

Különböző fokszámú regressziós modellek összehasonlítása fedélzeti diagnosztikán alapuló helymeghatározási feladatok megoldására: Elméleti összefoglaló

Busznyák Tibor*, Prof. Dr. habil Lakatos István**

***Széchenyi István Egyetem
Magyarország, Győr, Egyetem tér 1. (e-mail: busznyak.tibor@sze.hu)*

***Széchenyi István Egyetem
Magyarország, Győr, Egyetem tér 1. (e-mail: lakatos@sze.hu)*

Abstract: Kutatásom a tüzelőanyag-fogyasztási adatsorok aktuális pozíció becslésére való felhasználási lehetőségeit vizsgálja. Korábbi munkák során meghatároztam azt a peremfeltételrendszer, amelyeken belül lehetséges a jármű helyzetének nem műholdas alapon történő megbízható meghatározása. Ehhez három különböző helyen végeztem méréssorozatokat, állandó sebességek mellett. A méréssorozat alatt adódtak olyan helyzetek, ahol a jármű viselkedése megváltozott. Adott esetben kilépett az előre definiált sebességtartományból, ezekben az esetekben a felhődiagramok vizuális értelmezésekor nem lineáris egyenes mentén szóródnak a pontok. A cikk azt vizsgálja, hogy lehetséges-e másodfokú modellt közelíteni alacsonyabb fokszámú modellel, és ezeknek milyen hatása van a kapcsolatot leíró determinációs együtthatók értékére.

1. BEVEZETÉS

Adott jármű energiahatékonysága és a közlekedésszervezés napjaink széles körben tárgyalt témája (Kalincsak – Szauter, 2020)(Rózsás – Lakatos, 2022)(Péter – Bokor, 2010). A technológiai fejlődés magával hozza az autonóm és elektromos koncepciók fejlődését, azonban a technológia a járművön kívüli, alapvetően infrastruktúrális fejlesztéseket is követel (Pek – Hány, 2022)(Füle – Palkovics, 2007)(Szauter és mtsi, 2021). Ennek kapcsán láthatjuk, hogy a technológia terjedési sebessége egyelőre lassabb a korábban vártnál. Töltőállomások kiépítése szükséges, illetve a töltési technológiák fejlesztése, hiszen a töltési szabvány és a hatótáv kérdésköre felhasználói szempontból fontos, az üzemeltetésre jellemző követelmény. A hálózati kiépítettség szintén kiemelt fontosságú, a töltőállomások lehető legkedvezőbb elhelyezése miatt. Az említett megoldásra váró feladatok és a technológia - kétségtelenül magas hozzáadott értéke mellett - magas ára miatt a közlekedés gerincét még mindig a fosszilis tüzelőanyaggal hajtott gépjárművek alkotják.

A kellően pontos műholdas helymeghatározás mostanra több, mint húsz éve áll a társadalom rendelkezésére. A helymeghatározási és a helymeghatározást segítő távközlési műholdak elérése polgári oldalról is lehetséges, ez lehetővé teszi a technológia egyre szélesebb körű tárgyalását és használatát. A közlekedés történelmi távlatokban is, az egyik legmeghatározóbb sarokköve a tájékozódás. Gondolhatunk kezdetben az égitestek alapján történő navigálásra, innen jutottunk el mostanra a jármű „alapvető tartozékaként” is értelmezhető, okostelefonról elérhető applikációkhoz.

