

## A forgalmi folyamatok és a járműdinamikai folyamatok komplex analízisére a közúti közlekedésben

Szauter Ferenc \*, Péter Tamás \*\* és Bokor József \*\*\*

Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutató Központ  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék  
(e-mail \*szauter@sze.hu ; \*\*peter.tamas@mail.bme.hu; \*\*\*bokor@sztaki.hu.)

Kivonat: A felszíni közlekedési hálózat egy nagyméretű dinamikus rendszer. A most bemutatásra kerülő megközelítéssel megvalósítható a hálózati folyamatok és a hálózatokon közlekedő járműdinamikai folyamatok egyesített rendszerben történő analízise. Ez egy új és igen komplex vizsgálati módszer, amely egyszerre vizsgálja a makroszkopikus elven működő nagyméretű felszíni hálózati modellt és a sztochasztikus dinamikus terhelések számítására alkalmas 3D –s gépjármű modellt.

*Kulcsszavak: Nagyméretű közúti hálózatok, közlekedési folyamatok dinamikus modellezése, nemlineáris járműdinamikai rendszer, komplex folyamatanalízis.*

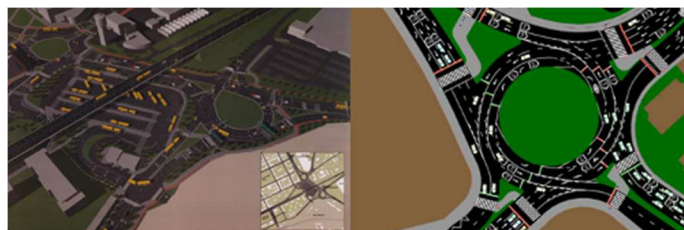
### 1. BEVEZETŐ

A kutatás komplex modellt vizsgál a valós közúti járműfolyamatok leírására. Ennek során, a tetszőleges méretű és topológiájú közúti hálózat speciális matematikai modellezési technikáját használjuk fel. Megadjuk a járműsűrűség állapotterében a komplex rendszer működését leíró nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert, amely a pozitív rendszerek osztályába tartozó makroszkopikus közúti közlekedési modell. A szimuláció a PannonTraffic Engineer szoftver alkalmazásával történik, amely szoftvercsalád a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok komplex modellezésére és analízisére kifejlesztett eszköz, Stróbl, A., Péter, T. (2013). Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.1), S. Fazekas, T. Peter: (2012).

A gépjárművek összetett, nemlineáris dinamikus modellezéséhez számítógépes algebrai módszert alkalmazó intelligens modell-alkotó rendszer kifejlesztését mutatjuk be és röviden elemezzük az módszert. Ennek felhasználásával, az emberi oldalon fellépő modell-tervezés időszükségletét minimalizáljuk. A rendelkezésre álló hálózati IT eszközök és a járművekbe beépített számos elektronikus és elektromechanikai alkatrésznek köszönhetően a komplexitásra kitűzött célok java része ma már elérhető. Fontos feladat lesz majd az új eszközök ipari alkalmazása, ill., bevezetésének a vizsgálata is, továbbá az új eredményeknek az egyetemi oktatásban történő hasznosítása is.

Kiemelendő, hogy a valós közúti trajektóriákon történő járműmozgás és a forgalmi események számos olyan összetett dinamikai folyamatot eredményeznek, ill. helyzetet idéznek elő, amely a kutatás jelentőségét kiemeli és az általunk tárgyalt módon modellezhető. Ilyen például a járműgeometria kérdéseinek elemzése a körgeometriában való haladásnál. Ez esetben a nagyméretű hálózati modell egy részhálózati eleme az a körforgalmi elem is *1.1 ábra*, amelyen valamely

trajektória választáskor áthalad a jármű. Az *1.2 ábra* a Győrben megépült körforgalomban szemlélteti a valós, tehergépjárművek és autóbuszok okozta legkritikusabb konfliktusokat. Ezek tehát már a valós trajektórián fellépő járműdinamikai folyamatok körébe tartoznak. Az *1.2 és 1.3 ábrákon* pl. jól látható, hogy a tehergépjárművek ívben haladásakor az üldözőgörbe a szomszédos forgalmi sávok területeire is kiterjed, ezért erre a tehergépjárművek, autóbuszok és a közlekedő partnerek dinamikai folyamatainak vizsgálatánál különös figyelmet kell fordítani.



*1.1 ábra* A Győrben megépült körforgalmi csomópont szimulációja



*1.2 ábra* A Győrben megépült valós körforgalmonál a gépjárművek okozta konfliktusok



1.3 ábra Győrben megépült körforgalmi valós, csuklós autóbusz okozta konfliktusok

Ugyanez állapítható meg a hossz –és függőleges járműdinamikára gyakorolt hatásokkal kapcsolatban is. A felszíni közlekedés tehát egy rendkívül komplex dinamikus rendszer és ennek korszerű vizsgálata komplex módszereket igényel!

Ma már elvégezhető a hálózati folyamatok és a hálózatokon közlekedő járművek egységes rendszerben történő vizsgálata. E célból a hálózatok dinamikájának tárgyalására a pozitív rendszerek elméletén alapuló vizsgálati módszertant javasolunk, ahol a modell lényegét tekintve, makroszkopikus modell. A pozitív rendszerek irányíthatóságának és a megfigyelhetőségének a feltételei nem vezethetők le egyértelműen az általános rendszereknél megismert módszerekből, Luenberger (1979). A probléma különösen igaz, ha nemcsak az állapotokra, de még a beavatkozó jelre is nem negatív értékkészletet követelünk meg. Ezért a közúti folyamatok tisztán pozitív rendszerként történő leírása az irányítástechnikai szempontból sem triviális feladat. Az irányítási feladat ebben az esetben azt jelenti, hogy úgy kell egy állapottól egy másik állapotba irányítani a rendszert, hogy az állapotátmenet közben is érvényes, hogy nem negatív értékeket vehetnek fel az állapotok, Varga I. and Bokor J. (2007).

Ez a környezet – annak ellenére, hogy makroszkopikus a modell – alkalmas lesz arra is, hogy a valós közlekedési folyamatokat (lámpák, torlódások stb.) figyelembe véve, egy tetszőleges indulási időpontban a hálózat bármely „A” pontjából, egy a hálózaton elérhető és kiválasztott „B” pontra történő valóságos eljutási folyamatot is leírjon, T. Peter, and M. Basset (2009). Ez, a hálózaton járműcsoportok optimális átvezetésén, Oussama Derbel, Tamás Péter, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2012), Oussama Derbel, Peter Tamás, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2013) és útvonalajánlásokon kívül, az intelliges járművek vizsgálati területén is fontos eredmény, (pl. a gépjárművek dinamikai analizése, méretezése, környezeti terhelése, emisszió vizsgálatok, stb.) mivel különböző időpontokban és helyeken, nagyszámú járműre rendkívül gyorsan elvégezhető a számítások. Végül, további új lehetőség, hogy a valós forgalomban trajektóriák menti mért és számított sebességek alkalmasak a hálózati modell validálására is!

## 2 AZ ALKALMAZOTT DINAMIKUS HÁLÓZATI MODELL

A kutatásainkban kiindulásul a szűkített hálózati forgalmi modellt alkalmazzuk, Péter, T. (2012.1), Péter T, and Bokor J (2011, 2010.1, 2010.2.), Péter, T. and Szabó, K. (2012), Péter Tamás (2012.2), amely egy tartományban elhelyezkedő „n” szektorból álló  $x$  állapotvektorral jellemzett belső hálózati elemet tartalmaz. A modellhez „m” darab külső szektorok is tartozik, amelyek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső szektorral, ill., szektorokkal. Ez utóbbiak  $s$  állapotvektorát mérés alapján ismertnek tekintjük. Ennél a modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a  $K_{11}$  és  $K_{12}$  mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik.

$$\dot{x} = \langle L \rangle^{-1} [K_{11}(x, s)x + K_{12}(x, s)s] \quad (2.1)$$

Ahol:  $x \in \mathfrak{R}^n$ ,  $\dot{x} \in \mathfrak{R}^n$ ,  $s \in \mathfrak{R}^m$ ,  $L = \text{diag}\{l_1, \dots, l_n\}$ ,  $l_i$  a főátlóban a belső szakaszok hossza ( $\forall l_i > 0$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ),  $K_{11} \in \mathfrak{R}^{n \times n}$ ,  $K_{12} \in \mathfrak{R}^{n \times m}$ .

