

Harmati István Árpád

Járműtest energiaabszorpciós deformációs modelljeinek  
identifikációja

**Tézisfüzet**

Témavezető: Dr. Várlaki Péter

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Járműváz- és Könnyűszerkezetek Tanszék

---

## Bevezetés, probléma felvetés

A közúti forgalom nagyságának növekedésével a balesetek száma is emelkedik. Az EU irányelveinek megfelelően a baleseteknek mind a számát, mind a súlyosságát csökkenteni kell. Így mind nagyobb szerep jut az egyre fejlődő ún. aktív és passzív járműbiztonsági rendszereknek is. Az aktív biztonság tulajdonképpen a baleset elkerülését jelenti, ide sorolhatóak a jármű mozgását, az útviszonyokat és a közlekedés többi résztvevőjének mozgását is elemző intelligens járműirányítási rendszerek, míg passzív biztonságon azt értjük, hogy ha már bekövetkezett a baleset, akkor azt az érintettek a lehető legkisebb sérülésekkel vészeljék át. A passzív biztonsági rendszerek legfontosabb elemei a biztonsági öv, a különféle légzsákok, és az ún. energia elnyelő elemek, energia elnyelő vagy más néven gyűrődési zónák. Ez utóbbiak az ütközés előtti mozgási energia elnyelésére szolgálnak, így megóvják az utasteret az ütközés súlyosabb következményeitől, legalábbis egy bizonyos sebességhatárig.

A felsoroltak mindegyikének fejlesztése rendkívül bonyolult mérnöki feladat, melyek megoldásában felhasználják a tapasztalati adatokat, a vizsgált rendszert legalább közelítőleg leíró matematikai modelleket, és természetesen a szimulációs eljárások eredményeit ([13]). A tapasztalati adatok származhatnak valódi balesetekből, ekkor viszont csak kevés paraméter ismert, és ezek értéke is bizonytalan. Ezért megfelelőbb, ha jól megtervezett, ismert paraméterekkel rendelkező, legalább elvileg megismételhető törési próbákat hajtanak végre. Ennek során a vizsgált jármű és az ütközési folyamat minél több paramétereit regisztrálják, majd az elméleti szimulációs modell viselkedését az itt mért adatokkal hasonlítják össze ([6]). Ezek a kísérletek azonban egyrészt rendkívül költségesek, évente csak néhány ezret végeznek el belőlük, másrészt a rendszer minden egyes paramétereit szinte lehetetlen egyszerre mérni az ütközési folyamat igen rövid időtartama alatt. Ezért az egyes részfolyamatokra és azok paramétereire vonatkozó modellezési eljárásoknak és becsléseknek kiemelt fontosságuk van.

Az ütközési deformációs folyamatok teljes körű modellezésére a mérnöki gyakorlatban általában valamilyen, a gyorsan változó erőhatások és a plasztikus alakváltozás kezelésére alkalmas végeeselemes szoftvert használnak ([10],[12]). Jól ismert, hogy a folyamat klasszikus leírásához egzakt módon ismernünk kellene a járműtest minden összetevőjének alapvető fizikai paramétereit, mint például rugalmassági modulus, nyírási modulus, stb. Ezek általában pontosan nem ismertek, de egzakt paraméterek esetén is igen bonyolult, általában

---

parciális differenciálegyenlet rendszerek megoldása jelentené a deformációs folyamat egzakt leírását. Ilyen típusú megközelítésen alapulnak a rugalmas/plasztikus deformációs folyamatok modellezésére ma már széleskörűen alkalmazott végeelem módszerek is. A mechanikai jelentésű differenciálegyenlet rendszer numerikus megoldását adó végeelemes módszer általános, szinte minden területen használható eljárást eredményez. Az így felépülő eljárás viszont rendkívül bonyolult és nagy számításigényű, másrészt a paraméterek részletekbe menő ismeretét tételezi fel. Ezzel szemben a csak egy jól körül határolt konkrét részproblémát (pl. az energia eloszlást) kezelő modellek jóval egyszerűbben kezelhetők lehetnek, de természetesen nem nyújtanak teljes körű leírást ([20], [26]).

A balesetelemzés során kiemelt figyelmet kap a jármű szerkezeti struktúra energia elnyelő képessége, ezen belül kiemelten a járműtest plasztikus deformációja által elnyelt kinetikus energia minél pontosabb becslése ([11]). Az így meghatározott energia ekvivalens sebességet alkalmazzák a balesetelemzésnél ([14]). A deformációs folyamat során elnyelt energia meghatározására és a deformáció során fellépő erő közelítő leírására több modell is ismeretes. Összehasonlítva a végeelem alapú eljárásokkal, ezek kevésbé pontos eredményeket szolgáltatnak, viszont sokkal kedvezőbb számítási kapacitás igényük van és jóval kevesebb ismert paraméterre támaszkodnak.