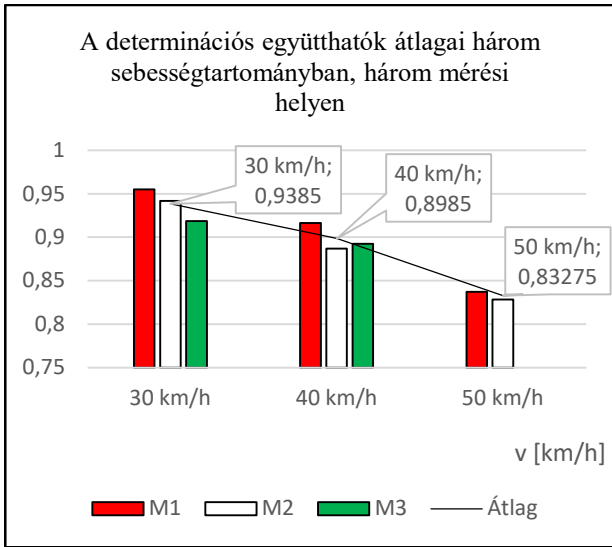
A helyváltoztatáshoz szükséges energia, mint információ és a helymeghatározás a kezdetektől a közlekedés része, ezért a meghajtás módjától függetlenül, érdemes a kettő közti kapcsolatot minél részletesebben tárgyalni. Kutatásaim kezdeti szakaszában vizsgáltam a belsőégésű Otto-motorral hajtott személygépjármű tüzelőanyag-fogyasztása (légnyelése) és a bejárat utvonala magasságváltozásai közti kapcsolatot. A fedélzeti diagnosztikán (OBD) alapuló helymeghatározási elv a következő (Busznyák és mtsi, 2019):

- Energiafelhasználásának mérése OBD-vel;
- Útvonalak dokumentálása precíziós helymeghatározási méréssorozatokkal, lejtés adatsor előállítás;
- A mért adatok összehasonlítása, regresszióanalízis;
- Determinációs együtthatók meghatározása;
- Eredmények tesztelése MATLAB környezetben létrehozott, saját pontkereső algoritmussal.

Az adatok elemzésének első lépéseként felhődiagramon tártam fel a változók közti kapcsolatot. Ezek polinomiális jellege miatt választottam a lineáris és a lineárisra visszavezethető másodfokú regressziót. A determinációs együttható és a regressziós egyenlet számszerűsíti a kapcsolatot. Általános elv a statisztikában, ha a megoldásra többféle módszer is alkalmazható, akkor célszerű a kevesebb paramétert tartalmazót választani. Ha a grafikus megjelenítésen észrevehető olyan vonal, ami körül a pontok sűrűsödnek, de az alakja nagyon változékony, akkor érdemes a gépi tanulás egyéb módszerén alapuló, pl. rnd. forest, módszert használni.

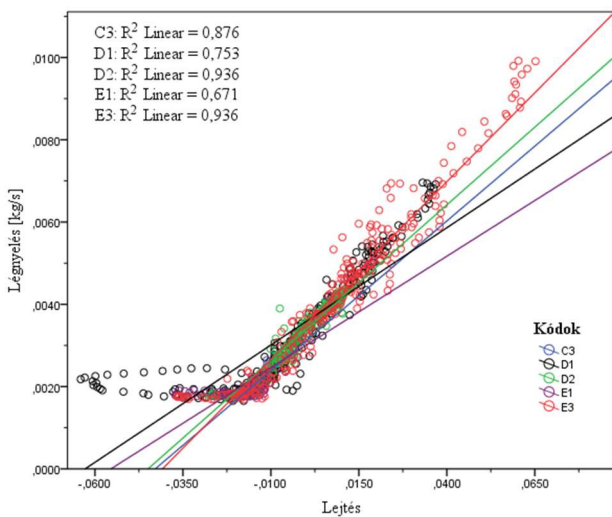
Ezeknél több magyarázó paraméter is alkalmazható, de a lineáris kapcsolat számszerűsítésére alkalmasabb a lineáris regresszió.

A városi sebességtartományok eredményei, 30, 40 és 50 km/h állandó sebességeknél kifejezetten előremutatók.

