

TOYOTA AVENSIS JÁRMŰPARAMÉTEREK MÉRÉSE JÁRMŰDINAMIKAI MODELL VALIDÁLÁSÁHOZ

MEASUREMENT OF TOYOTA AVENSIS VEHICLE PARAMETERS FOR VEHICLE DYNAMICS MODEL VALIDATION

Csajbók Imola Lenke^{*}, Nemes Dániel^{**}

ABSTRACT

A reliable vehicle dynamics model requires not only a suitable simulation environment, but also experimentally obtained data for parameter identification and validation. This paper presents a measurement and data-processing workflow developed for a MATLAB–Simulink longitudinal vehicle dynamics model. Road tests were carried out on a 2012 Toyota Avensis using a CANedge2 data logger connected to the vehicle's OBD-II port, enabling the logging of signals such as vehicle speed, engine speed, accelerator pedal position and brake pressure. The recorded MF4 datasets were decoded with DBC databases, filtered, resampled, and finally converted into timeseries format suitable for Simulink simulation input. The measured signals were then compared with the simulation results to evaluate the model's accuracy in depicting the actual behaviour of the vehicle. In addition, engine braking sections were selected from which linear deceleration characteristics could be determined as a reference for parameter estimation. Rather than focusing solely on simulation outputs, the study aims to present a practical and repeatable method for CAN-based data processing and vehicle model validation. The proposed framework provides a baseline for the development of more accurate longitudinal vehicle dynamics models. Details of this research were published in the article [1].

Egy megbízható járműdinamikai modellhez nem elegendő egy megfelelő szimulációs környezet, hanem a paraméterek azonosításához és validálásához szükség van kísérletileg nyert adatokra is. Ez a cikk egy MATLAB–Simulink longitudinális járműdinamikai modellhez kidolgozott mérési és adatfeldolgozási munkafolyamatot mutat be. Az utakon végzett tesztek egy 2012-es Toyota Avensis járművön lettek elvégezve egy CANedge2 adatgyűjtő segítségével, amely a jármű OBD-II portjához lett csatlakoztatva. Ez az eszköz lehetővé tette különböző jelek rögzítését, mint például a jármű sebessége, a motor fordulatszáma, a gázpedál állása és a féknyomás. A rögzített MF4 adatsorok DBC adatbázisok segítségével lettek dekódolva, szűrve, mintavételezve, majd végül a Simulink modell bemenetéhez megfelelő

timeseries formátumba konvertálva. Ezt követően a mért jelek összehasonlításra kerültek a szimulációs eredményekkel, hogy meg lehessen ítélni a modell megbízhatóságát a jármű tényleges viselkedésének leírásában. Ezenkívül olyan motorfék szakaszok kerültek kiválasztásra, amelyekből lineáris lassulási jellemzők határozhatók meg, és amelyek referenciaként alkalmazhatók a paraméterbecsléshez. A tanulmány nem kizárólag a szimulációs eredményekre összpontosít, hanem egy gyakorlati és megismételhető módszert kíván bemutatni a CAN-alapú adatfeldolgozáshoz és a járműmodell-validáláshoz. A javasolt keretrendszer alapot biztosít pontosabb longitudinális járműdinamikai modellek fejlesztéséhez. Jelen kutatás részletei a [1] cikkben publikálva lettek.

1. BEVEZETÉS

A modern járművek egyre bonyolultabb szerkezeti, elektronikai elemekkel és mechatronikai rendszerekkel rendelkeznek, amik működésük során jelentős mennyiségű adatot generálnak. Az egyre újabb megoldások az üzemfenntartás színvonalának folyamatos fejlődését követelik, ezért egyre nagyobb szerepet kapnak az állapotfüggő karbantartási rendszerek. A Controller Area Network (CAN) hálózat lehetővé teszi a jármű különböző elektronikus vezérlőegységei (ECU) közötti strukturált és szabványos kommunikációt, ezáltal lehetőséget biztosít számos fontos működési paraméter nyomon követésére és elemzésére. Ezek az adatok használhatóak diagnosztikai célokra, illetve járműdinamikai modellek fejlesztésére és validálására.

A járműdinamikai modellek széles körben alkalmazott eszközök a járművek viselkedésének elemzésére és szimulációjára [2]. Az irodalomban számos különböző modell található, például negyedjármű- [3], féljármű- vagy teljes járműmodellek [4-6], amelyek különböző részletességgel írják le a jármű mozgását. Ezek a modellek gyakran a laterális dinamikára vagy az utazási kényelemre helyezik a hangsúlyt. [7, 8] Számos alkalmazás esetében azonban elegendő lehet egy egyszerűbb, kizárólag a jármű

^{*} MSc hallgató, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

^{**} tanársegéd, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

hosszanti (longitudinális) mozgását leíró modell alkalmazása. Az ilyen modellek előnye az egyszerűség és a gyors számítási idő, azonban a pontosságuk nagymértékben függ a modellben szereplő paraméterek helyes megválasztásától.

