhez képest felvett helyzetének meghatározását jelenti. Egy járműben feltehető, hogy az egyes szenzorok relatív helyzete állandó, így az általuk szolgáltatott adatok közötti kapcsolat meghatározható. Így a jármű haladása során a gyorsulásmérő által szolgáltatott adatok segítségével becsülhető az egymást követő kameraképek közötti kapcsolat. Majd ennek a kapcsolatnak immár a kameraképek kiértékelésével történő pontosítása révén korrigálhatók a gyorsulásmérő pontatlan adatai. Ezzel a két szenzorral csak a jármű relatív mozgása határozható meg, ezért a globális adatot egy Ublox gyártmányú, Antaris 4-es típusú, NMEA 0813 protokollt megvalósító, Crossbow-rendszerhez illesztett GPS nyújtja [7]. Ez a szenzor nemcsak szabadban, de a biztosított laborkörülmények között is működőképes, így tesztautónk navigációs rendszerébe integrálható. Az elképzelt navigációs célú mérési elrendezésben felhasznált FreeScale gyártmányú 3 tengelyű MEMS gyorsulás-érzékelő, illetve a biztonságkritikus, drótnélküli, ad-hoc hálózati protokoll szintén saját fejlesztés, melyeket egy kapcsolódó másik cikkben ismertetünk [3].

Az egyre összetettebb feladatok a környezet minél pontosabb ismeretét igénylik. Mivel a környezetről nyerhető információ ugyancsak igen széles skálán mozog, különböző szenzorok együttes használata indokolt. A szenzorok által nyújtott információ valamilyen közös térben való ábrázolása azok együttes használhatóságának feltétele (szenzorfúzió), mely a szenzorok egyéni és együttes kalibrációját igényli. A következőkben leírt munka célja egy CCD-kamera, MEMS-gyorsulásmérő és GPS-szenzorokból álló 6 DOF-mérőrendszer jármű-lokalizációra történő felhasználásának megvalósítása. Ez a következő szignifikáns részfeladatok megoldását jelentette 2006-ban:



1. ábra: a rendszer működésének sémája

- belső paraméterek off-line kalibrálása,
- külső paraméterek folyamatos önkalibrálása,
- egymást követő kameraképeken jellegzetes „álló” pontok keresése,
- laboratóriumi tesztkörnyezet létrehozása.

Az általunk elképzelt navigációs rendszer működése röviden a következő algoritmikus lépésekre bontható:

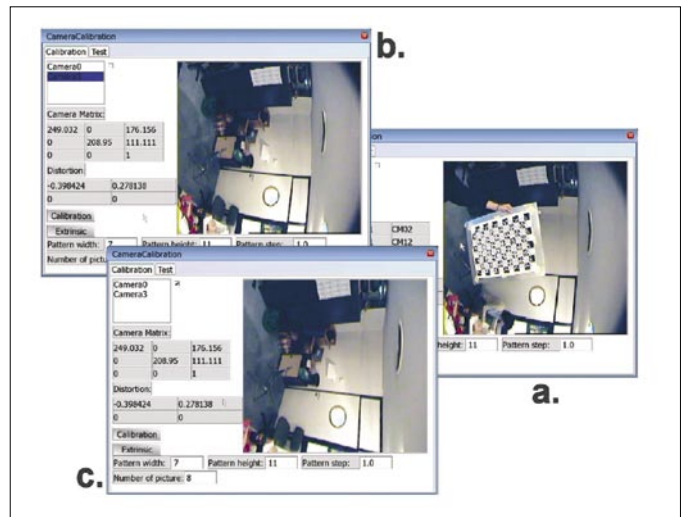
1. off-line belső paraméterkalibrálás,
2. kamera, gyorsulásmérő külső paramétereinek meghatározása egy közös 3D koordináta-rendszerhez viszonyítva
3. kameraképen jellegzetes pontok keresése és azok képsíkbeli 2D pozíciójának meghatározása,
4. gyorsulásmérésből származtatott 3D adatok alapján jellegzetes pontok új képsíkbeli 2D pozíciójának becslése (keresési tér csökkentése),
5. 3D adatok pontosítása, jellegzetes pontok pozíciójának kameraképek alapján történő számításával,
6. GPS és relatív elmozdulás alapján a jármű új abszolút 3D helyzetének számítása, vissza a 3. pontba.

A rendszer sematikus működési vázlata az 1. ábrán látható. A kamera által látott, egymást követő képek és az azokon megtalált lényegesnek ítélt pontok közti kapcsolatot a gyorsulásmérő adataival becsüljük, majd az aktuális kameraképeket rendre feldolgozva pontosítjuk azt.

Az általunk összerakott teszteszköz egy Thunder Tiger típusú modellautó wireless kamerával és gyorsulásmérővel (ld. 3. ábra). Az autó távirányítóját átépítettük úgy, hogy párhuzamos porton keresztül számítógépről is vezérelhető legyen a kocsi.

## 2. BELSŐ PARAMÉTEREK KALIBRÁLÁSA

A belső paraméterek kalibrációjára a kamera és a gyorsulásmérő esetén van szükség. A kamera belső paramétereinek kalibrációját Zhengyou Zhang algoritmusával [6] végeztük el. Az algoritmus szolgáltatja a kamera külső és belső paramétereit egyaránt. Alapötlete, hogy megfelelő mintázat és adatmennyiség rendelkezésre állásakor nincs szükség a kalibrációhoz távolságinformációra. Az algoritmus egy ismert geometriájú sík mintázattal dolgozik, a kamerának ezt a mintázatot kell megmutatni többször, eltérő szögben és távolságból. Elméletileg három különböző kép ele-



2. ábra: belső paraméterek kalibrálása

gendő lenne az összes paraméter pontos kalibrálásához, de mi általában nyolc képpel dolgoztunk.

A kalibráció menetéről képek a 2. ábrán láthatók. Az a. kép a kalibráció alatt készült, míg a b. a lencsetorzításos, a c. a korrigált kameraképet mutatja. A gyorsulásmérő és GPS kalibrálásának részleteit lásd a [3] hivatkozásban.

## 3. FOLYTONOS ÖNKALIBRÁCIÓ

A pinhole kameramodell a kameramátrixot a következőképpen adja meg a belső és külső paraméterek segítségével:

$$\mathbf{P} = \mathbf{KR}[\mathbf{I} \mid -\mathbf{C}]$$

Itt  $\mathbf{R}$  a rotációt, míg  $\mathbf{C}$  az eltolást írja le a globális koordináta-rendszerhez viszonyítva.  $\mathbf{R}$  és  $\mathbf{C}$  számítható közelítőleg a gyorsulásmérő adataiból. Az adatok feldolgozása nagyrészt két képen történik. Az időben korábbi képhez tartozó kameramátrix rotációját egységmátrixnak, a translációt nullvektornak tekintve a számított háromdimenziós pontok a kamera akkori lokális koordináta-rendszerében lesznek adottak. Ugyanezzel a transláció- és rotációértékkel becsülhetők a lényeges pontok új koordinátái a közös koordináta-rendszerben. Felhasználva az epipoláris kényszert, a pontok becsült új koordinátáit és az úgynevezett hamis epipoláris kényszert [5], általában a keresési tér drasztikusan csökkenthető, és ezzel az új képen a megfelelő pontok megtalálása igen gyorsá tehető. Az új és régi képeken lévő, egymásnak megfeleltethető pontpárok alapján számítható az úgynevezett essential mátrix, melynek az alakja a következő:

$$\mathbf{E} = \mathbf{R}\mathbf{T}_x$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_x = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix}$$

ahol  $\mathbf{R}$  a két kamerapozíció közti rotáció, míg  $\mathbf{T}_x$  a kamerák közti transláció keresztszorzat mátrixa. Mivel „lépegetve” haladunk, vagyis a régi képhez tartozó rotációt egységmátrixnak, a translációt nullának vesszük, ez a rotáció- és translációérték meg kell hogy egyezzen a gyorsulásmérő által szolgáltatott adatokkal. A képeken lévő megfelelő pontpároknak ki kell elégíteniük a következő egyenletet:

$$\mathbf{x}^T \mathbf{F} \mathbf{x} = 0$$

$\mathbf{F}$  az úgynevezett fundamental mátrix, mely számítása – kihasználva a fenti egyenlőséget – megtehető a nyolcpontos algoritmussal. [2]. A fundamental és essential mátrix között a kapcsolat:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}_2^T \mathbf{E} \mathbf{K}_1^{-1}$$

Ezt átrendezve megkapható az essential mátrix, mely segítségével – felhasználva azt, hogy a rotációs mátrix értékei számíthatók a koordináta-rendszerek egységvektoraiból és a régi képhez tartozó egységvektorok ismertek – az új rotáció és transláció már számítható.

A működéshez szükséges a kameraképeken ún. „jellegzetes” pontokat keresni. Ezeknek a pontoknak egyetlen feltételt kell kielégíteniük: valamilyen tulajdonság alapján könnyen és robusztusan lehessen őket azonosítani. A pontok egyenként a következő állapotokon mehetnek keresztül:

1. csak egy képen ismerjük a helyét (ekkor jött be a látótérbe),
2. két képen ismerjük a helyét (ebből tudjuk számítani 3D koordinátáit),
3. ismerjük a 3D koordinátáit, így tudjuk becsülni a következő kameraképen a helyét,
4. kiment a képről.

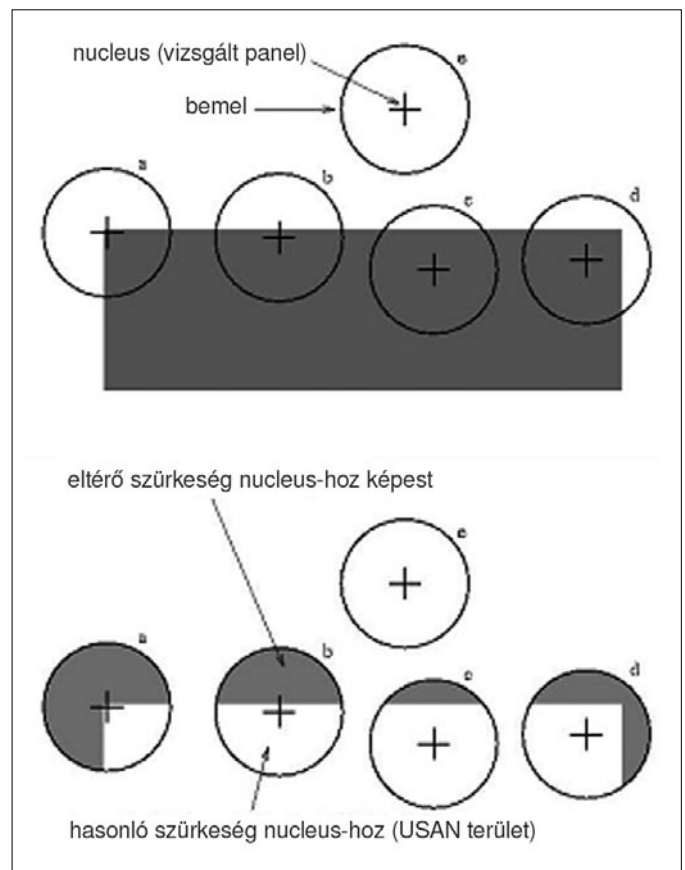


3. ábra: számítógép-vezérelt tesztautó

Előfordulhat, hogy olyan pontot találtunk, mely mozgó objektumon van. Ezeket ki kell szűrni a többi pont és a mozgáspredikcióból adódó információ alapján. Természetesen a kameraképek folyamatos beolvasását és feldolgozását, illetve a gyorsulásmérő adatainak az olvasását szinkronizálni kell.

