

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 2024

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 vettem a mechanikai energiából, termikus energiából, sugárzó és biokémiai energiából kinyerhető energiának az eszközeit. Energiasűrűség szempontjából összehasonlítottam a lehetőségeket.

Ezt követően a gépjárművekben használt Harvesting rendszereket, vagy másnéven energiavisszanyerő rendszerek kerülnek bemutatásra. Az irodalmi áttekintést az autódiagnosztikai és a vezetéstámogató rendszerek kutatásával zárom.

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. Végesem 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 generátor vizsgálatával 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 mérő és vezérlő berendezést. A berendezés képes különböző méretű TEG modulok fogadására, a meleg és hideg oldali hőmérséklet szabályozásra, és a szabályzással azonos időben hőmérsékleteteket és villamos paraméterek mérésére. A berendezés részletes felépítését, szabályzó- és mérőszoftverét, valamint a berendezéssel végzett mérési eredményeket több tudományos folyóiratban publikáltam. A mérési eredmények kiértékelése után, a vizsgált TEG modul belső ellenállás függésének és kapocsfeszültségének a parametrikus egyenletét határoztam meg a gyártói adatlapon szereplő karakterisztikák alapján, BMA algoritmus

alkalmazásával. A gyártói adatlapról identifikált parametrikus egyenletekből előállított eredmények megfelelő módon követik a valóságos mérésekből származó karakterisztikát. A termoelektromos generátorok szimulációs és valóságos mérései után, a kutatásom fókuszába a TEG modulon alapuló hőmérséklet visszanyerő rendszer gépjárművön belüli paramétereinek kiválasztása került. Különböző véges elem szimulációk elvégzése után arra a következtetésre jutottam, hogy a hőenergia visszanyerő rendszer a villamos motor palástfelületéről képes hőenergia elvonással villamos energiát előállítani.

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 mérőrendszert. A mérőrendszer tesztelésekor a tesztgépjármű motorterébe rögzítettem a korábban fejlesztett hővisszanyerő rendszert 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 hővisszanyerési információkat tudtam megállapítani. A kutatómunkámat egy kamera alapú vezetést támogató rendszer fejlesztésével zárom, amely mesterséges intelligencia alkalmazásával képes valós idejű képfeldolgozást alkalmazva gyalogátkelőhelyet, gyalogost és forgalomirányító táblákat felismerni.

Összességében elmondható, hogy a PhD kutatómunkám során egy komplex Energy Harvesting rendszer elemzését és fejlesztését készítettem el.

II. Energy Harvesting state of the art

Részletesen megvizsgáltam a téma legfrissebb kutatási eredményeit is, mely során több, a témában készült cikket, tanulmányt dolgoztam fel. Elsőként Lan és társai tanulmányát tekintettem át, akik egy olyan módszert írnak 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 százalékos nettó teljesítménysűrűség-növekedést eredményezett az előzetesen tervezett TEG-hez képest [1]. Lan és társai 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 és társai egy tesztrendszer alapján felállítottak egy szimulációt, amely az alacsony minőségű hulladék hő hasznosítására szolgál [4]. Luo és társai egy új fluid-termikus-elektromos multifizikai numerikus modellt mutatnak be, egy autóiipari hulladékhő visszanyerésben alkalmazott termoelektromos generátorrendszer teljesítményének előrejelzésére [5]. Talawo és társai 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 és társai egy rugalmas mérőrendszert mutatnak be, ami a mért értékeket egy számítógépnek továbbítja. A rendszer méri a jármű hőmérsékletét különböző pontokon vezetés közben [7]. Sousa és társai bemutatnak egy olyan hőmérséklet-szabályozott termoelektromos generátor-koncepció optimalizálását és értékelését, amelyet egy nehéz haszongépjárműben kívánnak alkalmazni [8]. Coulibaly és társai egy új megközelítést alkalmaznak az elektromos autók fékezésekor keletkezett hő hasznosítására. Szimulált eredményeket mutatnak be, ahol több szituációt tesztelnek [9]. Aljaghtham és társai a belsőégésű járművek olaj tartájának a hőveszteségét használták ki, ehhez egy kiterjedt multifizikai szimulációs keretrendszert vezettek be a hő villamos energiává történő átalakításának pontos szimulálására [10]. Atmajaya és társai egy termoelektromos generátor fejlesztésébe kezdtek, ami kimondottan diesel motorok hőveszteségeit kívánja újrahasznosítani [11]. Dipon és társai 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 és társai tanulmányukban a termoelektromos rendszerek más technológiákkal való integrációját mutatják be a környezetbarát energiatermelés érdekében [13]. Khoshnevisan és társai dinamikusan terveztek és modelleztek egy termoelektromos generátorral ellátott hibrid elektromos járművet [14]. Kumar és társai a belsőégésű járművek kipufogó hőveszteségének felhasználhatóságát vizsgálták [15]. Omar és társai egy Honda típusú motorkerékpáron vizsgálták meg a termoelektromos generátorok energiavisszanyerő hatását [16]. Yanez és társai a hőforrások hőgazdálkodására összpontosítanak a termoelektromos generátorok tervezésénél, valamint konkrét energiaforrások és prototípusok értékelésére szolgáló módszereket mutatnak be [17]. Zhu és társai egy kétszintű energiakitermelési stratégiát dolgoztak ki a kipufogógáz energiájának hatékony visszanyerésére dinamikus vezetési ciklusok esetén [18].

