

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**Energy Harvesting rendszerek kutatása
és fejlesztése**

című

PhD értekezés tézisei

Készítette:

Sarvajcz Kornél

okleveles mechatronikai mérnök

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Iskolavezető:

Szigeti Jenő, DSc, dr. habil

egyetemi tanár

Tudományos vezető:

Czap László, PhD, dr. habil

egyetemi tanár

Miskolc 2023

I. A KITŰZÖTT KUTATÁSI FELADAT ISMERTETÉSE, AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSE

A kutatási témám Energy Harvesting (energia szüret) rendszerek kutatása és fejlesztése. A kutatómunkám kezdetén célul tűztem ki magam elé, hogy megvizsgálom a felhasznált energia veszteségeinek újrahasznosítási lehetőségeit, összehasonlítom a módszereket különféle paraméterek alapján és alkalmazási lehetőségeket dolgozok ki gépjárművekbe.

A PhD kutatómunkám kezdetén részletesen elemeztem az Energy Harvesting rendszereket. Kitérek a Harvesting rendszerekben található szenzorokra és aktuátorokra. Számba veszem a mechanikai energiából, termikus energiából, sugárzó és biokémiai energiából kinyerhető energiának az eszközeit. Energiasűrűség szempontjából összehasonlítom a lehetőségeket.

Következő fejezetben a gépjárművekben használt Harvesting rendszereket, vagy másnéven energiavisszanyerő rendszereket fogom bemutatni. Az irodalmi áttekintés során nem találtam releváns megoldást arra, hogyan hasznosítják a villamos motor palástfelületén távozó hőt elektromos vagy hibrid közlekedés menettávjának növelésére.

Az irodalomkutatás részt lezárva a dolgozatban rátérek a termoelektromos jelenségekből visszanyerhető energiák elemzésére. A dolgozatom fő kutatási vonala az Energy Harvesting rendszereken belül a termoelektromos energiavisszanyerő rendszerek alkalmazása gépjárművekben.

A termoelektromos Harvesting rendszerek elemzését a Termoelektromos generátorok (TEG) megismerésével és elemzésével kezdtem. Végeselem szimulációt készítettem a generátorok működéséről, mely szimuláció alkalmas volt arra, hogy különböző hőmérsékleti feltételek mellett a generátor kimeneti villamos paramétereit tudjam vizsgálni. A szimulációt kibővítettem másik anyagösszetételű generátorral is. A szimuláció eredményeit több tudományos publikációban közzétettem.

A szimuláció elvégzése után szükségesnek éreztem, hogy valóságos mérésekkel validáljam a szimulációs eredményeimet. A mérések elvégzése érdekében terveztem egy Termoelektromos generátor kalibráló berendezést. A berendezés képes különböző méretű TEG modulok fogadására, a meleg és hideg oldali hőmérsékletet szabályozni, és a szabályzással azonos időben hőmérsékleteteket és villamos paramétereket mérni. A berendezés részletes felépítését, szabályzó és mérőszoftverét, valamint a berendezéssel végzett mérési eredményeket több tudományos folyóiratban publikáltam. A kifejlesztett berendezéssel tudtam elvégezni és bebizonyítani az 1. tézisemben leírtakat.

A termoelektromos generátorok szimulációs és valóságos mérései után, arra koncentráltam, hogy a TEG modulon alapuló hőviszanyerő rendszerem gépjárművön belül milyen paraméterekkel tudna működni. Fejlesztettem egy gépjárműdiagnosztikai szoftvert amely képes a gépjármű működése közben menetdinamikai adatokat mérni és elemezni. A mérőrendszert kiegészítettem egy GPS modullal is, amely a menetdinamikai adatok mellett domborzati és sebesség adatokkal is kiegészíti a mért adatok halmazát. A mérőrendszer komplexitását egy menetrögzítő kamerával bővítettem, amely látható és hallható információkkal egészíti ki a mérőrendszeremet. A mérőrendszer tesztelésekor a tesztgépjármű motorterébe rögzítettem a korábban fejlesztett hőviszanyerő rendszeremet és azonos időben mértem a gépjármű működéséből adódó hőveszteség újrahasznosítási paramétereket, a gépjármű menetdinamikai tulajdonságait, a GPS koordinátákat és megtett úrtól készített kameraképet. Az adatok egyidejű feldolgozását és kiértékelést követően hőviszanyerési információkat tudtam megállapítani. Összességében elmondható, hogy a PhD kutatómunkám során egy komplex Energy Harvesting rendszer elemzését és fejlesztését készítettem el.

II. Energy Harvesting state of the art

A következő tanulmány egy olyan módszert ír le, amely két kritérium alapján egy optimalizált termoelektromos generátor (TEG) illesztését teszi lehetővé egy elektromos járműhöz. Ennek alapján a TEG elektromos terhelési ellenállását és konfigurációját optimalizálták, ami 11,6%-os nettó teljesítménysűrűség-növekedést eredményezett az előzetesen tervezett TEG-hez képest [1]. Lan et al. egy TEG prototípus teljesítményét hasonlítják össze szimulációs és valós teszt eredményekből, egy hagyományos belsőégésű járművön és egy elektromos járművön [2]. Nader egy megnövelt hatótávolságú hibrid elektromos jármű üzemanyag-megtakarítási lehetőségeit vizsgálja [3]. Mohamed et al. egy tesztrendszer alapján felállítottak egy szimulációt, amely az alacsony minőségű hulladék hő hasznosítására szolgál [4]. Luo et al. egy új fluid-termikus-elektromos multifizikai numerikus modellt mutatnak be, egy autóiipari hulladék hő visszanyerésben alkalmazott termoelektromos generátorrendszer teljesítményének előrejelzésére [5]. Talawo et al. kísérleti tanulmányt végeztek egy járművön, hogy értékeljék egy 20 darab, egyenként 127 nyomatékú termoelektromos modulból és egy örvénycsőből álló napkollektoros termoelektromos generátor elektromos potenciálját amely egy hibrid jármű mozgás közbeni ellátását szolgálná [6]. Abbasi et al. egy rugalmas mérőrendszert mutatnak be, ami a mért értékeket egy számítógépnek továbbítja. A rendszer méri a jármű hőmérsékletét különböző pontokon vezetés közben [7]. Sousa et al. bemutatnak egy olyan hőmérséklet-