**A gyakorlatban fellépő késleltetések**, amelyek nagy részben a reakció időből (*észlelés, döntés, cselekvés*: 0,6...0,7 s időtartam) és működtetésétől a hatás kialakulásáig eltelt időből (*értéke*: 0,15...0,3 s) származtatható idővesztések figyelembe vétele, a valóságot pontosabban leíró matematikai modellt eredményeznek. Ez esetben feltesszük, hogy az  $S(x)$  és  $E(x)$  belső automatizmusok  $x$  szerint, az  $u_{i,j}(t)$  forgalomirányítási lámpa függvények pedig  $t$  szerint folytonosan differenciálható függvények. Ez a modellezésnél különösebb megszorítás nélkül teljesíthető, Péter, T. (2012.1).

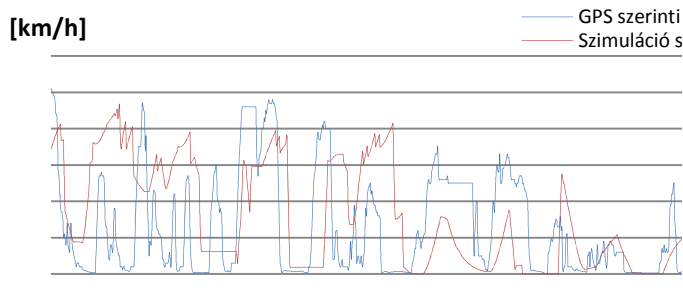
### 3. A SEBESSÉGFOLYAMATOK ANALÍZISE

Modell-feltételezés, hogy  $\forall x_i$ , ( $x_i \in [0,1]$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ) állapotjellemzőhöz hozzárendelhető a  $v_i \geq 0$  sebesség érték is, egy  $x_i$  szerint folytonosan differenciálható  $f_i$  függvény alkalmazásával:

$$v_i = f_i(x_i(t)) \quad (3.1)$$

A makroszkopikus hálózati modellből az egyedi sebességfolyamatok kinyerésével és egy vezető-jármű modell felhasználásával, vizsgálni lehet az egyes járművek motor teljesítményigényét és káros anyag kibocsátását is. A sebességfolyamatok alkalmasak modell-validálásra is. A modell validálása Budapesten történt a Petőfi híd és Nyugati térig terjedő körúton, Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2010, 2011.1, 2011.2), Peter, Fülep and Bede (2011), lámpás kereszteződéseknél aktuális lámpa-beállítási adatok mellett és a helyszínen elvégzett forgalomszámlálási adatok alapján. A vizsgált útvonal, a különböző szimulációs időpontokban bejárásra került GPS készülékkel felszeret gépjárművekkel is és a járműves mérés során rögzítettük a mért sebességprofilokat is. A szimuláció és a járműves mérés során kinyert sebesség-idő diagramok összehasonlítása

természetesen megmutatta, hogy az idődiagramokat egy sztochasztikus folyamat egy-egy realizációjának kell tekinteni és valószínűségelméleti, ill. statisztikai analízis útján kell őket vizsgálni 3.1 ábra.



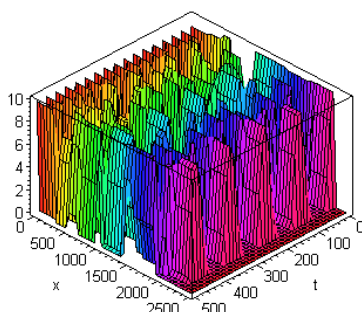
3.1 ábra a szimulációból kinyert és a GPS készülékkel mért sebességprofilok

Nagyszámú, nemparaméteres statisztikai analízissel, u.n. homogenitás vizsgálattal megállapítást nyert, hogy a sebességprofiloknál a mért és szimulációval kapott két-két minta 95% -os szinten homogénnek tekinthető. A sebesség adatokból az adott jármű motorteljesítmény igényére is hasonló eredményt kaptunk.

A modell validálása során, így megállapítható volt az alkalmazhatóságával kapcsolatban, hogy a modell lehetővé teszi olyan egyedi sebességfolyamatok kinyerését, amelyek a valóságnak megfelelnek, Peter, Fülep and Bede (2011).

A modellből a fentiek alapján közvetlenül kinyerhetők a sebességfolyamatok a hálózat tetszőleges trajektóriáin is. Ekkor a hálózat egy tetszőleges „A” pontjából  $t_0$  időpontban elindulunk a hálózat egy másik „B” pontjába egy megválasztott trajektória mentén. A továbbiakban ezen az útvonalon vizsgáljuk a járműdinamikai hatásokat.

A kijelölt trajektória mentén kiszámolható a haladás szempontjából fontos  $X(t)$  út-idő függvény is és a hozzá tartozó  $T$  - célba érési idő is. Az állapotegyenlet által kiszámítható a kiegyenesített  $X$  trajektóriához és  $t$  időponthoz tartozó  $V(t,X)$  kétváltozós sebesség függvény 3.2 ábra.



3.2 ábra. egy kiegyenesített  $X$  trajektóriához és  $t$  időponthoz tartozó  $V(t,X)$  függvény

Az  $X(t)$  út-idő függvényt kiszámíthatjuk a meghatározott  $V(t,X)$  kétváltozós sebesség függvény ismeretében 3.2 ábra, az alábbi integrál-egyenletet megoldásával:

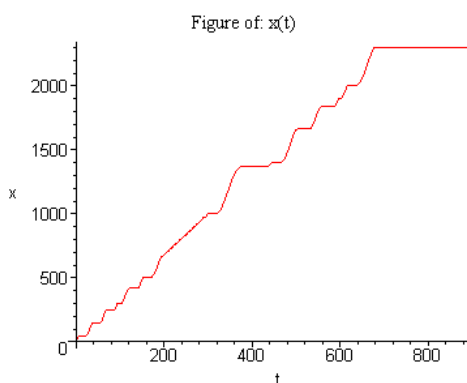
$$x(t) = \int_{t_0}^t V(\tau, x(\tau)) d\tau \quad (3.2)$$

A feladat az alábbi elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet megoldását igényli, az  $X(t_0)=x_0$  kezdeti feltétel mellett:

$$\frac{dX(t)}{dt} = V(t, X(t)) - V(t_0, X(t_0)) \quad (3.3)$$

$$x(t_0) = x_0$$

A megoldás numerikus módszer alkalmazásával a rendelkezésünkre áll, pl. 3.3 ábra:



3.3 ábra: út-idő diagram

A  $t_1$  célbaérési időponttól  $X(t)$  már nem növekszik, tehát pl. a célba érési idő  $T=t_1-t_0$ .

Megjegyzés: Ha több trajektória esetén az optimális célba érést vizsgálunk, a probléma egy variációszámítási feladat megoldását igényli  $T$ . Peter, and M. Basset (2009). Minden trajektória mentén, a  $t$  időpontig befutott  $X$  hosszúságú út egy  $X(t)$  útvonal-függvényt eredményez, amelyhez a „B”- pontba érkezéskor egy  $T$  eljutási idő tartozik és ez a leképezés szolgáltatja a  $J$  valós funkcionált:

$$J: X(t) \rightarrow T \quad (3.4)$$

A nagyméretű közlekedési hálózatokat leíró modell tehát alkalmazható valós idejű, a forgalom alakulást figyelembe vevő útvonalajánláshoz is.

#### 4. A GYORSULÁSFOLYAMATOK ANALÍZISE

A sebességfolyamatok ismerete alapján, a szakaszokon fellépő hosszirányú gyorsulások is kiszámíthatók a forgalmi modell tetszőleges  $i$ -ik szakaszán:

$$\dot{v}_i(t) = a(t) = \frac{df_i(x_i(t))}{dx_i} \cdot \dot{x}_i(t) = f_i' \cdot \dot{x}_i \quad (4.1)$$

( $i=1,2,\dots,n$ ).

Ekkor, a teljes belső tartományon a sebességvektor:

$$v(t) = f(x(t)) = \begin{bmatrix} f_1(x_1) \\ f_2(x_2) \\ \dots \\ f_n(x_n) \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Továbbá, az idő szerinti deriválás elvégzésével a gyorsulásvektor is felírható:

$$a(t) = \dot{v}(t) = \begin{bmatrix} f_1'(\dot{x}_1) \\ f_2'(\dot{x}_2) \\ \dots \\ f_n'(\dot{x}_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1' & & & \\ & f_2' & & \\ & & \dots & \\ & & & f_n' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Ily módon a rendszer állapotegyenlete alapján közvetlenül számítható a folytonos gyorsulásvektor is:

$$a(t) = \langle f_i' \rangle \cdot \dot{x} = \left\langle \frac{f_i'}{l_i} \right\rangle \cdot [K_{11}(x, s)x + K_{12}(x, s)s] \quad (4.4)$$

Ahol:  $a \in \mathfrak{R}^n$ ,  $\langle f_i' \rangle = \text{diag}\{f_1', f_2', \dots, f_n'\}$ .

