

ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ AUTONÓM JÁRMŰ ENERGIAHATÉKONYSÁG NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Kőrös Péter, Szakállas Gábor, Szauter Ferenc

Autonóm járműrendszerek kutatása a
zalaegerszegi autonóm tesztpályához
kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Strukturális
és Beruházási Alapok



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

BEVEZETŐ GONDOLATOK AZ AUTONÓM JÁRMŰVEKHEZ

Balesetek okai:

Járművezető - hiba

Közlekedési
infrastruktúra
és
műszaki – „hiba”



BEVEZETŐ GONDOLATOK AZ AUTONÓM JÁRMŰVEKHEZ



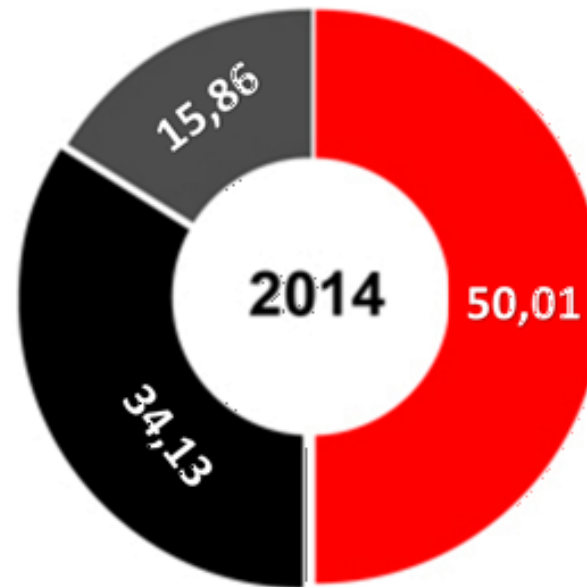
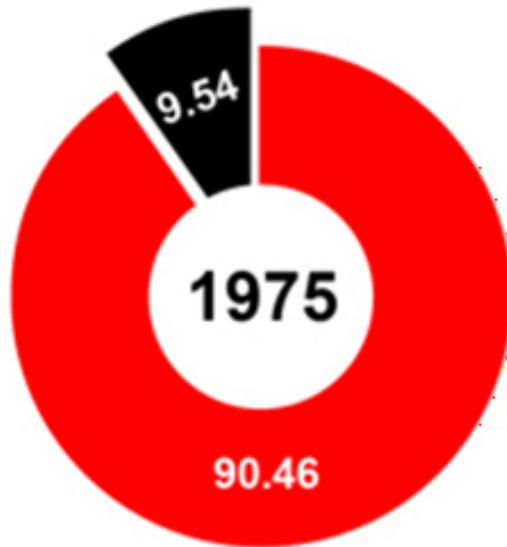
1 200 000 WW

35 000 USA

94%

[boeing 737 max aeromexico](#)

SZOFTVEREK A SZEMÉLYGÉPJÁRMŰVEK ÉRTÉKÉBEN



- **Mechanikus / strukturális komponensek**
- **Elektromos / elektronikus komponensek**
- **Szoftver komponensek**