III. A kutatás módszertan

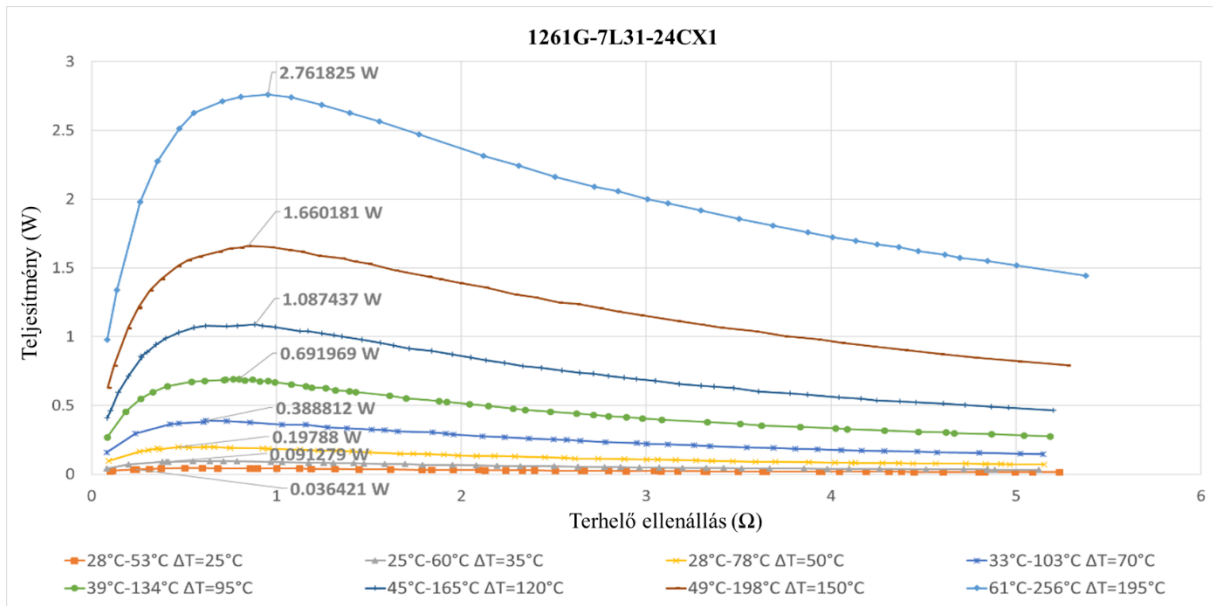
A kutatás célkitűzésének meghatározása után a kapcsolódó szakirodalmak alapos elemzése következett, annak meghatározása érdekében, hogy mennyire valós mérnöki problémával fogok foglalkozni. Az irodalomkutatásból hamar kiderült, hogy egyre jobban terjed a műszaki területen az energiavisszanyerő rendszerek alkalmazása. Megalkottam a termoelektromos generátor modelljét, amelynek alapjait szakirodalmi kutatásom során értettem meg. A modellen különböző végeelem szimulációkat hajtottam végre, melyek igazolták a modell helyes működését. A gyártói adatlapon szereplő karakterisztikákból identifikáltam egy több változós egyenletet, melyet gépi tanulással, BMA algoritmus segítségével határoztam meg. A parametrikus egyenletek nagyobb mint 99 százalékos pontossággal közelítik az adatlapon szereplő görbéket. Mérési koncepciót dolgoztam ki, és a mért eredményekkel validáltam a szimulált eredményeket. A kutatómunkám további részén hipotéziseket állítottam fel, és mérési, valamint kiértékelő módszerekkel bizonyítottam az állításokat.