## 5 A NAGYMÉRETŰ A VALÓS FORGALMI MODELLEL FELÉPÍTÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ADATOK ÉS MÉRÉSEK ISMERTETÉSE

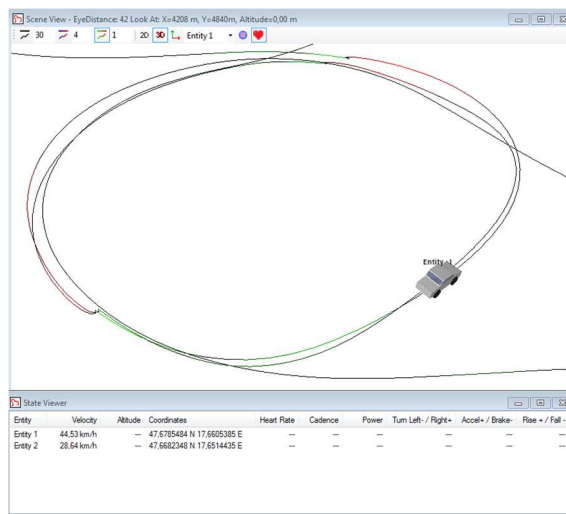
Győr város esetében, egy komplex, a valós forgalmi helyzet széles körben figyelembe vevő szimulációs modellt hoztunk létre, Tamas Peter, Jozsef Bokor and Andras Strobl (2013), Stróbl, A., Péter, T. (2013), Zsuzsanna Bede, Tamás Péter and Ferenc Szauder (2013).

A modell felépítésénél figyelembe vettük a város által 2012 évben elvégzett keresztmetszeti forgalomszámlálás adatokat, a saját forgalomsebesség mérési adatainkat, a valóságos forgalomirányítási lámpák programjait, a hálózaton fellépő disztribúciókat, a hatalmas pufferként működő nagyszámú városi parkoló helyeket 5.2. ábra és a napi szezonálisokat is.

### 5.1. Jelzőlámpák és parkolók figyelembe vétele Győrött

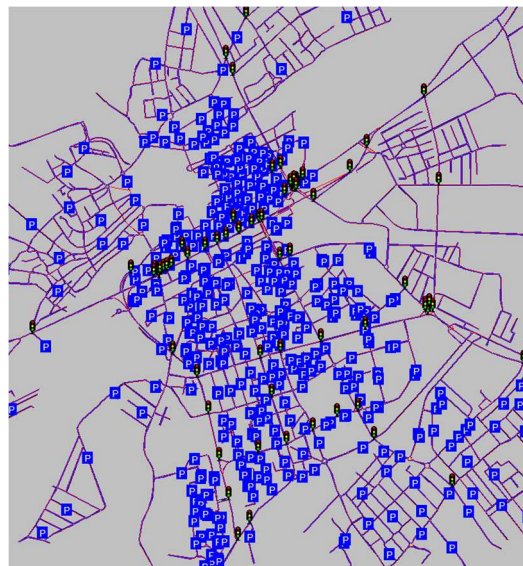
A forgalmat irányító jelzőlámpák fázisterveit a Magyar Közút Zrt. Győri Igazgatósága és Győr város Önkormányzata bocsátotta a rendelkezésünkre. A jelzőlámpás csomópontokban a lámpabeállítások meghatározásakor különös tekintettel kell lenni a mikroszkopikus és makroszkopikus forgalmi jellemzőkre is. Az ún. zöldhullám kialakítása számos ismert előnnyel jár, a forgalomszabályozó hatásától, a zaj, a károsanyag kibocsátás csökkentésén át az üzemanyag fogyasztás és forgalomban töltött idő csökkenéséig, Stróbl András, Péter Tamás, Fazekas Sándor (2012). Az utóbbi években divatossá vált körforgalom építések

során néhány jelzőlámpás csomópontot is átalakítottak körgeometriás csomóponttá. Egy ilyen csomóponton történő mozgás szoftveres felmérése látható az 5.1 ábrán.



5.1 ábra TrackView alkalmazásban a körgeometriájú csomópont felméréseinek 3D-s megjelenítése

A városban, több mint 60 csomópontban található jelzőlámpás forgalomszabályozás. Ezek között található egy-egy innovatív, forgalomfüggő szabályozást alkalmazó jelzőcsoport is, ahol a szenzorok érzékelik az érkező járművet és ennek megfelelően kapcsolnak. Győrött általunk felmért jelzőlámpás csomópontok és parkolók elhelyezkedése megfigyelhető meg az 5.2. ábrán.



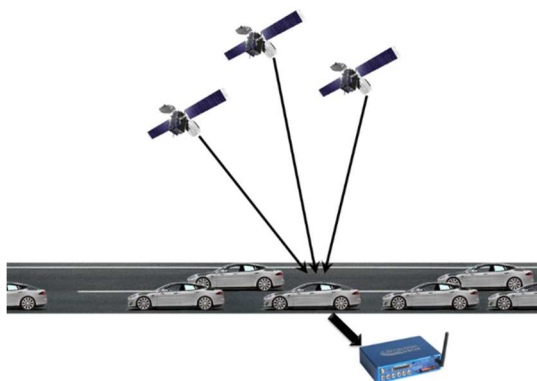
5.2. ábra a modellezett hálózat parkolókkal és jelzőlámpás csomópontokkal a szoftver felületén

### 5.2. A mérésnél alkalmazott módszerek és eszközök Győrött

A jelzőlámpák pozícióinak felmérését a GPS-es vevőkészülékkel ellátott mérőjárművel bejárt útvonalakon végeztük el, kiegészítve ezt internetes adatbázisok (utcai

panorámaképek) adataival. A jelzőlámpák programjainak felmérését videofelvétel utólagos feldolgozása, illetve helyszíni mérések útján végeztük el.

A szimulációink során felhasználjuk az input és output útszakaszok járműsűrűség függvényeit is. A járműsűrűség függvény mérését legegyszerűbb módon kamerás képfeldolgozás útján határozhatjuk meg, amennyiben megfelelő rálátás, fény- és időjárás viszonyok biztosíthatók a felvételek elkészítéséhez. Jelen kutatás során újszerű mérési módszer került kidolgozásra.



5.3 ábra GPS vevő készülékkel felszerelt jármű mérőrendszer

A mérési módszer azon alapul, hogy a járműsűrűség ismert összefüggések alkalmazásával Greenberg (1959), Greenshields (1935), Kövesné Gilicze É. és Debreczeni G. (2003) várható sebességgé számítható át és viszont. A sebesség mérésére, rögzítésére és kiértékelésére meghatároztuk a legalkalmasabb GPS vevők típusát. A mérési útvonalak bejárása GPS készülékkel felszerelt gépjárművel történt, jól illeszkedve így a forgalom dinamikájához. Az alkalmazott GPS vevőkkel szemben megfogalmazott alapkövetelmény volt, hogy a mintavételezés frekvenciája minimum 1 Hz legyen, valamilyen lokális DGPS rendszerrel és SiRF chipsettel legyen felszerelve, vagy ezzel ekvivalens technikát biztosító alrendszerekkel. A mintavételezés fenti frekvenciája azért lényeges, mert a sűrű utcahálózattal beépített városban, a gyakori irányváltások, gyorsítások és fékezések miatt szignifikáns eltérések tapasztalhatók a mért és valós értékek között, ha nem megfelelő a rögzített jelsűrűség.

Lokális DGPS (jelen esetben EGNOS) jelek vételére alkalmasnak kell lennie a készüléknek, mert így a megfelelő számú műholdra rálátás esetén a differenciális jelek 1-3 méteres helyzetpontosságot képesek biztosítani.

SiRF chipsettel ellátott készülék a városi mérés miatt elengedhetetlen. A SiRF technológia a Nobel-díjjal is jutalmazott lézerspektroszkópia elvén alapul és Kálmán-szűrőt alkalmaz, amely segítségével a visszavert, polarizálódott, továbbá interferenciát szenvedő elektromágneses hullámokból képes visszaállítani az eredeti jelet és stabil koordinátákat szolgáltatni.