A járműtest merevsége széles körben használt heurisztikus fogalom a balesetelemzés és a járműbiztonság területén ([16], [17], [18]). A merevség, mint egyetlen számérték, egyértelműen meghatározott a lineáris modell esetében, viszont a járműtest deformációs folyamatok általában nem írhatóak le kielégítően lineáris modellel ([9], [22], [23]), sőt a merevség pontos fogalmának interpretálására is többféle lehetőség kínálkozik ([19]). A deformáció során fellépő erőt közelítő modellekben megfigyelhető az alkalmazott erőlefutási függvény és az ezzel szoros összefüggésben levő merevségi függvény egyre komplexebb megragadása ([5], [28]).

Az ütközéskor elszenvedett deformáció mértéke szoros összefüggésben van a deformáció során felemésztett energiával, amely sok esetben közelítőleg megegyezik a jármű ütközés előtti mozgási energiájával. Az energia elnyelő zónák feladata tulajdonképpen a jármű kinetikus energiájának deformációs energiává alakítása, természetesen az utasbiztonság céljainak megfelelően. A deformáció nagyságának ütközési sebesség (energia) függését persze rengeteg tényező befolyásolhatja (pl. az ütközés típusa, a vázszerkezet felépítése, a motor elhelyezkedése stb.), de a folyamat során elnyelt energia minden esetben lényeges

---

információt hordoz. Fontos feladat tehát a deformációs folyamat során elnyelt energia eloszlásának, mennyiségének vizsgálata, erre irányuló modellek identifikálása, ezek paraméter függéseinek értelmezése.

Az utóbbi években az irányításelmélet területén, magas szintű multilineáris algebrai eszköztárra támaszkodva ([8]) új módszerek születtek a lineáris paraméterfüggő (linear parameter varying, LPV) modellek vizsgálatára ([1], [2], [4], [7], [15]). Ezzel lehetőség nyílik a nemlineáris rendszerek egy széles osztályának egységes numerikus kezelésére ([3], [24]). Nemlineáris rendszernek modellezésére ma már széles körben elterjedtek a fuzzy logikán alapuló módszerek is ([25], [29]). Jelen dolgozat egyik célja az irányításelmélet területén a közelmúltban már sikerrel alkalmazott módszereknek a baleseti járműtest deformációs folyamatok modellezésében történő alkalmazhatóságának vizsgálata.

## **Célkitűzések**

Az értekezés célja új identifikációs és becslési eljárások kidolgozása a járműtestek teljes (elasztikus és maradandó) deformációs folyamatainak leírására. A fő célkitűzés olyan új energiaabszorpciós modellek megalkotása, amelyek gyorsan és hatékonyan adnak elfogadható pontosságú leírást a deformációs folyamat gyakorlati kezeléséhez, valamint a deformációs folyamatokat kísérő nemlineáris erőalakulások modellezési lehetőségeinek továbbfejlesztésére vonatkozó vizsgálatok kivitelezése. Fontos szempont volt, hogy ne tételezzük fel a járműtest és annak fizikai paramétereinek részletekbe menő ismeretét, hanem kezeljük azt egyetlen egységként, részleteiben ismeretlen viselkedésű fekete dobozként. További célkitűzésem volt az irányításelméletben az utóbbi években kifejlesztett módszerek más irányú alkalmazhatóságának vizsgálata.

### **A kutatómunka során az alábbi célokat tűztük ki:**

- A deformációs folyamatot kísérő erőváltozási folyamatok elemzésére alkalmas modellek összehasonlítása és elemzése, különös tekintettel a merevségi függvény alakulására.

- 
- A deformációs folyamat egyszerű heurisztikus modelljének kidolgozásához szükséges alrendszer-jellemzők (pl. energiaelnyelési képesség) meghatározása. A heurisztikus modell illusztratív bemutatása gépjárművek tipikus baleseti ütközési helyzeteire.
  - A deformáció során fellépő erőfolyamatok további műszaki jellemzőktől való függőségi viszonyainak figyelembevételével a deformációs folyamat nemlineáris modellel történő leírása.
  - A közelítően lineáris erő-deformáció összefüggés bizonyos általánosításaként értelmezhető lineáris paraméterfüggő (linear parameter varying, LPV) erőlefutási modell identifikálása.
  - Az LPV rendszer magasabb rendű szingulárisérték szerinti felbontás (higher order singular value decomposition, HOSVD) alapú redukciójának vizsgálata.
  - Az LPV/HOSVD alapú identifikációs eljárás valós adatokon történő bemutatása.