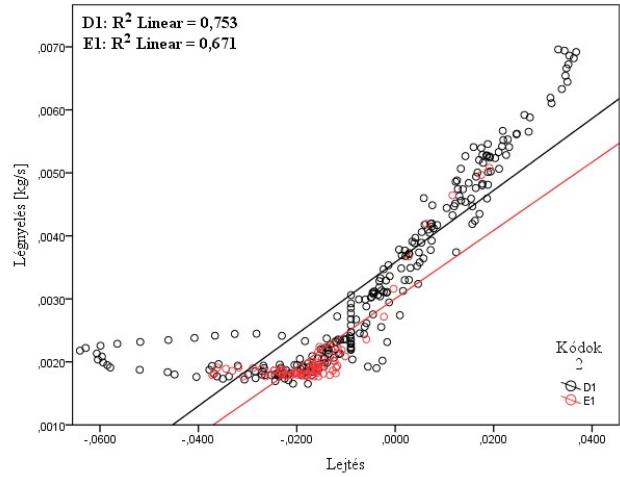


1. ábra: A fedélzeti diagnosztika alapú helymeghatározás korábbi méréssorozatainak eredményei a determinációs együtthatók alakulásával (forrás: saját kép)

Az első ábrán összefoglalom korábbi méréseim részeredményeit. A méréssorozatok közül két eset emelnék ki, melyek vizsgálatát jelen cikkben tárgyalom. Az első eset a meredek lejtők kérdése, a második pedig a kanyarmenetek vizsgálata. Az említett két eset jelen cikk központi témája.



2. ábra: A kiragadott öt útvonalrészlet determinációs együtthatóinak alakulása lineáris illesztés esetén (forrás: saját kép)



3. ábra: A két kritikus útvonalrészlet (forrás: saját kép)

2. MÉRÉS

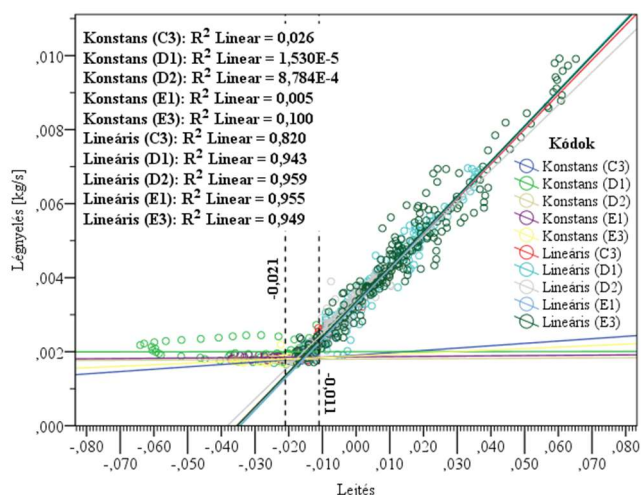
2.1 Meredek lejtő - másodfokú illesztés közelítése elsőfokú modellel

A menet során öt olyan útvonalrészlet volt, amely tartalmazott meredek lejtőt, ezek közül kettő, a D1 és az E1 jelű hosszabb szakaszon, e kettő determinációs együtthatója, lineáris illesztés esetén számszerűen is jelentősen eltér az átlagtól (2-es és 3-as ábra).

Elméleti megfontolások alapján élhetünk azzal a feltételezéssel, hogy ilyen körülmények között a keverékképzés, így a tüzelőanyag-fogyasztás is másképpen alakul. Ilyenkor a vezérlés csak annyi üzemanyag-levegő keveréket juttat a motorba, hogy az adott sebességi fokozatban a szükséges fordulatszámot biztosítsa. Emellett a menetellenállások és a motorfék nem lassítja le a járművet a beállított sebességre.

A járművet saját tömege tehát gyorsítja, a keverékképzés visszavesz. (Az ilyen esetekre a felállított modell csak másodfokú trendvonal illesztése esetén adja vissza 30 km/h sebességnél a 90% körüli megfeleltethetőséget.) Érdemes a regressziós modellt első fokú trendvonalakkal is értelmezni. Az meredek lejtők hatásának modellezésére két részre bontom az útvonalelemzéseket.

A 2-es és 3-as ábrák szemügyre vételekor tapasztalhatjuk, hogy $-0,015$ értékű iránymeghatározás környezetében a trendek lefutása megváltozik. A kitüntetett értéktől jobbra eső diagramterületen lineáris jelleget feltételezhetünk, míg az értéktől balra konstans közeli trendeket. A töréspontok helyének meghatározása és a töréspontok mentén történő részre bontás segítségemre lesz a meredek lejtő hatásainak megértésében.