szabályozott termoelektromos generátor-konceptió optimalizálását és értékelését, amelyet egy nehéz haszongépjárműben kívánnak alkalmazni [8]. Coulibaly et al. egy új megközelítést alkalmaznak az elektromos autók fékezésekor keletkezett hő hasznosítására. Szimulált eredményeket mutatnak be, ahol több szituációt tesztelnek [9]. Aljaghtam et al. a belsőégésű járművek olaj tartójának a hőveszteségét használták ki, ehhez egy kiterjedt multifizikai szimulációs keretrendszert vezettek be a hő villamos energiává történő átalakításának pontos szimulálására [10]. Atmajaya et al. egy termoelektromos generátor fejlesztésébe kezdett, ami kimondottan diesel motorok hőveszteségeit kívánja újrahasznosítani [11]. Dipon et al. egy olyan rendszert javasolnak, ami egy önmagát ellátó, több érzékelő rendszer. Amit a jármű energia visszanyerő rendszere táplál a más járművek által keltett rezgésekből illetve az út aszfaltja és az alatta lévő talaj közötti hőmérséklet-gradiensből [12]. Olabi et al. tanulmányukban a termoelektromos rendszerek más technológiákkal való integrációját mutatják be a környezetbarát energiatermelés érdekében [13]. Khoshnevisan et al. dinamikusan terveztek és modelleztek egy termoelektromos generátorral ellátott hibrid elektromos járművet [14]. Kumar et al. a belsőégésű járművek kipufogó hőveszteségének felhasználhatóságát vizsgálták [15]. Omar et al. egy Honda típusú motorkerékpáron vizsgálták meg a termoelektromos generátorok energiavisszanyerő hatását [16]. Yanez et al. a hőforrások hőgazdálkodására összpontosítanak a termoelektromos generátorok tervezésénél, valamint konkrét energiaforrások és prototípusok értékelésére szolgáló módszereket mutatnak be [17]. Zhu et al. egy kétszintű energiakitermelési stratégiát dolgoztak ki a kipufogógáz energiájának hatékony visszanyerésére dinamikus vezetési ciklusok esetén [18]. További releváns tudományos összefoglalók a következő tanulmányokban olvashatók [19] [20] [21].

III. A kutatás módszertan

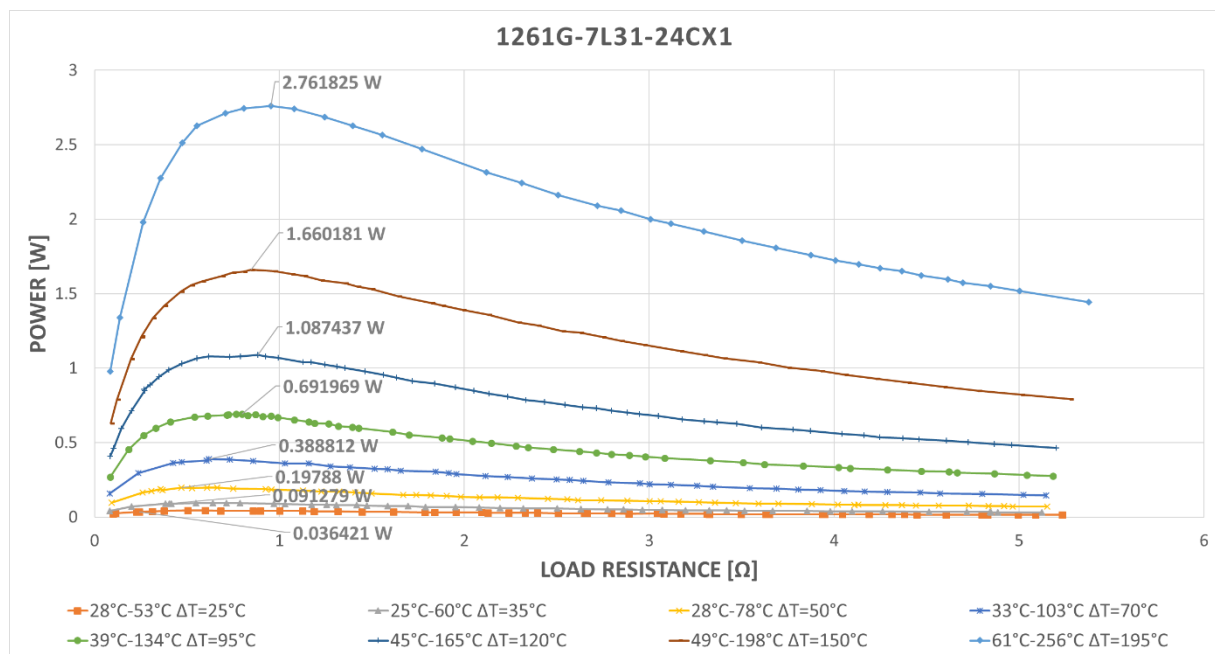
A kutatásom célkitűzése utána alapos irodalomkutatással kezdtem el elemezni a szakirodalmat, hogy mennyire valós mérnöki problémával fogok foglalkozni. Az irodalomkutatásból hamar kiderült, hogy egyre jobban terjed a műszaki területen az energiavisszanyerő rendszerek alkalmazása. Megalkottam a termoelektromos generátor modelljét, amelynek alapjait szakirodalmi kutatásom során értettem meg. A modellen különböző végeelem szimulációkat hajtottam végre, melyek igazolták a modellem helye működését. Mérési koncepciót dolgoztam ki, és a mért eredményekkel validáltam a szimulált eredményeket. A kutatómunkám további részén hipotéziseket állítottam fel magamnak, és mérési, valamint kiértékelési módszerekkel bizonyítottam az állításokat.