A jármű hosszanti mozgását befolyásoló legfontosabb ellenállási erők közé tartozik a gördülési ellenállás, a légellenállás, valamint a hajtáslánc veszteségei. Ezek közül a gördülési ellenállás jelentős szerepet játszik különösen alacsony és közepes sebességtartományban. A jelen kutatás célja egy egyszerű hosszanti járműdinamikai modell paraméterezésének előkészítése mért járműadatok felhasználásával, különös tekintettel a gördülési ellenállás paraméterének meghatározására.

2. MÉRÉSI KÖRNYEZET ÉS A LONGITUDINÁLIS MODELL FELÉPÍTÉSE

2.1. Mérőeszköz

A járműadatok méréséhez a dán CSS Electronics által kifejlesztett CANedge2 eszközt (1. ábra) használtuk, amely kontrollált módon képes a CAN-hálózat üzeneteinek rögzítésére.

A készülék egyik legfontosabb jellemzője a nagy pontosságú, folyamatos és időbélyeggel ellátott adatrögzítés, amely akár két CAN-csatornán párhuzamosan is megvalósítható. A CANedge2 rugalmasan paraméterezhető: a felhasználók online vagy offline konfigurációs editor segítségével szabhatják testre a működési jellemzőket. Az eszköz az áramellátás megjelenésekor azonnal, teljesen automatikusan megkezd az adatgyűjtést az SD-kártyára. Lehetőség van még GPS modul csatlakoztatására is.



1. ábra: A CANedge2 mérőeszköz és az OBD2 kábel

2.2. Vizsgált jármű

Méréseinket egy olyan 2012-es évjáratú Toyota Avensis 2.0 D-4D típusú autón végeztük, mint ami a (2.ábrán) látható.



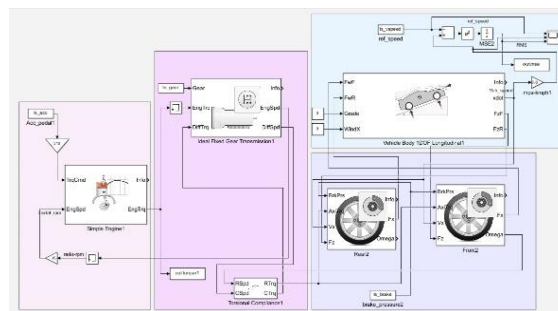
2. ábra: Toyota Avensis 2012

2.3. Járműdinamikai modell

Ahogy a bevezetésben is olvasható, a szakirodalomban gyakran előforduló járműmodellek, mint például a kerékpár-, negyedautó-, fél- vagy teljes autó-modellek általában konkrét célokra lettek kialakítva, és nem mindig alkalmasak általános felhasználásra. Kezdetben az volt a célkitűzés, hogy egy egyszerű, testreszabható modellt használjunk, amelyet a CANedge2 eszközzel rögzített mérési adatokhoz lehet igazítani. A legtöbb rendelkezésre álló modell az oldalirányú dinamikán alapul, azaz magába foglalja a kormányzás és a kanyarodás hatásait, míg elsődleges célunk a hosszirányú viselkedés vizsgálata volt. Ezért egy erősen leegyszerűsített hosszirányú modellt fejlesztettünk ki MATLAB környezetben (3. ábra), amelyben olyan egyenes vonalú mozgást elemeztünk, ahol az autó álló helyzetből indult [9, 13]. Ha ez az egyszerű modell megfelelően ábrázolja a valós adatokat, akkor a modell bonyolultabbá tehető, és például beépíthető a kormányzás is. Az alkalmazott blokkok az alábbiak:

- Vehicle Body 1DOF Longitudinal
- Simple Engine
- Ideal Fixed Gear
- Torsional Compliance
- Longitudinal Tire Disc Brake

Ezekon kívül egységátváltáshoz *Gain*, a függő jelek elkerüléséhez *Memory* és *Delay*, valamint a modell ellenőrzéséhez és a kimenetek megjelenítéséhez *Scope* blokkokat használtunk. A mért CAN-adatokból a gázpedál állását, a féknyomást, a jármű sebességét, majd később a számított fokozatot „timeseries” formátumban töltöttük be a szimulációs környezetbe a *From Workspace* blokkok segítségével. [1]



