

Gördülési súrlódási együttható mérésére alkalmas készülék fejlesztése

Development of a rolling resistance measurement device

MESTER Sándor (MSc)¹, BALOGH Diána (MSc)¹, SZALAI István (DSc)²

¹ Pannon Egyetem, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet

H-8900 Zalaegerszeg, Gasparich Márk u. 18/A.

Tel: +36 88 624 000 / 6199, e-mail: mester.sandor@mk.uni-pannon.hu, web: https://zek.uni-pannon.hu

² Pannon Egyetem, Mechatronikai és Méréstechnikai Kutatócsoport

H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10

Tel: +36 88 624 000 / 6011, web: https://mk.uni-pannon.hu

Abstract

This paper focuses on the development and test measurement of a rolling resistance measurement device. Based on the literature review, we select the measurement principle and then implement the equipment. The device is tested on the surfaces of the Automotive Test Track, stating the quality differences of the various surfaces.

Keywords: tire-road contact, rolling resistance, friction coefficient, road quality

Kivonat

Jelen közleményünkben tapadási súrlódási együttható mérésére alkalmas berendezés fejlesztését és tesztelését ismertetjük. Az irodalmi vizsgálat alapján kiválasztottuk a mérési elvet, majd kivitelezük a berendezést. A készüléket az Autóipari Tesztpálya felületein teszteltük, megállapítva a különböző felületek minőségi eltéréseit.

Kulcsszavak: gördülési súrlódás, súrlódási együttható, kerék-útfelület kapcsolat, útminőség

1. BEVEZETÉS

A környezetvédelmi kérdések a világ különböző országaiban egyre inkább a döntéshozatali folyamatok fontos részévé válnak az autóipar területein. Az útburkolatok minősége jelentősen befolyásolja az azokat használó járművek energiafogyasztását, ezért már a tervezési lépések során érdemes figyelembe venni, és fejleszteni a futófelületeket.

A modern járműabroncsoknak számos követelménynek kell megfelelniük. Az alapvető tulajdonságok, mint például élettartam, fékezőerő, oldalirányú tapadás, alacsony zajszint, kényelem stb. mellett egyre inkább előtérbe kerülnek az ökológiai szempontok: az üzemanyag-fogyasztás, CO₂ kibocsátás. Ezeket számos tényező befolyásolhatja, az autó légellenállása és környezeti viszonyok mellett a gumiabroncs és az útburkolat között fellépő súrlódás, gördülési ellenállás is. A gördülési ellenállást a gumiabroncs és az útburkolat együtt határozza meg. Ezek ismeretében fontos, hogy mérni lehessen a különböző gumiabroncsok és útburkolatok gördülési ellenállásait.

2. GÖRDÜLÉSI ELLENÁLLÁS MÉRÉSI MÓDSZEREI

A súrlódás érintkező felületek között fellépő erő, mely a felületek relatív elmozdulása során keletkezik. A súrlódás erő iránya mindig ellentétes az mozgás irányával. Amennyiben az elmozduló felületek egyike kör keresztmetszetű, gördülési súrlódásról és gördülési ellenállásról beszélhetünk, mely általában kisebb, mint a sík testek között ébredő csúszó súrlódás [1]:

$$\mu_G = \frac{F_R}{G} \quad (1)$$

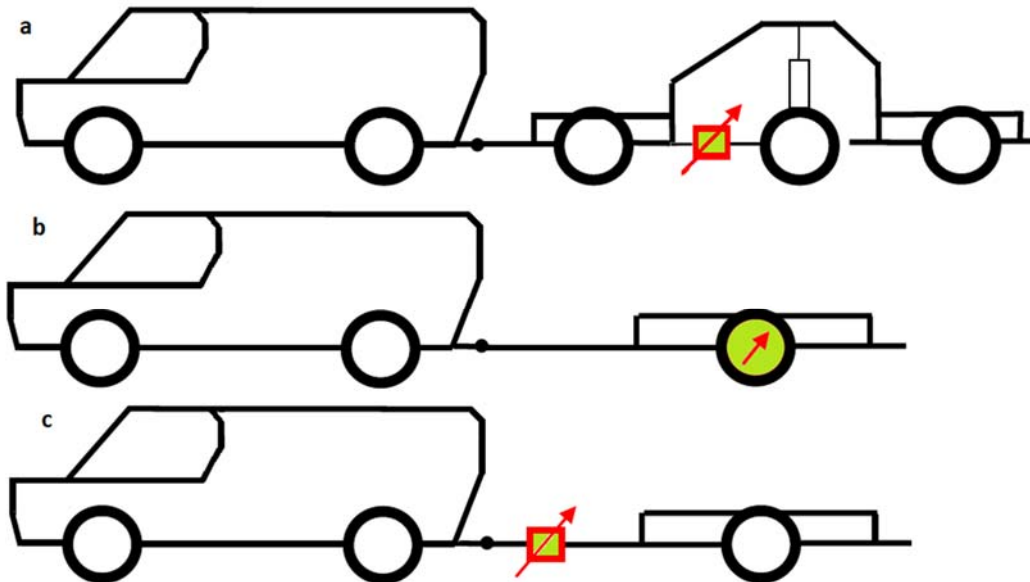
ahol μ_G a gördülési súrlódási együttható, F_R a kerékre ható vontatási erő és G a kereket a talajhoz szorító erő.

