



JÁRMŰDINAMIKAI MODELL PARAMÉTER-ILLESZTÉSÉNEK ELŐKÉSZÍTÉSE

PREPARATION FOR PARAMETER IDENTIFICATION IN A VEHICLE DYNAMICS MODEL

Csajbók Imola Lenke,¹ Nemes Dániel²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, csajbok.imola@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Debrecen, Magyarország, nemes.daniel@eng.unideb.hu

Abstract

Vehicle dynamics models are important for understanding and predicting vehicle behavior under different operating conditions. However, their practical applicability depends largely on how well the simulated responses reflect the actual performance of the vehicle. Therefore, it is essential to validate the model with real measurement data. This study focuses on the validation of a MATLAB–Simulink longitudinal vehicle dynamics model and the parameter identification of rolling resistance using CAN bus data recorded during road driving. The measurement data were collected using a CANedge2 data logger. The measured signals were compared with the simulation results to assess the model's ability to reproduce real vehicle behavior under different driving conditions. The resistance forces causing the vehicle to decelerate were also examined. The presented workflow demonstrates a practical and reproducible approach for CAN-based model validation using real vehicle data.

Keywords: vehicle, model validation, data-based model, optimization, parameter identification.

Összefoglalás

A járműdinamikai modellek fontosak a jármű viselkedésének megértéséhez és predikciójához különféle üzemi körülmények között. Gyakorlati alkalmazhatóságuk azonban nagyban függ attól, hogy a szimulált viselkedés milyen mértékben tükrözi a jármű tényleges teljesítményét. Ezért elengedhetetlen a modell valós mérési adatokkal történő validálása. Ez a tanulmány egy MATLAB–Simulink hosszanti járműdinamikai modell validálására és a gördülési ellenállás paraméterének azonosítására összpontosít, közúti vezetés során rögzített CAN-busz-adatok felhasználásával. A mérési adatokat CANedge2 adatgyűjtővel rögzítettük. A mért jeleket összehasonlítottuk a szimulációs eredményekkel, hogy értékeljük a modell képességét a valós járműviselkedés különböző vezetési körülmények közötti reprodukálására. Megvizsgáltuk a jármű lassulását okozó ellenállási erőket is. A bemutatott munkafolyamat egy gyakorlati és reprodukálható megközelítést mutat be a CAN-alapú modell validálásához valós járműadatok felhasználásával.

Kulcsszavak: jármű, modellvalidáció, adatalapú modell, optimalizáció, paraméter-identifikáció.

1. Bevezetés

A modern járművek egyre bonyolultabb szerkezeti, elektronikai elemekkel és mechatronikai rendszerekkel rendelkeznek, amelyek működésük során jelentős mennyiségű adatot generálnak

fedélzeti kommunikációs rendszereiken keresztül. Viszont az egyre újabb megoldások az üzemfenntartás színvonalának folyamatos fejlődését követelik. Ezért egyre nagyobb szerepet kapnak az állapotfüggő karbantartási rendszerek. A Cont-

roller 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 nemcsak diagnosztikai célokra használhatók, hanem járműdinamikai modellek fejlesztéséhez és validálásához is értékes információkat szolgáltatnak.

A járműdinamikai modellek széles körben alkalmazott eszközök a járművek viselkedésének elemzésére és szimulációjára [1]. Az irodalomban számos különböző modell található, például negyedjármű- [2], féljármű- vagy teljes járműmodellek [3, 4, 5], amelyek különböző részletességgel írják le a jármű mozgását. Ezek a modellek gyakran a laterális dinamikára vagy az utazási kényelemre helyezik a hangsúlyt. [6, 7] Számos alkalmazás esetében azonban elegendő lehet egy egyszerűbb, kizárólag a jármű hosszanti (longitudinális) mozgását leíró modell alkalmazása. Az ilyen modellek előnye az egyszerűség és a gyors számítási idő, azonban a pontosságuk nagymértékben függ a modelltől 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. Anyag és módszer

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. Ez a kétcsatornás CAN/LIN adatnaplózó kompakt kialakításának és fejlett funkcióinak köszönhetően kiválóan alkalmas autóipari kutatás-fejlesztési tesztekhez, valamint prediktív karbantartási feladatok támogatásához.

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



1. ábra. A CANedge2 mérőeszköz és az OBD2 kábel



2. ábra. Toyota Avensis, 2012

vagy offline konfigurációs editor segítségével szabhatják testre a működési jellemzőket. Az eszköz az áramellátás megjelenésekor azonnal, teljesen automatikusan megkezdje az adatgyűjtést az SD-kártyára.