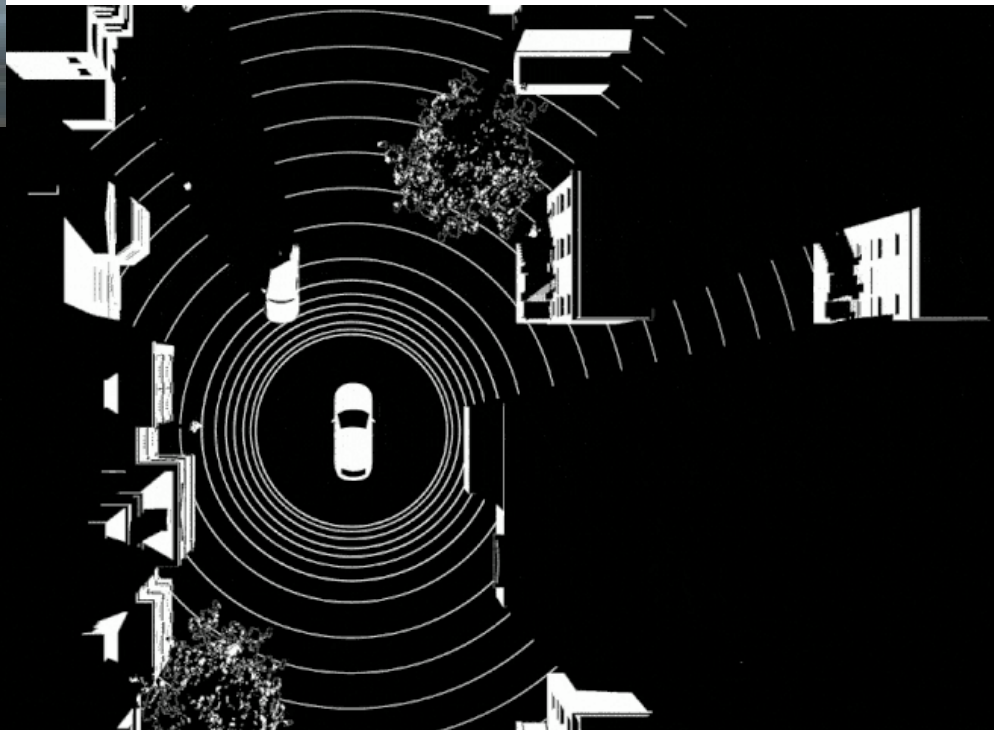
A KÖZLEKEDÉSI ESZKÖZÖK ENERGIAHATÉKONYSÁGA



BEVEZETŐ GONDOLATOK – „EGYÜTT JOBB”