## **Az eredmények összefoglalása**

Az értekezés eredményeit az alábbiakban foglaltam össze:

A diszkrétizált járműtest dinamikai szempontból tulajdonképpen nemlineáris rugókarakterisztikával és száraz súrlódásos kapcsolattal rendelkező részrendszerek (többdimenziós) láncolatával modellezhető. A modell viselkedése pusztán energetikai szempontból vizsgálva leírható egyszerű nemlineáris függvényekkel, és akár a mögöttes dinamikai rendszer részletes vizsgálata nélkül is értelmezhető. Az így kapott modellel kapcsolatosak az alábbi tézisek:

### **1. Tézis: A közúti járműütközések során a deformációs alakváltozással összefüggésben fellépő energia eloszlások vizsgálatára új módszert dolgoztam ki. ([S1], [S2], [S5])**

***Megjegyzések:** A módszer az ortogonális rácshálóval cellákra osztott járműtest energia eloszlását cellánként és irányonként úgynevezett energiaelnyelési függvényekkel közelíti, melyek az adott cella energiaelnyelő képességét írják le a deformáció adott szakaszában. A modell számítási komplexitása függ a használt elnyelési függvények bonyolultságától, ezért javasoltam a lehető legegyszerűbb, a folyamat jellegének megfelelő,*

---

szakaszonként lineáris és a finomabb közelítést lehetővé tevő szigmoid jellegű függvények alkalmazását. Az általam javasolt újszerű megközelítési módszer így rugalmas vizsgálati és tervezési lehetőséget biztosít és megalapozza az intelligens számítási módszerek hatékony alkalmazását.

**2. Tézis: A módszer bemutatására kidolgoztam a közúti járműütközések és balesetek jelentős hányadát kitevő, teljes szélességben történő és részlegesen átlapoló frontális ütközések kvalitatív cellamodelljét. ([S4], [S6], [S7], [S10])**

*Megjegyzések:* Az egyes cellák viselkedését leíró függvények paraméterei egymástól függetlenül változtathatóak, így könnyen modellezhetjük az egyes járműtípusok eltérő merevségi viszonyait. Az így kialakított módszer a balesetelemző mérnök számára lehetővé teszi a jelentős mértékben eltérő fizikai karakterisztikával bíró ütközési folyamatok eredményes és rugalmas leírását. A módszer nagyvonalú közelítést biztosít, előnye, hogy gyors és egyszerű, könnyen végrehajtható, az egyes cellák viselkedését leíró függvények paramétereinek változtatásával a modellezett jármű jellege egyszerűen megváltoztatható. Az eljárás tentatív kiindulási eredményeket biztosít az átfogóbb vizsgálatok számára, melyeket ilyen eredmények nélkül a várható nagy esetszám és számítási költség miatt nem érdemes elindítani.

A kutatómunka során összevettem a szakirodalomban fellelhető, a járműtest deformációs folyamatokra vonatkozó ismertebb erőmodelleket. Ezen modellek mindegyike tulajdonképpen a lineáris erőmodell általánosításának tekinthető, az egyre finomabb leírást tulajdonképpen a merevségi paraméter (függvény) egyre összetettebbé válásával éri el. A mérési adatok elemzése után a lineáris modell további általánosításaként javasoltam a deformáció során fellépő erő lineáris paraméterfüggő modellezését. Ezzel kapcsolatos eredményeimet az alábbi tézisekben foglaltam össze:

**3. Tézis: A lineáris paraméterfüggő (linear parameter varying, LPV) modellezési paradigma alkalmazásával az erősen nemlineáris alakváltozás leírására új módszert dolgoztam ki a deformációs erőmodellek identifikálására. ([S8], [S9])**

*Megjegyzések:* Ennek során a járműtest deformációs folyamatainak elemzésében használatos merevség fogalmak alternatívájaként javaslatot tettem az eddigieknél

---

*bonyolultabb, de a deformációs folyamatot pontosabban leíró sajátos merevségi fogalom használatára a közelítő számítások hatékony megvalósítása érdekében.*

**4. Tézis: A klasszikus lineáris erőmodell általánosításaként javaslatot tettem az LPV típusú erőmodell alkalmazására, mely speciális esetként magában foglalja a töréstesztek elemzéseinél használatos ismertebb erőmodelleket. ([S8], [S9])**