A rendszer integrálhatóságát nagyban növeli a beépített Wi-Fi modul, amelyen keresztül az adatok vezeték nélkül továbbíthatók távoli szerverekre vagy közvetlenül Python-alapú környezetbe. Lehetőség van még GPS modul csatlakoztatására is.

2.2. Jármű

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

Az 1. táblázatban láthatóak a jármű fontosabb adatai.

1. táblázat. A Toyota Avensis műszaki adatai

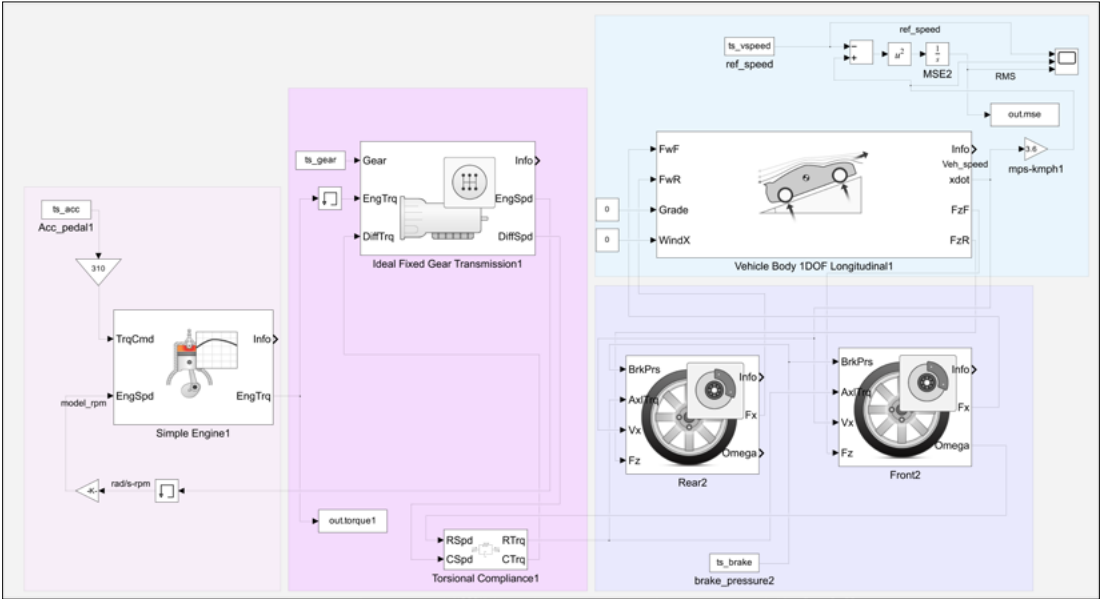
Kategória	Jellemző
Meghajtás típusa	Elsőkerék-meghajtás (FWD)
Motor típusa	Dízel
Sebességváltó típusa	Kézi
Fokozatok száma	6
Motor térfogat	1998 [ccm]
Maximumteljesítmény	91 [kW], 310 [Nm]
Végsebesség	200 [km/h]
Üzemanyag-fogyasztás	4.5 l/100 [km]
Maximális teljesítményhez tartozó fordulatszám	3100 [rpm]
Hosszúság	4710 [mm]
Szélesség	1810 [mm]
Magasság	1480 [mm]
Tengelytáv	2700 [mm]
Saját tömeg	1555 [kg]
Gumiabroncs mérete	205/60R16V
Tömegközéppont távolsága a hátsó tengelytől:	1.62 [m]
Tömegközéppont távolsága az első tengelytől:	1.08 [m]

2.3. Járműmodell

Ahogy a Bevezetésben is olvasható, a szakirodalomban gyakran előforduló járműmodellek, mint például a kerékpár-, negyedautó-, fél- vagy teljes autómmodellek általában konkrét célokra lettek kialakítva, és nem mindig alkalmasak általános felhasználásra. Kezdetben az volt a cél, hogy egy egyszerű, testre szabható modellt használjunk, amelyet a CANedge2 eszközzel rögzített mérési adatokhoz lehet igazítani. A legtöbb rendelkezésre álló modell az oldalirányú dinamikán alapul, azaz magában 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 egyenes vonalú mozgást elemeztünk, az autó álló helyzetéből indulva [8]. 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 blokkokat, a függő jelek elkerüléséhez Memory és Delay blokkokat, valamint a modell ellenőrzéséhez és



3. ábra. A longitudinális járműmodell MATLAB-Simulink környezetben

a kimenetek megjelenítéséhez Scope blokkokat használtunk. A mért CAN-adatokból a gázpedál állását, a féknyomást, a jármű sebességét, majd később a számított fokozatot idősoros formátumban töltöttük be a szimulációs környezetbe Matlab-kódokból a From Workspace blokkok segítségével.