A mérés elvégzéséhez két készüléket választottunk ki, egy nagyfrekvenciás S-SX2g GPS vevővel ellátott Racelogic

VBOX készüléket, továbbá egy Garmin Etrex Vista H kézi készüléket 5.4 ábra.

A VBOX készülék 5 Hz-es mintavételezéssel, pozíció és sebesség jellemzőkre Kálmán-szűrő alkalmazásával működő fedélzeti egység. Ez .vbo szöveges kimeneti fájlt hoz létre, amely számítógépes úton feldolgozható.

A Garmin készülékkel, kontroll-mérést végzünk, 1 Hz-es mintavételezéssel SiRF III-as technológia alkalmazásával .gpx fájlokat hoz létre, amelyek számítógéppel szintén jól feldolgozhatók.



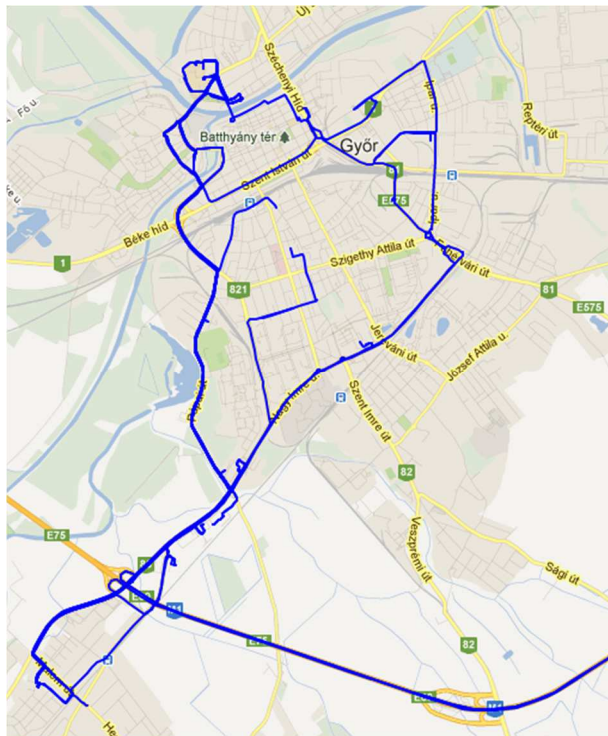
5.4 ábra Racelogic VBOX II (balra) és Garmin Etrex Vista H (jobbra)

A mérésekre jellemző, hogy Győr város sűrűn beépített belvárosi környezet ellenére is jellemzően 6-10 műhold egyidejű vétele volt lehetséges. A mérések útvonalát gondos tervezés előzte meg, mely során a szimuláció szempontjából kritikus útvonalak prioritásait határoztuk meg.

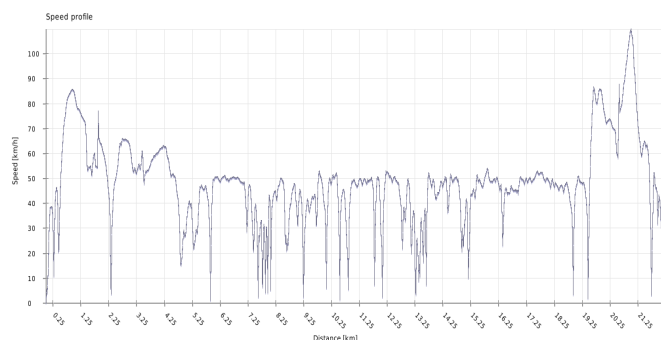
### 5.3. A tapasztalatok összefoglalása és néhány mérési eredmény bemutatása Győr városában

A tesztek során, Győr-Tatabánya útvonalon végeztünk próbautakat, így Győr város autópálya kapcsolata és egy közeli városban végzett mérés tapasztalatait is beépítettük a mérési sorozatainkba. Egyik kiemelten vizsgált helyszín a Fehérvári út, Ipar utca és Szigethy Attila út találkozásánál kiépített jelzőlámpával szabályozott körgeometriájú csomópont volt. A speciálisan kialakított csomópont bejárását több irányból végezve, a körgeometrián többször teljesen körbe haladva vizsgáltuk a sebesség jellemzőit.

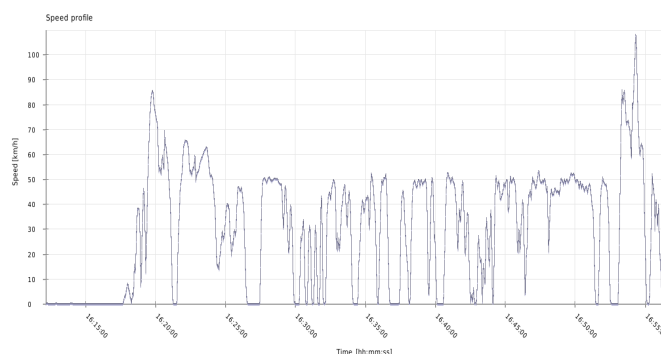
A GPS-es mérések adatfájljai tárolásra kerültek, Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.2), Fazekas, S., Péter T. (2013) az adatbázisban, 5.5.ábra, 5.6.ábra 5.7.ábra és 5.8.ábra. A rendszerünk további feldolgozás eredményeként a GPS koordináták alapján a megfelelő útszakaszokhoz hozzárendelte a területen végzett sebességmérés eredményeit, így a mérés során érintett valamennyi útszakaszra egyedi sebességfüggvényt kaptunk, Péter, T., Stróbl, A., Bede, Zs., Kalincák, I., Fazekas, S. (2013). Az azonos időszakban elvégzett mérések jól fedik egymást. Több, ismételt mérés is szerepel az adatbázisban. A következőkben bemutatjuk egy mérési útvonalon végzett méréseink eredményeit, 5.5.ábra, 5.6.ábra 5.7.ábra és 5.8.ábra.



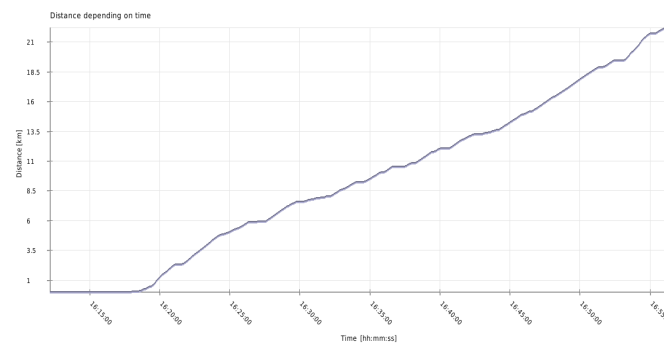
5.5. ábra GPS-es mérésrel bejárt útvonalak Győr városában



5.6 ábra a 004-es számú útvonalon mért sebesség értékek a távolság függvényében



5.7 ábra: a 004-es számú útvonalon mért sebesség értékek az idő függvényében



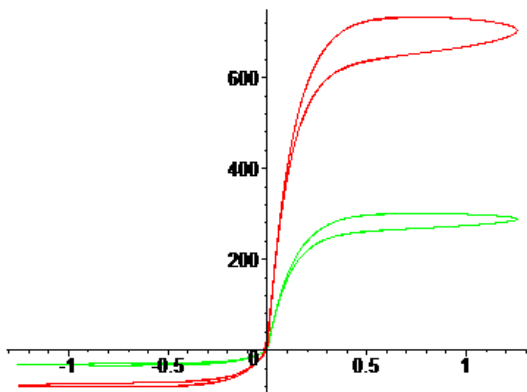
5.8 ábra a 004-es számú útvonalon megtett távolság az idő függvényében

## 6. GÉPJÁRMŰ DINAMIKAI VIZSGÁLATAINAK MODELLEZÉSE

A forgalomban résztvevő autóbusz dinamikai vizsgálatához háromdimenziós modellt hoztunk létre. A modellezés során a jármű a meghatározott útvonalat (trajektóriát) követi és felveszi a forgalom által diktált változó sebességet. A jármű kocsiszekrényét merev tömegként kezeljük, amelynél szöglengések lépnek fel a hossz és keresztengely körül, továbbá függőleges irányú lengéseket végeznek a jármű tömegpontjai. A felfüggesztésnél a lengéscsillapító karakterisztikák, a rugókarakterisztikák és az abroncsok rugókarakterisztikái a valóságnak megfelelően szintén nemlineárisak.