#### 4. JELLEGZETES PONTOK KERESÉSE

A jellegzetes pontokat az úgynevezett SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) algoritmus segítségével keressük. Alapötlete, hogy az egyes pixeleket a környezetükhöz való hasonlósággal jellemzi. Vagyis minden egyes pixelre megnézi, hogy egy adott környezetében hány pixel szürkeségi értéke tér el lényegesen (ld. 4. ábra). A vizsgált pixel neve nucleus, azon pixelek halmaza, melyek egy adott küszöb mellett lényegesen eltérnek, az USAN terület. A pixelek szürkeségi értékének helyére az USAN számosságát írva egy olyan képet kapunk, ahol az éléknél világosabb, míg a sarkoknál a legvilágosabb pixelek vannak. Jellegzetes pontnak a sarokpontokat tekintjük. A SUSAN algoritmus előnye a gyorsaság, illetve az, hogy nincs szükség előzetes zajszűrésre. Az algoritmust úgy módosítottuk, hogy csak az elegendően hosszú élék sarokpontjait jelöljük meg jellegzetes pontnak.



4. ábra: SUSAN algoritmus

#### 5. EGYSÉGES SENZORPLATFORM

Ezen cikkben ismertetett, az ismeretlen/változó navigációs környezetben működő önkalibráción túlmutatnak az alább felsorolt általános szenzorplatform-tulajdonságok, alkalmazási lehetőségek. Az egységes szenzorplatform kifejlesztése révén biztosítható újabb kvázi plug & play szenzorok csatlakoztatási lehetősége, így a hatékony kód-újrafelhasználás változó szenzorrendezések



## ÖSSZEFOGLALÁS

esetére (az egyes szenzorok kalibrációs, adatfeldolgozó algoritmusait csak egyszer kell implementálni).

Mint a bemutatott példánkból is látszik, hatékonyabb működés valósítható meg olyan adatfeldolgozó algoritmusokkal, melyek az adott érzékelőtől származó mérési adatok mellett egyéb érzékelők kiegészítő információit is hasznosítják (szenzorfüzió). A cikkben ismertetett konkrét szenzorplatform esetében például a kameraképeken könnyen azonosítható objektumok követésével úgy következtetünk a kamera (és így a jármű) relatív és abszolút mozgására, hogy azt előzetesen megbecsüljük a GPS és gyorsulásmérő pontosabb adataiból, ekkor a navigálás során követett objektum keresése leszűkíthető a kép egy kisebb területére.

Navigáció során is fontos probléma volt egy adott időpontban meglévő „tudás” átvitele a következő időpontra, miközben a változó környezetben érvényüket veszítő információk nem öröklődhetnek át. A környezet ábrázolására egy topológiai térkép szolgál, melyben az észlelt objektumok egymáshoz képesti relatív pozícióit tartja nyilván a rendszer. A környezet logikai leírása hierarchikus, melyben minden objektum egy saját koordináta-rendszerrel bír és tartalmazhat tetszőleges számú alobjektumot. Az objektumokhoz markereket rendelünk, melyek azonosíthatják azt és valamely műszer adataiból felismerhetők (a feldolgozási lánc legvégén mindig marker pozíciók állnak elő, és a platform feladata az objektumok illesztése a megismert markerelrendezésre). Mivel az objektumpozícióadatok több forrásból is származhatnak, megbízhatóságuk, pontosságuk is eltérő lehet (a cikkben kiragadott megoldásban egy kezdeti becslés a korábbi adatok extrapolálásából és gyors, de pontatlanabb mérések adataiból áll elő, amit aztán egy szűkített képrészleten való pontosabb markerkövetés felülbírálnak).

A szenzorplatform fejlesztése során problémáspecifikus külső és problémafüggetlen belső algoritmusok fejlesztésére és implementálására kerül sor. Az előbbiek ugyan nem képezik szerves részét a platformnak, de szabványos felületen csatlakoztathatók hozzá (pl. egyedi szenzormeghajtók, extrapolátorok, adatfeldolgozók, objektumgenerátorok stb.). Az utóbbiak viszont a fejlesztés alatt álló szenzorplatform szerves részét képezik és a problémafüggetlen feladatok (pl. objektumok relatív pozícióit leíró gráf karbantartása, markerobjektum-megfeleltetés stb.) megoldására szolgálnak. A mérési hibák, bizonytalanságok kezelése alapvető, ezért a modell meg tud különböztetni pl. biztos információt (fact), mérési eredményt (measurement) vagy az egyszerű feltételezést (theory). A mérési hibák figyelembe vehetők a gráf egyes éleihez rendelhető hibamértékkel is. Két objektum között a gráf többszörös élei mentén lehetőség van egyszerű eredő előállítására. Az egységes szenzorplatform felhasználójának „csak” össze kell a platform elemkészletéből állítania a konkrét mérési elrendezést, specifikálnia kell az így meghatározott paramétereket, időzítéseket. A röviden vázolt szenzorplatform-konceptió implementálása folyamatban van [1].

Jelen cikk a járművek a-priori ismeretlen környezetben való navigációjához tervezett újszerű érzékelőelrendezést (kamera, GPS, gyorsulásérzékelő) és annak önkalibrációs stratégiáját ismertette, részletesen bemutatva a kamerakalibrációs algoritmusokat és az első implementációs eredményeket. Az újszerű mérési elrendezés és stratégia kidolgozása, ebből adódóan egy új kamerakalibrációs algoritmus tervezése, implementálása és kipróbálása labor körülmények között megtörtént. Egy másik kapcsolódó fejlesztés a fentebb vázolt szenzorplatform újabb konkrét elemeit (gyorsulásérzékelő, GPS, vezeték nélküli biztonságkritikus hálózati kommunikációs protokoll Crossbow Mote alapon) implementálta.

Konklúzióként tehát elmondható, hogy a vázolt egységes szenzorplatform implementálásával párhuzamosan, ahhoz mind több és több olyan saját fejlesztésű, nyílt szoftver- és hardverelemet tervezünk és implementálunk, melyek járműipari alkalmazásokban való relevanciájáról EJJT-tevékenységünk kezdetén először meggyőződünk. Ezért a közeljövőben, a szükséges szenzorplatform elemek implementálása és a prototípus laborkörülmények között való tesztelése után, azokat konzorciumi partnereinkkel közösen kiválasztott „éles” alkalmazásokba kívánjuk integrálni – az egységes szenzorplatform nyújtotta kód újrahasznosítási, plug & play tulajdonságok biztosította előnyöket kihasználva – a lehető leggyorsabban, így remélhetőleg költséghatékonyabban, mint potenciális versenytársaink.

## Irodalom

- [1] Szoboszlai D. Egységes szenzorplatform-konceptió, belső munkaanyag, 2006.
- [2] Hartley R. I. and A. Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, ISBN:0521570518, second edition, 2004.
- [3] Loványi I., Nagy E. K., and Németh G. Költséghatékony szenzorfüziós wireless fejlesztési platform. EJJT-konferencia, 2006.
- [4] More J. The Levenberg-Marquardt algorithm, implementation and theory. Numerical Analysis, Lecture Notes in Mathematics 630. Springer-Verlag, pages 95–101, 1977.
- [5] Récky Michel. Fast Area-Based Stereo Algorithm. CESC Proceedings of the 10th Central European Seminar on Computer Graphics, pages 95–101, 2006.
- [6] Zhengyou Zhang. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pages 1330–, 1998.
- [7] Baka Gergely, Sebők Péter: Ublox Antaris4-es GPS-modul illesztése Crossbow-rendszerhez. Belső munkaanyag, 2006.

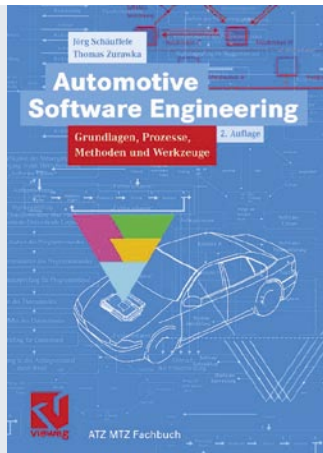


Robert Bosch GmbH  
**Autoelektrik / Autoelektronik**  
Autóelektromosság / Autóelektronika  
5., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2007, 530 oldal, német nyelven.

**Ára: 44,90 EUR**

Az autóelektromosság / autóelektronika viharos fejlődése nagymértékben befolyásolta az Otto-motorok és az egész autó felszerelését. Ezért szükség lett az eddig bevált gyakorlati alapelvek újrafeldolgozására. Modern fényszóró-berendezések, lopásgátló rendszerek, információs, navigációs és parkolórendszerek kerültek ebbe a kiadásba.

Jörg Schäuffele, Thomas Zurawka



**Automotive-Software-Engineering**  
Autóipari szoftvertechnika – Alapelvek, folyamatok, módszerek és eszközök  
3., átdolgozott és javított kiadás, 344 oldal, 277 ábra, német nyelven.

**Ára: 41,90 EUR**

Napjainkban a gépjárművek szinte minden funkcióját elektronikusan irányítják, szabályozzák vagy felügyelik. Ez a könyv azon folyamatok, módszerek és eszközök alapelveit tartalmazza gyakorlati példákon keresztül, melyek hozzájárulnak egy jármű elektronikus rendszereinek és szoftverjeinek kezeléséhez. Az előtérben a hajtómű, a futómű és a karosszéria elektronikus rendszerei állnak.



Robert Bosch GmbH  
**Kraftfahrtechnisches Taschenbuch**  
Gépjármű-technikai zsebkönyv  
26., aktualizált és kibővített kiadás, 2007, 1192 oldal, német nyelven.

**Ára: 39,90 EUR**

A gépjármű-technikai zsebkönyvnek már 7 évtizede biztos helye van az autószerelő műhelyekben és az íróasztalokban. Könnyen kezelhető zsebkönyvként, kompakt adalékokkal megbízható betekintést nyújt a gépjárműtechnika aktuális állásába, központi helyen a személy- és teherautó-technikába.



Bert Breuer, Karlheinz H. Bill  
**Bremsenhandbuch**  
Fékkézikönyv – Alapelvek, komponensek, rendszerek, menetdinamika  
3., javított és kibővített kiadás, 2006, 509 oldal, 605 ábra, német nyelven.

**Ára: 49,90 EUR**

Az autóipari mérnököknek és technikusoknak elengedhetetlenül fontos a modern gépjármű-fékszerkezetek részletes ismerete. A fékkézikönyv átfogóan tartalmazza az alapelveket, követelményeket, értelmezéseket, szerkezeti felépítéseket, konstrukciókat, komponenseket és a modern gépjárművek részrendszer-funkcióit.

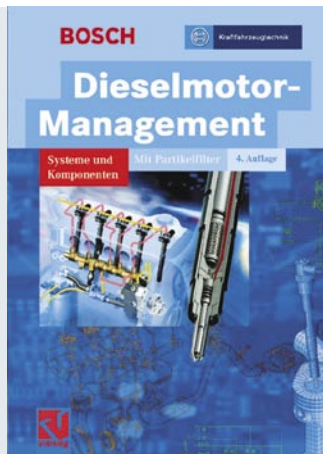


Richard van Basshuysen, Fred Schäfer  
**Lexikon Motorentechnik**  
A robbanómotor A-tól Z-ig – Motorteknikai lexikon

2., javított és kibővített kiadás, 2006, 1096 oldal, 1764 ábra, német nyelven

**Ára: 99 EUR**

A lexikon részletesen bemutatja az aktuális motorteknikát, és kitekint a jövőbe is. A könyv kereshivatkozásokból álló rendszere minden fogalmat a fő fogalmakhoz rendel. Így a címszavak nem különállóak, hanem egymással összefüggő tartalmat alkotnak. A 4500 fogalom a motorteknika teljes területét felöleli.