A blokkok közötti kapcsolat:

Gearbox blokk

A sebességváltó blokk a motor nyomatékát az aktuális áttételi arány alapján módosítja. A váltási jelet a CAN-busz-adatokból meghatározott aktuális sebességfokozat szolgáltatja, így a modell a valós jármű működését követi. A blokk bemenetei a Simple Engine és a Torsional Compliance blokkokból érkező nyomatékok. Kimenetei a hajtott tengelyre jutó módosított nyomaték, valamint a motor felé visszaható nyomaték. Az áttételeket sorvektor formájában kellett megadni. Mivel a váltó- és végáttételek közvetlenül nem voltak mérhetők, az egyes fokozatokhoz tartozó tényleges összetételeket a mért motor- és kerékfordulatszám arányából becsültük állandó haladási körülmények között.

Tire blokk

A blokk a kerék és az útfelület kapcsolatát írja le a Pacejka-féle Magic Formula modell alapján [9]. Mivel a modellünk hosszirányú, és a keresztirányú (laterális) hatásokat nem szimuláltuk, így nem szükséges 2 kereket alkalmazni tengelyenként. Ezért összesen két kerékblokkot alkalmaztunk: egyet az első, egyet a hátsó kerekhez. A bemenő nyomaték alapján a blokk kiszámítja a tapadási erőt és a csúszási arányt. További bemenetek a járműtestből érkező erő- és sebességjelek, valamint a mért fékpedálállás. A blokk egyik kimenete a jármű hosszanti mozgására ható erő, a másik a kerék szögsebessége, amely visszacsatolásként a Torsional Compliance blokkba kerül. A modellhez meg kellett adni a terhelt keréksugarat és a maximális kerékcúszást.

1 DOF Vehicle Body blokk

Ez a blokk a jármű mozgását egy szabadsági fokra, a hosszanti irányra korlátozva modellezi. A Tire blokkból érkező hajtó- és fékezőerők alapján számítja ki a jármű gyorsulását, sebessé-

gét és elmozdulását. A számított sebességet összehasonlítjuk a mért referenciasebességgel, és az eltérés MSE (Mean Square Error) értéke egy scope-on figyelhető. A modell paraméterezéséhez meg kellett adni a jármű tömegét és a tengelyek tömegközépponthoz viszonyított távolságát. Az egyszerűsítés érdekében az út emelkedési szöge és a szélesség értékét nullának vettük.

2.4. Adatgyűjtés és elemzés

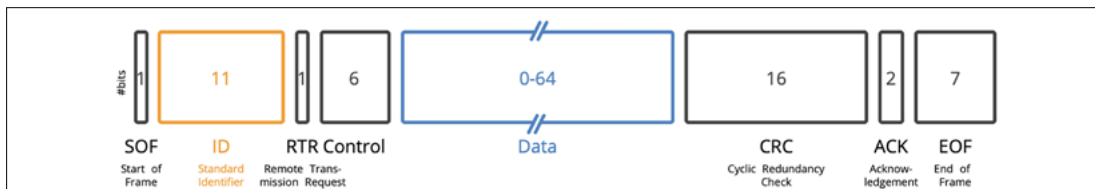
A kutatás során 2025 augusztusa és októbere között végeztünk méréseket változó útviszonyok mellett, városi és autópályás forgalomban egyaránt. A vizsgálatok alatt módosítottuk a mintavételezési periódust az optimális beállítás meghatározása érdekében. A rögzített adatmennyiség elegendőnek bizonyult a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

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” [10] 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 bitmódot (standard/extended), a lekérdezési gyakoriságot és a válaszformátumot, majd a konfigurációs fájlt rámásoltuk egy SD-kártyára, amelyet behelyeztünk az eszközbe.

2.4.2. Adatrögzítés és dekódolás

A mérések során az eszközt a kormánykerék alatt található OBD2-portha 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 (dekódolá-



4. ábra. Standard CAN-üzenet felépítése [10]

sához) az open-source, Python-alapú asammdf szoftvert alkalmaztuk.