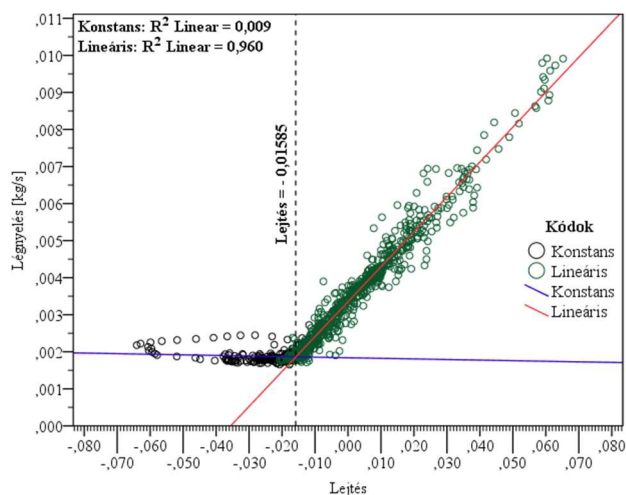
4. ábra: Meredek lejtőt tartalmazó útvonalrészletek elemzése, értékhatárok szemléltetése (forrás: saját kép)

A 4. ábrán szemléltetem a töréspontok összesített modelljét. Ebben az esetben mind az öt útvonalat két részletre bontottam. A célom az volt, hogy a konstans (valójában konstans közeli) részeket minél pontosabban különítsem el a többi résztől. Ezt a pontok érték szerinti szűrésével és az elkülönített determinációs együtthatók meghatározásával értem el. A regresszió tulajdonságai miatt a korrelációs és a determinációs együttható konstans trendvonal mentén zérus.

Ezzel a módszerrel mind az öt esetben meghatároztam azt az értékhatárt, ami alatt (lejtés értelmezésénél, amekkora iránytangens felett) a pontok már konstans trendvonal mentén sorakoznak. Ez az érték nem a metszéspont, hanem az az érték, amelynek környezetében a metszéspont megkereshető. A minimális értékhatár a D1 útvonalhoz tartozó -0,011, a maximális pedig a D2 útvonalhoz tartozó -0,021. Az értékek a 4. ábráról is leolvashatók.

A modellben mind az öt útvonalrészt külön egységként kezeltem, megkülönböztetve a konstans és lineáris részeket. Így adódnak az értékhatárok, amelyek környezetében a metszéspontok kiszámíthatók. A metszéspontok számítási módszerei a kutatás jövőjét jelenthetik, a továbbiakban vizuális közelítést mutatok be, ahol a modellt az alábbiak szerint változtatom meg. Tekintettel arra, hogy az útvonalrészletek értelmezési tartománya közel azonos, egy egységként tekintek az öt útvonalrészletre.

Az adatok szűrése az egy egységbe történő rendezés után következik. Ezt felhasználva nem öt különböző metszéspontot és értékhatárt kell elemezni, hanem csak egyet. Vizuális közelítésről lévén szó a módszer nem adja vissza a töréspont pontos helyét, de jó közelítést ad a vizsgált adatbázist illetően.



5. ábra: Az öt útvonalrészlet egységesítése, töréspont szemléltetése (forrás: saját kép)

Az 5. ábrán az egy egységbe vont útvonalrészletek regressziós modellje látható. Leolvasható, hogy a teljes adatbázis lineáris részére kifejezetten magas, 0,96 értékű determinációs együttható adódik. A trendvonalak metszéspontja jó közelítést ad a töréspont helyére vonatkozóan, emellett a teljes modellre vonatkozó tanulságok is levonhatók. Ezek alapján létezik egy olyan lejtés-határérték, ahol a lineáris modell korlátai kirajzolódnak.

Adott jármű a határszögnel vagy annál nagyobb meredekségű lejtőn történő haladásakor a tüzelőanyag-fogyasztás (légnyelés) nem elégséges magyarázó változó a menetemelkedés becslésére.