Robert Bosch GmbH  
**Dieselmotor-Management**  
Dízelmotor-menedzsment – Rendszerek és részegységek

4., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2004, 501 oldal.

**Ára: 44,90 EUR**

A dízelmotor és a befecskendezőberendezés elválaszthatatlan egységet alkotnak. Az elektronikának egyre nagyobb szerepe van abban, hogy az autó teljesíteni tudja az egyre alacsonyabb károsanyag-kibocsátási és üzemanyag-fogyasztási követelményeket. Ez a szakkönyv kompetens és széles körű információkat nyújt a témáról.

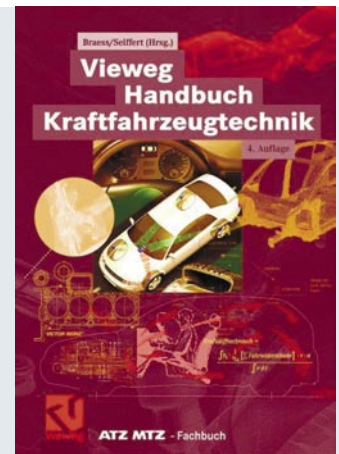


Robert Bosch GmbH  
**Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik**  
Gépjármű-technikai szakszótár

3., teljesen átdolgozott és kibővített kiadás, 2005, 779 oldal, német, angol, francia és spanyol nyelven.

**Ára: 49,90 EUR**

Kb. 7600 gépjármű-technikai szakszó. Forrásnyelv alapján rendezhető, míg a másik három nyelv lesz a célnyelv. Mindenki számára fontos lehet, akik a nemzetközi üzleti életben beszédkepesek akarnak maradni. A 3. kiadásban a tudásterületet kibővítették, és hozzáigazították a Gépjármű-technikai zsebkönyv terjedelméhez.



Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert  
**Handbuch Kraftfahrzeugtechnik**  
Gépjármű-technikai kézikönyv

4., teljesen újrafeldolgozott és kibővített kiadás, 2005, 847 oldal, 1026 ábra, német nyelven.

**Ára: 89 EUR**

A gyakorlati és elméleti gépjárműmérnököknek szükségük van a járműtechnika alapelveihez és részleteihez, valamint a lényeges kapcsolódó ipari folyamatokhoz való gyors és biztos hozzáféréshez. A kézikönyv célja olyan információk szisztematikus összefűzése, melyek egymástól teljesen eltérő forrásokból származnak.





**Richard van Basshuysen, Fred Schäfer**  
**Handbuch Verbrennungsmotor**  
 Robbanómotor kézikönyv – Alapelvek, komponensek, rendszerek, perspektívák  
 3., átdolgozott és kibővített kiadás, 2005, 980 oldal, 1436 ábra, német nyelven.

**Ára: 99 EUR**

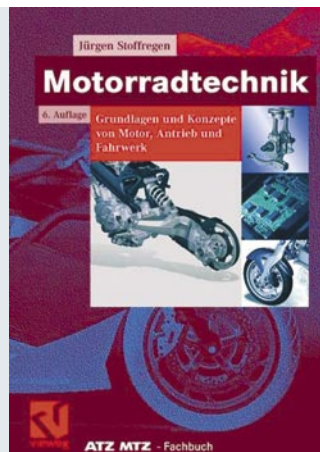
A Robbanómotor kézikönyv átfogó ismereteket nyújt az Otto- és dízelmotorokról. Tudományosan szemléletes módon és ezzel egyidejűleg gyakorlatorientáltan mutatja be a szakterület alapelveit, komponenseit, rendszereit és perspektíváit. Az elméleti és gyakorlati tudásanyag mintegy 120 szerzőtől származik.



**Stefan Zima**  
**Kurbeltriebe**  
 Forgattyús hajtások – Konstrukció, számítások és próbák a kezdetektől napjainkig  
 2., újrarendelt kiadás, 1999, 540 oldal, német nyelven.

**Ára: 86,90 EUR**

Ez a forgattyús hajtásokról szóló könyv elsősorban a motorteknikával foglalkozó mérnököknek és tanulóknak szól, de azoknak is, akik a dugattyús motorok és azok fejlesztése iránt érdeklődnek. A könyv átfogó bepillantást nyújt a hajtóműfejlesztésbe a kezdetektől napjainkig.



**Jürgen Stoffregen**  
**Motorradtechnik**  
 Motorkerékpár-technika – A motor, a hajtás és a futómű alapelvei és koncepciói  
 6., átdolgozott és kibővített kiadás, 2006, 437 oldal, 357 ábra, német nyelven.

**Ára: 28,90 EUR**

A szerző könnyen érthető és gazdag képanyaggal szólítja meg a műszaki dolgok iránt is érdeklődő motorosokat. A nehéz matematikai levezetések elhagyásával és a szemléltető összefüggések bemutatásával a könyv egy kincsesháza azoknak, akik többet szeretnének tudni, mint amennyi a használati utasításban áll.



**Erich Hoepke**  
**Nutzfahrzeugtechnik**  
 Hasznójármű-technika – Alapelvek, rendszerek, komponensek  
 4., átdolgozott és kibővített kiadás, 2006, 514 oldal, 565 ábra, német nyelven.

**Ára: 44,90 EUR**

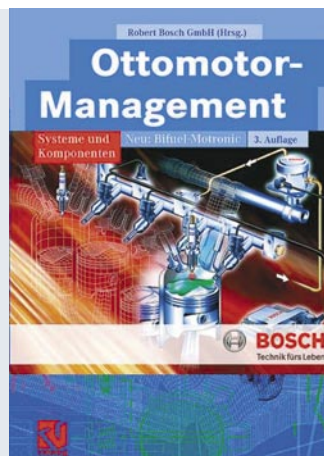
Ez a kiadvány egy alapvető szakkönyv stílusában bemutatja az összes jelentős építési módot, formát és komponenseket. A klasszikus konstrukciós tanítások, az öröklényű menetmechanika és termodinamika mellett a könyv bemutatja a legújabb fejlesztéseket, figyelembe véve az elektronikus rendszereknek a hajtásra és a fékezésre gyakorolt befolyását.



**Otto-Peter A. Bühler**  
**Omnibustechnik**  
 Autóbusz-technika – Történelmi járművek és az aktuális technika.  
 342 oldal, 2000, német nyelven.

**Ára: 36,90 EUR**

Az autóbuszok már kezdetől fogva robusztus, megbízható és kényelmes személyszállító járműveknek számítottak, eltérő számú ülőhellyel. A múlt autóbuszait az 1. részben mutatjuk be, minden olyan leírásukkal együtt, melyből a specializálódásukra fény derül. A könyv második részében az autóbuszok műszaki fejlesztésének magas színvonalát mutatjuk be konkrét, aktuális példákon keresztül.



**Robert Bosch GmbH**  
**Ottomotor-Management**  
 Otto-motor menedzsment  
 3., átdolgozott kiadás, 2005, 358 oldal, német nyelven.

**Ára: 44,90 EUR**

A szakkönyv először rövid visszatekintést ad az autógyártás történelmi kezdeteire, majd a munkamódszerek alapelveit, valamint az Otto-motor vezérlését fejtegeti. A töltésvezérlés, a befecskendezés (szívócső- és benzin-direktbefecskendezés) és a gyújtás rendszereinek leírása átfogó képet nyújt az autók és a vezérlési mechanizmusokról, melyek egy modern Otto-motor működéséhez feltétlenül szükségesek.



**Eduard Köhler**  
**Verbrennungsmotoren**  
 Robbanómotorok – Motormechanika, a dugattyús motorokra vonatkozó számítások, értelmezések  
 4., javított és kibővített kiadás, 2006, 481 oldal, 280 ábra, német nyelven.

**Ára: 64,90 EUR**

A dugattyús motorok mozgó és mozdulatlan alkatrészei statikus és dinamikus igénybevételnek vannak kitéve, melyek a mechanika törvényeit követik. Ez a könyv az egyes motorkomponenseket a hozzá tartozó számításokkal együtt mutatja be. Számos praktikus magyarázat mellett a könyv az anyag- és gyártási eljárás fejtegeti, valamint bemutatja hatásukat a konstruktív kialakításra.

További információk a könyvekről és a megrendelés módjáról:

**X-Meditor Kft.**  
**Autóinformatikai üzletág**

9002 Győr, Pf. 156  
 Tel.: 96/618-083.  
 Fax: 96/618-063.  
 E-mail: at@xmeditor.hu



# Gépjárművek mérésére szolgáló és gépjárművekbe épített biztonsági radarok statisztikai elmélete (1. rész)

**Dr. habil. Molnárka Győző**  
**Dr. Oláh Ferenc**

A radar és a radarral történő mérés a 20. század első felében jelent meg és indult fejlődésnek. A polgári alkalmazások csak a II. világháború után kezdtek elterjedni. Ma már a mindennapi gyakorlat részévé vált. A polgári járművek felderítésére, leszállítására, kikötőbe történő bevezetésére, sebesség, oldalszög, helyszög és távolság, illetve hely meghatározására általánosan használják.

Egyre jobban terjed a szárazföldi – közúti – járművekben is, amelynek célja a közlekedés biztonságának növelése.

A radarok és lidarok – lézerradarok – egyszerűsített elméletére vonatkozó irodalom viszonylag könnyen hozzáférhető. A korszerű radar működése azonban bonyolult matematikai módszerekkel tárgyalható. A valószínűségelméleten alapuló eszközbázisra épül. Az elmélet kiterjed minden radartípusra. Ha figyelembe vesszük a természetes és mesterséges zajok által keltett hatást is, számítani kell arra, hogy a hasznos jel a zajban elveszik, mégis fel kell ismerni. Ez tovább nehezíti a feladatot. Ebben a dolgozatban a gyakorlatban előforduló leggyakoribb esetek elméletét kívánjuk ismertetni, amelyből megtudhatjuk, hogyan lehet a zaj által takart hasznos jelet kiszűrni magából a zajból. Ennek megoldása a rádiolokációs elmélet alapvető feladata.

## 1. VISSZAVERŐ FELÜLET MATEMATIKAI MODELLJE

Minden radarral megfigyelhető cél – legyen az szárazföldi jármű, repülő, hajó stb. – rendelkezik egy visszaverő felülettel, amelynek jellege statisztikai modellel leírható. A statisztikai modell véletlenszerűen elhelyezkedő, véges számú – elméletileg azonban végtelen számú – elemi felületek sokaságából áll, amelyek rendszertelen mozgást végeznek. Mivel az elemi felületek szorosan egymás mellett helyezkednek el, így egyik sem tud a másikonál nagyobb hatást kifejteni, ami persze nem minden körülmények mellett igaz, de a vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy erre az eredmények jó közelítéssel igazak. Az elemi visszaverő felületek száma és helye folytonosan változik. Ez az oka annak, hogy a visszavert jelek paraméterei (amplitúdó, fázis) valószínűségi változóknak foghatók fel. Lehetséges az elemi felületek adott térrészen belüli sűrűsödése, amelyet nevezünk fénylő pontnak. Modell az 1. ábrán látható.