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

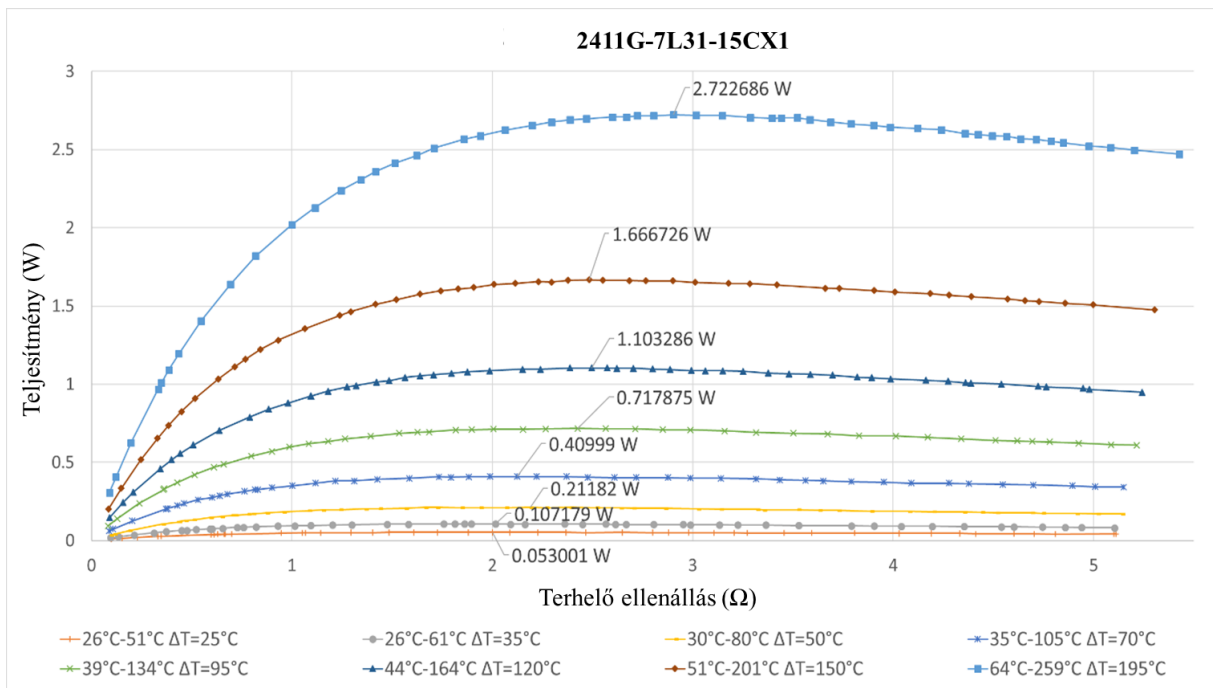
IV. Új tudományos eredmények

Az irodalomkutatást követően hamar körvonalazódott, 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 belső ellenállásának a hőmérséklettől való függéséről. A generátorok esetében munkaponti elemzéseket pedig szinte lehetetlen találni, hiszen minden modul más és más anyagösszetételű, ezért más munkaponti karakterisztikával működik.