A gumiabroncsok gördülési súrlódási ellenállását az Európai Unióban szabványban előírt mérési körülmények között lehet vizsgálni [2]. Az előírás magába foglalja a mérési erőket, hőmérsékletet, méreteket stb. melyeket beltéri mérésnél lehet biztosítani.

Az (1) egyenletből látható, hogy a gördülési súrlódási együttható meghatározásához a kerékre ható erők ismerete szükséges. Az útfelületek, és a gumiabroncs közötti kölcsönhatás vizsgálata azonban nem mindig lehetséges laboratóriumi körülmények között, így a kutatók több módszert is kidolgoztak, amivel meg lehet határozni a súrlódás során fellépő hatásokat. A mérési módszereket két nagy csoportba lehet sorolni: az erőmérésen alapuló típusokba, és a szögmérésen alapulóba [3].

1.1. Erőmérésen alapuló mérési módszerek

Az erőmérésen alapuló módszerek előnye, hogy a gördülési ellenállás számításához szükséges hatásokat közvetlenül adja meg. Az erőmérésen alapuló módszereket mutatja az 1. ábra, pirossal kiemelve a mérőegységet [3]. Az 1.a) ábra esetén a járműbe, vagy külön vontatmányba szerelt, saját felfüggesztéssel ellátott extra kerék és gumiabroncsra ható erőket mérik. Ebben az esetben meg kell tervezni és kivitelezni a kerék felfüggesztését és a mérőegység beépítését a felfüggesztésbe. Az 1.b) ábrán látható esetben a jármű vagy vontatmány egyik tengelyére szerelnek erőmérő egységet, mely esetben az eredeti felépítmény megbontása nem mindig szükséges, így kevésbé bonyolult lehet a kivitelezés. Végül az 1.c) esetben a jármű egyik átalakított tengelyére, vagy vontatmány és a jármű közé szerelt erőmérő szenzor a teljes tengelyre/vontatmányra ható erőt méri.



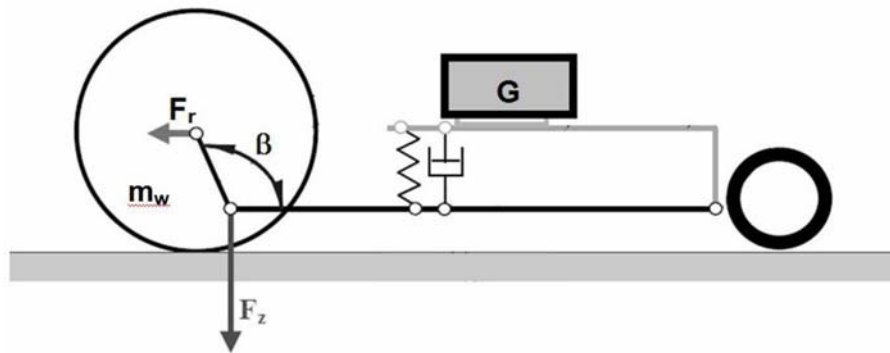
1. ábra. Gördülési ellenállás erőmérésen alapuló módszerei