## 2. VISSZAVERT JEL SŰRŰSÉGFÜGGVÉNYEI

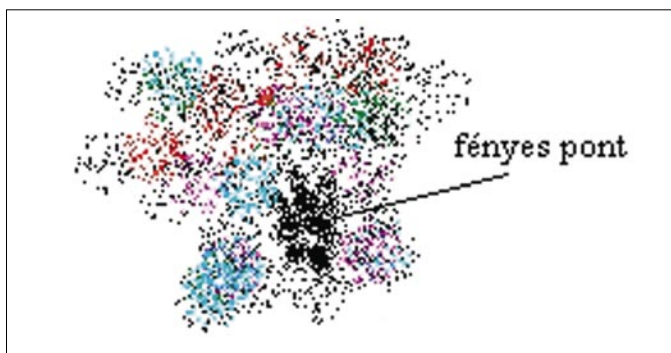
$$S_s(t) = S_f \cos \omega_0 t + \sum_{i=1}^N S_i(t) \exp[i(\omega_0 t - \varphi_i)] \quad (1)$$

ahol:  $S_f$  = fénylő pontról érkező jel amplitúdója

$S_i$  =  $i$ -ik pontról érkező jel amplitúdója

$\varphi_i$  =  $i$ -ik pontról érkező jel fázisa

$t$  = idő



1. ábra: statisztikai modell

$\omega_0$  = kisugárzott és visszavert jel frekvenciája

$n \gg 1$  elemi visszaverő felületek száma

Az 1. kifejezést átírva a bemenő jel időfüggvénye:

$$\begin{aligned} S_s(t) &= S_f \cos \omega_0 t + \cos \omega_0 t \sum_{i=1}^N S_i(t) \cos \varphi_i + \sin \omega_0 t \sum_{i=1}^N S_i(t) \sin \varphi_i = \\ &= S_f + \cos \omega_0 t \sum_{k=1}^N S_k(t) \exp[i\varphi_k] \end{aligned} \quad (2)$$

A radarjelek vételekor gyakori a fényes pont hatásának hiánya, így elegendő az utolsó két tag vizsgálata. Ekkor kapjuk:

$$\sum_k S_k(t) \exp[i\varphi_k] = S_e(t) \exp[i\varphi_e] \quad (3)$$

A 3. kifejezés értelmezése az alábbi ábrán látható (2. ábra):

Eredő amplitúdó a következő módon ábrázolható (3. ábra), ahol  $S_e(t)$  az eredő amplitúdó,  $\varphi_e$  az eredő fázis egy adott pillanatban.

Ha feltesszük, hogy az  $S_e(t)$  és  $\varphi_e$  mennyiségek véletlen változók (ami a gyakorlatban teljesül), a dolog természeténél fogva eloszlásfüggvényük normális eloszlással adható meg. Ha ki akarjuk számolni egy adott pillanatban  $S_e$  és  $\varphi_e$  várható értéket, mivel az eredmény vektor, a komplex síkon véletlenszerűen helyezkedik el:

$S_e(t)=0$  és  $\varphi_e=0$

Innen megkaphatjuk  $S_e(t)$  szórási függvényét is:

$$\sigma_{S_e(t)}^2 = \overline{[S_e(t) - \overline{S_e(t)}]^2} = \overline{S_e^2(t)} \quad (4)$$

Az  $S_e(t)$  mennyiségre normál eloszlást tételezve fel (a gyakorlatban ez teljesül), írhatjuk, hogy  $S_e(t)$  eloszlás sűrűségfüggvénye:

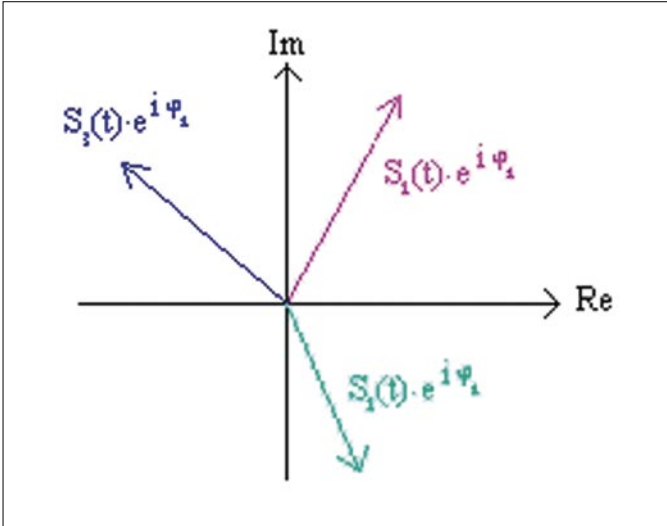
$$f[S_e(t)] = \frac{1}{2\pi\sigma_{S_e(t)}^2} \exp\left[-\frac{|S_e(t)|^2}{2\sigma_{S_e(t)}^2}\right] \quad (5)$$

ahol:  $S_e^2(t) = [S_e(t) \cos \varphi_e]^2 + [S_e(t) \sin \varphi_e]^2 = S_e^2(t) \cos^2 \varphi_e + S_e^2(t) \sin^2 \varphi_e$   
Valóságban a fényes pont megjelenése bármikor bekövetkezhet, amelynek a módosított vektorelrendezése a 4. ábrán látható.

Ahol  $S_0$  a pillanatnyi amplitúdó értéke.

Eszerint  $S_{px} = S_f + S_{xe} \rightarrow S_{xe} = S_{xp} - S_f$  és  $S_{yp} = S_{ye}$ . Figyelembe véve, hogy  $S_f$  állandó:

$$f[S_{yp}] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{S_{ye}^2}{2\sigma^2}\right] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(S_{yp} - S_f)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (6)$$



2. ábra: összehozott amplitúdó és fázis értelmezése

Az együttes sűrűségfüggvény:

$$f(S_x, S_y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(S_x - S_y)^2 + S_y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (7)$$

A radarral történő mérés feladatainak megoldásakor rendelkezni kell külön-külön az amplitúdó és fázis sűrűségfüggvényével, ezért célszerű a valószínűségi változókat polárkoordináta-rendszerben ábrázolni, vagyis az  $S_x$  és  $S_y$  helyett az  $S_p$  és  $\varphi$  alkalmazása.

A fényes pont nélküli állapot esetében a 4. ábra a következőképpen módosul (5. ábra):

Az ábra alapján:  $S_{xp} = S_p \cdot \cos\varphi$  és  $S_{yp} = S_p \cdot \sin\varphi$ . Ezzel az együttes sűrűségfüggvény új alakja:

$$f(S_p, \varphi) = \frac{S_p}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(S_p \cdot \cos\varphi - S_y)^2 + S_p^2 \cdot \sin^2\varphi}{2\sigma^2}\right] \quad (8)$$

Néhány elemi átalakítás után írható:

$$f(S_p, \varphi) = \frac{S_p}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2 + S_y^2 - 2S_p \cdot S_y \cdot \cos\varphi}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

Küszöböljük ki a fázist:

$$f(S_p) = \int_0^{2\pi} f(S_p, \varphi) d\varphi \quad (10)$$

$$\begin{aligned} f(S_p) &= \int_0^{2\pi} \frac{S_p}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2 + S_y^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{S_p \cdot S_y \cdot \cos\varphi}{\sigma^2}\right] d\varphi = \\ &= \frac{S_p}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2 + S_y^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{S_p \cdot S_y \cdot \cos\varphi}{\sigma^2}\right] d\varphi \end{aligned} \quad (11)$$

Legyen  $\alpha = \frac{S_p \cdot S_y}{\sigma^2}$  akkor:

$$J_0(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(\alpha \cdot \cos\varphi) d\varphi \quad (12)$$

Ahol  $J_0(\alpha)$  elsőfajú nulladrendű Bessel-függvény, amivel a 11. kifejezés új alakja az általánosított Rayleigh-törvény.

$$f(S_p) = \frac{S_p}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2 + S_y^2}{2\sigma^2}\right] J_0\left(\frac{S_p \cdot S_y}{\sigma^2}\right) \quad (13)$$

A 12. kifejezés függése a fényes ponttól kétféle lehet:

a, Nincs fényes pont, ami a legkedvezőtlenebb esetet jelenti. Ekkor  $S_y = 0$ , így  $J_0 = 1$

$$f(S_p) = \frac{S_p}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2}{2\sigma^2}\right] \cdot 1 \quad (14)$$

Ez az egyszerűsített Rayleigh-törvény.

b, Van fényes pont. Ekkor  $S_y/\sigma \gg 1$ . Nagy argumentumok esetén a Bessel-függvény aszimptotikus közelítése:

$$J_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} \exp(x)$$

vagyis:

$$J_0\left(\frac{S_p \cdot S_y}{\sigma^2}\right) = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi \cdot S_p \cdot S_y}} \exp\left(\frac{S_p \cdot S_y}{\sigma^2}\right) \quad (15)$$

és

$$f(S_p) = \sqrt{\frac{S_p}{S_y}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(S_p - S_y)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (16)$$

Az a és b esetet a 6. ábra mutatja:

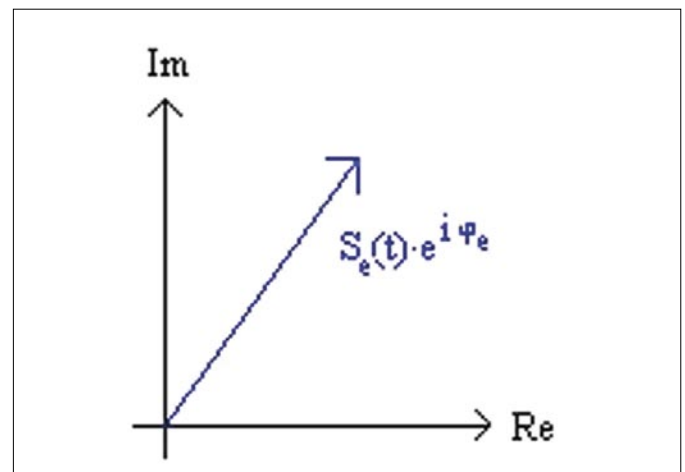
A két forma egymásba történő átmenete fokozatosan történik. Hasonló módon határozható meg a fázis sűrűségfüggvénye, amennyiben kiküszöböljük az amplitúdót az alábbi kifejezés szerint:

$$f(\varphi) = \int_0^\infty f(S_p, \varphi) dS_p \quad (17)$$

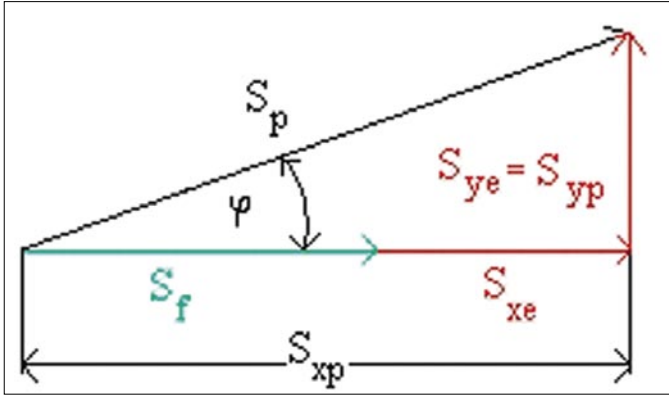
Az integrál határai  $0 \rightarrow \infty$  között változnak, mert az amplitúdó elvileg e határok között változhat.