A vezetést elemző rendszer kidolgozásánál különféle viselkedési formákat alkalmaztam és ezek alapján értékeltem ki a mért adatokat.

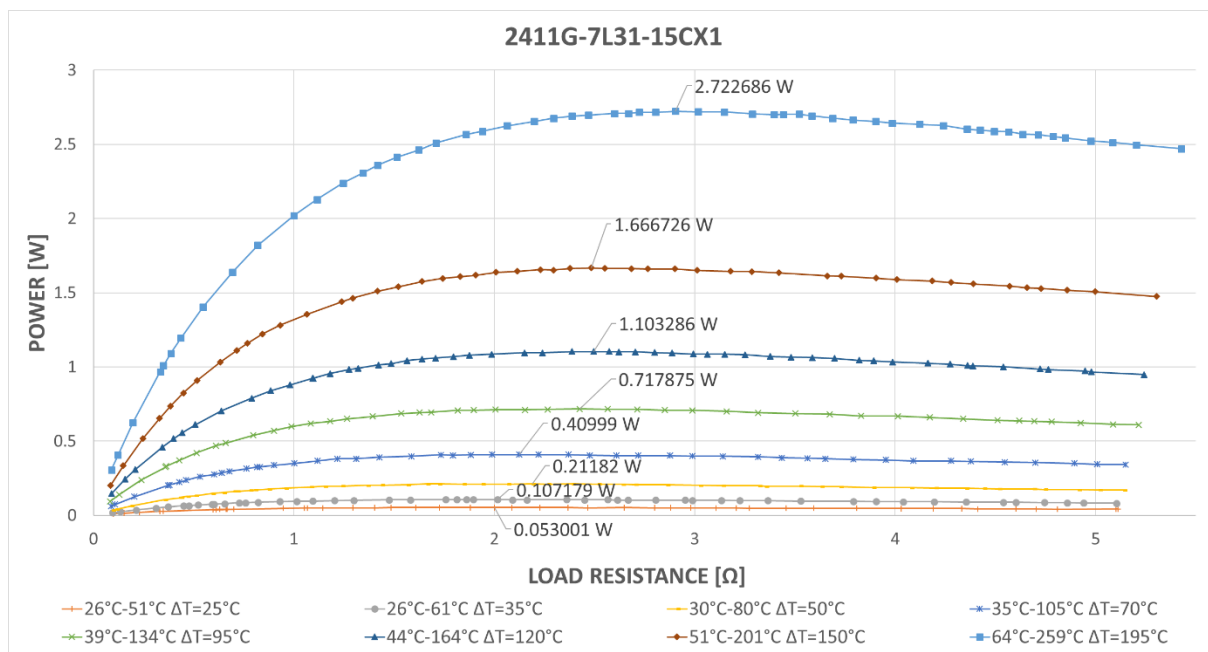
IV. Új tudományos eredmények

Az irodalomkutatást követően hamar körvonalazódott bennem, hogy a PhD kutatásomat a hőenergiavisszanyerő rendszerek irányába fogom folytatni, és a termoelektromos generátorok működésének elemzését tűztem ki célul magamnak. A szakirodalom nagyon részletesen tárgyalja a Peltier elemek működését, de kevés említést tesz a Termoelektromos generátorok karakterisztikáiról. A generátorok esetében munkaponti elemzéseket pedig szinte lehetetlen találni, hiszen minden modul más és más anyagösszetételű, ezért más munkaponti karakterisztikával működik.

A modulok munkaponti elemzéseihöz először egy végeelem modellt készítettem, amelyből számos kimeneti karakterisztikát tudtam generálni. A szimulálás után terveztem és fejlesztettem egy kalibráló berendezést, amely képes volt szabályzott hőmérsékleti paraméterek mellett, kimeneti villamos paraméterek mérésére és valós idejű feldolgozására. A saját fejlesztésű berendezés lehetővé tette számomra, hogy különféle TEG modulokon munkapont elemzési méréseket készítsem, melyből az 1. számú tézisem alapjait tudtam levonni. Az 1. és 2. ábrán két, teljesen különböző TEG modul mérési eredményeit szemléltetem.