A modulok munkaponti elemzéseikhez először egy végeelem modellt készítettem, amelyből számos kimeneti karakterisztikát tudtam generálni. A szimulálás után terveztem és fejlesztettem egy kalibráló berendezést, amely képes volt szabályozott 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 készítsek, melyből az 1. számú tézisem alapjaira tudtam következtetni. 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

Az adatok közötti mélyebb összefüggést vizsgáltam, hogy egy zárt formulában fel tudjam írni a belső feszültség és belső ellenállás értékeket a meleg és hideg oldali hőmérsékletek függvényében. A gyári adatlap alapján mindegyik görbe önmagában exponenciális függvénnyel közelíthető, annak érdekében, hogy egy olyan közelítést kapjunk, amely minden hőmérsékleten igaz, egy több paraméterű leírási módszert kerestem. A paraméterek relatívan nagy száma miatt, célszerű gépi tanulási algoritmust alkalmazni a paraméterek megvalósítására. A választott gépi tanulás a bakteriális memetik algoritmus (BMA) volt. Ezt a paraméteres

leírást a gyártói adatlapon szereplő több karakterisztikára és az általam elkészített mérési adathalmazra alkalmaztam. Az eredményeket felhasználva kimondható az 1. tézisem:

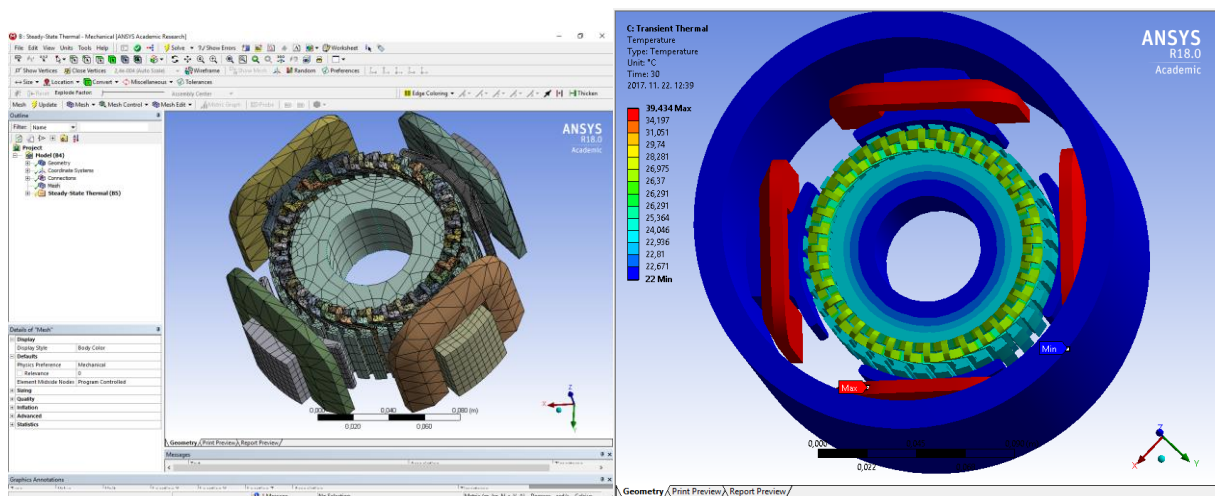
Tézis 1: A mérési eredmények alapján a hideg és meleg oldali hőmérsékletekből kiindulva az üresjárású kapcsolófeszültség a következő egyenlettel közelíthető:

$$U_{k\text{számított}} = U_{B0} + UbT_m \cdot (1 - e^{(UbT_{exp} \cdot T_{meleg})}) - UbT_h \cdot T_{hideg} - I \cdot (R_{B0} + mRT_m \cdot (1 - e^{(RT_{exp} \cdot T_{meleg})}) - mRT_h \cdot T_{hideg})$$

Az egyenletben 8 paraméter van, amelyeknek az értékei gépi tanulással megtanulhatóak. A TEG gyári adatlapján szereplő karakterisztikákból Bakteriális Menetikus Algoritmus (BMA) alkalmazásával identifikált egyenletek nagyobb mint 99 százalékos egyezéssel közelítik a mért értékeket.