Tehát:

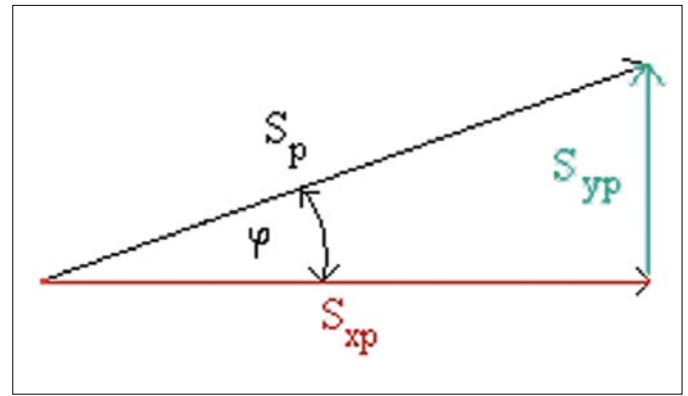
$$\begin{aligned} f(\varphi) &= \int_0^\infty \frac{S_p}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{S_p^2 + S_y^2}{2\sigma^2}\right] \exp\left(\frac{S_p \cdot S_y \cdot \cos\varphi}{\sigma^2}\right) dS_p = \\ &= \frac{1}{2\pi} \exp\left[-\frac{S_y^2}{2\sigma^2}\right] + \frac{S_y \cos\varphi}{2\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{S_y^2 \sin^2\varphi}{2\sigma^2}\right] \cdot \\ &\quad \left[ \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^0 \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2}\right) d\alpha + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2}\right) d\alpha \right] \end{aligned} \quad (18)$$



3. ábra: eredő amplitúdó és összetevői



4. ábra: a visszavert jel pillanatnyi értékének változása



5. ábra: pillanatnyi amplitúdó és fázisa fényes pont nélkül

A valószínűségi integrál alakja:

$$\Phi(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\alpha} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = \text{erf}(\alpha)$$

Ezzel, figyelembe véve  $\Phi(\infty) = 1$  és  $\Phi(-\alpha) = -\Phi(\alpha)$  feltételeket:

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{S_f^2}{2\sigma^2}\right) + \frac{S_f \cdot \cos \varphi}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{S_f^2 \cdot \sin^2 \varphi}{2\sigma^2}\right) \frac{1}{2} \left[ 1 + \Phi\left(\frac{S_f \cos \varphi}{\sigma}\right) \right] \quad (19)$$

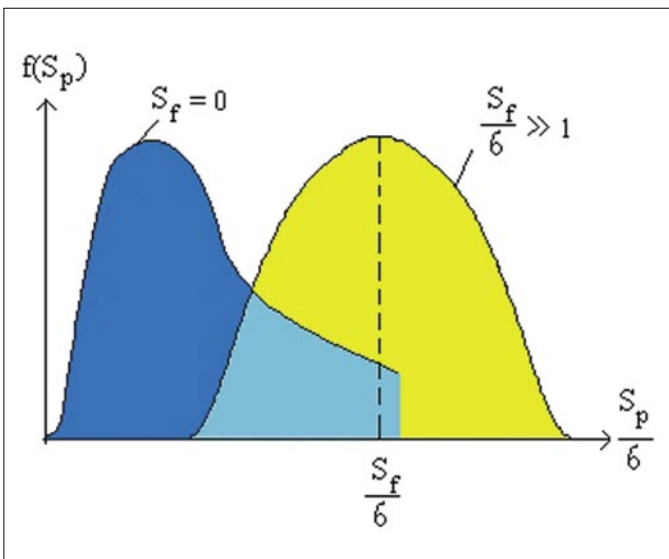
A 19. kifejezés jelenti a fázis sűrűségfüggvényét és két szélső esete lehetséges:

a,  $S_f = 0$  vagyis nincs fényes pont, ami a legrosszabb eset:

$$f(\varphi) = \frac{1}{2\pi} = \text{const}$$

b,  $S_f / \sigma \gg 1$

Ekkor még nem feltétlenül van fényes pont, amennyiben viszont, ha van, akkor annak fázisa lesz a meghatározó. A két eset egymásba történő átmenetét, illetve a szélső értékeket a 7. ábra mutatja.



6. ábra:  $f(p)$  fényes pont nélkül és fényes ponttal

### 3. REÁLIS CÉLRÓL TÖRTÉNŐ VISSZAVERŐDÉS

A vevő bemenetén lévő jelek amplitúdója és fázisa tehát az előzőek szerint állandóan változik. A vett pillanatnyi jel és a következő pillanatban vett pillanatnyi jel statisztikailag összefüggő. A statisztikai mennyiségek egymástól történő függését a korrelációfüggvény fejezi ki, amelynek általános alakja:

$$f(x, y) = \int_{\mathcal{I}} (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \cdot f(x, y) dx dy \quad (20)$$

Ha  $x$  és  $y$  ugyanazok a véletlen mennyiségek, akkor autokorreláció, ha függetlenek egymástól, akkor keresztkorreláció függvényről beszélünk. Korrelációfüggvény az időtartományban:

$$R(\tau) = f(x, y) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot y(t - \tau) dt \quad (21)$$

Radarjelek esetén az utóbbi kifejezést használják:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T S(t) \cdot S(t - \tau) dt \quad (22)$$

Vizsgáljuk meg a 8. ábrát.

Amennyiben a  $\tau$  korrelációs időre igaz a  $\tau = 0$  feltétel – tehát a két jel egybeesik –, akkor a függvénynek maximuma van.

$$R(\tau)_M = R(0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T S(t) \cdot S(t) dt = \overline{S^2(t)} \quad (23)$$

ami a szórászt jelenti.

Ahhoz, hogy két jel statisztikailag függjön egymástól, érvényesülnie kell a  $0 \leq \tau \leq \tau_0$  feltételnek.

A radarjelek feldolgozásának elméletében az  $R(\tau)_M$  alkalmazása kényelmetlen, mert a jel értéke az egyik pillanatban lehet öt egységnyi, a másikban, pl. ötezer, ezért ennek ábrázolása nehézkes. A kényelmetlenségek elkerülésére használjuk a normalizált korrelációfüggvényt.

Vagyis:

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(\tau)_M} = \frac{R(\tau)}{R(0)} \quad (24)$$

A  $\rho(\tau)$  maximális értéke 1.

A 8b ábrán látható, hogy pl.  $\tau = 0,5$  eltolás esetén az egyik jel ismeretében 0,5 (50%) valószínűséggel lehet meghatározni a másikat.



Az alkalmazott jelek energiaspektruma és a korrelációs idő közötti összefüggés:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) \cdot d\tau \quad (25)$$

illetve az energiaspektrum és a korrelációs idő közötti összefüggés:

$$G(\omega) + G(\omega \pm \Delta\omega) = \Delta G(\omega) = 1/\tau \quad (26)$$

Ebből következik, szoros statisztikai függéssel rendelkező jelek igen keskeny energiaspektrummal, míg a gyengén korrelált jelek széles energiaspektrummal rendelkeznek. Legyen a két jel statisztikailag független egymástól, akkor  $\tau_0 = 0$  esetén  $\Delta G \rightarrow \infty$  feltétel érvényesül. Ilyen véletlen folyamat a fehér zaj, amelynek korrelációja 0 és energiaspektruma  $\infty$ .

#### 4. RÁDIÓLOKÁCIÓS MEGFIGYELÉS SZÁMSZERŰ ÉRTÉKELÉSE

A gyakorlatban két lehetséges eset van a járművek felderítésekor:

a) A vizsgált zónában van cél:  $H_0^*$

b) A vizsgált zónában nincs jel:  $H_0^*$

A jelek feldolgozása során is ugyanezek a lehetőségek állnak elő:

a) A berendezés jelez célt:  $H_1^*$

b) A berendezés nem jelez célt:  $H_0^*$

A valóságban tehát négy eset lehetséges:

a) A valóságban van cél és a berendezés jelzi is azt.

b) A valóságban nincs cél és a berendezés nem is jelzi azt.

c) A valóságban van cél, de berendezés nem jelzi azt.

d) A valóságban nincs cél, de a berendezés mégis jelez célt.

Vizsgáljuk meg a lehetséges eseteket:

a,  $H_1$ , vagyis van cél a felderítési zónában:

$$P(H_1; H_1^*) = P(H_1) \cdot P_{H1}(H_1^*) = P_{H1}(H_1^*) = D \quad (27)$$

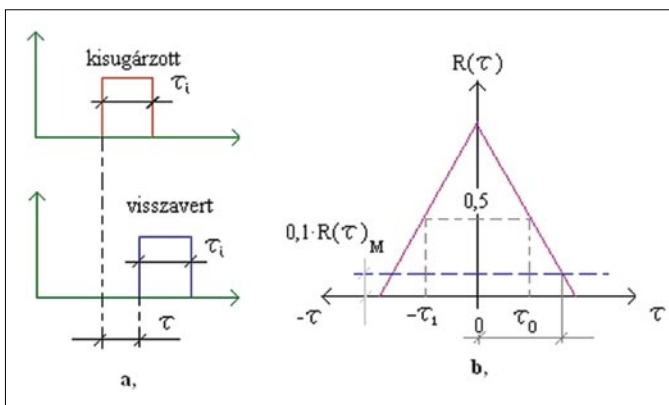
$$P(H_1; H_0^*) = P(H_1) \cdot P_{H1}(H_0^*) = P_{H1}(H_0^*) = \bar{D} \quad (28)$$

ahol:

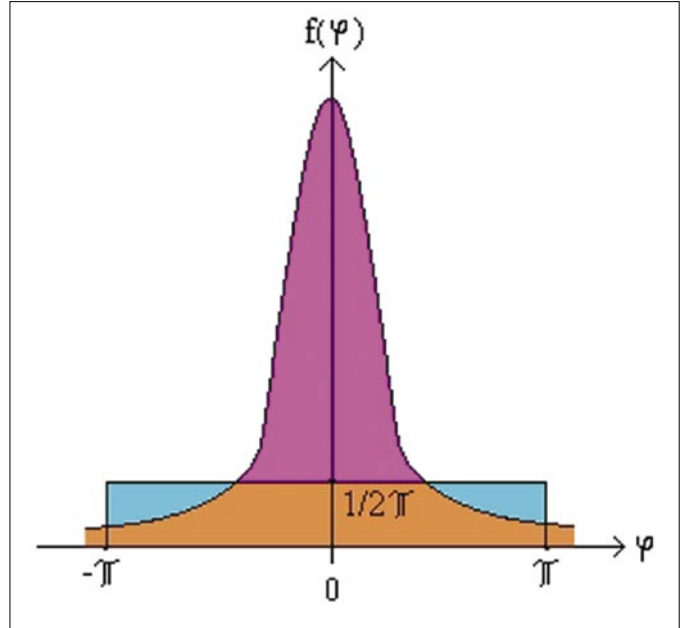
-  $D$  a helyes felderítés valószínűsége, vagyis valójában van cél a felderítési zónában és a berendezés is jelzi.

-  $\bar{D}$  a cél elengedésének valószínűsége, vagyis valójában van cél a felderítési zónában, de a berendezés nem jelzi.

Figyelembe kell venni, hogy  $D + \bar{D} = 1$ . Gyakorlatban a  $D=0,85$ ...



