

Automatizált motortesztelési eljárás fejlesztése LabVIEW alapú rendszerrel SZEngine Hallgatói Motorfejlesztő csapat motorfékpadján

Development of an automated engine testing procedure with LabVIEW based system on the engine testbench of the SZEngine Formula Student Team

FARKAS Kitti¹ – konstruktőr, TÓTH Máté² – tanszéki mérnök

¹Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, 9026 Győr, Egyetem tér 1.,
tel.: +36306946766, e-mail: kitti.farkas@szengine.hu

²Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1., tel.: +36 96 613 761,
fax: +36 96 613677, e-mail: toth.mate@ga.sze.hu, <https://jhtt.sze.hu/>

Abstract

This document presents for the SZEngine Formula Student Team testbench developments related to automated run. The aim of the development is to create a measurement procedure, that allows the simulation of four dynamic races of the Formula Student series on engine testbench. The automated system is implemented using the LabVIEW programming environment developed by National Instruments (NI) and CAN-based data communication transmitted by the engine controller. As part of the development process, the system needed to be redesigned to include both the engine testbench control software and the brake motor control. With the modified system, the team will be able to carry out dynamic tests based on data from previous years races, which could further improve engine performance and reliability.

Keywords: Engine testbench, LabVIEW, Automation, SZEngine, Race engine

Kivonat

Jelen tanulmány a SZEngine Hallgatói Motorfejlesztő csapat motortesztelő fékpadjának automatizált vizsgálataihoz kapcsolódó fejlesztéseit mutatja be. A fejlesztés célja, egy olyan mérési eljárás kialakítása, amely lehetővé teszi a Formula Student versenysorozat négy dinamikus versenyszámának motorfékpad szimulációját. Az automatizált rendszer megvalósításához a National Instruments (NI) által fejlesztett LabVIEW programozási környezet, valamint a motorvezérlő által továbbított CAN alapú adatkommunikáció került alkalmazásra. A fejlesztési folyamat részeként szükségessé vált a meglévő rendszer átalakítása, amely a motorfékpad vezérlő program és a fékmotor vezérlését is magába foglalja. A módosított rendszerrel a csapat képes lesz korábbi évek versenyein mért adatok alapján dinamikus tesztek végezni, ezzel elősegítve a motor teljesítményének és megbízhatóságának további javítását.

Kulcsszavak: Motorfékpad, LabVIEW, Automatizálás, SZEngine, Versenymotor

1. BEVEZETÉS

A Formula Student egy nemzetközi mérnöki versenysorozat, amelyben egyetemi hallgatókból álló csapatok saját tervezésű és gyártású formula típusú versenyautókkal vesznek részt. A megmérettetés két fő kategóriára osztható: a statikus versenyszámok során a csapatok részletes költségvetési és üzleti tervet mutatnak be, valamint ismertetik a tervezési és gyártási folyamatokat, míg a dinamikus versenyszámok – Acceleration, Skid pad, Autocross és Endurance – az autók teljesítményét értékelik valós körülmények között. A verseny célja, hogy a hallgatók átfogó gyakorlati tapasztalatot szerezzenek a járműtervezés, a gyártástechnológia és az autóiipari gazdaságtan területén, elősegítve az ipari szintű mérnöki kompetenciák fejlesztését.

A SZEngine Motorfejlesztő Csapat szorosan kapcsolódik a Formula Student nemzetközi mérnöki versenysorozathoz. A csapat célja egy olyan egyhengeres belső égésű motor tervezése és gyártása, amely kifejezetten a versenysorozat technikai és szabályozási követelményeihez fejlesztett [1]. Az optimalizált konstrukció lehetővé teszi a legjobb teljesítmény-tömeg arány és üzemanyag-hatékonyság elérését, amely fontos tényező a versenymotorok teljesítménye szempontjából.

Jelen cikkben bemutatott program fejlesztésének célja, hogy a SZEngine Motorfejlesztő Csapat motorfékpadján képes legyen a csapat automatizált dinamikus tesztek végezni az előző évi versenyadatok alapján. Biztosítja a tesztek megismételhetőségét, kiküszöbölve az emberi hibákból adódó eltéréseket, csökkenti a fejlesztési időt és a költségeket, valamint lehetővé teszi a motor különböző üzemi körülmények közötti pontosabb vizsgálatát. Egy versenyszám közel valós körülményeinek megteremtése motorfékpadon, megkönnyíti a konstrukciós fázis alatt lévő versenymotor minél pontosabb fejlesztését. Figyelembe véve az Endurance versenyszám fontosságát, előtérbe helyeződik a motor megbízhatósága és üzemanyag-fogyasztása.