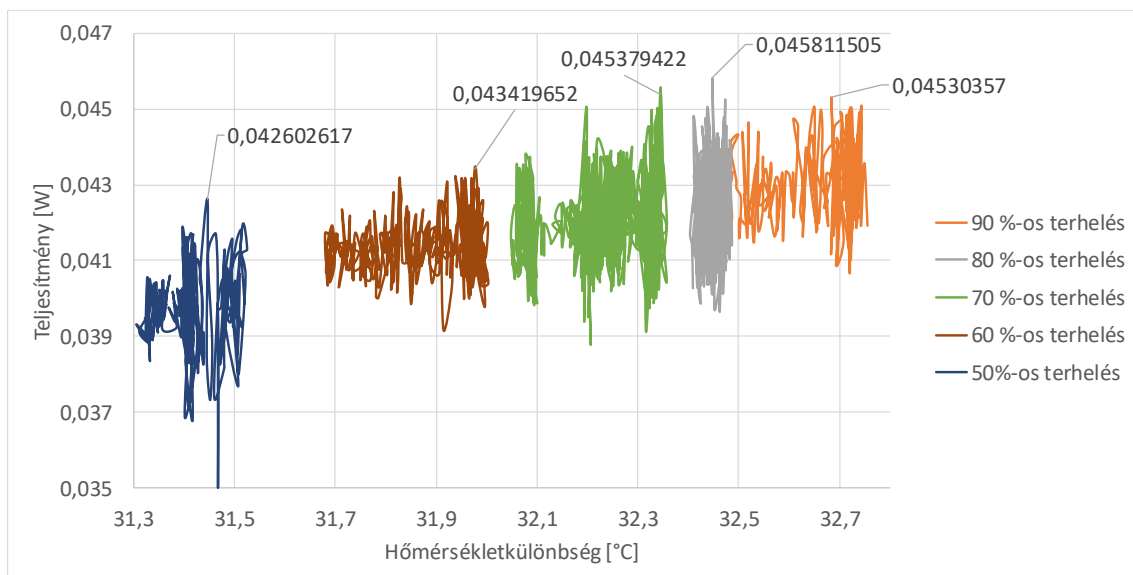
Kapcsolódó publikációk: [P5][P6][P7][P8][P9]

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 egyenáramú motort használtam. A vontatómotor hőtani profiljának megértése érdekében egy végeelem szimulációval kezdtem a hőviszanyerő rendszer optimális helyének vizsgálatát. A végeelem szimuláció kiterjedt a motor statikus, dinamikus és kapcsolat fizikai paraméterek analizisére is. A szimuláció eredményeképpen kaptam egy olyan hőprofil, amely ismeretében már következtetni tudtam arra, hogy hova érdemes tervezni a hőenergia visszanyerő rendszert.



3) ábra Egyenáramú motor végeelem szimulációja

A végesem szimuláció eredményéből azt a következtetést vontam le, hogy a hőenergiavisszanyerő rendszer optimális helye a motor palástfelületén van. Az elméletem igazolásához először a hőenergiavisszanyerő rendszer mechanikus felfogató rendszertét kellett megterveznem és kialakítanom. A termoelektromos generátor meleg oldali hőmérsékletét a motor palástfelületére helyeztem, a hideg oldalt pedig szabályozott vízhűtéses rendszerrel láttam el. 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 rendszeren, valamint a modul villamos paramétereit. A 4) ábraán látható mérési eredmények igazolják, hogy a hőenergiavisszanyerő rendszer alkalmazásával villamos teljesítmény nyerhető 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.