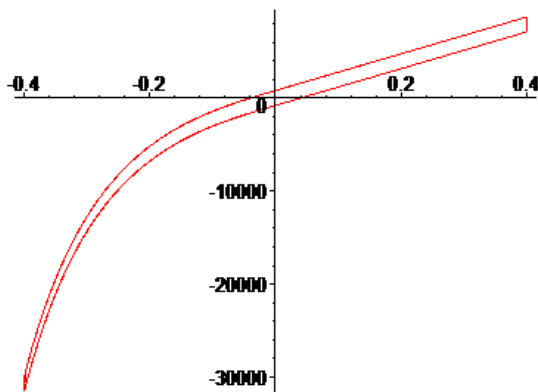
A modellt computer-algebrai módszer alkalmazásával hoztuk létre. Automatikusan generálhatóak további nemlineáris matematikai modellek, amelyek alkalmasak más jellegű, ill. további térbeli nemlineáris kapcsolatok figyelembevételére is. Bővíthetővé válnak a nemlineáris járműdinamikai rendszerek újabb dinamikus részrendszerekkel is, amelyek további kutatási területeket szolgálhatnak. Így pl., a keréktalppont alatt rezgő úttest figyelembe vételét, amely az úttest dinamikai igénybevételének vizsgálatát teszi lehetővé, vagy pl. a kocsiszekrényre felhelyezett ülés-vezető és tetszőleges számú ülés-utas dinamikus részrendszerrel is, amely a komfort és biztonság, továbbá a humán dinamikai igénybevételek vizsgálatát szolgálja. Ki kell emelnünk, hogy a modellalkotás ebben a fázisban természetesen több mint egy szimulációs eszköz létrehozása, ugyan is a matematikai modellek az ily módon történő előállításuk után, olyan számítógépes környezetbe kerülnek, amelyben azokon elvégezhetőek különböző matematikai vizsgálatok és számos esetben matematikai bizonyítások is. A kifejlesztett környezet alkalmas, a modell számára, a hiszteriziseket is tartalmazó nemlinearitások előállítására 6.1 ábra és 6.2 ábra

Figure of FA(v) & FB(v)

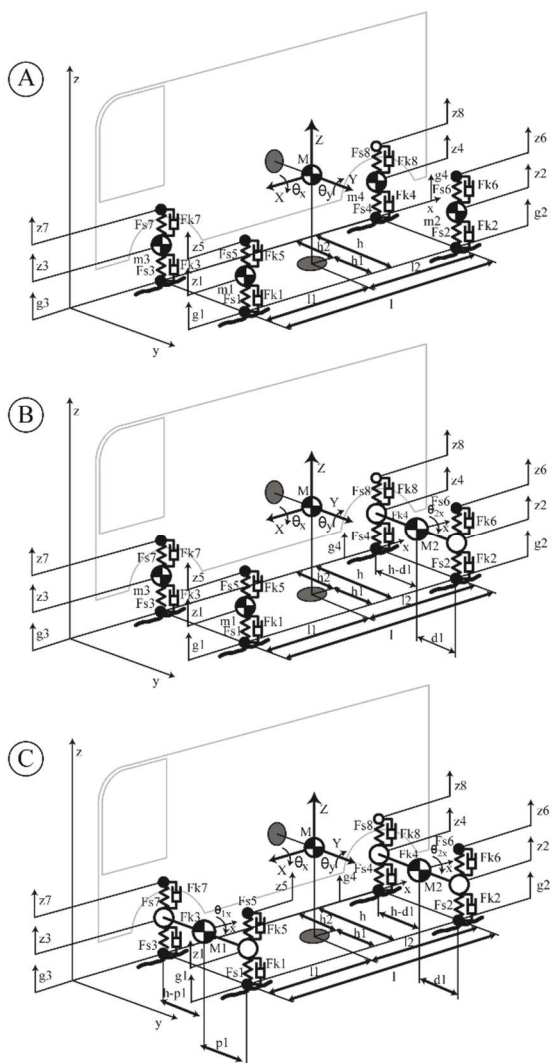


6.1 ábra hiszteriziseket tartalmazó nemlineáris csillapítóerő karakterisztikák

Figure of FSIA(t)



6.2 ábra hiszterizist tartalmazó nemlineáris rugóerő karakterisztika



6.3 ábra hét szabadságfokú modell-típusok és input-outputok

A vizsgált modellek esetén az előállított  $M_v$  tömegmátrixok az alábbiak:

$$M_v = \begin{bmatrix} ml & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)^2 + \frac{\theta_x}{h^2} + \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{l} - \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{h} - \frac{\theta_x}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{l} - \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M l_1^2}{l^2} + \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{h} - \frac{\theta_x}{h^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} & \frac{M h_1^2}{h^2} + \frac{\theta_x}{h^2} \end{bmatrix}$$

6.4 ábra az „A” modell esetén előállított  $M_v$  tömegmátrix hét szabadságfokú modell esetében

$$M_v = \begin{bmatrix} ml & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 M_2}{4} + \frac{\theta_2 x}{h^2} & 0 & \frac{1 M_2}{4} - \frac{\theta_2 x}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 M_2}{4} - \frac{\theta_2 x}{h^2} & 0 & \frac{1 M_2}{4} + \frac{\theta_2 x}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)^2 + \frac{\theta_x}{h^2} + \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{l} - \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{h} - \frac{\theta_x}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{l} - \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M l_1^2}{l^2} + \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} - \frac{h_1}{h} \right)}{h} - \frac{\theta_x}{h^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} & \frac{M h_1^2}{h^2} + \frac{\theta_x}{h^2} \end{bmatrix}$$

6.5 ábra a „B” modell esetén előállított  $M_v$  tömegmátrix a hét szabadságfokú modell esetében

$$M_v := \begin{bmatrix} \frac{1}{4}M_1 + \frac{\theta_{1x}}{h^2} & 0 & \frac{1}{4}M_1 - \frac{\theta_{1x}}{h^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4}M_2 + \frac{\theta_{2x}}{h^2} & 0 & \frac{1}{4}M_2 - \frac{\theta_{2x}}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{4}M_1 - \frac{\theta_{1x}}{h^2} & 0 & \frac{1}{4}M_1 + \frac{\theta_{1x}}{h^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4}M_2 - \frac{\theta_{2x}}{h^2} & 0 & \frac{1}{4}M_2 + \frac{\theta_{2x}}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M \left( 1 - \frac{l_1 - h_1}{l} \right)^2 + \frac{\theta_y}{h^2} + \frac{\theta_x}{l^2} & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1 - h_1}{l} \right)}{l} \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1 - h_1}{h} \right)}{h} \frac{\theta_x}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M l_1 \left( 1 - \frac{l_1 - h_1}{l} \right)}{l} \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M l_1^2}{l^2} + \frac{\theta_y}{l^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M h_1 \left( 1 - \frac{l_1 - h_1}{h} \right)}{h} \frac{\theta_x}{h^2} & \frac{M h_1 l_1}{h l} & \frac{M h_1^2}{h^2} + \frac{\theta_x}{h^2} \end{bmatrix}$$

6.6 ábra a „C” modell esetén előállított  $M_v$  tömegmátrix a hét szabadságfokú modell esetében

A rendszer  $F_K$  csillapítóerő vektora,  $F_S$  rugóerő vektora,  $F_{K1stab}$ , (első) és  $F_{K2stab}$ , (hátsó) nemlineáris stabilizátor-csillapítóerő vektorai és  $F_{S1stab}$ , (első) és  $F_{S2stab}$  (hátsó) nemlineáris stabilizátor-rugóerő vektorai pedig az alábbiak:

$$FK := \begin{bmatrix} FK1 - FK5 + FK01 \\ FK2 - FK6 + FK02 \\ FK3 - FK7 - FK01 \\ FK4 - FK8 - FK02 \\ FK5 - FK8 - FK01 - FK02 \\ FK6 + FK8 \\ FK7 + FK8 + FK01 + FK02 \end{bmatrix}$$

$$FS := \begin{bmatrix} FS1 - FS5 + FS01 \\ FS2 - FS6 + FS02 \\ FS3 - FS7 - FS01 \\ FS4 - FS8 - FS02 \\ FS5 - FS8 - FS01 - FS02 \\ FS6 + FS8 \\ FS7 + FS8 + FS01 + FS02 \end{bmatrix}$$

6.7 ábra az előállított csillapítóerő és rugóerő vektorok a hét szabadságfokú modell esetében

A bonyolult modell nemlineáris differenciálegyenlet-rendszerét mátrix alakban írjuk fel.