1.2. Szögmérésen alapuló mérési módszerek

A szögmérésen alapuló módszereknél a mérőkerék, melynek a gördülési ellenállását határozzák meg felfüggesztett pozíciójának köszönhetően képes előre-hátra elmozdulni, és a mérés során, a jármű előrehaladásakor a kerékre hátrafelé húzó erő hat a súrlódás miatt. Az elmozdulás egy egyszerű, csuklós kialakítással átalakítható szögelfordulássá, melynek ismeretében meghatározható a gördülési ellenállás. A mérés elvét a 2. ábra mutatja, ahol az elmozdulás β szöggként jelentkezik [4,5]. Az ábra jelöléseivel felírva:

$$\mu_G = \frac{F_R}{F_z} = \tan \beta \quad (2)$$

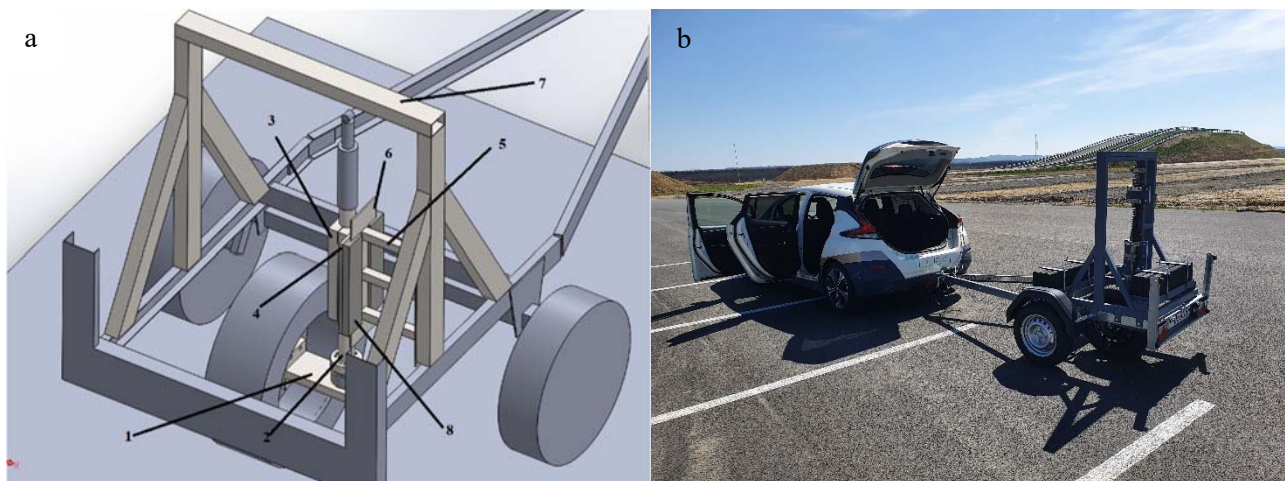
ahol F_z a keréket a talajhoz szorító erő. Kis szögek esetén $\tan \beta \approx \beta$.



2. ábra. Gördülési ellenállás mérése szögmérési elven [5]

3. GÖRDÜLÉSI ELLENÁLLÁST MÉRŐ RENDSZER

Belátható, hogy a gördülési súrlódás mérése egy vontatmány felépítésével, vagy a jármű teljes átalakításával lehetséges. Az ismertetett módszerek közül az erőmérésen alapuló mérési módszer mellett döntöttünk, és dolgoztuk ki saját berendezésünket, melynek modelljét a 3.a) ábra mutatja. A gördülési ellenállás mérő rendszer alapját egy ALFA 12011MN.75 típusú utánfutó szolgáltatta. A gyári felépítmény leszerelése után a váz megerősítésre került, és erre épült fel a konzol (7), mely a harmadik, mérésre alkalmas kereket köti össze az utánfutó vázával. A konzol zártszelvényekből, hegesztési kötésekkel készült el. A mérőkereket 5x112, 6.5J x 16 méretű autófelnire szerelt 205/55 r16 gumibroncs alkotja. Ennek kerékagy csapágya (1)-es konzolhoz csatlakozik, melyre a (2)-es számmal jelölt HBM MCS10 háromtengelyű erőmérő cella került felszerelésre. A mérőcella X iránya a haladási irány, Y erre vízszintesen merőleges, míg Z iránya a talajra merőleges, terhelés irányú. A szenzort (4,5,6,8) elemekből álló, csúszókonzol rögzíti a merev felépítményhez, így az ütegyenetlenségek nem okoznak kárt a berendezésben. A csúszókonzolt és a fenti átkötő konzolt egy 350 kg teherbírású lengéscsillapító köti össze. A váz első és hátsó részére, a mérőkereket egységesen körülvevő helyeztük el a méréshez szükséges, változtatható súlyozást. Az elkészült berendezést a 3.b) ábra mutatja a vontatáshoz alkalmazott gépkocsival.