1) ábra TEG munkaponti méréseinek eredménye

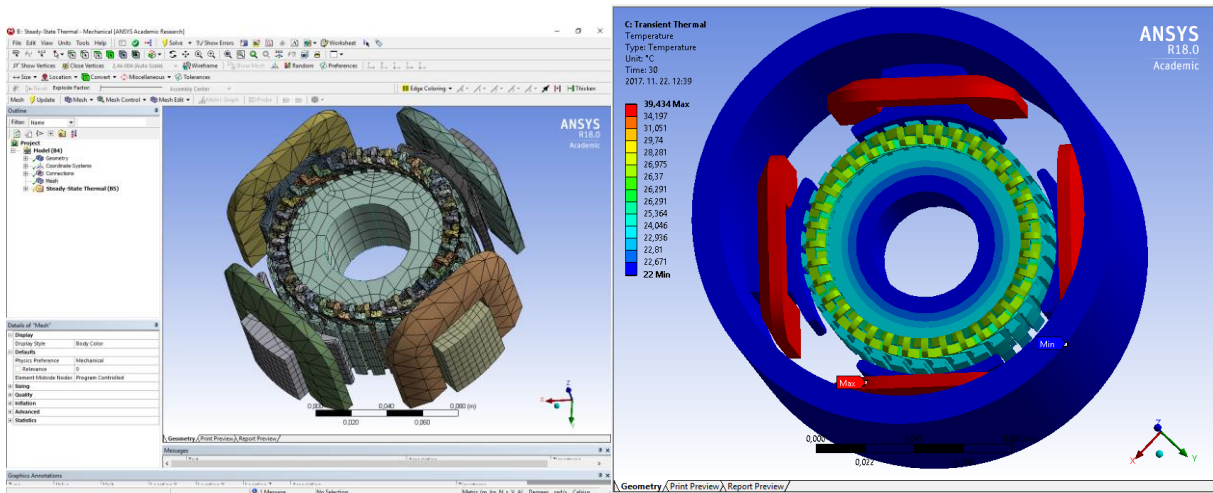


2) ábra TEG2 munkaponti méréseinek eredménye

Tézis 1: A magyar műszaki elvárásokra adaptálva kimutattam, performanciaszimulációk és mérési adatok tapasztalatainak felhasználásával bizonyítottam a „Termoelektromos generátor” szakirodalomban feltüntetett paraméterek megvalósítási elvárásainak irányát, a modul műszaki lehetőségeit, sajátosságait és alkalmazásában rejlő potenciált. Különös tekintettel a modul belső ellenállásának változására, amely a munkapontban történő működtetés elengedhetetlen feltétele.

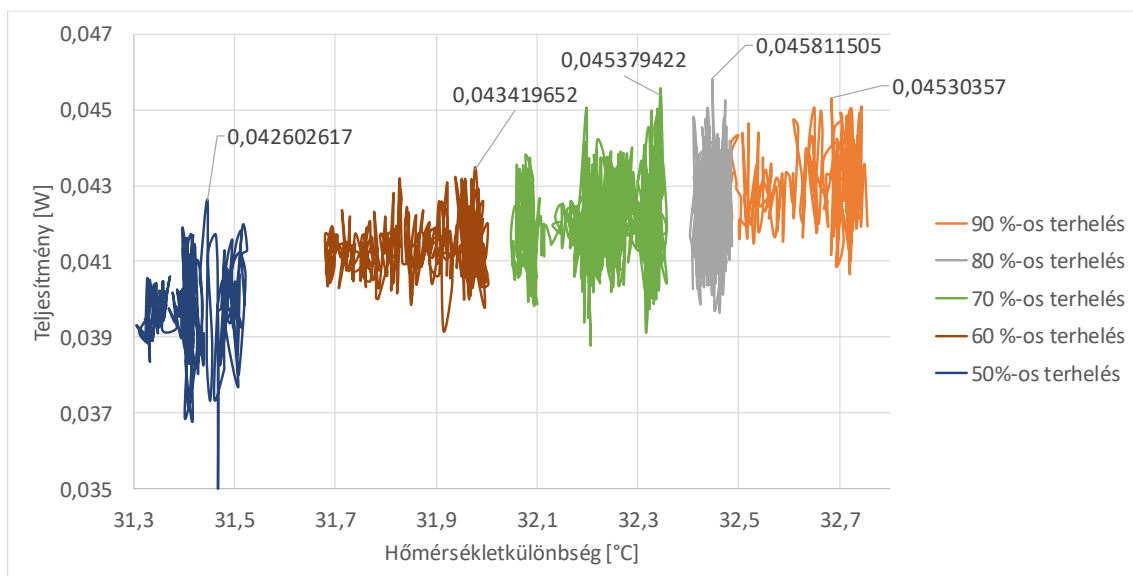
kapcsolódó publikációk: [P5][P6][P7][P8][P9]

A PhD kutatásom folytatásában a termoelektromos generátorok alkalmazási területeit kezdtem el vizsgálni. Célom az volt, hogy megtaláljam azt az alkalmazási környezetet, ahol a TEG optimális működésre képes és közben nem rontja a meghajtómotor hatásfokát. A kutatómunkám során egy 4kw-s soros gerjesztésű egyenáramú motort használtam. A vontatómotor hőtani profiljának megértése érdekében egy végeselem szimulációval kezdtem a hővisszanyerő rendszerem optimális helyének vizsgálatát. A végeselem szimuláció kiterjedt a motor statikus, dinamikus és kapcsolat fizikai paraméterek analízisére is. A szimuláció eredményeképpen kaptam egy olyan hőprofil, amely ismeretében már következtetni tudtam arra, hogy hova érdemes tervezni a hőenergiavisszanyerő rendszeremet.



3) ábra egyenáramú motor végeelem szimulációja

A végeelem szimuláció eredményéből azt a következtetést vontam le, hogy a hőenergiavisszanyerő rendszerem optimális helye a motor palástfelületén van. Az elméletem igazolásához először a hőenergiavisszanyerő rendszerem mechanikus felfogató rendszertét kellett megterveznem és kialakítanom. A termoelektromos generátorom meleg oldali hőmérsékletét a motor palástfelületére helyeztem, a hideg oldalt pedig szabályozott vízhűtéses rendszerrel láttam le. A motort tesztpad segítségével teszteltem, különféle tengelyterheléssel végeztem méréseket és közben mértem a motor által felvett teljesítményt, a meleg, illetve a hideg oldali hőmérsékleteket a hőenergiavisszanyerő rendszeremen, valamint a modul villamos paramétereit. A 4) ábra –n látható mérési eredmények igazolják, hogy a hőenergiavisszanyerő rendszer képes villamos teljesítményt termelni egy motor palástfelületéről. A vontató motor által felvett villamos teljesítmény nem változott attól függően, hogy a hőenergiavisszanyerő rendszer csatlakoztatva volt-e a motorhoz, vagy sem.