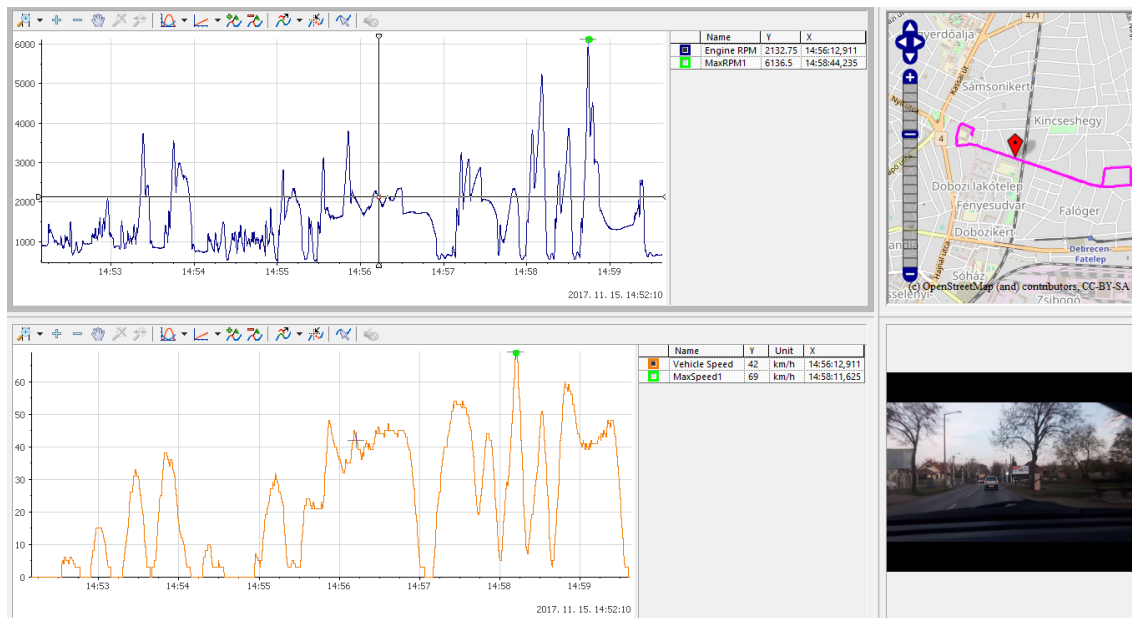
4) ábra A TEG által termelt teljesítmény a hőmérsékletkülönbség függvényében

Tézis 2: Villamos motorok hűtésének és veszteségi energia visszanyerésének új módszerét dolgoztam ki és ennek működőképességét mérésekkel és szimulációval igazoltam. Villamos motor palástfelületéről termoelektromos generátorral veszteségi energiát lehet visszanyerni. Az új eljárással akár 1,5mW/cm² energiasűrűség érhető el.
 Kapcsolódó publikációk: [P2][P3][P4][P10][P13] [P14]

A hőenergiavisszanyerő rendszer fejlesztése után a kutatómunkám a gépjárműdiagnosztikai elemzések területe felé vette az irányt. A szakirodalomban nem találtam olyan releváns megoldást, ahol a gépjárművezető vezetési dinamikájának függvényében vizsgálják a

gépjárműből visszanyerhető villamos teljesítményt. Éppen ezért célul tűztem ki magam elé, hogy kifejlesztsek egy új mérési módszert, amely képes kapcsolatot találni a vezetési dinamika és a visszanyerhető energia között.