A dekódoláshoz elengedhetetlen egy vagy több megfelelő DBC adatbázis (fájl), 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 szűrés során két fő kritériumot foglalmaztunk meg:

1. A kormányzó nem haladhatta meg az 5°-ot (egyenes vonalú mozgás).
2. A járműnek álló helyzetből (0 km/h) kellett indulnia.

Az így kinyert szegmenseket .csv és .mat formátumban exportáltuk, majd MATLAB környezetbe integráltuk. 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 újra-mintavételezést (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.

2.5. Optimalizálás előkészítése

A járműdinamikai modellek pontossága nagymértékben függ a modellben szereplő paraméterek helyes megválasztásától. A járműdinamikai modellek valós mérési alapú validálása a szakirodalomban jól ismert téma, és elengedhetetlennek tartják a szimulációs eredmények megbízhatóságának és alkalmazhatóságának biztosításához. [11] 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. [12, 13].

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 [11]. Ilyen paraméter például a gördülési ellenállás, amely a gumiabroncsok és az útfelület kölcsönhatásából [9] származó hatásokat foglalja magában.

A járműdinamikai modell pontosítása érdekében ezért szükséges ezen paraméterek mért adatok alapján történő illesztése. A paraméterek meghatározására gyakran optimalizációs módszereket alkalmaznak, amelyek célja, hogy a modell által számított járműviselkedés a lehető legjobban közelítse a valós mérési eredményeket.

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 a kuplung lenyomása nélkül hagytuk visszahúzódnia. Ezt többször megismételtük, majd ugyanezt 2-es fokozatban is elvégeztük. A gördülési ellenállás paraméterének becsléséhez a mérésekből ki-választottuk 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. Korábbi kutatási eredmények szerint a hajtáslánc hatékonyságát befolyásoló, terhelésfüggő veszteségek a sebesség és az üzemeltetési körülmények függvényében jelentősen változnak. [14, 15, 16] 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 mérések során a kiválasztott időintervallumokban a jármű sebességének időbeli változását vizsgáltuk. A mérési adatok feldolgozásának első lépéseként az adatok ábrázolása után azonosítottuk azokat az időintervallumokat, amelyekben a sebesség-idő görbe közel lineáris csökkenést mutatott. Ezek a szakaszok alkalmasak a jármű lassulásának becslésére.

A kiválasztott mérési szakaszokat MATLAB környezetben dolgoztuk fel. A sebességadatokat

először km/h egységből m/s egységre alakítottuk át. Ezután minden egyes kiválasztott időintervallumban lineáris illesztést végeztünk a sebesség-idő adatokra a MATLAB polyfit függvényének segítségével.

Az illesztett egyenes meredeksége közvetlenül megadja a jármű lassulását az adott mérési szakaszban. A MATLAB kód minden egyes kiválasztott intervallumra külön meghatározta az illesztett egyenes meredekségét. Az eredményeket grafikus formában is ábrázoltuk, ahol a mért sebesség-idő görbe mellett az illesztett egyenesek is megjelentek. (5. ábra)

A vizsgálat során az első sebességfokozatban négy, míg a második sebességfokozatban három motorfékes mérési szakaszt választottunk ki. Minden szakaszhoz egy külön lassulási értéket kaptunk. Mivel a különböző mérési körülmények, mint például az útviszonyok kisebb eltéréseket okozhatnak az egyes meredekségek között, a kapott értékeket átlagoltuk.

Az első és második fokozatban kapott meredekségek átlagát külön-külön meghatároztuk. Ezek az átlagos lassulási értékek reprezentálják a jármű viselkedését a vizsgált motorfékes állapotban, és alapul szolgálnak a járműdinamikai modell paraméter-illesztéséhez.