***Megjegyzések:** Megmutattam, hogy az ütközések nemlineáris deformációs folyamatai bizonyos ütközési típusok esetén jól közelíthetők LPV modellekkel. Az így kialakított modell alkalmas újabb, egyszerűbb erőmodellek felállítására, lehetőséget biztosít a részletesebb és bonyolultabb számítási módszerek induló adatokból származó bizonytalanságának csökkentésére.*

**5. Tézis: Az LPV megközelítés és az alkalmazott HOSVD eljárás alapján gyakorlati identifikációs eljárást mutattam be valós töréstesztek adatsorainak felhasználásával.**

***Megjegyzések:** Az általam kialakított újszerű modellezési lehetőség hidat képezhet az intelligens heurisztikus eljárások és az analitikus nemlineáris függvényekkel operáló, ún. egzakt módszerek között.*

## **Alkalmazási lehetőségek**

Az eredmények alkalmazhatóságát a közúti járművek passzív biztonságának fejlesztése jelenti. Közúti balesetek esetén a jármű kinetikus energiájának jelentős része a járműtest deformációja során nyelődik el. Az így elnyelt energia meghatározása, vagy legalább kielégítő becslése kulcsfontosságú a balesetelemzésben és a biztonságosabb járművek tervezésénél. Hasonlóan fontos az utasbiztonság növelése szempontjából a deformáció során fellépő erő lefutásának kielégítő, de lehetőleg egyszerű, a valóságot jól tükröző modellezése is. A heurisztikus és HOSVD alapú megközelítések jó kiindulási alapot szolgáltathatnak a finomabb, részletesebb vizsgálatok számára. Az általában szabályozástechnikai célokra alkalmazott LPV alapú leírás pedig további lehetőséget adhat a jövőben ütközéscsillapító eljárások tervezésére is.

---

## Saját publikációk

- [S1] Harmati, I., Rövid, A., Szeidl, L., Várlaki, P.: Identification and Reconstruction of Car Body Deformation Applying Tensor Product Models. In *Proc. of the 10th International Conference on Intelligent Engineering Systems*, pages 98–101, London, United Kingdom. 2006.
- [S2] Harmati, I., Rövid, A., Szeidl, L., Várlaki, P.: Identification of Car Body Deformation Applying Tensor Product Models. In *Proc. of the 3rd International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, pages 70–76, Timisoara, Romania. 2006.
- [S3] Harmati, I., Orbán, G., Várlaki, P.: Takagi-Sugeno Fuzzy Control Models for Large Scale Logistic Systems. In *Proc. of the 3rd International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Agadir, Morocco. CD. 2007.
- [S4] Harmati, I., Rövid, A., Várlaki, P.: Energy Absorption Modelling Technique for Car Body Deformation. In *Proc. of the 4th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, pages 269–272, Timisoara, Romania. 2007.
- [S5] Harmati, I., Rövid, A., Várlaki, P.: Estimation of Energy Distribution for Car-Body Deformation. In *Proc. of the 3rd International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Agadir, Morocco. CD. 2007.
- [S6] Harmati, I., Várlaki, P.: A deformációs energia eloszlásának modellezése baleseti járműtest deformáció esetén. *A Jövő Járműve*. 2007.
- [S7] Harmati, I., Várlaki, P.: Identification of Energy Distribution for Crash Deformational Processes of Road Vehicles. *Acta Polytechnica Hungarica*, 4(2):19–28. 2007.
- [S8] Harmati, I., Rövid, A., Szeidl, L., Várlaki, P.: Energy distribution modeling of car body deformation using fuzzy control and LPV representations. In *Proceedings of the 8th conference on Applied Informatics and Communications*, pages 146–151.



---

World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Stevens Point, Wisconsin, USA. 2008.

- [S9] Harmati, I., Szeidl, L., Rövid, A., Várlaki, P.: Energy distribution modeling of car body deformation using LPV representations and fuzzy reasoning. *WSEAS Transactions on Systems*, 7(11):1228–1237. 2008.
- [S10] Harmati, I., Rövid, A., Várlaki, P. : Heuristic Model for Energy Absorption of Car Body Deformational Processes, *Scientific Bulletin of 'Politehnica' University of Timisoara, Transactions on Automatic Control and Computer Science* (közlésre elfogadva)