4) ábra A TEG által termelt teljesítmény a hőmérsékletkülönbség függvényében

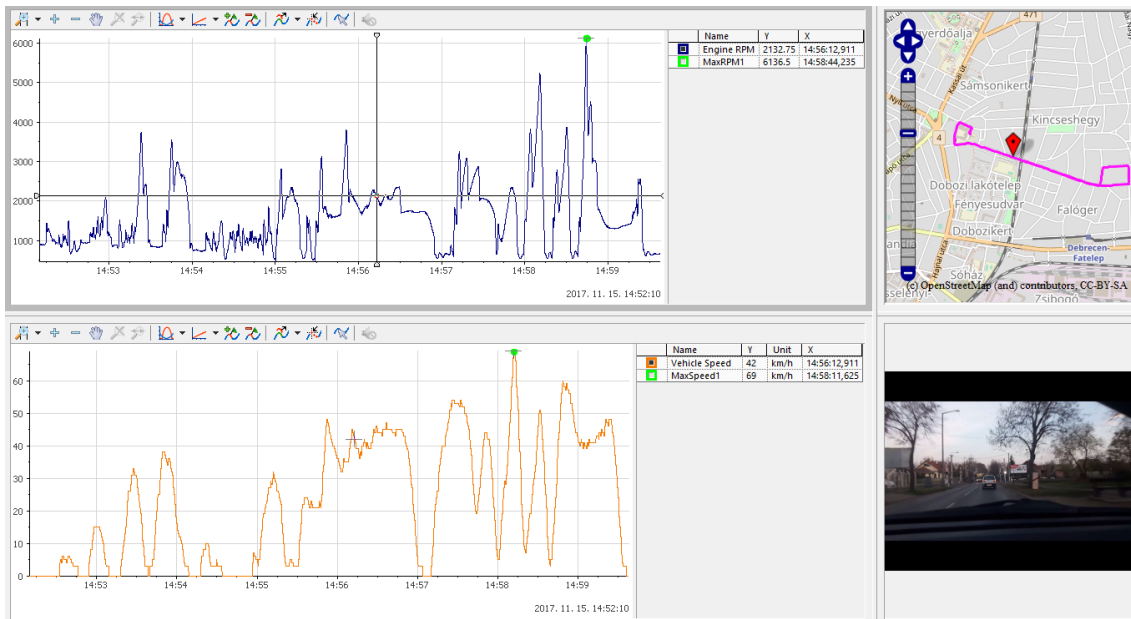
Tézis 2: Termoelektromos generátort tartalmazó hőenergiavisszanyerő rendszer képes egy villamos motor palástfelületéről hatásfok romlás nélkül villamos teljesítményt előállítani. Szimulációs és mérési eredményekkel bizonyítottam, hogy a hővisszanyerő rendszernek kettős szerepe van, a villamos motortól való hőenergia elvonás és villamos energia visszanyerés.

Kapcsolódó publikációk:

[P2][P3][P4][P10][P13][P14][P15][P16][P17][P18][P19][P20][P21][P22]

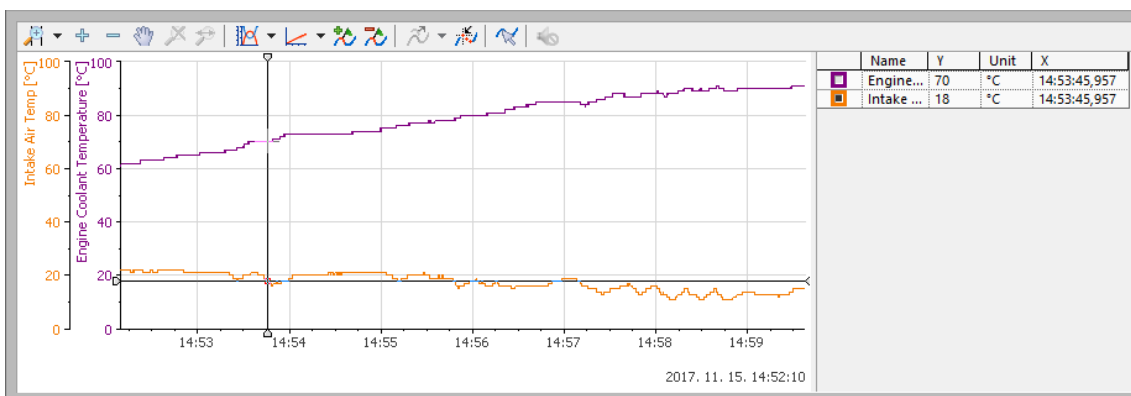
A hőenergiavisszanyerő rendszer fejlesztése után a kutatómunkám a gépjárműdiagnosztikai elemzések területe felé vette az irányt. A szakirodalomban nem nagyon találtam olyan releváns megoldást, ahol a gépjárművezető vezetési dinamikájának függvényében vizsgálják a gépjárműből visszanyerhető villamos teljesítményt. Éppen ezért célul tűztam ki magam elé, hogy kifejlesztsek egy új mérési módszert, amely képes kapcsolatot találni a vezetési dinamika és a visszanyerhető energia között.