2. IRODALOMKUTATÁS

A belsőégésű motorok vizsgálatához különböző típusú fékpadokat alkalmaznak, a szükséges mérések függvényében. Az indirekt mérés során a motort a járműbe szerelve tesztelik, ahol a hajtásláncon keresztül mért nyomaték alapján következtetnek a teljesítményre, viszont ez nagyobb helyigénnyel és a motor szempontjából pontatlanabb eredményekkel jár. Ezzel szemben a direkt fékpadok a főtengelyen közvetlenül mérik a nyomatékot, így pontosabb adatokat nyújtanak. A direkt rendszer kompaktabb, rugalmasabb, emiatt a csapat számára megfelelő a motorok mérésének és vizsgálatának elvégzéséhez.

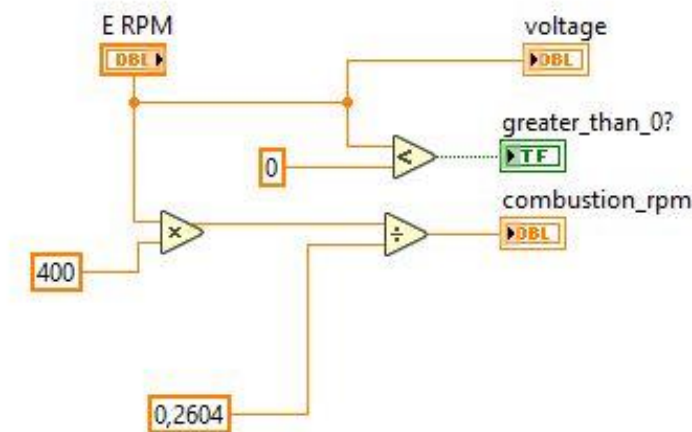
3. JELENLEGI RENDSZER BEMUTATÁSA

3.1. Fékmotor

A jelenlegi rendszer megismerése elengedhetetlen volt a fejlesztés elkezdéséhez. A fékgép pontos típusa egy Siemens 1PH7186-2MF03-0CJ3 aszinkron gép [2], amely 5000 1/min maximális fordulatszámra képes. Az 5000 1/min a belsőégésű motor magas fordulatszáma miatt nem elegendő a teljes tartomány leméréséhez. Az előző probléma megoldása érdekében a motorban bent marad a megfelelő áttétel, emiatt a fordulatszám és nyomaték átszámítása során ez figyelembe van véve [3]. Ez a fékgép 445 V feszültségen 83-94 kW-ot tud kifejteni 2000 1/min fordulatszámnál.

3.2. Frekvenciaváltó

A fékmotor vezérlését a frekvenciaváltó végzi, amely ABB ACS880 típusú [4-5]. A program megírása során fontos kritérium, hogy az adott frekvenciaváltó milyen korlátokkal rendelkezik, gyorsítási és a lassítási időkkel kapcsolatban. A fentiekben említett paraméterekhez tartozó idő, megközelítőleg $\sim 0,1 - 6000$ másodperc. A határértékek pontos meghatározása magasfokú kihatással bír a mérési eredményekre és a mérési eljárás sikerességére, ugyanis befolyásolja a rendszer dinamikáját és stabilitását. Amennyiben a gyorsítási vagy lassítási idő kritikusan alacsony, a rendszer instabillá válhat, ami gerjesztésből adódó rezgésekhez és mechanikai problémákhoz vezet. Ezen esetben a rendszer túlmelegedésének veszélye is fennáll, mivel a motor magas terhelésnek van kitéve. Fentiek alapján megállapítható, hogy a gyorsítási és lassítási idők megfelelő beállítása a rendszer stabilitásának és megbízhatóságának érdekében fokozott prioritásban részesül. A frekvenciaváltóval négy különböző módon lehetséges kommunikációt létesíteni. A jelenlegi rendszer vezérlésének komplexitásából adódóan, a frekvenciaváltó külső forrásból származó jelek (pl. analóg vagy digitális bemenetek) segítségével kerül vezérlésre, melyet az NI CompactRIO 9036 végez el [6-7]. Egy 0V és 10V közötti analóg feszültség bemeneti jelet kap a frekvenciaváltó, amelyből számítás alapján (lásd 1.ábra) beállítja a kívánt fordulatszámot.