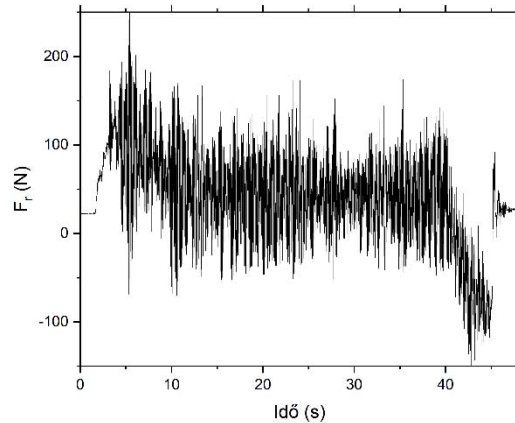


3. ábra. Gördülési súrlódást mérő berendezés modellje (a) és az elkészült berendezés (b)

Az erőmérő szenzor mindhárom irányú mérését külön vezeték köti az autóban elhelyezett QuantumX MX840B adatgyűjtővel, mely egy hordozható számítógéphez csatlakozik. A mérőcella Z irányban 10 kN, a másik kettő irányban 2 kN teherbírású. Az adatgyűjtő berendezés az erőmérő cellából közvetlenül erőadatokat képes kiolvasni, így könnyítve a kiértékelést. A mérőcella így az X irányban F_r vontatási erőt, és Z irányban G kerékre ható szorítási erőt is regisztrálta.

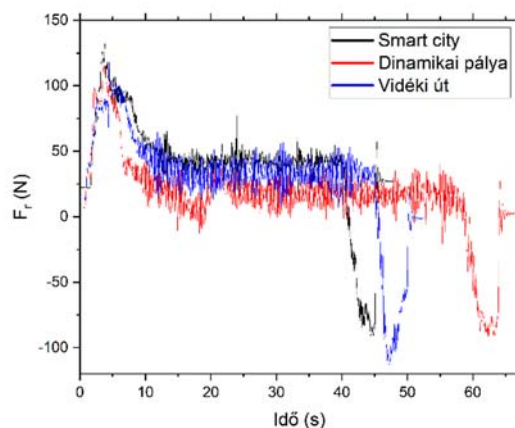
4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az első mérések során három különböző útfelületet vizsgáltunk a ZalaZONE autóiipari tesztpálya zalaegerszegi pályáin: a dinamikai felületet, a smart city felületét, és a vidéki útrendszer pályáját. A tesztelés során a személyautók egy kerekére ható terhelési viszonyt kell szimulálni, így súlyozás beállítása során statikus, álló állapotra kb. 2000 N terhelést állítottunk be a mérőkerékre. A méréseket 30 km/h sebességgel végeztük el. Az adatgyűjtés mindhárom irányban 300 Hz mintavételezéssel történt. A dinamikus méréseket megelőzően a súlyozás megfelelőségét statikus méréssel ellenőriztük. A mérést zérus sebességről indítva gyorsultunk a célsebességig, melyet legalább 200 m-es útszakaszon tartottunk, hogy az X irányú erőt megfelelő pontossággal tudjuk mérni. A pontos méréshez vízszintes, egyenes útszakasz szükséges. A nyers mérési adatra példát mutat 4. ábra.