---

## Hivatkozások

- [1] P. Baranyi. TP model transformation as a way to LMI-based controller design. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 51(2):387-400, 2004.
- [2] P. Baranyi, A.R. Várkonyi-Kóczy, Y. Yam, and R.J. Patton. Adaptation of TS Fuzzy Models Without Complexity Expansion: HOSVD-Based Approach. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54(1), 2005.
- [3] Baranyi, P. Varlaki, and L. Szeidl. Definition of the HOSVD based canonical form of polytopic dynamic models. In *IEEE International Conference on Mechatronics*, pages 660-665, 2006.
- [4] G. Belforte, F. Dabbene, and P. Gay. LPV approximation of distributed parameter systems in environmental modelling. *Environmental Modelling and Software*, 20(8):1063-1070, 2005.
- [5] R.M. Brach and M. Brach. *Vehicle accident analysis and reconstruction methods*. Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Dr, Warrendale, PA, 15096, USA, 2005.
- [6] D. Cichos, D. de Vogel, M. Otto, O. Schaar, and S. Zölsch. *Crash Analysis Criteria Description*. Workgroup Data Processing Vehicle Safety, 2006.
- [7] D. Coca and S.A. Billings. Identification of finite dimensional models of infinite dimensional dynamical systems. *Automatica*, 38(11):1851-1865, 2002.
- [8] L. De Lathauwer, B. De Moor, and J. Vandewalle. A Multilinear Singular Value Decomposition. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 21(4):1253-1278, 2000.
- [9] R.I. Emori. Mechanics of Automobile Collisions. In *First International Conference on Vehicle Mechanics*, Wayne State University, Detroit, Michigan, 1968.
- [10] A. Eskandarian, D. Marzougui, and N.E. Bedewi. Finite element model and validation of a surrogate crash test vehicle for impacts with roadside objects. *International Journal of Crashworthiness*, 2(3):239-258, 1997.

- 
- [11] A.G. Fonda. Principles of crush energy determination. *SAE transactions*, 108(6):392-406, 1999.
- [12] P. Griškevičius and A. Žiliukas. The Crash Energy Absorption of the Vehicles Front Structures. *Transport*, 18(2):97-101, 2003.
- [13] M. Huang. *Vehicle Crash Mechanics*. CRC Press, 2002.
- [14] G. Melegh. *Gépjárműszakértés*. Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., 2004.
- [15] S. Nagy, Z. Petres, and P. Baranyi. TP Tool-a MATLAB Toolbox for TP Model Transformation. In *Proceedings of 8 th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary*, pages 483-495, 2007.
- [16] J.A. Neptune. A Comparison of Crush Stiffness Characteristics from Partial-Overlap and Full-Overlap Frontal Crash Tests. *SAE Transactions*, 108(6; PART 1):383-391, 1999.
- [17] J.A. Neptune and J.E. Flynn. A method for determining accident specific crush stiffness coefficients. *SAE Transactions*, 103(6):1249-1265, 1994.
- [18] J.A. Neptune and J.E. Flynn. A Method for Determining Crush Stiffness Coefficients from Offset Frontal and Side Crash Tests. *SAE Transactions*, 107:93-109, 1999.
- [19] G.S. Nusholtz, Lan Xu, Y. Shi, and L. Di Domenico. Vehicle mass and stiffness: Search for a relationship. *SAE Transactions*, 113(6):748-754, 2004.
- [20] M. Ross, D. Patel, and T. Wenzel. Vehicle Design and the Physics of Traffic Safety. *Physics Today*, 59(1):49, 2006.
- [21] A. Rövid and G. Melegh. Modeling and identification of road vehicle body deformation. *Periodica Polytechnica Transportation Science*, 32(1-2):135-148, 2004.
- [22] C.E. Strother, R.W. Kent, and C.Y. Warner. Estimating vehicle deformation energy for vehicles struck in the side. *SAE Transactions*, 107(6):306-322, 1998.
-

- 
- [23] C.E. Strother, R.L. Woolley, M.B. James, and C.Y. Warner. Crush energy in accident reconstruction. *SAE Transactions*, (2):740-756, 1986.
- [24] L. Szeidl, P. Baranyi, Z. Petres, and P. Varlaki. Numerical Reconstruction of the HOSVD Based Canonical Form of Polytopic Dynamic Models. In *Proc. of the International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics, ISCIII'07*, pages 111-116, 2007.
- [25] K. Tanaka and H.O. Wang. *Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach*. Wiley-Interscience, 2001.
- [26] M.S. Varat, S.E. Husher, and J.F. Kerkhoff. *An Analysis of Trends of Vehicle Frontal Impact Stiffness*. Society of Automotive Engineers, 1994.
- [27] A.R. Várkonyi-Kóczy, A. Rövid, and M. da Graca Ruano. Soft-Computing-Based Car Body Deformation and EES Determination for Car Crash Analysis Systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(6):2304-2312, 2006.
- [28] R.L. Woolley. Non-Linear Damage Analysis in Accident Reconstruction. *Accident Reconstruction*, 2001.
- [29] L.A. Zadeh. *The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning*. National Technical Information Service, 1973.