A közös alakú nemlineáris differenciálegyenlet-rendszer látható az alábbi (6.1) egyenlet alatt:

$$M_v \cdot \ddot{z} + F_K + F_S + F_{K1stab} + F_{K2stab} + F_{S1stab} + F_{S2stab} + F_{A_x} + F_{A_y} = 0 \quad (6.1)$$

Ahol:  $M_v \in \mathfrak{R}^{7 \times 7}$ ,  $z \in \mathfrak{R}^7$ ,  $\dot{z} \in \mathfrak{R}^7$ ;  $F_K, F_S, F_{K1stab}, F_{K2stab}, F_{S1stab}, F_{S2stab}, F_{A_x}, F_{A_y} \in \mathfrak{R}^7$ .

Összefoglalva, az egyes modelleknél csupán a tömeg-mátrix különbözik. A differenciálegyenlet-rendszer  $M_v$  tömegmátrixát,  $F_K$  csillapítóerő vektorát,  $F_S$  rugóerő vektorát,  $F_{K1stab}$ ,  $F_{K2stab}$ , stabilizátor-csillapítóerő vektorait, és  $F_{S1stab}$ ,  $F_{S2stab}$  stabilizátor-rugóerő vektorait, valamint az  $F_{A_x}$  trajektória menti hosszirányú és  $F_{A_y}$  keresztirányú gyorsulásokból származó vektorokat computer-algebrai úton állítottuk elő:

$$F_{A_x} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{a_x(t) M H \left( -1 + \frac{h_1}{h} \right)}{l_1} \\ 0 \\ -\frac{a_x(t) M H h_1}{l_1 h} \end{bmatrix}$$

$$F_{A_y} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{a_y(t) M H \left( -1 + \frac{l_1}{l} \right)}{h_1} \\ -\frac{a_y(t) M H l_1}{h_1 l} \\ 0 \end{bmatrix}$$

A (6.1) nemlineáris differenciálegyenlet-rendszer egy modell-családot ír le. Más típusú tengelyek, pl. független kerék felfüggesztés esetén a tömegmátrix kicserélhető, tehát szabadon választható az  $M_v$ -tömegmátrix, annak megfelelően, hogy milyen tengelyeket alkalmazunk a járműnél. Vagy attól függően, hogy van-e stabilizátor, ill. hol, elől és hátul, vagy csak elől, ill. csak hátul, ennek megfelelően az  $F_{K1stab}$  és  $F_{S1stab}$  (i=1,2) vektorok szintén szabadon elhelyezhetők a (6.1) differenciálegyenlet-rendszerben.

A csillapítóerő és rugóerő vektorban szereplő nemlineáris függvények (nemlineáris csillapítóerő karakterisztikák és nemlineáris rugóerő karakterisztikák) az alábbiak szerint lettek meghatározva:



Functions :=

$$\begin{aligned}
 F_{s1} &= F_{s1}(z1 - g1) & F_{k1} &= F_{k1}\left(\frac{\partial}{\partial t} z1(t) - g_{v1}\right) \\
 F_{s2} &= F_{s2}(z2 - g2) & F_{k2} &= F_{k2}\left(\frac{\partial}{\partial t} z2(t) - g_{v2}\right) \\
 F_{s3} &= F_{s3}(z3 - g3) & F_{k3} &= F_{k3}\left(\frac{\partial}{\partial t} z3(t) - g_{v3}\right) \\
 F_{s4} &= F_{s4}(z4 - g4) & F_{k4} &= F_{k4}\left(\frac{\partial}{\partial t} z4(t) - g_{v4}\right) \\
 F_{s5} &= F_{s5}(z5 - z1) & F_{k5} &= F_{k5}\left(\frac{\partial}{\partial t} z5(t) - \frac{\partial}{\partial t} z1(t)\right) \\
 F_{s6} &= F_{s6}(z6 - z2) & F_{k6} &= F_{k6}\left(\frac{\partial}{\partial t} z6(t) - \frac{\partial}{\partial t} z2(t)\right) \\
 F_{s7} &= F_{s7}(z7 - z3) & F_{k7} &= F_{k7}\left(\frac{\partial}{\partial t} z7(t) - \frac{\partial}{\partial t} z3(t)\right) \\
 F_{s8} &= F_{s8}(-z5 + z6 + z7 - z4) & F_{k8} &= F_{k8}\left(-\frac{\partial}{\partial t} z5(t) + \frac{\partial}{\partial t} z6(t) + \frac{\partial}{\partial t} z7(t) - \frac{\partial}{\partial t} z4(t)\right) \\
 F_{s01} &= F_{s01}(z7 - z3 - z5 + z1) & F_{k01} &= F_{k01}\left(\frac{\partial}{\partial t} z7(t) - \frac{\partial}{\partial t} z3(t) - \frac{\partial}{\partial t} z5(t) + \frac{\partial}{\partial t} z1(t)\right) \\
 F_{s02} &= F_{s02}(-z5 + z7 - z4 + z2) & F_{k02} &= F_{k02}\left(-\frac{\partial}{\partial t} z5(t) + \frac{\partial}{\partial t} z7(t) - \frac{\partial}{\partial t} z4(t) + \frac{\partial}{\partial t} z2(t)\right)
 \end{aligned}$$

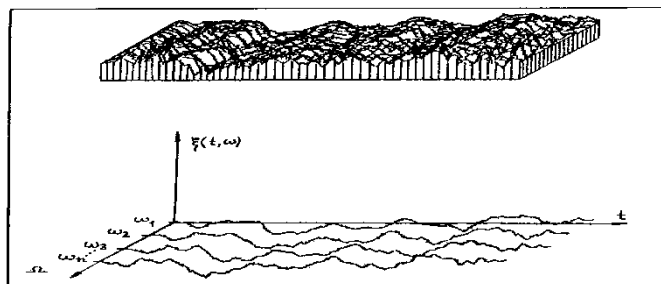
6.8 ábra a nemlineáris csillapítóerő és rugóerő karakterisztikák a modell esetében

## 7 A TRAJEKTÓRIA MENTI VÁLTOZÓ SEBESSÉG HATÁSA A JÁRMŰDINAMIKÁRA

A trajektória menti változó sebességek figyelembe vétele a sztochasztikus útprofil-gerjesztéseknél hat a jármű függőleges irányú dinamikai folyamataira. Ebben a kutatásban nem feladatunk az úttest dinamikai és rezgéseiből fellépő károsodási folyamatainak vizsgálata, de megjegyezzük, hogy ezen a területen is kiemelten fontos a változó forgalom és sebességfolyamatok szerepe, ugyanis ennek következtében még a homogénnek tekinthető úttest esetében is, különböző pontokban, különböző károsodási folyamatok figyelhetők meg.

A sztochasztikus útprofil-folyamatok modellezésénél feltételezzük, hogy a járműkerekek az úttest mindenkor középvonalával párhuzamosan haladnak. Egy mérőkerék rögzített  $v$  haladási sebesség mellett történő végigvezetése az útfelületen, egy  $\omega_i$  elemi eseményt eredményez, amelynek szemléletes megfeleltetése az, hogy a keréktalppont egy meghatározott távolságra halad az úttest középvonalával párhuzamosan. Az  $\omega_i$  elemi eseményhez a keréktalpponton fellépő  $\xi(t, \omega_i)$  a  $t$  időparamétertől függő útprofil függvény (gerjesztés) tartozik, amely a sztochasztikus folyamatnak egy realizációja.

Adott úttípusra a sztochasztikus útprofil folyamat a  $\xi(t, \omega)$  realizációk összességéből áll, ahol:  $t \in [0, T]$ ,  $\omega \in \Omega$ . A  $[0, T]$ , a felmérés időintervallumát, az  $\Omega$  pedig az elemi események halmazát jelöli, 7.1 ábra.