Az 5. ábra törésponttól balra eső része megmutatja, hogy a légnyelésből jóval kevésbé tudjuk modellezni a domborzati viszonyokat a meredek lejtő miatt, ugyanakkor, ha megfordítjuk, a meredek lejtős szakasz alapján következtethetünk az állandó (közel állandó) tüzelőanyag-fogyasztásra. Szignifikáns lejtmenet részletes modellezése nem végezhető el a törésponton szétbontott modellel.

Az útvonal ismerete kedvező hatással lehet a modell kiválasztására. Az eredményeket tartalmazó, 1. összehasonlító táblázat megmutatja, hogy a kapott értékek figyelembe vételével, a töréspontnál szétbontott modell jól közelíti a másodfokú modellt.

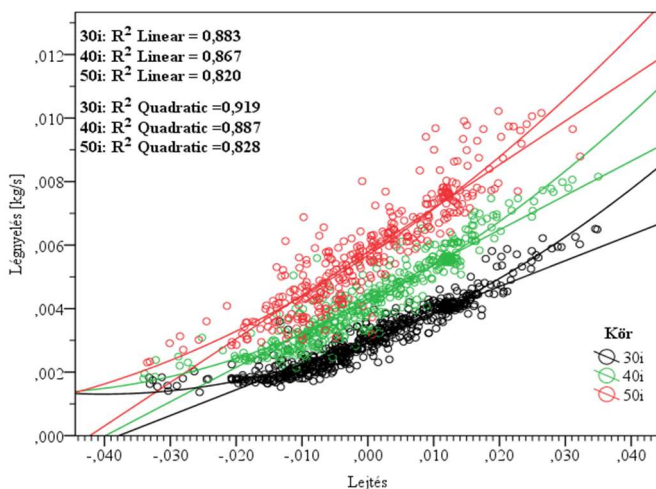
A töréspont-alapú közelítés eredményei

1. táblázat: Lineáris, másodfokú és töréspont melletti lineáris modellek összehasonlítása

Kód	v [km/h]	R ²	Illesztés típusa
C3	30 km/h	0,8763	Lineáris illesztés
		0,8889	Másodfokú illesztés
		0,8200	Lineáris illesztés, törés
D1	30 km/h	0,7527	Lineáris illesztés
		0,9503	Másodfokú illesztés
		0,9430	Lineáris illesztés, törés
D2	30 km/h	0,9356	Lineáris illesztés
		0,9562	Másodfokú illesztés
		0,9590	Lineáris illesztés, törés
E1	30 km/h	0,6714	Lineáris illesztés
		0,9539	Másodfokú illesztés
		0,9550	Lineáris illesztés, törés
E3	30 km/h	0,9360	Lineáris illesztés
		0,9510	Másodfokú illesztés
		0,9490	Lineáris illesztés, törés

2.2 Egyenesek, kanyarmenetek regresszióanalízise

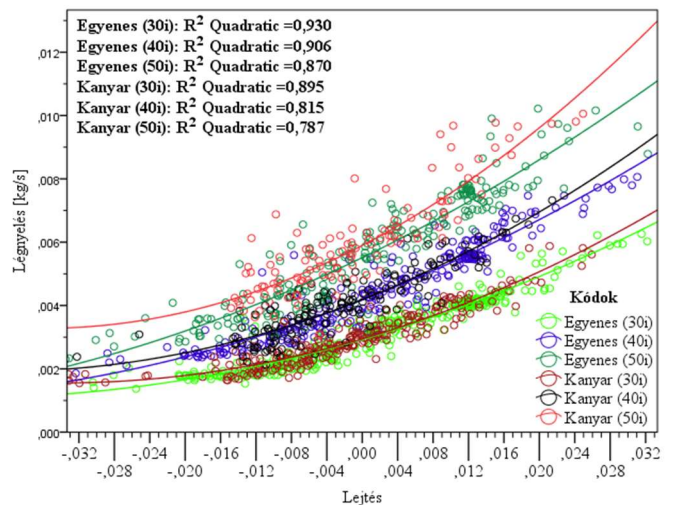
Ebben a részfejezetben a kanyarmenetek hatásait elemzem. A jármű továbbra is egyenes sebességgel halad, viszont nem csak egyenes (közel egyenes) vonalú mozgást végez. Tekintettel arra, hogy ez az útvonal nem tartalmaz extrém meredekségű lejtőt, így a jármű nem gyorsul az előre beállított sebességértékek fölé, a szétbontott modell nem tartalmaz közel konstans részeket.