8. ábra: autokorreláció értelmezése



7. ábra: fázis értékeinek változása

...0,95 között változik. Ha nő a  $D$ , akkor nő a hamis riadó veszélye, így ennek egy adott értéken túli növelése nem célszerű.

b)  $H_0$ , vagyis nincs cél a felderítési zónában:

$$P(H_0; H_1^*) = P(H_0) \cdot P_{H0}(H_1^*) = P_{H0}(H_1^*) = \bar{F} \quad (29)$$

$$P(H_0; H_0^*) = P(H_0) \cdot P_{H0}(H_0^*) = P_{H0}(H_0^*) = F \quad (30)$$

ahol:

-  $\bar{F}$  a hamis riadó valószínűsége, vagyis nincs a felderítési zónában cél, de a berendezés célt jelez.

-  $F$  a helyes felderítés valószínűsége, vagyis nincs a felderítési zónában cél és a berendezés nem is jelez célt.

Figyelembe kell venni, hogy  $F + \bar{F} = 1$

A gyakorlatban kompromisszumos megoldást választunk (9. ábra)

Ha  $s > x_0$ , akkor van cél (helyes) döntést hozunk.

Ha  $s < x_0$ , akkor nincs cél (helytelen) döntést hozunk.

#### 5. LIKELIHOOD-FÜGGVÉNY

A vevő bemenetére a hasznos jel már zajjal -  $n(t)$  - terheltlen érkezik:

$$x(t) = s(t - t_c) + n(t) \quad (31)$$

ahol:

-  $x(t)$  a bemenő jel időfüggvénye

-  $s(t - t_c)$  a  $t_c$  késleltetéssel érkező visszavert jel

-  $n(t)$  a zaj időfüggvénye

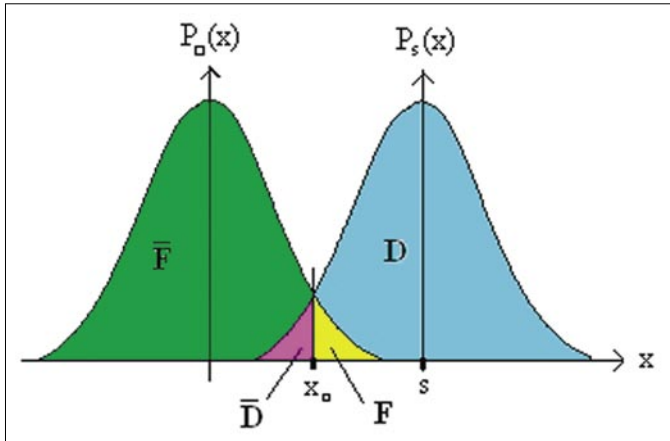
-  $t_c = 2D/c$ , ahol  $D \rightarrow$  távolság és  $c \rightarrow$  fénysebesség

Tegyük fel:  $f(x;s) = f(x) \cdot f_s(s)$  és  $f(x;s) = f(s) \cdot f_x(x)$ , így írható:

$$f(x) \cdot f_x(s) = f(s) \cdot f_s(x) \quad (32)$$

illetve:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot f_x(s) ds = \int_{-\infty}^{\infty} f(s) \cdot f_s(x) ds \quad (33)$$



9. ábra: célok megfigyelésének számszerű értékelése

Az  $f(x)$  független  $s$ -től, ezért:  $f(x) \int_{-\infty}^{\infty} f_s(s) ds = f(x)$ , mert  $\int_{-\infty}^{\infty} f_s(s) ds = 1$ , hiszen az esemény teljes valószínűsége. Az  $f(x)$  kiszámítható, ha bevezetünk egy ismert  $K_x$  együttthatót. Ekkor  $f(x) = 1/K_x$ . Ezzel:

$$f_x(s) = K_x \cdot f(s) \cdot f_s(x) \quad (34)$$

ami az ún fordított valószínűség kifejezése és megmutatja, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy a vett jel egy adott konkrét  $x$  értéke mellett a hasznos jel ( $s$ ) értéke egyenlő lesz a megadott értékkel. Annak valószínűsége, hogy az adott mért hasznos jel mellett az  $f_s(x)$  egy adott értékű lesz:

$$f_s(x) = L(s) \quad (35)$$

ahol  $L(s)$  függvényt likelihood-függvénynek nevezzük. Amennyiben olyan vevőt készítünk, amely a likelihood-függvényt valósítja meg, akkor az összes hasznos információ kinyerhető a zajjal terhelt visszavert jeltől. Az ilyen vevőt nevezzük ideális vevőnek.

## 6. TELJESEN ISMERT PARAMÉTERŰ JELEK LIKELIHOOD-FÜGGVÉNYE

A vevő bemenetére érkező zajjal terhelt eredő jel:

$$x(t) = s(t-t_c) + n(t) \quad (36)$$

A hasznos jelhez hozzáadódó zaj fehér zaj, így ennek tulajdonsága normál eloszlás szerint változik és sűrűségfüggvénye:

$$f(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-s)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (37)$$

A 31. kifejezésből:  
 $n(t) = x(t) - s(t-t_c)$   
ezzel:

$$f(x-s) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-s)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (38)$$

A kifejezés szerint az  $s$  adott értéke mellett  $x$  egy meghatározott értéket vesz fel. Ennek megoldására V. A. Kotyelnikov tételét

(1933) alkalmazzuk. Kotyelnikov szerint egy folytonos jel 0.....  $f_s$  spektrummal és  $T$  időhosszal információvesztés nélkül fel-  
dolgozható és  $K=2F_M \cdot T$  mennyiséggel jellemezhető. Ezt a tételt a  
hírközlélméletben 1. sz. mintavételi tételként, ill. C. E. Shannon  
tételeként is ismerjük, noha Shannon elődei eredményeit nagy  
jelentőségű munkáiban 1948–1949-ben foglalta össze és fejleszt-  
ette tovább.

Felhasználva a tételt a 37. kifejezés új alakja:

$$f(n_i) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)^K \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^K n_i^2}{2\sigma^2}\right] \quad (39)$$

$$f_{si}(x_i) = f(x_i - s_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - s_i)^2}{2\sigma^2}\right]$$

ahol az  $x_i$  és  $s_i$  a vett és hasznos jel diszkrét értékei.

$$f_{s1...sk}(x_1...x_k) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)^{2FT} \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^{2FT} (x_i - s_i)^2}{2\sigma^2}\right]$$

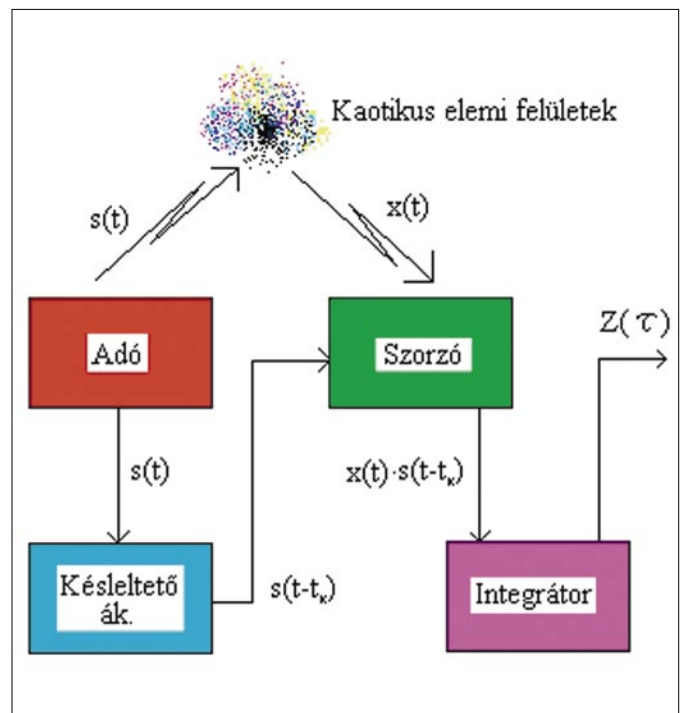
Az utolsó tag számlálóját átalakítva:

$$\sum_{i=1}^{2FT} (x_i - s_i)^2 = 2F_M \cdot T (x_i - s_i)^2 \quad (40)$$

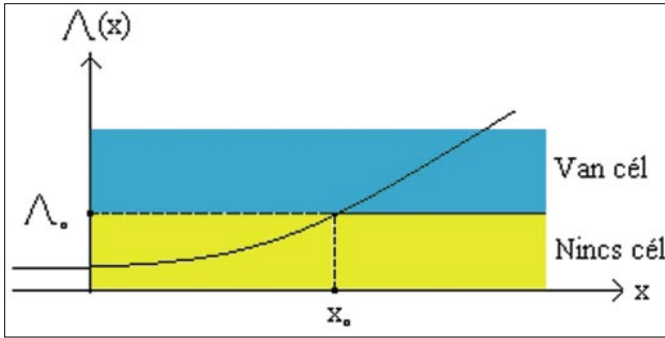
Így:

$$\left[\overline{x(t) - x(t-t_c)}\right]^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - s(t-t_c)]^2 dt$$

Felhasználva a  $\sigma^2 = N_0 \cdot \Delta f$  és  $\Delta f = F_b$  ( $N_0$  = zajspektrum) kifejezéseket, ismert paraméterű jelekre a likelihood-függvény:



10. ábra: optimális vevő felépítése



11. ábra: likelihood-hányados ábrázolása

$$f_s(x) = L(s) = \left( -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right)^{2F_s \cdot T} \dots \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T [x(t) - s(t - t_c)]^2 dt \right\} \quad (41)$$

Ha  $x = s$ , akkor a likelihood-függvénynek maximuma van.

A 41-et célszerű átalakítani:

$$L(s) = \left( -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right)^{2F_s \cdot T} \exp \left[ -\frac{1}{N_0} \int_0^T x^2(t) dt \right] \dots \exp \left[ -\frac{1}{N_0} \int_0^T s^2(t - t_c) dt \right] \cdot \exp \left[ \frac{2}{N_0} \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_c) dt \right] \quad (42)$$

A 42. kifejezésnek csak az utolsó tagját kell feldolgozni, mert a többi tag ún. lényegtelen műveletnek (erősítés, osztás, szorzás, hatványra emelés stb.) tekinthető. Az utolsó tag viszont a korrelációs függvényt jelenti, amit a likelihood-függvény információs ekvivalensének is tekinthetünk. Ez azt jelenti, hogy olyan vevőt kell építenünk, amelyek a korrelációs integrált dolgozza fel.

$$Z(\tau) = \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_c) dt \quad (43)$$

akkor (elégéses) ideális vevőt kapunk. A  $\tau = t - t_k$ , ahol  $t_k$  késleltetési idő.

## 7. ELÉGÉSÉGES VEVŐK SZINTÉZISE

Szintézis alatt olyan berendezés felépítését értjük, amely lehetővé teszi egy adott matematikai művelet végrehajtását. Jelen esetben a korrelációs megvalósítása a cél.

A visszavert jel a kisugárzott jeltől, csak amplitúdóban különbözik, illetve  $t_c$  késleltetési idővel rendelkezik. Az elégéses vevő a 10. ábrán látható.

Az ábra alapján:

$$Z(\tau) = \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_k) dt = \int_0^T s(t - t_c) \cdot s(t - t_k) dt + \int_0^T n(t) \cdot s(t - t_k) dt \quad (44)$$

A 44. kifejezés első tagja az ún. autokorreláció, míg a második a keresztkorreláció-függvényt jelenti. Látható, hogy a zaj csak a második tagban szerepel, de a zaj független  $s(t - t_k)$ -től, így értéke zérus, tehát a zaj kiesett.