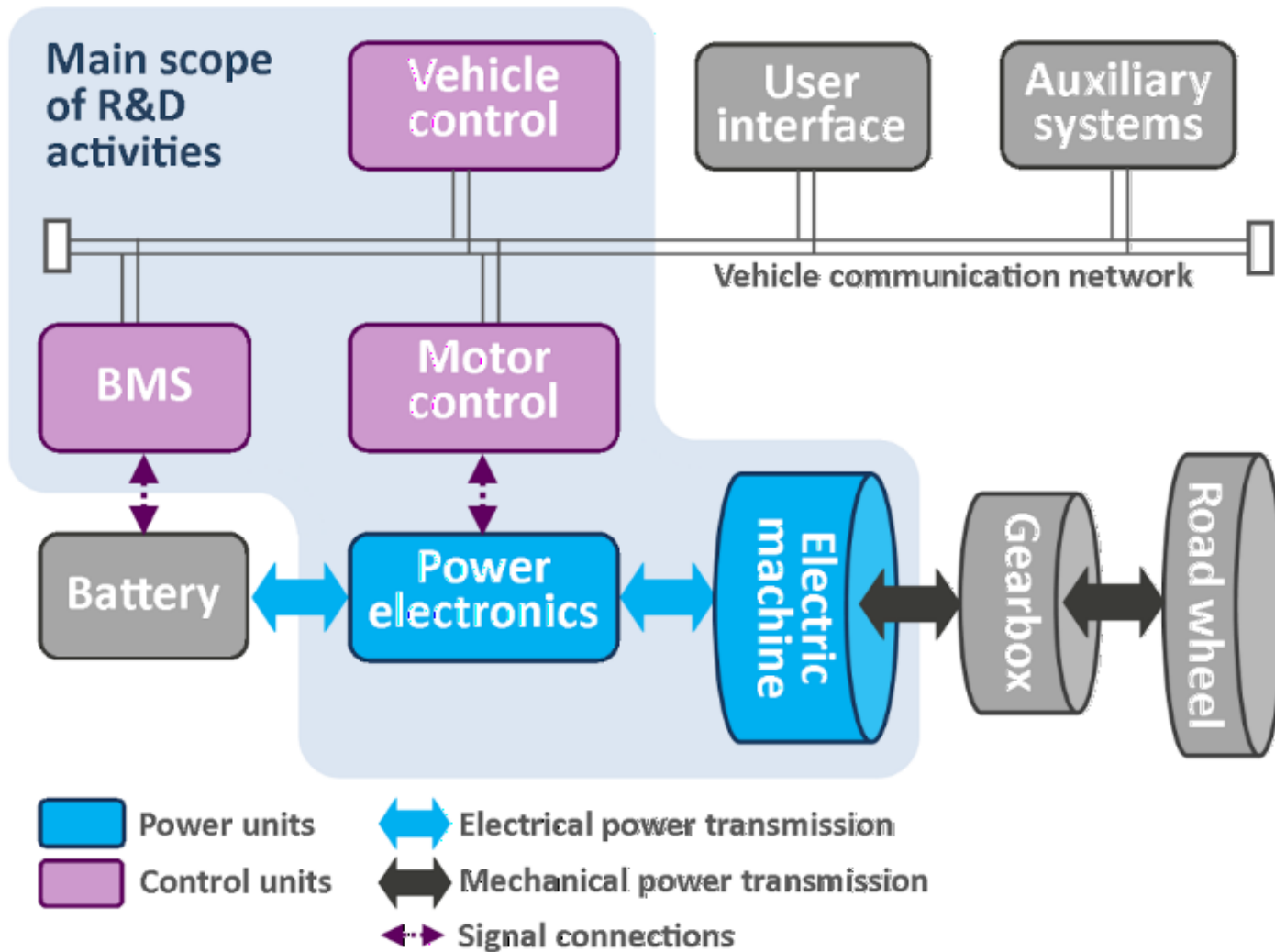


Villamos meghajtású jármű



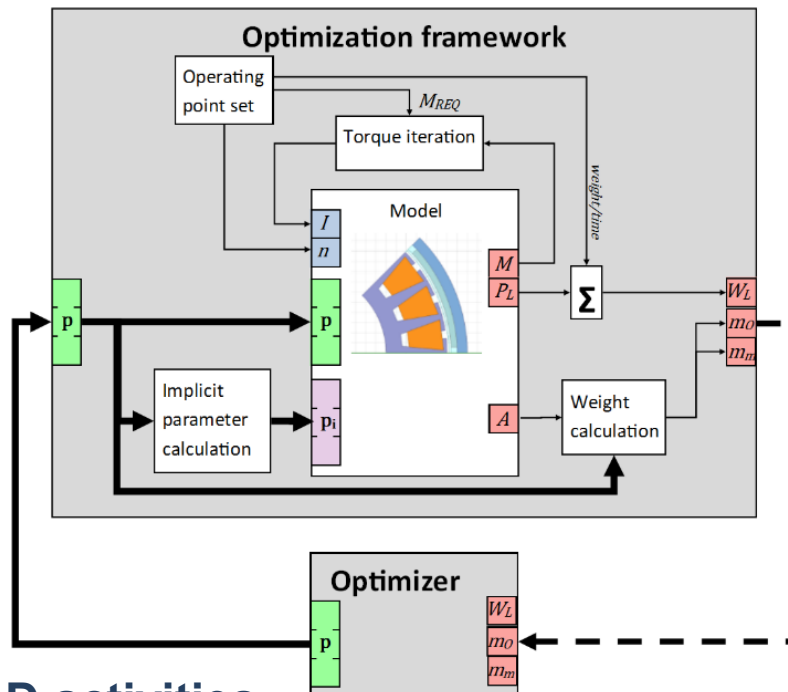
Autonóm jármű

KUTATÁSI IRNYOK - JKK

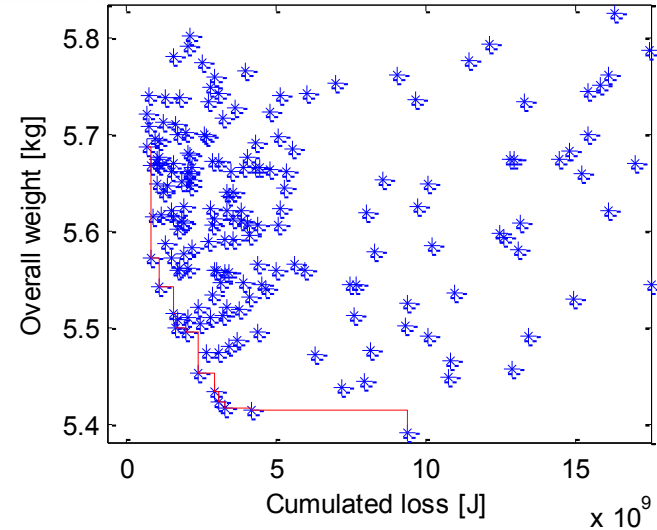


Electromagnetic simulation and optimization

- › 13 geometrical design variables
- › 3 objectives: loss, weight, torque ripple
- › Drive cycle and technical constraints
- › Coupled ANSYS Maxwell - MATLAB framework