6. ábra: A három ideális ív regressziós modelljei a különböző illesztésekkel (forrás: saját kép)

Az 6. ábrán szemléltetem a lineáris és másodfokú együtthatók közti különbséget. A kettő között egészen minimális különbség adódik, így hasonló körülmények között mindkét modell eredményesen használható.

A pálya külső ívének felvételezésekor annak karakterisztikáját előzetesen elemezve az egyenes és kanyarmenetek aránya kettő az egyhez. Menet közben minden sebességtartományban változik ez az arányszám, a 30, 40 és 50 km/h állandó sebességek mellett felvételezett ideális ívek alatt meg is fordul. Ez logikus, hiszen elméletben az ideális íven járható be leggyorsabban a pálya. Az egyenesek mellett tehát a kanyarok és a kanyarsebességek hatásvizsgálata is elvégezhető.



7. ábra: Egyenes- és kanyarmenetek regressziós modelljei, egyenes és kanyarmenetek (forrás: saját kép)

A 7. ábra alapján megállapítható, hogy kanyarmenetben a légnyelés magasabb az egyenesekhez képest. A magasabb fogyasztást és az alacsonyabb korrelációt magyarázhatják oldal irányú gyorsulások vagy a járműre ható centripetális erő. Városi sebességtartományban a modell jól használható, a determinációs együtthatók eltérése minimális.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben arra kerestük a választ, hogy a mérési- és adatfeldolgozási módszer során adódott, lineáris modelltől való eltérést milyen hatások magyarázhatják. Két esetet vizsgáltam meg, elsőként a meredek lejtők hatását. Statisztikai módszerekkel kimutatható, hogy létezik egy határszög, ami felett a jármű (konstrukciótól függően) sebessége megnő, sebességtartó automatika alkalmazása mellett is. Ezek a gyorsulások kvázi-konstans üzemanyag felhasználás mellett zajlódhatnak le, ez azt jelenti, hogy, ha a teljes másodfokú modellt felbontjuk, megadunk egy lineáris részt és egy konstans részt, akkor a konstans rész miatt a tüzelőanyag-fogyasztásra pusztán a menetemelkedési szög és a sebesség alapján nem következtethetünk. Ilyen esetekben további magyarázó változók bevezetése szükséges.

A cikk másik kérdése, az egyenes és kanyarmentek vizsgálata. Járműdinamikai szempontból fontos különbségek írhatók le a két pályakarakteristikához kapcsolódóan. A cikkben statisztikai módszerrel bontottam fel a városi menetekre jellemző sebességtartományokhoz illetve a felmért útvonalakat. Arra voltam kíváncsi, hogy mekkora különbség adódik a determinációs együtthatók között. Az eredmények egységes értelmezését elősegítendő, három olyan mérésorozatot vizsgáltam meg, ahol ugyanaz az útvonal került bejárásra. Kijelenthető, hogy a determinációs együtthatók között nagyságrendi eltérés nincs, megjegyzendő, hogy a mérés személygépjárművel történt, ha az ideális íveket versenyzésre optimalizált, nagyobb teljesítmény leadására képes versenyautóval, nagyobb sebességgel járjuk be, az eredmények is változhatnak. A kitűzött városi modell esetén viszont a különbségek minimálisak. A kanyarmentek regressziós vizsgálata alapján a modell itt is nagy hatékonysággal alkalmazható.

A két vizsgálat megmutatja a fedélzeti diagnosztikán alapuló helymeghatározás fontos stratégiai kérdéseit, rávilágít azokra a lokális problémákra, melyek megoldására a jövőben érdemes a figyelmet összpontosítani, a jó kiindulási alapok mellett.