Az elégéses vevő felépítésekor elegendő a likelihood-függvényt vizsgálni, de célszerűbb a likelihood-hányadost realizálni.

$$\Lambda(x) = \frac{L(s)}{L(0)} \quad (45)$$

ahol  $L(s)$ -ben  $x(t) = s(t - t_c) + n(t)$  szerepel, míg az  $L(0)$ -ban  $x(t) = n(t)$ , mert  $s(t - t_c) = 0$

A vevőben van egy küszöbérték  $\Lambda_0$  vizsgáló áramkör.

Ismert paraméterű jelek esetén a likelihood-hányados monoton növekvő függvény lesz a 11. ábra szerint. Részletes bizonyítás nélkül a likelihood-függvény végső alakja:

$$\Lambda(x) = \exp \left( -\frac{E}{N_0} \right) \exp \left[ \frac{2}{N_0} Z(\tau) \right] \quad (46)$$

ahol:

$$E = \int_0^T s(t - t_c) dt$$

Ahhoz, hogy a likelihood-függvényt számítsuk ki, elegendő a  $Z(\tau)$  vizsgálata.

Két esetet veszünk figyelembe:

-  $\Lambda(x) \geq \Lambda(0)$  akkor van cél.

-  $\Lambda(x) < \Lambda(0)$  akkor nincs cél.

A vevő felépítését a 12. ábra mutatja.

Ennek a módszernek hátránya, hogy a cél felderítése csak a korrelációs időn belül lehetséges. Ez pl. 1  $\mu$ s-os impulzusidő esetén mindössze 150 m, ami azt jelenti, hogy 6 km hatótávolság esetén 40 csatornát kell alkalmazni. Ezt úgy küszöbölik ki, hogy változtatható késleltetésű áramkört alkalmaznak.

Megjegyezzük, hogy a GPS műholdas helymeghatározó rendszer – ahol más impulzusparaméterek és távolságviszonyok vannak – korrelációs vevője ugyanilyen elven működik.

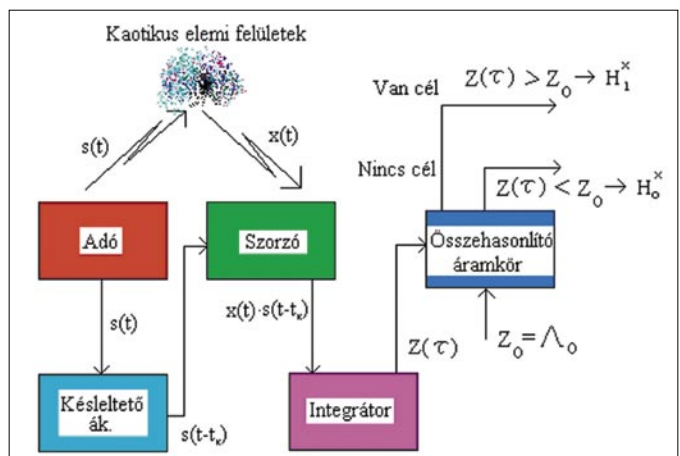
## 8. VÉLETLEN PARAMÉTERŰ JELEK LIKELIHOOD-HÁNYADOSA

A 6. pontban teljesen ismert paraméterű jelekre adtuk meg a likelihood-hányadost, ebben a pontban ugyanezt adjuk meg véletlen paraméterű jelekre.

A vett jel a következő általános matematikai összefüggéssel írható le:

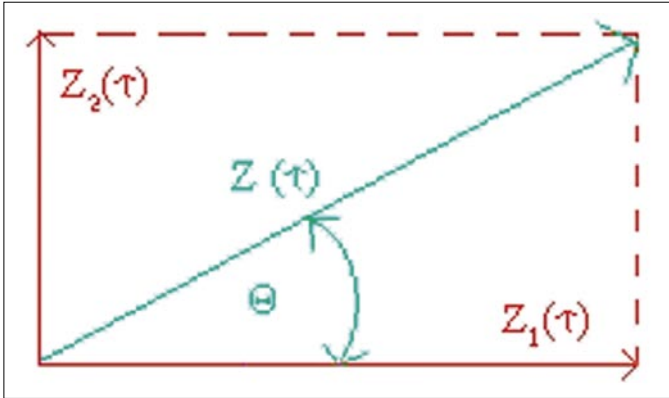
$$s(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m) \quad (47)$$

ahol  $\alpha$  a mért paramétereket,  $\beta$  a nem mért paramétereket jelenti. A nem mért paraméterek azok, amelyeket valamilyen ok miatt nem lehet mérni, vagy nem akarjuk mérni, mert hasznos információkat nem tartalmaz. A gyakorlatban elegendő azt az esetet



12. ábra: optimális vevő felépítése összehasonlító áramkörrel





13. ábra:  $Z(t)$  ábrázolása

vizsgálni, amikor a 47. kifejezésben csak a  $t_c$  és  $\beta_1, \beta_2$  szerepel. Ekkor  $s(t, t_c, \beta_1, \beta_2)$  érvényesül. A likelihood-függvény megkeresésénél az együttes sűrűségfüggvényből kell kiindulni, hasonlóan a 33. kifejezéshez.

$$f_s(x, \beta_1, \beta_2) = f_s(x) \cdot f_{s\beta}(\beta_1, \beta_2)$$

$$f_s(x, \beta_1, \beta_2) = f_s(\beta_1, \beta_2) \cdot f_{s\beta_1, \beta_2}(x)$$

Láthatóan ezek egymással egyenlők, így azokat egyenlővé téve  $\beta$  szerint integrálva:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_s(x) \cdot f_{s\beta}(\beta_1, \beta_2) d\beta_1 d\beta_2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{s\beta_1, \beta_2}(x) \cdot f_s(\beta_1, \beta_2) d\beta_1 d\beta_2$$

Az  $f_s(x)$  nem függ  $\beta$ -tól, ezért:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{s\beta}(\beta_1, \beta_2) d\beta_1 d\beta_2 = 1$$

Így:

$$f_s(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{s\beta_1, \beta_2}(x) \cdot f(\beta_1) \cdot f(\beta_2) d\beta_1 d\beta_2 \Big|_{f_0(x)}$$

Az  $f_0(x)$  annak a feltételnek felel meg, amikor a bemeneten csak zaj van, ami nem függ  $\beta$ -tól.

$$\Lambda(x) = \frac{f_s(x)}{f_0(x)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_{s\beta_1, \beta_2}(x)}{f_0(x)} f(\beta_1, \beta_2) d\beta_1 d\beta_2 \quad (48)$$

ami a likelihood-hányados.

Tovább alakítva:

$$\Lambda(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Lambda_{\beta_1, \beta_2}(x) \cdot f(\beta_1) \cdot f(\beta_2) d\beta_1 d\beta_2 \quad (49)$$

A nem mért paraméterek hatását és a zajt is figyelembe véve a nem mért paraméterű jelekre is felírható a likelihood-hányados:

$$\Lambda(x) = \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{E(\varphi_0)}{N_0}\right] \exp\left[\frac{2}{N_0} Z(\tau, \varphi_0)\right] f(\varphi_0) \cdot d\varphi_0 \quad (50)$$

## 9. LIKELIHOOD-HÁNYADOS ISMERT AMPLITÚDÓJÚ ÉS VÉLETLEN FÁZISÚ JELEKRE

Gyakran találkozunk olyan esetekkel, amikor van fényes pont és az amplitúdó közel állandó, de fázisa véletlen mennyiség. Továbbiakban vizsgáljuk azt az esetet, amikor a vett jel egy nem mérendő paramétert ( $\varphi_0$ ) tartalmaz. Ekkor  $\beta_1 = \varphi_0$  és  $\beta_2 = 0$ , a likelihood-hányados:

$$\Lambda(x) = \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{E(\varphi_0)}{N_0}\right] \exp\left[\frac{2}{N_0} Z(\tau, \varphi_0)\right] f(\varphi_0) \cdot d\varphi_0 \quad (51)$$

A  $\varphi_0$  és a korrelációs integrál közötti összefüggés implicit alakú, ezért előbb a  $\varphi_0$  sűrűségfüggvényét kell meghatározni.

Ha nincs fényes pont, akkor  $s_t = 0$ , vagyis a fényes ponttól történő visszavert jel 0. Ekkor  $f(\varphi_0) = 1/2\pi = \text{const}$ . Így a sűrűségfüggvény nem függ a kezdő fázistól. A következőkben meg kell keresni a  $Z(\tau, \varphi_0)$  és  $E(\varphi_0)$  függését  $\varphi_0$ -tól.

Ismert amplitúdójú és fázisú jelekre:

$$s[(t - t_c), \varphi_0] = s(t - t_c) \cos[\omega_0(t - t_c) + \varphi_0(t - t_c) + \varphi_0] \quad (52)$$

Vezessük be a  $\varphi_{01} = \varphi_0 - \omega_0 t_c$  jelölést, felhasználva a visszavert jel matematikai modelljét, az  $E(\varphi_0)$  és  $Z(\tau, \varphi_0)$  összefüggése a kezdő-fázisból meghatározható:

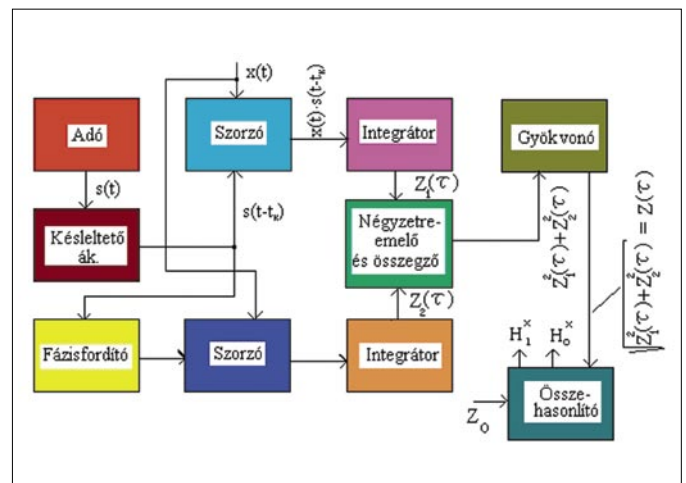
$$\begin{aligned} E(\varphi_0) &= \int_0^T s^2[(t - t_c), \varphi_0] dt = \\ &= \int_0^T s^2(t - t_c) \cos^2[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c) + \varphi_{01}] dt = \\ &= \frac{1}{2} \int_0^T s^2(t - t_c) dt + \\ &+ \frac{1}{2} \int_0^T s^2(t - t_c) \cos\left[-2(\omega_0 t) + \varphi_0(t - t_c) + \varphi_{01}\right] dt \end{aligned} \quad (53)$$

A korreláció integrál:

$$\begin{aligned} Z(\tau, \varphi_0) &= \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_c) dt = \\ &= \int_0^T s[t - t_c] \cos[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c) + \varphi_{01}] \cdot s[t - t_c] \cos[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c) + \varphi_{01}] dt \end{aligned}$$

Rövid számítás után kapjuk:

$$\begin{aligned} Z(\tau, \varphi_0) &= \cos \varphi_{01} \int_0^T s[t - t_c] \cos[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c)] \cdot s[t - t_c] \cos[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c)] dt - \\ &- \sin \varphi_{01} \int_0^T s[t - t_c] \sin[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c)] \cdot s[t - t_c] \sin[\omega_0 t + \varphi_0(t - t_c)] dt = \\ &Z_1(\tau) + Z_2(\tau) \end{aligned}$$



14. ábra: optimális vevő ismert amplitúdójú és véletlen fázisú jelekre

## 10. LIKELIHOOD HÁNYADOS VÉLETLEN KEZDŐFÁZISÚ ÉS FLUKTUÁLÓ AMPLITÚDÓJÚ JELEKRE

vagyis:

$$Z_1(\tau) = \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_k) \cos[\omega_0 t + \varphi_s(t - t_k)] dt \quad (54)$$

$$Z_2(\tau) = - \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_k) \sin[\omega_0 t + \varphi_s(t - t_k)] dt \quad (55)$$

A végeredmény pedig:

$$Z(\tau, \varphi_0) = \cos \varphi_0 \cdot Z_1(\tau) + \sin \varphi_0 \cdot Z_2(\tau) \quad (56)$$

Az 56. kifejezés ábrázolása a 13. ábrán látható.