3. ábra: A longitudinális járműmodell MATLAB-Simulink környezetben

2.4. Adatgyűjtés és elemzés

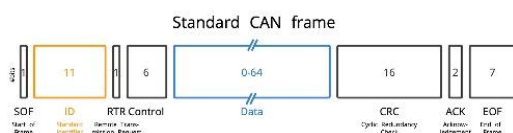
A kutatás során 2025 augusztusa és októbere között végeztünk méréseket változó útviszonyok mellett, városi és autópályás forgalomban egyaránt. A vizsgálatok alatt módosítottuk a mintavételezési periódust az optimális beállítás meghatározása érdekében. A rögzített adatmennyiség elegendőnek bizonyult a modell teszteléséhez, validálásához, valamint a jármű dinamikai viselkedésének alapszintű elemzéséhez. Az adatgyűjtés folyamata az alábbi szakaszokra bontható [1]:

2.4.1. Konfiguráció és OBD-II kérések meghatározása

A mérések megkezdése előtt a CANedge2 eszközt a vizsgált jármű sajátosságaihoz kellett igazítani, mivel az OBD-II kérések és a CAN-hálózati struktúrák típusfüggőek. A konfiguráció a CSS Electronics „OBD PID lookup tool” [14] online szerkesztőjében történt, ahol egy próbamérés után látni lehetett a támogatott PID-ek listáját a válaszüzenetek bitstruktúrája alapján. A kiválasztott jelekhez (pl. gázpedálállás, féknyomás) szintén a CSS Electronics által biztosított online konfigurációs eszközt használva beállítottuk a bit-módot (standard/extended), a lekérdezési gyakoriságot és a válaszformátumot, majd a konfigurációs fájlt rámásoltuk egy SD-kártyára, amit behelyeztünk az eszközbe.

2.4.2. Adatrögzítés és dekódolás

A mérések során az eszközt a kormánykerék alatt található OBD2-portba csatlakoztattuk. Az adatgyűjtés a gyújtás ráadásakor automatikusan elindul, és a leállításig tart; az aktív rögzítést az eszköz LED-ekkel jelzi. Az adatok MF4 formátumban tárolódnak. A nyers CAN-üzenetek (4. ábra) fizikai paraméterekké alakításához (dekódolásához) az open-source, Python-alapú asammdf szoftvert alkalmaztuk.



4. ábra: Standard CAN-üzenet felépítése [13]

A dekódoláshoz elengedhetetlen egy vagy több megfelelő DBC adatbázis (fájl) használata, amely leírja a bitek jelentését és a skálázási faktorokat. A kutatás korai szakaszában több adatbázist is összehasonlítottunk, mivel a mértékegységekben és struktúrákban jelentős eltérések mutatkoztak. A pontos eredmények érdekében végül több adatbázis egyidejű alkalmazása mellett döntöttünk.

2.4.3. Szűrés és előfeldolgozás

A valós forgalomban rögzített adatokból Python kód segítségével választottunk ki egyenes szakaszokat, hiszen a longitudinális modellhez ezek szükségesek.

A kinyert szegmenseket .csv és .mat formátumban exportáltuk, majd MATLAB környezetbe importáltuk. A változókat vektorokká alakítottuk át (ügyelve arra, hogy mindegyik következetesen sor- vagy oszlopvektor legyen, mivel ellenkező esetben nem lehetett volna őket megfelelően felhasználni). Ezután „timeseries” formátumra konvertáltuk őket a Simulink-modellbe való betöltéshez. Az adatokon interpolációs újramintavételezést (resampling) végeztünk egy közös idővektor mentén. Ez biztosította, hogy minden bemeneti paraméter azonos időlépéssel rendelkezzen, ami lehetővé tette a modellszimuláció gyorsabb és stabilabb futtatását. Végül egy újabb MATLAB-kódot írtunk a szimuláció és a modell eredményeinek egy közös grafikonon történő ábrázolásához, hogy gyorsabban ellenőrizhetőek legyenek az eredmények.

3. OPTIMALIZÁLÁS ELŐKÉSZÍTÉSE

A járműdinamikai modellek pontossága nagymértékben függ a modellben szereplő paraméterek helyes megválasztásától, és elengedhetetlennek tartják a szimulációs eredmények megbízhatóságának és alkalmazhatóságának biztosításához. [10] A validálási eljárások során jellemzően a mért és a szimulált jeleket hasonlítják össze meghatározott üzemi feltételek mellett, figyelembe véve a modell feltételezéseit, a jelek rendelkezésre állását és a mérési bizonytalanságot. [11, 12]. Bár számos paraméter, például a jármű tömege vagy geometriai adatai közvetlenül meghatározható a jármű műszaki adataiból, egyes paraméterek értéke csak közelítő módon ismert, vagy jelentős mértékben függ az aktuális üzemi körülményektől [10]. Ilyen paraméter például a gördülési ellenállás, amely a gumiabroncsok és az útfelület kölcsönhatásából [15] származó hatásokat foglalja magába. A modell pontosítása érdekében ezért szükséges ezen paraméterek mért adatok alapján történő illesztése, amihez gyakran optimalizációs módszereket alkalmaznak.