4. ábra Nyers mérési adat a Smart city útfelületéről

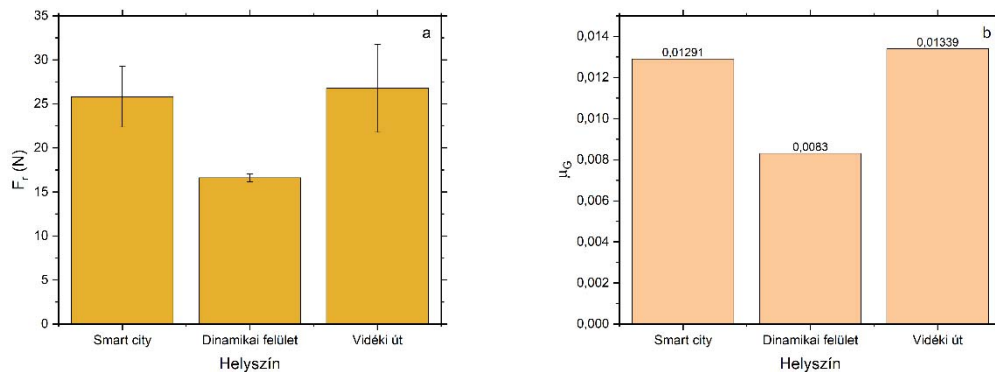
Látható, hogy a mérés zajos, így az adatfeldolgozás során szűrést alkalmaztam. Megfigyelhető továbbá az elinduláskor jelentkező felfutó erőérték, valamint a fékezéskor fellépő, ezzel ellentétes erő. Az 5. ábra mutatja a három útfelület egy-egy mérését. A Smart city pályán egyedül a főutca bizonyult elég hosszúnak a mérés elvégzéséhez, de így is megfigyelhető a mérés rövidebb hossza a többi pályához képest. A véletlenszerűen kiválasztott adatok alapján így a dinamikai felületen fellépő alacsonyabb erőérték kisebb súrlódási együtthatóra utal.



5. ábra Mérési adatok a Smart city, dinamikai felület és vidéki út pályákról

A mérési adatok összesítését mutatja a 6. ábra. A 6.a) ábrán látható, hogy az 5. ábra szerint a Smart city-n mért F_r erő nagyobb, a több mérés alapján számolt átlag a vidéki útnál magasabb, azonban a két felület ennek ellenére hasonló értékkel rendelkezik. A vidéki út esetén a mérések szórása szintén magasabb. A dinamikai felületen mind a számolt átlagérték, mind a mérések szórása alacsonyabb. A 2000 N terheléssel elosztva ezeket

az erőértékeket kaptuk meg a 6.b) ábrán látható gördülési súrlódási együtthatókat, melyek az aszfaltgumiabroncs szakirodalmi értékének felelnek meg nagyságrendileg. Ezek természetesen az erőértékekhez hasonlóan alakulnak, így elmondható, hogy vidéki út felületének a minősége a legrosszabb.



6. ábra. A kerékre ható húzóerő (a) és a felület gördülési súrlódási együtthatója (b) különböző útfelületeken

A mérési értékek kiértékelése (1)-es egyenlet alapján történt, ami csak közelítő értéket ad. A kiértékelés során azokat a mérési körülményeket, melyek még befolyásolhatják az eredményt (hőmérséklet, szenzorhiba, szélerősség stb.) nem vettük figyelembe. A következő mérésekre így a kiértékelés, illetve a mérőrendszer fejlesztését tűztük ki célul a különböző útfelületek vizsgálata mellett.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben bemutattuk az egyedileg tervezett berendezésünket, mely gördülési súrlódási együttható mérésére alkalmas közúti körülmények mellett. A berendezést a ZalaZONE autóipari tesztpálya három felületén vizsgáltuk és megállapítottuk, hogy az útfelületek között a gördülési ellenállás tekintetében van eltérés, a dinamikai felület esetén a legkisebb. A gördülési súrlódási együttható meghatározása pontos kiértékeléssel lehetséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közlemény a TKP2020-NKA-10 számú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020. évi Tématerületi Kiválóság Program pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A programot a ZalaZONE Autóipari Próbapálya Zala Kft. támogatja.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Silliman, B.: *Principles of Physics, Or Natural Philosophy*, Ivison, Blakeman, Taylor & Co. Publisher, 1871
- [2] Az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottságának (ENSZ-EGB) 117. számú előírása – Egységes rendelkezések gumiabroncsok gördülési zaj, nedves tapadás, illetve gördülési ellenállás tekintetében történő jóváhagyásáról
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2011.307.01.0003.01.HUN&toc=OJ%3AL%3A2011%3A307%3AFULL, (Utolsó letöltés: 2022. 09. 11)
- [3] Bergiers A., Maeck J. Draft standard for a trailer-based rolling resistance measurement method including robust calibration procedures
<https://www.rosanne-project.eu/documents?id=7299> (Utolsó letöltés: 2022. 09. 14)
- [4] Bergiers A., Goubert Luc., Vuye C. *About the rolling resistance trailer and parameters influencing rolling resistance*. 7th Symposium on Pavement Surface Characteristics: SURF 2012
- [5] Ronowski G. *Design and Calibration of Rolling Resistance Test Trailer R²Mk.2*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016, **148** 012026