Kifejlesztettem egy mérőrendszert, amely képes kommunikálni a gépjárművekkel és nagy sebességű CAN buszon valós időben menetdinamikai adatokat tud elemezni. A gépjármű OBD diagnosztikai csatlakozóján keresztül csatlakozik a mérőrendszerem a gépjárműhöz. A menetdinamikai adatok mellett saját fejlesztésű GPS alapú helymeghatározó rendszer szolgáltatja az útvonal koordinátáit. A mérőrendszert kiegészítettem egy videórögzítő kamerával is, amely rögzíti a gépjárművel megtett utat. Ezen adatok összeségéből fejlesztettem egy feldolgozó programot, amely képes az azonos időbélyeggel rendelkező adatokat összekapcsolt adatpárnak tekinteni, és elemzéskor az adott időpillanathoz tartozó összes adatot feldolgozni.



5) ábra Vezetés elemző rendszer kezelőfelülete

A vezetést elemző rendszer tesztelés közben különböző dinamikájú vezetésekről gyűjtöttem adatokat. Az 5) ábra-n egy olyan teszt látható, ahol a tesztelés első felében nyugodt lassú vezetést szimuláltam, még a teszt második felében dinamikusabb erőltetettebb vezetést. A gépjármű diagnosztikai adataiból egyértelműen látható, hogy a hőmérsékleti adatok jóval magasabbak a dinamikusabb vezetési stílus esetében. Egyértelműen kijelenthető, hogy dinamikusabb vezetési stílus esetén több villamos teljesítmény érhető el a hőenergiavisszanyerő rendszer segítségével. Az optimalizált rendszerhez figyelembe kell venni a gépjárművekben alkalmazott vezetési üzemmódokat is, melyek általában eco, normál, sport. A legmodernebb gépjárművekben már nagyon sok paraméter változását kéne egyidejűleg figyelni, amelyek többsége ipari titoknak minősül, ezért a kutatási témában nem érintem azokat.



6) ábra A motorba áramló és a hűtését szolgáló levegő hőmérsékletváltozása

A vezetést elemző rendszer kameráját továbbfejlesztettem, és vezetés támogató funkciókkal láttam el. Mesterséges intelligencia alkalmazásával képes a videórögzítő rendszerem

gyalogosakat, gyalogátkelőhelyeket, és KRESZ táblákat felismerni változó látási viszonyok között 98%-s felismerési aránnyal.



7) ábra vezetést támogató rendszer

Tézis 3: Egy gépjármű emberi viselkedéstől függő vezetési dinamikája befolyásolja a hőenergia visszanyerő rendszer által termelt villamos teljesítményt. Újfajta mérési módszert fejlesztettem ki egy gépjármű vezetési dinamikájának elemzésére, amely valós idejű OBD diagnosztikai, GPS, menetvideó rögzítő adatok alapján és az emberi viselkedést is figyelembe véve automatikus módon elemzi a vezetés dinamikáját, amelyből következtetni lehet a hőveszteség visszatermelésének mértékére

kapcsolódó publikációk:[P1][P11][P12]

V. Az új tudományos eredmények hasznosítása

A kutatási eredményeim a hibrid és elektromos gépjárművek menettávnövelésével és a vezetésbiztonsági kérdésekkel foglalkozik. Napjaink egyik legnagyobb kérdése, hogy megfelelő lesz-e az emberek, vagy a bolygó szempontjából az elektromos közlekedés. Bízom benne, hogy kutatómunkámmal és elért eredményeimmel hozzá tudtam járulni a gépjárművekben használatos energiavisszanyerő rendszerek fejlődéséhez, illetve nagy sikernek könyvelem el, a vezetéstámogató rendszert amely gépjárművekbe alkalmazva emberi életet menthet meg. Minden elért eredményemet publikáltam magyar és angol nyelven, mellyel elérhetővé tettem a nemzetközi kutató társadalom számára. Komolyabb cikkeim hivatkozásokkal is rendelkeznek.

VI. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Q-s besorolású nemzetközi folyóirat cikkek:

- [P1] László Ari; **Kornél Sarvajcz**; Ai on the Road: Nvidia Jetson Nano-Powered Computer Vision-Based System for Real-Time Pedestrian and Priority Sign Detection; Expert Systems with Applications (2023) IF.:8.5 Q1 (megjelenés alatt) ESWA-D-23-04060
- [P2] Sziki Gusztáv Áron; **Sarvajcz Kornél**; Kiss János ; Gál Tibor ; Szántó Attila; Gábora András; Husi Géza; Experimental investigation of a series wound dc motor for modeling purpose in electric vehicles and mechatronics systems; MEASUREMENT (0263-2241): 109 pp 111-118 (2017)
- Folyóirat szakterülete: Scopus - Education SJR indikátor: Q1
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Electrical and Electronic Engineering SJR indikátor: Q1
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Instrumentation SJR indikátor: Q1
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Applied Mathematics SJR indikátor: Q2
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Condensed Matter Physics SJR indikátor: Q2
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Statistics and Probability SJR indikátor: Q2
 - Nyilvános idéző összesen: 18 | Független: 4 | Független: 14 | Nem jelölt: 0 | WoS jelölt: 3 | Scopus jelölt: 6 | WoS/Scopus jelölt: 6 | DOI jelölt: 10
- [P3] Sziki Gusztáv Áron; **Sarvajcz Kornél**; Szántó Attila; Mankovits Tamás; Series Wound DC Motor Simulation Applying MATLAB SIMULINK and LabVIEW Control Design and Simulation Module; PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING (0303-7800 1587-3811): 48 1 pp 65-69 (2020)
- Folyóirat szakterülete: Scopus - Aerospace Engineering SJR indikátor: Q2
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Automotive Engineering SJR indikátor: Q2
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Mechanical Engineering SJR indikátor: Q2
 - Folyóirat szakterülete: Scopus - Modeling and Simulation SJR indikátor: Q3
 - Nyilvános idéző összesen: 1 | Független: 1 | Független: 0 | Nem jelölt: 0 | WoS jelölt: 1 | Scopus jelölt: 1 | WoS/Scopus jelölt: 1 | DOI jelölt: 1
- [P4] **K Sarvajcz**; A Váradiné Szarka; Development of portable measuring system for testing of electrical vehicle's heat energy recovery system; JOURNAL OF PHYSICS-CONFERENCE SERIES (1742-6588 1742-6596): 772 pp 1-6 (2016); 2016 Joint IMEKO TC1-TC7-TC13 Symposium: Metrology Across the Sciences: Wishful Thinking?. Konferencia helye, ideje: Berkeley (CA), Amerikai Egyesült Államok 2016.08.03. - 2016.08.05.
- Folyóirat szakterülete: Scopus - Physics and Astronomy (miscellaneous) SJR indikátor: Q3