ábra 1.: Feszültségjelből fordulatszám számítása [8]

3.3. CompactRIO

Az általunk használt NI CompactRIO 9036 egy ipari számítógép, amelyen NI Linux Real-Time operációs rendszer fut. Ethernet kábel segítségével létesít kommunikációt a LabVIEW-val egy statikus IP címen keresztül. Modulárisan bővíthető különböző funkciókat betöltő NI kártyákkal, melyekből a következők vannak használatban (lásd táblázat 1). A felsorolt kártyák segítségével valósul meg a frekvenciaváltó vezérlése (modul 1, modul 2, modul 3, modul 7) és a nyomatékmérő mért értékeinek feldolgozása (modul 5).

táblázat 1: A motorfékpad jelenlegi rendszerében használatban lévő NI kártyák

Modul	Típus	Analóg/Digitális	Bemenet/Kimenet	Max. feszültség
Modul 1	NI 9263	Analóg	Kimenet	±10 V
Modul 2	NI 9476	Digitális	Kimenet	36 V
Modul 3	NI 9208	Analóg	Bemenet	±20 mA
Modul 4	NI 9401	Digitális	Bemenet/Kimenet	5 V
Modul 5	NI 9201	Analóg	Bemenet	±10 V
Modul 6	NI 9862	Digitális	Bemenet/Kimenet	40 V
Modul 7	NI 9229	Analóg	Bemenet	±60 V
Modul 8	NI 9482	Digitális	Kimenet	60 V

A LabVIEW programozási környezet az NI által fejlesztett grafikus programozási felület, mely korábbi konstrukciókban csak a frekvenciaváltón keresztül a fékmotor vezérlésért volt felelős, viszont a program fejlesztése során már több feladat elvégzése is szükségessé vált (pl.: fojtószelep vezérlése, szenzor adatok mérése és feldolgozása). A motorfékpadon MaxxECU motorvezérlő van használatban [9], amely a versenymotor összes adott mérés során alkalmazott szenzorok adatait rögzíti és feldolgozza, a nyomatékmérő kivételével. Ezen kutatásban elsődleges feladat volt, hogy a MaxxECU és a LabVIEW CAN alapú kommunikációja hibátlanul működjön, hogy az elektromos fojtószelep vezérlése megvalósuljon. Későbbiekben pedig fontos lesz megoldani, hogy a LabVIEW képes legyen a MaxxECU-ból olvasni az adatokat és reagálni rá probléma esetén.

4. AUTOMATIKUS TESZT

4.1. Felfutásos teszt

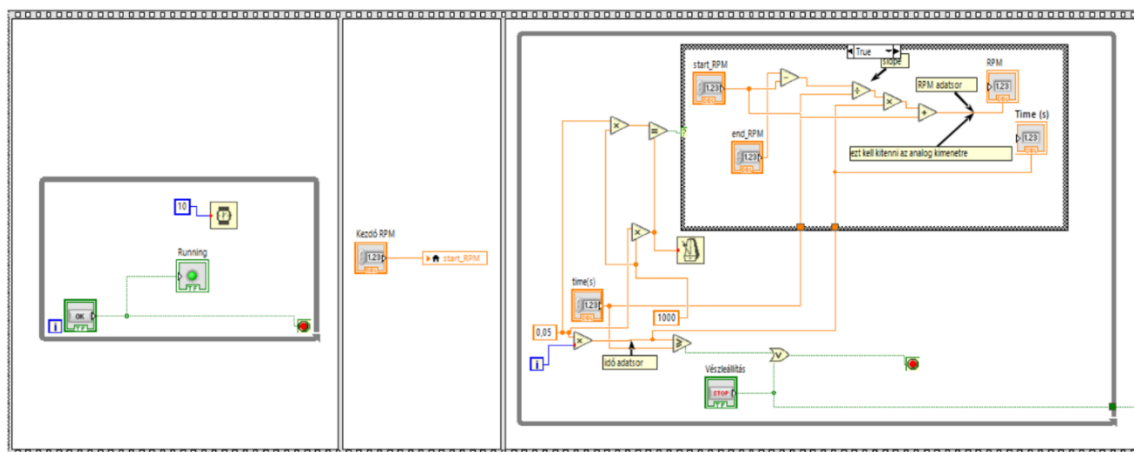
A program fejlesztése egy egyszerű rámpás felfutás kidolgozásával kezdődött. A felfutásos teszt során a versenymotort automatikusan, fokozatosan növekvő fordulatszám-tartományban vizsgáljuk. Ez lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy szimulálja a motor gyorsulását, és a teszt alatt vagy azt követően nyomon kövesse a motor különböző paramétereit. Ennek elméleti alapja következőképpen néz ki. Az első lépésben meg kell határozni a felfutás egyenesének kezdő és végpontját, majd a meredekségét, végül az egyenes egyenletével tovább számolni. Az egyenes meredekség képletéből adódóan, a maximális fordulatszámból ki kell vonni a kezdő fordulatszámot és elosztani az időkülönbséggel.