A járműdinamikai modell paramétereinek meghatározásához szükséges volt olyan méréseket végezni, amelyek alkalmasak a jármű lassulási viselkedésének vizsgálatára. Ehhez álló helyzetből felgyorsítottuk a járművet 1-es fokozatban, majd kuplung lenyomása nélkül hagytuk visszalassulni. Ezt többször megismételtük, majd ugyanezt 2-es fokozatban is elvégeztük. A gördülési ellenállás paraméterének becsléséhez a mérésekből kiválasztottuk a motorfékes szakaszokat. Ezekben a szakaszokban a jármű sebessége a különböző ellenállási erők hatására csökken, miközben a hajtáslánc zárt állapotban marad, mivel a kuplung nincs benyomva. Motorfékes üzemben a jármű lassulását több tényező együttes hatása határozza meg. Ezek közé tartozik a gördülési ellenállás, a hajtáslánc veszteségei, a motorfékből származó ellenállás, valamint kisebb mértékben a légellenállás. A hajtáslánc hatékonyságát befolyásoló, terhelésfüggő veszteségek a sebesség és az üzemeltetési körülmények függvényében jelentősen

változnak. [16-18] A jelen vizsgálat során elsősorban az alacsony sebességtartományra koncentráltunk, ahol a légellenállás hatása viszonylag kicsi, így a lassulást elsősorban a gördülési ellenállás és a motorfékből származó hatások befolyásolják.

A mért adatok ábrázolása után azonosítottuk azokat az időintervallumokat, amelyekben a sebesség-idő görbe közel lineáris csökkenést mutatott, ezek a szakaszok alkalmasak a jármű lassulásának becslésére. Ezután minden egyes kiválasztott időintervallumban lineáris illesztést végeztünk a sebesség-idő adatokra a MATLAB polyfit függvényének segítségével, majd átlagoltuk a kapott meredekségeket, így kapva egy referencia meredekséget, ami majd az optimalizáció során alapul szolgál.

A jelen munka elsősorban az adatok előkészítésére és a mérési folyamat kidolgozására fókuszált. A meghatározott lassulási értékek alapul szolgálnak a modell paramétereinek későbbi, optimalizációs módszerekkel történő azonosításához. A jövőben célunk a gördülési ellenállás pontosabb meghatározása olyan mérésekkel is, ahol a jármű üresben gurul, így a motorfék hatása már nem érvényesül.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A járműdinamikai modellek fontos szerepet játszanak a jármű viselkedésének megértésében és előrejelzésében különböző üzemeltetési körülmények között. Ez a tanulmány egy MATLAB–Simulink alapú hosszirányú járműdinamikai modell kidolgozására [1], valamint a gördülési ellenállás és a motorfék paramétereinek meghatározásához szükséges mérési és feldolgozási munkafolyamat bemutatására törekszik. A kutatás során egy 2012-es Toyota Avensis jármű adatait rögzítettük CANedge2 adatgyűjtő segítségével valós közlekedési körülmények között. A nyers CAN-busz üzenetek dekódolását, szűrését és előfeldolgozását követően azonosítottuk a jármű lassulási viselkedésének elemzésére alkalmas motorfék-szakaszokat. A sebesség-idő adatok lineáris illesztésével meghatározott lassulási meredekségek referenciaértékeként szolgálnak a modell későbbi, optimalizálási módszerekkel történő paraméterezéséhez. A bemutatott eljárás célja a motorfék-ellenállás és a gördülési ellenállás pontos azonosításának előkészítése. A kifejlesztett keretrendszer [1] reprodukálható alapot biztosít a modell további finomításához és a hajtáslánc-dinamika részletesebb integrálásához.