Angol és magyar nyelvű publikációim

- [P5] Sarvajcz Kornél; Váradiné Dr. Szarka Angéla; Végh János; Energy harvesting jelentősége és lehetőségei; Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III. Környezet és Energia Konferencia; Konferencia helye, ideje:: Debrecen, Magyarország 2014.05.08. - 2014.05.09.; Debrecen: MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, pp 147-152 (2014)
- [P6] Sarvajcz Kornél; Váradiné Dr. Szarka Angéla; Simulation and calibration test of thermoelectric generators; XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry": Full papers; Konferencia helye, ideje:: Prága, Csehország 2015.08.30. - 2015.09.04.; Prague: Czech Technical University in Prague, pp 1003-1008 (2015)
- [P7] Sarvajcz Kornél; Váradiné Dr. Szarka Angéla; Termoelektromos Generátor Szimulációs És Kalibrációs Mérései; MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2015; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2015.06.11.; Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, pp 505-510 (2015)
- [P8] Sarvajcz Kornél; Váradiné Dr. Szarka Angéla; Termoelektromos generátor szimulációs és kalibrációs mérései : Simulation and Calibration Test of Thermoelectric.; Konferencia helye, ideje:: Arad, Románia 2015.10.08. - 2015.10.11.; Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp 124-129 (2015) (Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika konferencia 1842-4546)
- [P9] Sarvajcz Kornél; Váradiné Szarka Angéla; Termoelektromos generátor szimulációs és kalibrációs mérései; Környezet és energia a mindennapokban; Debrecen: MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, pp 271-275 (2016)
- [P10] Sarvajcz Kornél; Váradiné Szarka Angela; Development of portable measuring system for testing of electrical vehicle's heat energy recovery system; RECENT INNOVATIONS IN MECHATRONICS (2064-9622): 3 1-2 pp 1-4 (2016)
- [P11] Torma Dávid; Sarvajcz Kornél; Husi Géza; Autódiagnosztikai adatok feldolgozása NI DIAdem programmal; RECENT INNOVATIONS IN MECHATRONICS (2064-9622): 5 Klsz pp 1-7 (2018)
- [P12] Balogh Ildikó Julianna; Sarvajcz; Husi Géza; GPS adatok mérése és feldolgozása NI, LabVIEW szoftverrel; RECENT INNOVATIONS IN MECHATRONICS (2064-9622): 5 Klsz pp 1-7 (2018)
- [P13] István Kovács; Kornél Sarvajcz; Modelling and Simulation of a Series Wound Direct Current Motor Using Ansys; Konferencia helye, ideje: Oradea, Románia 2018.05.31. - 2018.06.01.; Oradea: University of Oradea Publishing House, pp 241-244 (2018)
- [P14] Szíki Gusztáv Áron; Sarvajcz Kornél; Szántó Attila; Soros gerjesztésű egyenáramú motor szimulációja NI LabVIEW Control Design and Simulation Modul alkalmazásával; Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2017.10.13.; Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, pp 83-87 (2017)
- [P15] Szíki Gusztáv Áron; Szántó Attila; Sarvajcz Kornél; Determination of the dynamic parameters of electric motors; Proceedings of the 6th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2018) : Book of extended abstracts; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2018.10.11. -

- 2018.10.13.; Debrecen: Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Debrecen, pp 179-180 (2018)
- [P16] Szíki Gusztáv Áron; Szántó Attila (Szántó Attila gépészmérnök); Sarvajcz Kornél; Villanymotorok dinamikai jellemzőinek mérése; Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2018.10.12.; Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, pp 78-83 (2018)
- [P17] G. Á. Szíki; A. Szántó; K. Sarvajcz; Measuring the Dynamic Characteristics of Electric Motors; INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES / MŰSZAKI ÉS MENEDZSMENT TUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (2498-700X): 4 1 pp 359-364 (2019)
- [P18] A. Szántó; G. Á. Szíki; K. Sarvajcz; Dinamikus tesztek soros gerjesztésű DC motoron. A motorral hajtott jármű fékezésének szimulációja; INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES / MŰSZAKI ÉS MENEDZSMENT TUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (2498-700X): 4 3 pp 15-20 (2019)
- [P19] Szíki Gusztáv Áron; Sarvajcz Kornél; Szántó Attila; Dynamic Simulation of a Series Wound DC Motor Applying the Control Design and Simulation Module of Labview; Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2017); Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2017.10.12. - 2017.10.13.; Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, pp 540-543 (2017)
- [P20] Szántó Attila; Szíki Gusztáv Áron; Sarvajcz Kornél; Szántó András; Dinamikus tesztmérések és szimuláció soros gerjesztésű egyenáramú motoron; Tavaszi Szél 2019 Konferencia. Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia : Absztraktkötet; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2019.05.03. - 2019.05.05. (Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ)); Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ), pp 471-471 (2019)
- [P21] Szántó Attila; Szíki Gusztáv Áron; Sarvajcz Kornél; Szántó András; Dinamikus tesztmérések és szimuláció soros gerjesztésű egyenáramú motoron; Tavaszi Szél 2019 Konferencia = Spring Wind 2019: Konferenciakötet III.; Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország 2019.05.03. - 2019.05.03.; Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ), pp 146-154 (2020)
- [P22] István Kovács; Kornél Sarvajcz; Modelling and simulation of a series wound direct current motor using ANSYS; MATEC WEB OF CONFERENCES (2261-236X): 184 Paper 02015. 4 p. (2018)