Az ábra alapján:

$$Z_1(\tau) = Z(\tau) \cdot \cos \theta, \quad Z_2(\tau) = Z(\tau) \cdot \sin \theta$$

$$\text{és } \tan \theta = \frac{Z_2(\tau)}{Z_1(\tau)}$$

így:

$$Z(\tau, \varphi_0) = \cos \varphi_{01} \cdot \cos \theta \cdot Z(\tau) + \sin \varphi_0 \cdot \sin \theta \cdot Z(\tau) = Z(\tau) \cdot \cos(\theta - \varphi_{01}) \quad (57)$$

Ezzel meghatároztuk az 51. kifejezés minden összetevőjét.

Vagyis:

$$\Lambda(x) = \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{E}{N_0}\right] \exp\left[\frac{2}{N_0} Z(\tau) \cdot \cos(\theta - \varphi_{01})\right] \frac{1}{2\pi} d\varphi_{01} \quad (58)$$

Csak az integrálon belüli második tag függ a fázistól, tehát:

$$\Lambda(x) = \exp\left[-\frac{E}{N_0}\right] \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left[\frac{2Z(\tau)}{N_0} \cos(\theta - \varphi_{01})\right] d\varphi_{01} \quad (59)$$

Az elsőfajú, nulladrendű képzetes argumentumú Bessel-függvény alakja:

$$J_0(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp[\alpha \cdot \cos(\beta - \gamma)] d\gamma$$

ezért:

$$\Lambda(x) = \exp\left[-\frac{E}{N_0}\right] \cdot J_0\left[\frac{2 \cdot Z(\tau)}{N_0}\right] \quad (60)$$

A leírtak lehetővé teszik, hogy felépítsük az ismert amplitúdójú és véletlen fázisú jelek optimális vevőjét.

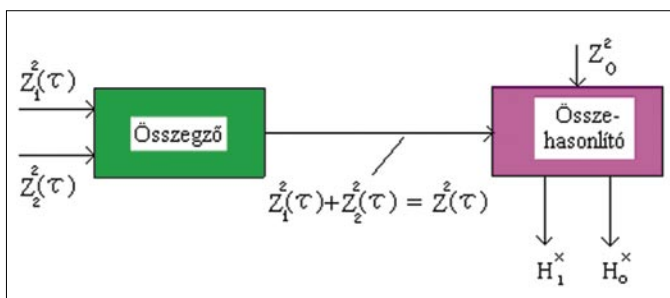
$$Z^2(\tau) = Z_1^2(\tau) + Z_2^2(\tau) \Rightarrow Z(\tau) = \sqrt{Z_1^2(\tau) + Z_2^2(\tau)}$$

ahol a  $Z_1(\tau)$  és  $Z_2(\tau)$  az 54. és 55. kifejezések szerinti.

A vevő felépítése a 14. ábrán látható.

A kisugárzott jel alakja:  $s(t) = S \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi_s(t)]$

Látható, hogy ebben az esetben kétsatornás vevőre van szükség. A 7. pontban 40 csatornát is meg kellene duplázni, vagyis 80 csatornát kapnánk, tehát itt is változtatható késleltetésű áramkört kell alkalmazni.



15. ábra: optimális vevő véletlen kezdőfázisú és fluktuáló amplitúdójú jelekre

Ekkor  $\beta_1 \rightarrow \varphi_0$  és  $\beta_2 \rightarrow A$  és mindkettő véletlen mennyiség, így az 51. kifejezés új alakja:

$$\Lambda(x) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{E(\varphi_0, A)}{N_0}\right] \exp\left[\frac{2}{N_0} Z(\tau, \varphi_0, A)\right] f(\varphi_0) \cdot f(A) \cdot d\varphi_0 \cdot dA \quad (61)$$

A legkedvezőtlenebb eset visszavert jelek feldolgozása szempontjából, ha nincs fényes pont, vagyis:

$$f(\varphi_0) = \frac{1}{2\pi} = \text{const}$$

és a Rayleigh-törvény szerint:

$$f(A) = 2A \cdot \exp(-A^2) \quad (62)$$

Az 52. kifejezés új formája:

$$s(t - t_c) = A \cdot s(t - t_c) \dots \dots \cos[\omega_0(t - t_c) + \varphi_s(t - t_c) + \varphi_0] \quad (63)$$

A korreláció integrál meghatározásához előbb meg kell találni a jel energiáját:

$$E(\varphi_0, A) = \int_0^T s^2(t - t_c) dt = \int_0^T A^2 \cdot s(t - t_c) \cos^2[\omega_0(t - t_c) + \varphi_s(t - t_c) + \varphi_0] dt = A^2 \int_0^T s^2(t - t_c) \cos^2[\omega_0(t - t_c) + \varphi_s(t - t_c) + \varphi_0] dt = A^2 \cdot E(\varphi_0) \quad (64)$$

Az  $E(\varphi_0) = E$ , mert a véletlen jelleg nem befolyásolja az energiát, ezért:

$$E(\varphi_0, A) = A^2 \cdot E \quad (65)$$

A korreláció integrál:

$$Z(\tau, \varphi_0, A) = \int_0^T x(t) \cdot A \cdot s(t - t_k) \cos[\omega_0(t - t_k) + \varphi_s(t - t_k) + \varphi_0] dt = A \int_0^T x(t) \cdot s(t - t_k) \cos[\omega_0(t - t_k) + \varphi_s(t - t_k) + \varphi_0] dt = A \cdot Z(\tau, \varphi_0) \quad (66)$$

de korábbról ismert az alábbi két egyenlet:

$$Z(\tau, \varphi_0) = Z(\tau) \cos(\theta - \varphi_{01}) \quad (67a)$$

$$Z(\tau) = \sqrt{Z_1^2(\tau) + Z_2^2(\tau)} \quad (67b)$$

Így a korreláció integrál:

$$Z(\tau, \varphi_0, A) = A \cdot Z(\tau) \cdot \cos(\theta - \varphi_{01}) \quad (68)$$

és a likelihood-hányados:

$$\Lambda(x) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{A^2 \cdot E}{N_0}\right] \exp\left[\frac{2}{N_0} Z(\tau) \cdot A \cdot \cos(\theta - \varphi_0)\right] \frac{1}{2\pi} 2 \cdot A \cdot \exp(-A^2) d\varphi_0 \cdot dA =$$

$$= 2 \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{E+N}{N_0} A^2\right) A \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left[\frac{2 \cdot Z(\tau) \cdot A}{N_0}\right] \cos(\theta - \varphi_{01}) d\theta dA$$

Az integrál alatti rész  $1/2\pi$ -szeres szorzata az elsőfajú, nulladrendű, képzetes argumentumú Bessel-függvény, így ennek felhasználásával:

$$\Lambda(x) = 2 \int_0^{\infty} A \cdot \exp\left(-\frac{E+N_0}{N_0} A^2\right) \cdot J_0\left[\frac{2 \cdot Z(\tau) \cdot A}{N_0}\right] dA$$

de:

$$\int_0^{\infty} x \cdot \exp(-\alpha \cdot x^2) \cdot J_0(\beta \cdot x) dx = \frac{1}{2 \cdot \alpha} \exp\left(-\frac{\beta^2}{4 \cdot \alpha}\right)$$

$$\text{ahol: } \alpha = \frac{E+N_0}{N_0} \text{ és } \beta = \frac{2 \cdot Z^2(\tau)}{N_0}$$

A végeredmény:

$$\Lambda(x) = \frac{N_0}{E+N_0} + \exp\left[\frac{Z^2(\tau)}{N_0(E+N_0)}\right] \quad (69)$$

Ezzel megkaptuk a likelihood-hányados végső alakját. Mivel a likelihood-hányados ekvivalense a korrelációfüggvény, ezért elegendő ennek realizálása. Ebben az esetben a korrelációintegrál ugyanaz, mint az előző esetben, csak itt négyzetre van emelve, így a felépítés valójában megegyezik a 14. ábrával, kivéve a 15. ábrán látható megoldást.

## Irodalom

- [1] Dr. Tamási Ferenc: Rádiolokátorteknika. Zrínyi Katoni Kiadó–Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [2] Arató Máttyás–Knuth Előd: Sztochasztikus folyamatok elemei, BME, Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.
- [3] M. Ezekiel – K. A. Fax: Korreláció és regresszióanalízis. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [4] Prékopa András: Valószínűségelmélet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [5] Reimann József–Tóth Julianna: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [6] Dr. Oláh Ferenc, Válogatott fejezetek a navigációs berendezésekhez, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [7] Ugróczki László–Dr. Oláh Ferenc: Radarberendezések. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1993.
- [8] Vincze István: Matematikai statisztika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [9] Rényi Alfréd: Valószínűségszámítás, Tankönyvkiadó, 1966.
- [10] Samuel Karlin–Howard M. Taylor: Sztochasztikus folyamatok, Gondolat, Budapest, 1985.
- [11] Fazlollah M. Reza: Bevezetés az információelméletbe, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [12] W. Wehrmann: Korrelációs technika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [13] М. И. Финкельштейн: ОСНОВЫ РАДИЛОКАЦИИ. Москва, Советское Радио, 1973.
- [14] И. А. ЛИПКИН: Основы статической радиотехники, теории информации и кодирования, Москва. Советское Радио, 1978.
- [15] Werner Wiesbeck: Radar System Engineering, www.lhe.uni-karlsruhe.de 2005.
- [16] Multifunctional Automotive Radar Network (RadarNet) Deliverable D40, Final Report, 2004.
- [17] Minszki Légvédelmi Rakéta és Rádiótechnikai Egyetem előadásának anyaga Lokátorelmélet c. tantárgyból.

## IMPRESSZUM

### A jövő járműve • Járműipari innováció

I. évfolyam, 2006/3–4. 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. Nádaí László • Dr. Palkovics László • Dr. Réti Tamás •  
Dr. Stukovszky Zsolt • Szilasi Péter Tamás • Dr. Tisza Miklós

NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS:  
Direct Média Kft. • 9023 Győr, Buda u. 19.

PÉLDÁNYSZÁM: 1500



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.



# automotive **testing** expo 2007 europe

Europe's only Automotive Testing, Evaluation  
and Quality Engineering Trade Fair



## 8, 9, 10 May 2007

Messe Stuttgart, Germany

AUTOMOTIVE TESTING EXPO EUROPE 2007,  
Abinger House, Church Street,  
Dorking, Surrey RH4 1DF, UK  
Tel: +44 (0) 1306 743744  
Fax: +44 (0) 1306 877411  
email: expo@ukintpress.com

[www.testing-expo.com](http://www.testing-expo.com)





ELEKTRONIKUS JÁRMŰ  
ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI  
TUDÁSKÖZPONT

**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](mailto:info@ejit.bme.hu)



JÁRMŰIPARI  
REGIONÁLIS EGYETEMI  
TUDÁSKÖZPONT  
GYŐR

**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](mailto:jret@sze.hu)