7.1 ábra: a sztochasztikus útprofil folyamat

7.1. Térbeli gépjármű-lengőrendszerek modellezésénél útpálya gerjesztés előállítása direkt módszerrel konstans sebesség esetében

Térbeli gépjármű-lengőrendszerek modellezésénél fontos, hogy figyelembe vegyük a jobb és baloldali keréktalppont által érzékelt útprofiloknál fellépő kereszt-spektrumot is. A továbbiakban a keréktalppontok alatt fellépő  $g_1(t)$ ,  $g_2(t)$ ,  $g_3(t)$  és  $g_4(t)$  útprofil realizációkat vizsgáljuk. Amennyiben ismert a sztochasztikus útprofil folyamat  $S_{gg}(\omega)$  autospektruma, továbbá a jobb és baloldali keréktalppont által érzékelt útprofilokra ismert az  $S_{g1, g3}(i \omega)$  kereszt-spektrum is, akkor a  $T$  - periódusidejű sztochasztikus útprofil gerjesztések direkt módon előállíthatók az alábbi (7.1) összefüggésekkel:

$$\begin{aligned}
 g_1(t) &:= \sqrt{A_0} + \left( \sum_{k=1}^N (2\sqrt{A_k} \sin(k\omega_0 t + \delta_k)) \right) \\
 g_2(t) &:= \sqrt{A_0} + \left( \sum_{k=1}^N \left( 2\sqrt{A_k} \sin\left(k\omega_0 t + \delta_k + \frac{L}{V}\right) \right) \right) \\
 g_3(t) &:= \sqrt{A_0} + \left( \sum_{k=1}^N (2\sqrt{A_k} \sin(k\omega_0 t + \delta_k + \delta_{D,k})) \right) \\
 g_4(t) &:= \sqrt{A_0} + \left( \sum_{k=1}^N \left( 2\sqrt{A_k} \sin\left(k\omega_0 t + \delta_k + \delta_{D,k} + \frac{L}{V}\right) \right) \right)
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

Az egyes útprofil gerjesztéseknél a jelölések jelentése:  $g_1(t)$  a bal első keréktalppontot gerjesztő útprofil,  $g_2(t)$  a bal hátsó keréktalppontot gerjesztő útprofil,  $g_3(t)$  a jobb első keréktalppontot gerjesztő útprofil és végül  $g_4(t)$  a jobb hátsó keréktalppontot gerjesztő útprofil jelöli. Alkalmazva a 7.1. táblázat jelöléseit,

$A_0 := \frac{S_{g,g}(0)}{T}$	$A_k := \frac{S_{g,g}(k\omega_0)}{T}$
$\omega_0 = 2\pi/T$	$\delta_{D,k} := \text{artg} \left( \frac{\Im(S_{g^1, g^3}(Ik\omega_0))}{\Re(S_{g^1, g^3}(Ik\omega_0))} \right)$ $\delta_{D,k}$ – fáziseltolás a jobb és baloldali útprofil gerjesztés között, $S_{g^1, g^3}(i\omega)$ kereszt-spektrumból számítva.
$L = \text{tengelytáv [m]}$	$V = \text{jármű haladási sebessége [m/s]}$

7.1. táblázat: jelölések

Az útprofil autospektrum, az útfajtáktól függően paramétrezhető módon, megadható közös racionális törtfüggvény képlettel is, az alábbi módon:

$$S_{g,g}(\omega) := 2D_g^2 \left( \frac{C_1 A}{A^2 + \omega^2} + \frac{C_2 B(B^2 + \gamma^2 + \omega^2)}{(B^2 + (\omega - \gamma)^2)(B^2 + (\omega + \gamma)^2)} \right) \quad (7.2)$$

Ahol:  $D_g$  - az útprofil szórása [cm],  $A = A_1 v$ ;  $B = B_1 v$ ;  $\gamma = \gamma_1 v$ , és az  $A_1, B_1, C_1, C_2, \gamma_1$  paraméterek értékei a 7.2. táblázatban találhatóak.  $v$  - a jármű haladási sebessége [m/s],  $\omega$  - körfrekvencia [rad/s].

Úttípus	$D_g^2$	$A_1$	$B_1$	$C_1$	$C_2$	$\gamma_1$
Rossz földút	10-16	0.08	0.08	0.55	0.45	0.235
Rossz kőút	6.23-10.7	0.213	0.049	0.953	0.047	1.367
Jó kőút/A	1.83-5.24	0.45	1	1	0	1
Jó kőút/B	1.83-5.24	1	0.1	0	1	0.238
Aszfaltút	0.63-1.6	0.2	0.05	0.85	0.15	0.6
Betonút	0.25-1.53	0.15	1	1	0	1

7.2. táblázat: különböző úttípusok autospektrum adatai

7.2. Térbeli gépjármű dinamikus modellezéséhez az útpálya gerjesztés direkt előállítására, időben változó haladási sebesség esetében

A továbbiakban,  $T$  helyébe  $S$  [m] úthossz-periódust alkalmazunk  $v=1$  [m/s] sebességet figyelembe véve. Ekkor a  $t$  helyébe  $s$  [m] úthossz paraméter lép fel és  $\omega_0=2\pi/S$ , fizikai jelentése úthossz alapfrekvencia. A fentiek alapján az  $S$  - periódusú sztochasztikus útprofil gerjesztés úthossz-paraméter függő és az alábbi (7.3) módon írható fel:

$$\begin{aligned} g_1(s) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s + \delta_k) \\ g_2(s) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s + \delta_k + L) \\ g_3(s) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s + \delta_k + \delta_{D,k}) \\ g_4(s) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s + \delta_k + \delta_{D,k} + L) \end{aligned} \quad (7.3)$$

Itt utalunk arra, hogy a trajektórián, egy  $t_0$  kezdeti időponttól történő haladás esetén a számított 3.3. ábra, ill. a mért sebességfüggvényből, 5.8 ábra már előállítottuk az út-idő függvényt:

$$s(t) = \int_{t_0}^t v(t) dt$$

Ennek megfelelően a trajektórián történő végighaladás esetén a sztochasztikus útprofil gerjesztések az alábbi (7.4) alapján már szintén időfüggőek:

$$\begin{aligned} g_1(t) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s(t) + \delta_k) \\ g_2(t) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s(t) + \delta_k + L) \\ g_3(t) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s(t) + \delta_k + \delta_{D,k}) \\ g_4(t) &= \sqrt{A_0} + \sum_{k=1}^N 2 \cdot \sqrt{A_k} \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot s(t) + \delta_k + \delta_{D,k} + L) \end{aligned} \quad (7.4)$$

*Megjegyzés:* ha a trajektórián történő végighaladásakor egyes szakaszokon változik az útprofil spektruma az útfelület minősége miatt, akkor ezeken a szakaszokon természetesen a spektrumra jellemző paraméterek is folyamatosan

beállítandók, ill. szabályozandók, ezek a fenti egyenletek esetében az  $A_k$  és  $\delta_{D,k}$  paraméterek.

## 8. KONKLÚZIÓ

A bemutatott közlekedési hálózati állapot-modellből kiindulva, analitikus megoldást adtunk a sávszakaszokra vonatkozó folytonos sebességfolyamatok és folytonos gyorsulásfolyamatok meghatározására. Ez alapján, felírhatók a hálózat tetszőleges trajektóriáján is, a trajektória-irányú sebesség és gyorsulás folyamatok. A módszer figyelembe veszi a teljes hálózaton a valóságos forgalmat és a forgalomirányító lámpák tényleges működését, a vezetők reakcióidő-késedelem idejét, a teljes hálózati szerkezetét és a parkolóknak való hatását is. Figyelembe vettük az így nyert valós sebességfolyamatok karakterisztikus hatásait is - a Michelberger féle spektrum-torzulást - a sztochasztikus útprofilok előállításánál, amelynek meghatározó szerepe van a függőleges jármű-dinamikánál. Az így nyert valós gyorsulásfolyamatok hatása meghatározó jelentőségű a függőleges és hosszirányú jármű-dinamikánál.

A Péter T. - G. Gissinger Computer-algebrai modellezési technikán alapuló térbeli komplex jármű modellt hoztunk létre a gyorsulásterhelések analizésére. Ez figyelembe veszi, a hálózati állapot-modellből nyert, a trajektóriákra vonatkozó hosszirányú sebesség továbbá hossz és keresztirányú gyorsulás-folyamatokat is.

A munka gyakorlati eredményeként, kiszámítható a kiválasztott trajektória mentés az  $X(t)$  út-idő diagram, amely meghatározza a gépjármű tartózkodási helyét a  $t$  időpontban, továbbá ismerjük a forgalom sebességét és a fellépő gyorsulást is a  $t$  időpontban a trajektória aktuális szakaszán. A fentiek alapján, a komplex hálózati forgalmi modell már fontos adatokat szolgáltat a jármű és útdinamikai vizsgálatokhoz is. A bemutatott analízis a gyorsasága miatt valamint a nagyszámú járműre történő alkalmazhatósága miatt, igen fontos hatást gyakorolhat a további járműipari kutatásokra is, Péter T. (2000), Gérard Gissinger, Tamás Péter, Antoine Racle (2002), Varga Z. and Szauter F. (2009, 2010), Szauter F. and Kalincsa I. (2010).