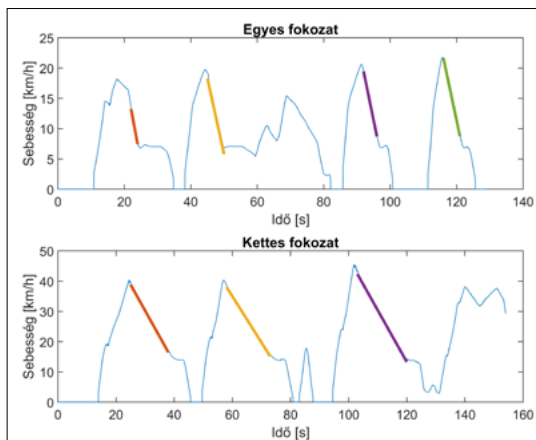
A modell paramétereinek meghatározásához optimalizációs eljárást fogunk alkalmazni. Az optimalizáció során két paraméter kerül azonosításra:

- ERp, amely a motorfékből származó ellenállási hatást ellensúlyozza
- RRp, amely a gördülési ellenállást súlyozza, a keréblokknak a „Rolling resistance scaling factor, lam_My”-paramétere

A paraméterek meghatározásához a MATLAB Optimization Toolbox eszköztárát fogjuk alkalmazni. Az optimalizáció célja egy olyan paraméter-kombináció meghatározása, amely mellett a modell által számított járműlassulás a lehető legjobban illeszkedik a mérési adatokból származó referenciameredekséghez.

Az optimalizáció során egy célfüggvényt definiálunk, amely jelen esetben a szimulált és a mért lassulás közötti eltérést adja. Az optimalizációs algoritmus a paraméterek iteratív módosításával keresi azt az értékkombinációt, amely minimalizálja ezt a hibát.

Az optimalizáció előkészítéseként a paraméterekhez alsó és felső határokat határoztunk meg néhány próbaszimuláció elvégzése után. Azért kell már most beletenni a célfüggvénybe mindkét paramétert, mert egymástól függetlenül nem le-



5. ábra. A lassuló szakaszokra illesztett egyenesek egyes (felső ábra) és kettes (alsó ábra) fokozatokban

hetne optimalizálni őket, hiszen mindkettő befolyásolja a lassulást. A jelenlegi mérési konfigurációban a jármű lassulását jelentős mértékben befolyásolja a motorfék hatása, ezért az első lépésben az ERp paraméter számára szélesebb keresést tartományt biztosítunk majd. Ezzel szemben az RRp paraméter változási tartományát szűkebbre választjuk, mivel a gördülési ellenállás pontosabb azonosítása további méréseket igényel.

A későbbi vizsgálatok során olyan mérési adatokat is kívánunk gyűjteni, amelyekben a jármű kinyomott kuplunggal gurul, így a hajtáslánc és a motorfék hatása megszűnik. Ebben az esetben a jármű lassulását elsősorban a gördülési ellenállás és a légellenállás határozza meg, ami lehetővé teszi az RRp paraméter pontosabb meghatározását.

3. Eredmények

A longitudinális járműdinamikai modell megalkotása és a mérési módszer kidolgozása után a rögzített CAN-busz-adatok feldolgozását végeztük el. A mérési rendszer és az adatfeldolgozási folyamat célja az volt, hogy a jármű valós működéséből származó adatok alapján megalkotott járműmodell minél jobban reprezentálja a valóságot. A modell pontosítása érdekében elkezdtuk vizsgálni a jármű lassulási viselkedését olyan üzemálapotokban, amelyek alkalmasak a modell paramétereinek későbbi illesztésére.

A mérési adatok feldolgozása során több motorfékes szakaszt azonosítottunk az első és a második sebességfokozatban rögzített mérési adatok között. Ezekben a szakaszokban a jármű sebességének időbeli változását lineáris függvényekkel közelítettük.

A MATLAB polyfit függvény segítségével meghatározott meredekségek a jármű lassulását adták meg az egyes mérési szakaszokban. Az illesztések grafikus ábrázolása alapján megállapítható volt, hogy a kiválasztott szakaszokban a sebesség-idő függvény jó közelítéssel lineáris viselkedést mutatott, így a lineáris illesztés megfelelő módszernek bizonyult a lassulás becslésére.

Az első sebességfokozatban négy, míg a második sebességfokozatban három mérési szakasz meredekségét határoztuk meg. Az egyes szakaszokban kapott értékek között kisebb eltérések figyelhetők meg, amelyek a mérési zajból és a különböző környezeti hatásokból adódhatnak.

A kapott meredekségek átlagolásával (2. táblázat) meghatároztuk az első és második fokozatra jellemző átlagos lassulási értékeket, amelyeket referenciaként fogunk használni. Ezek az értékek a jármű lassulását okozó ellenállások hatását reprezentálják a vizsgált motorfékes üzemállapotban.

A meghatározott referenciameredekség a továbbiakban bemeneti adatként szolgál a járműdinamikai modell paraméter-illesztéséhez.