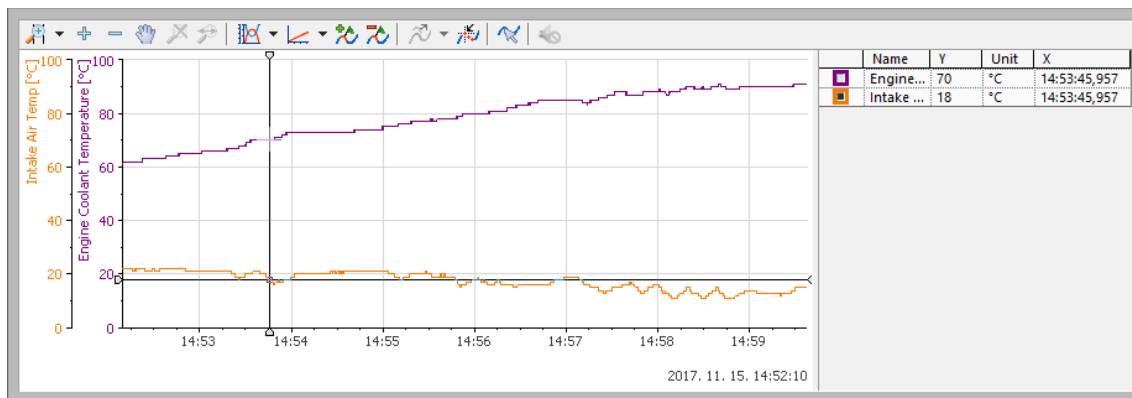
Kifejlesztettem egy mérőrendszert, amely képes kommunikálni a gépjárművekkel és nagy sebességű CAN buszon valós időben menetdinamikai adatokat tud elemezni. A gépjármű OBD diagnosztikai csatlakozóján keresztül csatlakozik a mérőrendszer a gépjárműhöz. A menetdinamikai adatok mellett saját fejlesztésű 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 adatként tekinteni, és elemzésre 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, míg 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 lenne szükséges 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

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. A mérőrendszerrel bizonyítottam, hogy a gépjárművezető viselkedésétől függő vezetési stílus egyértelműen összefüggésben áll a gépjármű hőveszteségéből visszatermelhető villamos teljesítménnyel.

Kapcsolódó publikációk: **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**[P11][P12]

A kutatómunkám záró fejezete egy kamera alapú gépjárművezetést támogató rendszer fejlesztését mutatja be, számítógépes látás és mélytanulás alkalmazásával. A rendszer egy NVIDIA Jetson Nano fejlesztőkészleten fut és képes érzékelni a gyalogátkelőhelyeket, a gyalogosokat, illetve a forgalomirányító táblákat, majd a felismerést követően figyelmeztető jelzést küld a gépjárművezető számára, értesítve őt elsőbbségadási kötelezettségéről. A rendszer autóba szerelhető, ezáltal valós időben is használható.

A számítógépes látás saját képek által betanított mély neurális hálózat alkalmazásával valósul meg. A rendszer változó látási viszonyok között éjjel és nappal is nagyobb, mint 98 százalékos felismerési aránnyal képes valós időben futni, 45 FPS sebességgel.



7) ábra Vezetést támogató rendszer

Tézis 4: Egy vezetéstámogató rendszer valós idejű képfeldolgozással és SSD MobileNet architektúrájú mélytanulási algoritmus alkalmazásával képes az emberi reakcióidőt felülmúlva detektálni mozgó gyalogost, gyalogátkelőhelyet és közlekedésitáblákat. Valós mérési eredmények bizonyítják, hogy a fejlesztett vezetést támogató rendszer napszaktól és időjárástól függetlenül alkalmas a detektálási funkció ellátására és detektálási ideje és pontossága meghaladja az emberi reakcióidő és észlelési pontosságát.

Kapcsolódó publikációk:**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**

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. A kutatási témához kapcsolódó cikkeim hivatkozásokkal is rendelkeznek.

VI. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Q-s besorolású nemzetközi folyóirat cikkek:

- [P1] **Kornel Sarvajcz**; Laszlo Ari; Jozsef Menyhart, AI on the Road: NVIDIA Jetson Nano-Powered Computer Vision-Based System for Real-Time Pedestrian and Priority sign detection, APPLIED SCIENCES-BASEL (2076-3417): 14 4 Paper 1. 24 p. (2024)
○ Folyóirat szakterülete: Scopus - Engineering SJR indikátor: Q2
- [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
- [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
- [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 Angéla; 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 Klnsz 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 Klnsz 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] 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.