$$s = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

s – meredekség, x_0 – kezdő fordulatszám, x_1 – maximális fordulatszám, t_0 – kezdő időpont, t_1 – teljes időtartam. Az egyenes egyenleténél pedig a meredekséget meg kell szorozni az idővel, majd hozzáadni a kezdő fordulatszám értékét.

$$e = s \cdot t + x_0 \quad (2)$$

e – meghatározott egyenes, t – időkülönbség. A teszt indítása előtt a kezelőfelületen meg kell adni a kezdő fordulatszámot, az elérni kívánt maximális fordulatszámot és egy időtartamot, ami alatt le kell futnia a gyorsítási folyamatnak, itt fontos a frekvenciaváltó limitációit figyelembe venni. Az indítás előtt fel kell venni a kezdő paramétereket, majd a START gomb megnyomásával elindítani. A program kódrészletét a 2. ábra mutatja. A belsőégésű motornak ezzel párhuzamosan tetszőleges terhelést kell adni. A program futása közben egy LED világít a kijelzőn, hogy a kezelő jól lássa, illetve egy vészleállító gomb is bele van integrálva, amivel bármilyen probléma esetén azonnal megállítható a fékmotor.



ábra 2.: Az automata felfutás kódrészlete

Amint végbemegy a gyorsítás, ugyanezt a rámpát követve visszalassítja a program a fékmotort és ezzel elveszi a terhelést a belsőégésű motorról.

4.2. Gyorsulás versenyszám

A felfutásos teszthez képest a gyorsulás versenyszám szimulálása annyiban tér el, hogy itt a program már automatikusan szabályozza a fojtószelep állást is, ezért nem szükséges manuálisan kezelni. Az elméleti háttere semmiben nem tér el az előzőtől, viszont itt már CAN kommunikáció segítségével a fékmotor fordulatszámának növelését leköveti a belsőégésű motor is, ezzel egy valósághű gyorsulást lehet tesztelni. A váltás imitálásának programba integrálása is szükséges volt.