2. táblázat. A mért meredekségek és átlagaik

	Meredekségek egyes fokozatban [m/s ²]	Meredekségek kettes fokozatban [m/s ²]
1	-0,8107	-0,4785
2	-0,6965	-0,4241
3	-0,7446	-0,4749
4	-0,7185	-
Átlag	-0,7426	-0,4592

4. Következtetések

A tanulmány célja egy járműdinamikai modell motorfék- és gördülési ellenállási paraméterének meghatározásához szükséges mérési és feldolgozási módszer bemutatása volt. A valós járműből származó CAN-busz-adatok feldolgozásával sikerült olyan motorfékes mérési szakaszokat azonosítani, amelyek alkalmasak a jármű lassulási viselkedésének vizsgálatára.

A sebesség-idő adatok lineáris illesztésével meghatározhatóvá vált a jármű lassulása az egyes mérési szakaszokban. Az így kapott meredekségek átlagolásával referencia lassulási értékeket határoztunk meg, amelyek a jármű viselkedését jellemzik a vizsgált motorfékes állapotban.

A meghatározott referencia meredekségek alapul szolgálnak a járműdinamikai modell paramétereinek optimalizációs módszerekkel történő azonosításához. A paraméter-illesztés során két fő paraméter, a motorfékből származó ellenállás

reprezentáló ERp, valamint a gördülési ellenállás RRp paramétere kerül majd meghatározásra.

A jelen munka elsősorban az optimalizáció előkészítésére, valamint a szükséges mérési és feldolgozási lépések kidolgozására fókuszált. A meghatározott referenciaértékek lehetővé teszik, hogy a következő lépésben optimalizációs módszerekkel történjen meg a járműdinamikai modell ellenállási paramétereinek, első lépésként különösen a motorfékből származó és a gördülési ellenállási hatások illesztése.

A jövőbeni munkák során további mérések végzése is indokolt, például olyan üzemállapotokban, amikor a jármű kinyomott kuplunggal gurul. Az ilyen mérési körülmények lehetővé teszik a gördülési ellenállás hatásának pontosabb elkülönítését, ezáltal támogatva a modellparaméterek későbbi pontosabb azonosítását.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] 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. (2021) 195–206. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3093712>
- [2] 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, 12/3. (2024) 397. <https://doi.org/10.3390/math12030397>
- [3] 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. <https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926854>
- [4] Ahmad F., Mazlan S., Jamaluddin H., Hudha K.: *Modelling and Validation of the Vehicle Longitudinal Model*. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 10. (2022) 2042–2056. <https://doi.org/10.15282/ijame.10.2014.21.0172>
- [5] 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, 3/13. (2024) 100. <https://doi.org/10.3390/act13030100>
- [6] 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. (2025) 138157. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138157>
- [7] Haidar F.: *Integrated Vehicle Dynamics Modeling, Path Tracking, and Simulation: AMATLAB Imple-*

- mentation Approach. Engineering Perspective, 1/1. (2024) 7–16.
<https://doi.org/10.29228/eng.pers.75106>
- [8] Rill G., Castro A. A.: *Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling with MATLAB®*. CRC Press, Boca Raton, 2020.
<https://doi.org/10.1201/9780429244476>
- [9] Pacejka H. B., Besselink I.: *Tyre and Vehicle Dynamics*. 2. kiadás. Butterworth-Heinemann Elsevier, Oxford Waltham, 2006.
- [10] CSS Electronics. (letöltve: 2026. március 14.).
- [11] Widner A., Tihanyi V., Tettamanti T.: *Framework for Vehicle Dynamics Model. Validation*. IEEE Access, 10. (2022) 35422–35436.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157904>
- [12] 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.
<https://doi.org/10.1109/ICCVE45908.2019.8965162>
- [13] Danquah B., Riedmaier S., Rühm J.: *Statistical Model Verification and Validation Concept in Automotive Vehicle Design*. Procedia CIRP, 91. (2020) 261–270.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.175>
- [14] Minaker B. P.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics and Modelling: a Textbook for Engineers with Illustrations and Examples*. Wiley, Hoboken, NJ, 2020.
- [15] Gillespie T. D.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics* (Revised Edition). SAE International, Warrendale, Pennsylvania, 2021.
- [16] Lugner P.: *Vehicle Dynamics of Modern Passenger Cars*. Springer International Publishing, Cham, 2019.
- [17] 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>