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: „Smarter Transport” - Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

## IRODALOMJEGYZÉK

**S. Fazekas, T. Peter: (2012)** 3D Traffic visualization FIRST SCIENTIFIC WORKSHOP of Doctoral Schools Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, BME (Budapest, April 25, 2012) pp. 1-8. Doi: KJK2012-1-K4, ISBN 978-963-313-062-9

**Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.1)** 3D modellt alkalmazó szoftverrel a nagyméretű hálózatokon, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012).

Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 13. pp. 87-90. (ISBN:978-963-88875-3-5) <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>

**Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.2)** Database system to support Győr's traffic modelization, SECOND SCIENTIFIC WORKSHOP of Doctoral Schools Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, BME (Budapest, November 22, 2012) pp. 1-7. Doi: KJK2012-2-K4, ISBN 978-963-313-070-4, Kiadó: BME KSK

**Fazekas, S., Péter T. (2013)** Design of Győr's traffic database, Third Scientific Workshop of Faculty Doctoral Schools, Budapest, Budapest, May 28, 2013 pp. 1-7. Doi: KJK2013-1-K4, ISBN 978-963-313-080-3, Kiadó: BME KSK

**Gérard Gissinger, Tamás Péter, Antoine Racle (2002)** NON-LINEAR MODELLING, IDENTIFICATION AND VALIDATION In: Zobory I Proceedings of the 8th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Magyarország, 2002.11.11-2002.11.13. Budapest University of Technology and Economics, 2002. pp. 227-240.

**Greenberg (1959):** Greenberg, H.: "An Analysis of Traffic Flow", Operations Research, Vol.7, pp.79-85, 1959.

**Greenshields (1935):** Greenshields, B.D.: A study of traffic capacity. Proceedings of the highway Research Board, Proc. Vol. 14. pp. 448-477. 1934.

**Kövesné Gilicze É. és Debreczeni G. (2003):** Kövesné Gilicze É. – Debreczeni G. Intelligens közúti közlekedési rendszerek és út-jármű rendszerek matematikai modellezése és analizése, Kutatási jelentés BME Közlekedésüzemi Tanszék. Budapest, 2003. pp 1-49.

**Luenberger (1979)** Introduction to Dynamics Systems, Wiley, New York, 1979

**Oussama Derbel, Tamás Péter, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2012)** Modified Intelligent Driver Model, Peridoica Polytechnica-Transportation Engineering 40/2 (2012) 53–60. doi: 10.3311/pp.tr.2012-2.02 web: <http://www.pp.bme.hu/> tr ISSN 1587-3811 (online version); ISSN 0303-7800 (paper version)

**Oussama Derbel, Peter Tamas, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2013)** Modified Intelligent Driver Model for driver safety and traffic stability improvement, 7.IFAC Symposium Tokyo 2013 szept. 4-7. <http://www.sice.or.jp/IFAC-AAC2013/details.html> Organized by: International Federation of Automatic Control, Technical Committee on Automotive Control (IFAC-TC7.1) pp, 734-739 132-ik anyag. Doi: SaB2.3

**Péter T. (2000)** Mathematical Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds. In: Bokor J, Nándori E, Várlaki P, Studies in vehicle engineering and transportation science: a festschrift in honor of professor Pál Michelberger on occasion of his 70th birthday Budapest: Hungarian Academy of Sciences - Budapest University of

Technology and Economics, 2000. pp. 51-69. (ISBN:963 420 660 3)

**T. Peter, and M. Basset (2009)** Application of new traffic models for determine optimal trajectories, pp. 89-94. Sessions 1 Automation and Mechatronics. (1-C-1 Sistem Modelling and Control). Oct.21-Oct.23, INTERNATIONAL FORUM ON STRATEGIC TECHNOLOGIES (IFOST 2009) HoChiMinh City University of Technology, Vietnam.

**Péter T, and Bokor J (2010.1)** Research for the modelling and control of traffic, In: Scientific Society for Mechanical Engineering ,33rd Fisita-World Automotive Congress: Proceedings, Budapest, Magyarország, 2010.05.30-2010.06.04. Budapest: GTE, 2010. pp. 66-73. (ISBN:978-963-9058-28-6)

**Péter T, and Bokor J (2010.2)** Modeling road traffic networks for control. Annual international conference on network technologies & communications: NTC 2010. Thaiföld, 2010.11.30-2010.11.30. pp. 18-22. Paper 21. (ISBN:978-981-08-7654-8)

**Peter, Fülep and Bede (2011)** The application of a new principled optimal control for the dynamic change of the road network graph structure and the analysis of risk factors, 13th EAEC European Automotive Congress 13th-16th June 2011. Valencia – SPAIN Society of Automotive Engineers (STA), 2011. pp. 26-36. (ISBN:978-84-615-1794-7)

**Péter and Bokor J (2011)** New road traffic networks models for control, GSTF International Journal on Computing, vol. 1, Number 2. pp. 227 -232. DOI: 10.5176\_2010-2283\_1.2.65 February 2011

**Péter, T. and Szabó, K. (2012)** A new network model for the analysis of air traffic networks. Periodica Polytechnica-Transportation Engineering 40/1 (2012) 39–45 DOI: 10.3311/pp.tr.2012-1.07

**Péter, T. (2012.1)** Modeling nonlinear road traffic networks for junction control, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS), 2012, Vol. 22, No. 3. pp. 723-732. DOI: 10.2478/v1006-012-0054-1

**Péter Tamás (2012.2)** Paradigmaváltás, amely elvezetett a globális közúti hálózat működésének leírásához és a dinamikus modell létrehozásához, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 3. pp. 3-19. (ISBN:978-963-88875-3-5) <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>

**Péter, T., Stróbl, A., Bede, Zs., Kalincsák, I., Fazekas, S. (2013)** Infokommunikációs technológiák fejlesztése a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok közlekedési folyamatainak komplex modellezéséhez, a valós közlekedési folyamatok vizsgálatára és az optimális irányítására. Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2013. március 21-22. (pp.55-81) Kiadó: Széchenyi István Egyetem, Közlekedési Tanszék. ISBN szám: 978-615-5298-09-7.

**Tamas Peter, Jozsef Bokor and Andras Strobl (2013)** Model for the analysis of traffic networks and traffic modelling of Győr, pp 167-172. Doi: 0023, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16-17 September 2013. <http://www.acatta13.itu.edu.tr/>

**Stróbl, A., Péter, T. (2013).** Traffic modeling of Győr in project Smarter Transport, Third Scientific Workshop of faculty doctoral schools, Budapest, May 28, 2013 pp. 1-7. Doi: KJK2013-1-K7, ISBN 978-963-313-080-3, Kiadó: BME KSK

**Szauter F. and Kalincsák I. (2010)** Motion feature of large trucks in roundabouts and turbo roundabouts, XVII. OGÉT, Baia Mare, Romania, 22-25 April, 2010, p. 400-403.

**Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2010)** The Extraction of Unique Velocity Processes from a Macro Model PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 38:(1-2) pp. 114-121. (2010)

**Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.1)** The development of large traffic network model, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 39:(1-2) pp. 3-5. (2011)

**Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.2)** The mathematical modeling of Reversible Lane System PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 39:(1-2) pp. 7-10. (2011)

**Zsuzsanna Bede, Tamás Péter and Ferenc Szauter (2013)** Variable network model pp 173-177. Doi: 0026, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16-17 September 2013. <http://www.acatta13.itu.edu.tr/>

**Stróbl András, Péter Tamás, Fazekas Sándor (2012)** Stratégiai zajtérkép készítése makroszkopikus közúti közlekedési modellt alkalmazó szoftverrel, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 11. pp. 71-75. (ISBN:978-963-88875-3-5) <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>

**Varga I. and Bokor J. (2007)** New Approach in Urban Traffic Control Systems, Periodica Polytechnica ser. Transp. Eng., Budapest, Hungary, 2007, Vol. 35. No 1-2. pp. 3-13

**Varga Z. and Szauter F. (2009)** The information content of the automatic gearboxes of buses of the vehicle during an operation, 8th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, 20 -23 May, 2009, CD

**Varga Z. and Szauter F. (2010)** The Information Content of the Automatic Gearboxes, FISITA World Automotive Student Congress, Budapest, 30 May - 4 June 2010, CD