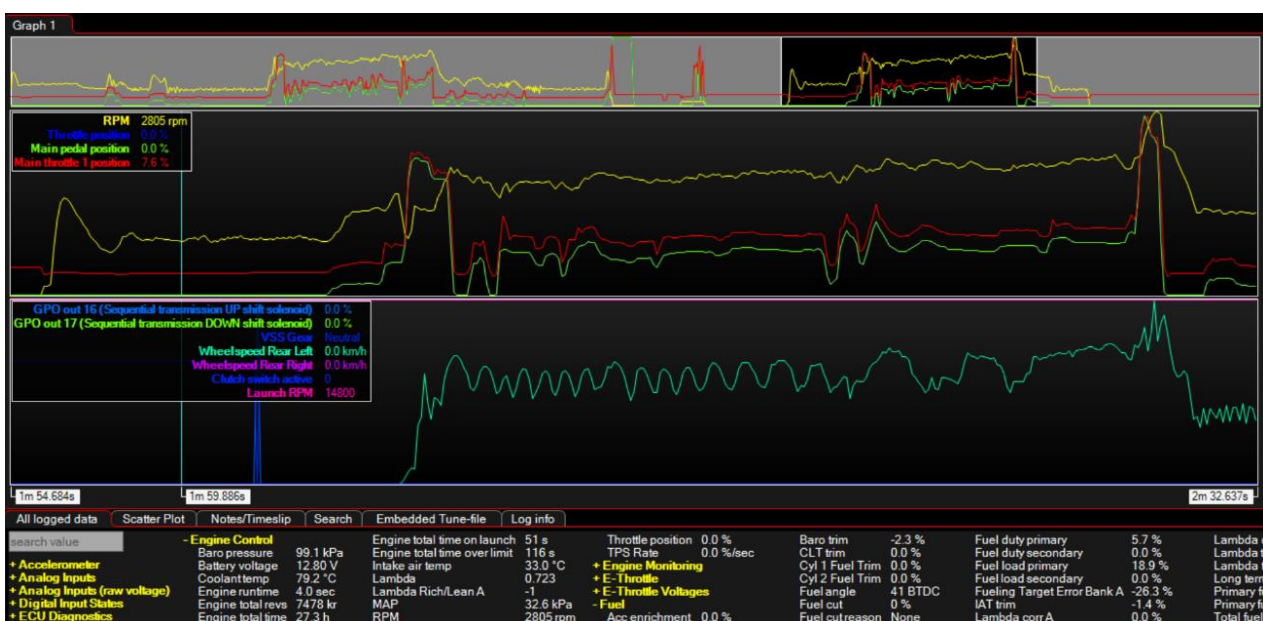
5. KOMPLEXEBB VERSENYSZÁMOK

5.1. Fejlesztés menete

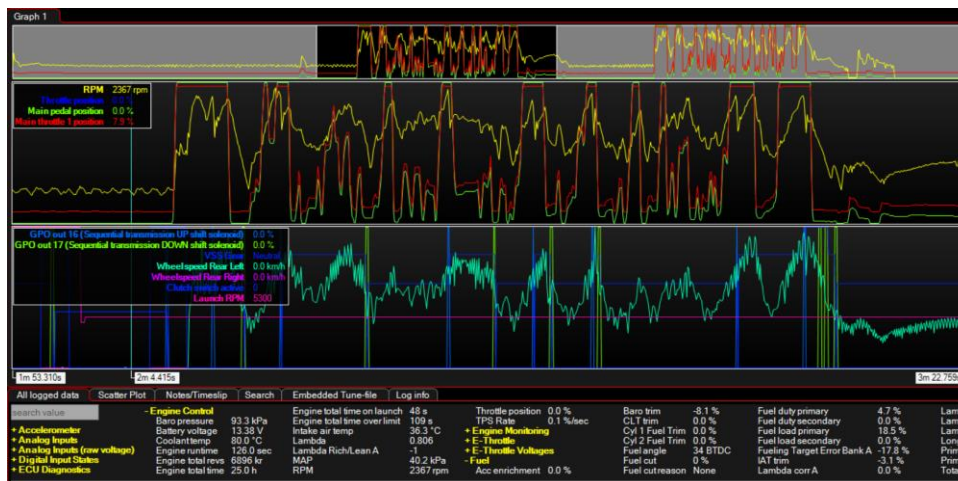
A többi versenyszám automatikus tesztelését biztosító program jelenleg is fejlesztés alatt van. Első sorban a két irányú CAN kommunikációt kell kidolgozni, mivel ez segít a biztonsági protokollok integrálásába és az adatmentés készítésében. A LabVIEW így képes lesz a motorvezérlőből érkező adatokat feldolgozni és ennek segítségével reagálni egy alacsony olajnyomásra vagy magas víz és olaj hőmérsékletre és leállítani a programot. Valamint a szenzorok által mért összes érték mentésében és későbbi feldolgozásában is nagy segítséget nyújt. Ha sikerült biztosítani egy két irányú kommunikációt CAN hálózaton keresztül, következő lépésben az előző évi verseny adatokat kell átnézni és kigyűjteni az automata tesztelés szempontjából fontos adatokat. A fojtószelep állást egy Excel fájl segítségével egyszerűen be lehet vinni a programba és ezeket az értékeket kivezérelni az elektromos fojtószelepnek. A fékmotor fordulatszáma pedig egy előre generált táblázat segítségével vezérelhető, amiben az éppen szükséges fordulatszámoknak megfelelő feszültség érték kerül beírásra. Végül a vezérlés elkészítése után a biztonsági funkciók megoldása következik, ahol a versenymotor és a fékmotor szempontjából kritikus értékeket egyaránt figyelni kell. A kezelőfelületen meg kell jeleníteni ezeket az értékeket, hogy manuálisan is időben leállítható legyen a tesztelés, de emellett a programba is kell integrálni ezekre az esetekre vészleállítást. Amint egy érték a kritikus tartományba lép elveszi a befecskendezést és a gyújtást a belsőégésű motortól, ezzel egy időben a fékmotor fordulatszámát is nullára csökkenti, majd áramtalanítja az egész rendszert.