VII. AZ ÉRTEKEZÉSBEN FELHASZNÁLT IRODALMAK, ALKALMAZOTT REFERENCIÁK

- [1] S. Lan, R. Stobart and X. Wang, "Matching and optimization for a thermoelectric generator applied in an extended-range electric vehicle for waste heat recovery," *Applied Energy*, vol. 313, 2022.
- [2] S. Lan, R. Stobart and R. Chen, "Performance comparison of a thermoelectric generator applied in conventional vehicles and extended-range electric vehicles," *Energy Conversion and Management*, vol. 266, 2022.
- [3] W. B. Nader, "Thermoelectric generator optimization for hybrid electric vehicles," *Applied Thermal Engineering*, vol. 167, 2020.
- [4] W. A. N. W. Mohamed, B. Singh, M. F. Mohamed, A. M. Aizuwan and A. B. M. Zubair, "Effects of fuel cell vehicle waste heat temperatures and cruising speeds on the outputs of a thermoelectric generator energy recovery module," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 50, pp. 25634-25649, 2021.
- [5] D. Luo, Z. Sun and R. Wang, "Performance investigation of a thermoelectric generator system applied in automobile exhaust waste heat recovery," *Energy*, vol. 238, 2022.
- [6] R. C. Talawo, B. E. M. Fotso and M. Fogue, "An experimental study of a solar thermoelectric generator with vortex tube for hybrid vehicle," *International Journal of Thermofluids*, vol. 10, 2021.
- [7] V. Abbasi and S. V. Tabar, "Measurement and evaluation of produced energy by thermoelectric generator in vehicle," *Measurement*, vol. 149, 2020.
- [8] C. C. Sousa, J. Martins, Ó. Carvalho, M. Coelho, A. S. Moita and F. P. Brito, "Assessment of an Exhaust Thermoelectric Generator Incorporating Thermal Control Applied to a Heavy Duty Vehicle," *Energies*, vol. 15, no. 13, 2022.
- [9] A. Coulibaly, N. Zioui, S. Bentouba, S. Kelouwani and M. Bourouis, "Use of thermoelectric generators to harvest energy from motor vehicle brake discs," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28, 2021.
- [10] M. Aljaghtham and E. Celik, "Design optimization of oil pan thermoelectric generator to recover waste heat from internal combustion engines," *Energy*, vol. 200, 2020.

- [11] A. W. W. Atmajaya and P. Suwandono, "ADD-ON ENERGY HARVESTING OF DIESEL EXHAUST MUFFLER USING THERMOELECTRIC GENERATOR," *Journal of Science and Applied Engineering (JSAE)*, vol. 6, no. 1, pp. 10-21, 2023.
- [12] W. Dipon, B. Gamboa, M. Estrada, W. P. Flynn, R. Guo and A. Bhalla, "Self-Sustainable IoT-Based Remote Sensing Powered by Energy Harvesting Using Stacked Piezoelectric Transducer and Thermoelectric Generator," *Micromachines*, vol. 14, no. 7, 2023.
- [13] A. G. Olabi, M. Al-Murisi, H. M. Maghrabie, B. A. A. Yousef, E. T. Sayed, A. H. Alami and M. A. Abdelkareem, "Potential applications of thermoelectric generators (TEGs) in various waste heat recovery systems," *International Journal of Thermofluids*, vol. 16, 2022.
- [14] A. Khoshnevisan, S. Changizian, M. Raeesi, P. Ahmadi and N. Javani, "Thermal analysis of thermo-electric generator systems in hybrid electric vehicles under different operating conditions," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2023.
- [15] T. S. K. Kumar, S. A. Kumar, K. K. Ram, K. R. Goli and V. S. Prasad, "Analysis of thermo electric generators in automobile applications," *Materials Today Proceedings*, vol. 45, no. 7, pp. 5835-5839, 2021.
- [16] M. S. Omar, B. Singh and M. F. Remeli, "Motorcycle Waste Heat Energy Harvesting Using," *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, vol. 49, no. 5, 2020.
- [17] P. Fernandez-Yanez, V. Romero, O. Armas and G. Cerretti, "Thermal management of thermoelectric generators for waste energy recovery," *Applied Thermal Engineering*, vol. 196, 2021.
- [18] W. Zhu, X. Li, Y. Li, C. Xie and Y. Shi, "Two-level energy harvesting strategy for multi-input thermoelectric energy system," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 4359-4372, 2022.
- [19] J. Pei, F. Guo, J. Zhang, B. Zhou, Y. Bi and R. Li, "Review and analysis of energy harvesting technologies in roadway transportation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, 2021.
- [20] S. Bentouba, N. Zioui, P. Breuhaus and M. Bourouis, "Overview of the Potential of Energy Harvesting Sources in Electric Vehicles," *Energies*, vol. 16, no. 13, 2023.
- [21] S. Bai and C. Liu, "Overview of energy harvesting and emission reduction technologies in hybrid electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 147, 2021.