4. KITEKINTÉS

A cikk alapját képező mérésorozatok belsőégésű Otto motorral hajtott személygépjárművel valósultak meg. A meghajtás módjának kiválasztása praktikus megfontolás alapján történt. A belsőégésű-motordiagnosztika hosszú múltra tekint vissza, így a kapcsolódó mérési apparátus is kiforrott. A diagnosztikai aljzat szabványosított, a kommunikációs protokollok szintén. A különböző gyártók között természetesen adódnak konstrukciós különbségek, de a rendszer, éppen a megszabott keretek miatt egységes és jól áttekinthető.

Ezek a megfontolások vezéreltek az alapok lefektetésénél. Az elektromos koncepciók viszont a modern közlekedés építőkövei, ezért az elv szempontjából az áttekintés indokolt. A determinációs együttható alapján történő elemzés azért praktikus, mert a két független változó közti kapcsolat számszerűsíthető.

Feltételezve, hogy az energiahatékonyság a különböző konstrukciókra, így a belsőégésű motorra, hibrid rendszerre, vagy teljesen elektromos hajtásra vonatkoztatva eltér, az energiafogyasztás minden esetben egzakt módon mérhető és dokumentálható.

Az elektromos koncepciók, a technológia újszerűsége miatt még nem rendelkeznek olyan széles körű, a hajtásra és az energiafelhasználásra vonatkozó információs bázissal. Ilyen esetben az akkumulátorból felvett, és a hajtásra fordított energiamennyiség jellege feltételezhetően hasonló módon alakul, mint az üzemanyag felhasználásé egy Otto motornál. Így ennek részletes vizsgálata indokolt és a kutatás, illetve az elv továbbfejlesztése szempontjából előremutató.

Az eddig elvégzett, főleg alapkutatások, és az egy adott konstrukció működésén keresztül bemutatott módszer, illetve az eddig elért eredmények arra adnak választ, hogy a felvetett téma a közlekedés számára lehetőség, az egyéb meghajtási módokra történő kiterjesztése szükséges.

Az elv, különös tekintettel a pontkereső algoritmus kedvező tanulságaira, integrálható komplex közlekedésirányító rendszerbe. Új forrásból nyerhető információ a helymeghatározásra vonatkozóan, ezzel járműoldalról tudjuk segíteni, akár az autonóm szinten szerveződő közlekedést.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (The research was supported by the European Union within the framework of the National Laboratory for Autonomous Systems.)(RRF-2.3.1-21-2022-00002)

HIVATKOZÁSOK

- Pekk, L., Hány, A. (2021) „New technology challenges and the ZalaZONE eco-system environment” *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia*, Budapest, Paper 27. ISBN 978-963-88875-5-9
- Kalincskák, I., Szauter, F. (2020) „A közlekedés és közlekedésbiztonság szervezetelméleti és aktuális rendszerteknikai kérdései” *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia*, Budapest, Paper 09. ISBN 978-963-88875-6-6
- Rózsás, Z., Lakatos, I. (2022) „Real-time pedestrian trajectory determination by convolutional neural network-based method in an urban environment with moderate traffic” *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia*, Budapest, Paper 05. ISBN 978-963-88875-7-3
- Busznyák, T., Pálfi, G., Lakatos, I. (2019) “On-Board Diagnostic-based Positioning as an Additional Information Source of Driver Assistant Systems” *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 16, Issue 5. pp. 217-234. ISSN 1785-8860
- Péter, T., Bokor, J. (2010.2) “Modeling road traffic networks for control” *Annual international conference on network technologies communications: NTC 2010*. Thaiföld, 2010.11.30-2010.11.30. pp. 18-22. Paper 21. ISBN:978-981-08-7654-8
- Szauter, F., Bedő, A., Körös, P., Fiedler, F. (2021) „Az automatizáltság növelésével a fenntarthatóságért,” *Magyar Tudomány*, 183(3), pp. 322-341.
- Fülep T., Palkovics, L. (2007) „Elektronikus jármű és infrastruktúra rendszerek a közlekedésbiztonság növelésének szolgálatában,” *6. Európai Közlekedési Kongresszus*, Budapest.