5.2. Versenyszámok vizsgálata

A Skid Pad versenyszám az autó stabilitását és kanyarodási képességét teszi próbára. Motor részről a legfontosabb paraméter, amit jól kell beállítani az a gázreakció. Egy gyors gázreakciót kell elérni, amit a gyújtás jó időzítésével és az üzemanyag-befecskendezés finomhangolásával érhetünk el. Az automata tesztelés segítségével nagyobb hangsúly helyezhető ezek javítására, mivel manuálisan nem lehetséges ilyen finoman kezelni a fordulatszámot, de a program a megadott fordulatszámokat pontosan képes beállítani a versenyen produkált értékekre. A 3. ábrán látható értékek leutánzása a cél. Az Autocross versenyszám (lásd 4. ábra) az autó dinamikájáról és teljesítményéről szól. Egy teljes kör szimulálása, azokkal az értékekkel, amiket a valóságban is produkált hozzájárul a motor teljesítményének növeléséhez, mivel sokkal pontosabban nyomon lehet követni, hogy melyik szakaszon hogyan viselkedik és hol lehet még javítani rajta. Az Endurance versenyszám az autó megbízhatóságát és üzemanyag-fogyasztását teszteli. A program lehetővé teszi, hogy pontosan annyi ideig tartózkodjon a motor egy adott fordulatszámon, mint a versenyen ezáltal pontosan látszik majd, hogy alakul a fogyasztás 22 km alatt.



ábra 3.: Skid pad versenyszám a 2024-es Formula Student East versenyről



ábra 4.: Autocross versenyszám a 2024-es Formula Student Austria versenyről

6. KONKLÚZIÓ ÉS DISZKUSSZIÓ

Összességében az automata tesztciklusok alkalmazása számos előnnyel jár a manuális kezeléssel szemben. Ezek az automatizált tesztek növelik a mérési folyamatok pontosságát és ismételhetőségét, így az eredmények megbízhatóbbak és összehasonlíthatóbbak. Továbbá, képes olyan versenyszámok automatikus futtatására, amelyek manuálisan nehezen vagy egyáltalán nem lennének kivitelezhetők. Ez különösen fontos egy versenymotor fejlesztésénél, ahol a precíziós mérés és a finomhangolás elengedhetetlen. Az automatizáció lehetővé teszi a folyamatos adatgyűjtést és valós idejű elemzést, ami gyorsabb döntéshozatalt tesz lehetővé a fejlesztési folyamat során.

Természetesen a fejlesztett automata tesztelés sosem lesz teljesen azonos a valósággal, mivel mégis egy motorfékpadon laboratóriumi körülmények között zajlik a vizsgálat. Több környezeti tényező is egészen más lesz egy versenyen, ami befolyásolja a motor működését, ilyen például a légnyomás és a páratartalom. A motorfékpadon hőmérséklet, nyomás és páratartalom mérés rendelkezésre áll, amiből a teljesítmény szabványos eljárással korrigálva van 25 °C és 50%-os páratartalomra. A programmal ezek ellenére is sokkal valóságosabb és pontosabb adatokat kapunk a végén, mint egy manuális tesztelés során. A fejlesztés közben felmerülő legnagyobb probléma a korábbiakban bemutatott frekvenciaváltó jelenlegi vezérlésével volt. Az analóg feszültségjelből számított fordulatszám nem lesz mindig teljesen pontos, mivel bármilyen kis zavart felvehet a környezetéből, ami minimális feszültség, ebből adódóan pedig fordulatszám ingadozást okoz. Ezt a problémát egy másik vezérlés alkalmazásával lehet csak megoldani, így a jövőben az automata tesztelés javítása érdekében meg kell vizsgálni a többi vezérlési módot és kiválasztani az ennek megfelelőt (FieldBus adapter vagy DDCS kommunikációs modul).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Formula Student Rules 2025, 2025
- [2] Siemens 1PH7186-2MF03-0CJ3 típusú fékgép manual, 2009.04.
- [3] Papp Márk A., *Motorvizsgáló próbapad átépítése KTM Duke 690 motorhoz*, Szakdolgozat, 64 p., 2021
- [4] ABB ACS880 típusú Frekvenciaváltó Hardware manual: <https://vfds.com/content/manuals/abb/abb-ac880-manual.pdf>, 2019
- [5] ABB ACS880 típusú Frekvenciaváltó Firmware gépkönyv: <https://rakoczki.hu/wp-content/uploads/2023/04/abb-ac880-frekvenciavalto-firmware-gepkonyv.pdf>, 2012
- [6] NI CompactRIO 9036 specification, 2024.06.24.
- [7] NI CompactRIO 9036 datasheet, 2024
- [8] Füleki D., *Egyedi fejlesztésű fékpad adatgyűjtő rendszer szoftveres és hardveres megvalósítása*, OGÉT 2018, 544 p., 127-130, 2018
- [9] MaxxECU datasheet, 2020