5. SUMMARY

Vehicle dynamics models are important for understanding and predicting vehicle behavior under different operating conditions. This study focuses on the development of a MATLAB–Simulink-based longitudinal vehicle dynamics model [1], as well as on presenting the measurement and processing workflow required for identifying rolling resistance and engine

braking parameters. During the research, data from a 2012 Toyota Avensis vehicle was recorded using a CANedge2 data logger in real-world traffic conditions. Following the decoding, filtering, and preprocessing of the raw CAN bus messages, engine braking sections suitable for analyzing the vehicle's deceleration behavior were identified. The deceleration slopes determined by linear fitting of the speed-time data serve as reference values for the subsequent parameterization of the model using optimization methods. The purpose of the presented procedure is to prepare for the accurate identification of engine braking resistance and rolling resistance. The developed framework [1] provides a replicable basis for further refinement of the model and more detailed integration of drivetrain dynamics.

6. IRODALOM

- [1] Csajbók I. L., Nemes D., *Measurement of vehicle parameters for vehicle dynamics model validation*, 11th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME), publikálásra elfogadva
- [2] Reicherts S., Hesse B. S., Schramm D.: *Use of naturalistic driving studies for identification of vehicle dynamics*. IEEE Open Journal of Intelligent Transport Systems, 2. évfolyam. (2021) 195–206.
<https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3093712>
- [3] De Hoyos Fernández de Córdova A., Olazagoitia J. L., Gijón-Rivera C.: *Non-Invasive Identification of Vehicle Suspension Parameters: A Methodology Based on Synthetic Data Analysis*. Mathematics, 12. évfolyam/3. szám. (2024) 397.
<https://doi.org/10.3390/math12030397>
- [4] Parra A., Cagigas D. – Zubizarreta A.: *Modelling and Validation of Full Vehicle Model based on a Novel Multibody Formulation*. In: IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Lisszabon, Portugália, 2019.
[10.1109/IECON.2019.8926854](https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926854)
- [5] Ahmad F., Mazlan S., Jamaluddin H., Hudha K.: *Modelling and Validation of the Vehicle Longitudinal Model*. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 10. évfolyam. (2022) 2042–2056.
<https://doi.org/10.15282/ijame.10.2014.21.0172>
- [6] Wu Z., Kang C., Li B.: *Dynamic Modeling, Simulation, and Optimization of Vehicle Electronic Stability Program Algorithm Based on Back Propagation Neural Network and PID Algorithm*. Actuators, 3. évfolyam/13. szám. (2024) 100.
<https://doi.org/10.3390/act13030100>
- [7] Wang P., Wang J., Li Z., Qu T.: *Koopman-MPC-based energy-efficient integrated control of attitude maneuver and vibration suppression for nonlinear in-wheel motor-*

active suspension on uneven roads. *Energy*, 336. évfolyam. (2025) 138157.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138157>

- [8] Haidar F.: *Integrated Vehicle Dynamics Modeling, Path Tracking, and Simulation: A MATLAB Implementation Approach*. Engineering Perspective, 1. évfolyam/1. szám. (2024) 7–16.
<https://doi.org/10.29228/eng.pers.75106>
- [9] Laila D., Shakouri P., Ordys A. – Askari M.: *Longitudinal vehicle dynamics using Simulink/Matlab*. In: UKACC International Conference on Control. Coventry, Egyesült Királyság, 2010.
<https://doi.org/10.1049/ic.2010.0410>
- [10] Widner A., Tihanyi V., Tettamanti T.: *Framework for Vehicle Dynamics Model Validation*. IEEE Access, 10. évfolyam. (2022) 35422–35436.
[10.1109/ACCESS.2022.3157904](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157904)
- [11] Rhode S. – Von Keler J.: *Online validity monitor for vehicle dynamics models*. In: 2019 IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE). Graz, Ausztria, 2019.
[10.1109/ICCVE45908.2019.8965162](https://doi.org/10.1109/ICCVE45908.2019.8965162)
- [12] Danquah B., Riedmaier S., Rühm J.: *Statistical Model Verification and Validation Concept in Automotive Vehicle Design*. Procedia CIRP, 91. évfolyam. (2020) 261–270.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.175>
- [13] Rill G., Castro A. A.: *Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling with MATLAB®*. CRC Press, Boca Raton, 2020.
<https://doi.org/10.1201/9780429244476>
- [14] CSS Electronics. (letöltve: 2026. március 14.).
- [15] Pacejka H. B., Besselink I.: *Tyre and vehicle dynamics*. 2. edition. Butterworth-Heinemann Elsevier, Oxford Waltham, 2006.
- [16] Minaker B. P.: *Fundamentals of vehicle dynamics and modelling: a textbook for engineers with illustrations and examples*. Wiley, Hoboken, NJ, 2020.
- [17] Gillespie T. D.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics (Revised Edition)*. SAE International, Warrendale, Pennsylvania, 2021.
- [18] Lugner P.: *Vehicle dynamics of modern passenger cars*. Springer International Publishing, Cham, 2019.