R&D activities

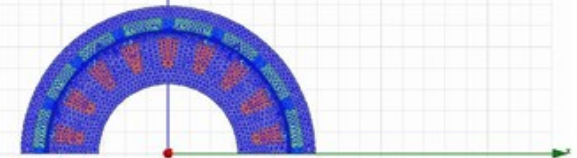


Pareto front in the design space

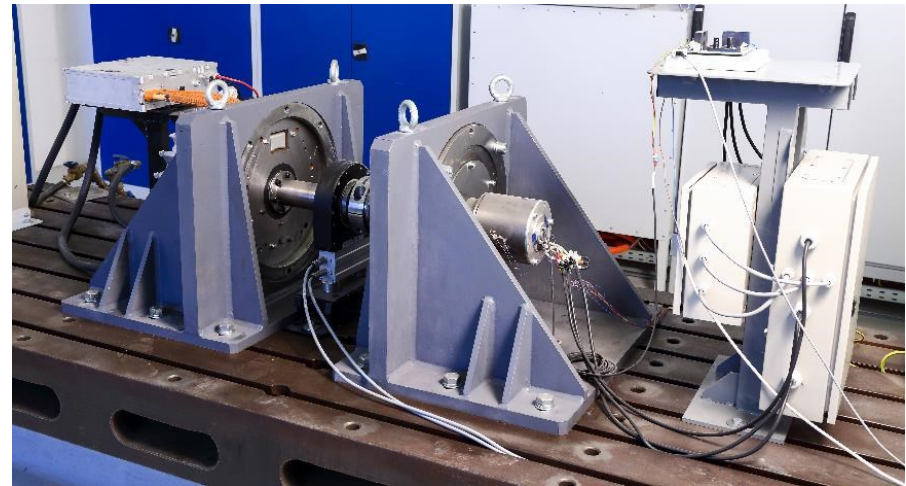
Pareto instances

CumulatedLoss 31461.88 J
TrqRipple 1.0124 %
MotorMass 4.9911 kg
CopperLoss (8 Nm) 36.8403 W
CoreLoss (8 Nm) 1.9957 W
CoreLoss (0 Nm) 1.9656 W
RunTime 332.5916 s

tooth_tang_gap 004.2340 mm
rotor_length 048.2632 mm
slot_depth 013.9646 mm
airgap 002.2705 mm
magnet_thick 004.8059 mm
magnet_embraze 000.7362 mm
tooth_tang_depth 001.4728 mm
wire_d 000.5000 mm
turns 018.0000
rotor_outer_d 138.0448 mm
rotor_inner_d 065.2945 mm
slot_outer_l 008.8908 mm
slot_inner_l 004.3620 mm
wires_of_conductors 007.0000
fill_factor 007.6291 %



› Test benches



› Test mule vehicles



AUTONÓM JÁRMŰVEL KAPCSOLATOS K+F - JKK



SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM



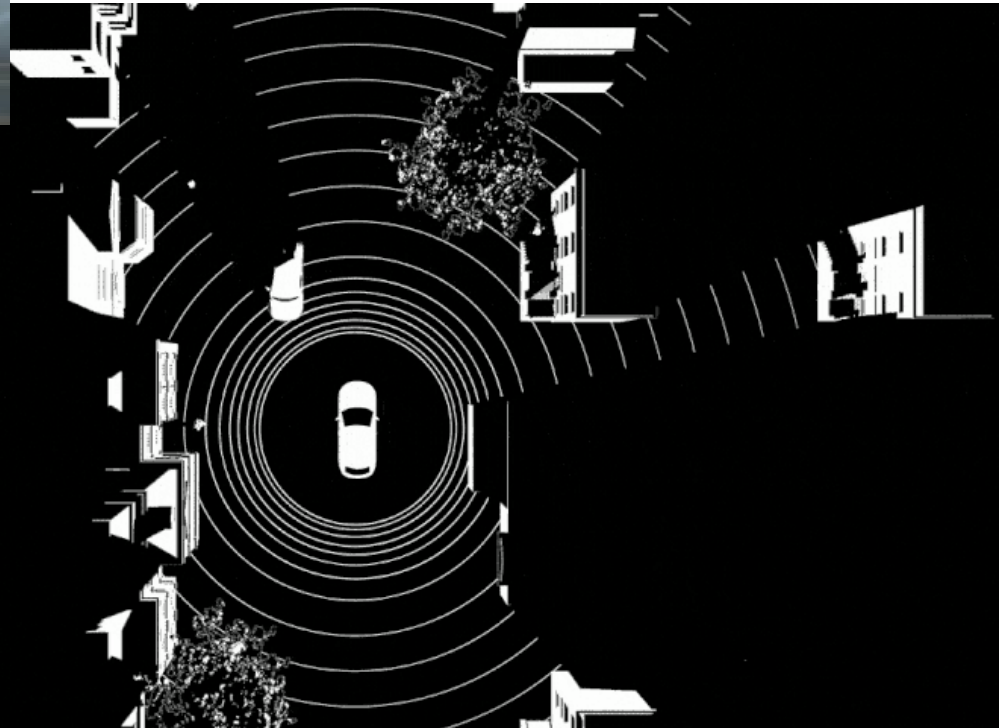
JÁRMŰIPARI KUTATÓKÖZPONT
RESEARCH CENTER OF VEHICLE INDUSTRY

BEVEZETŐ GONDOLATOK – „EGYÜTT JOBB”

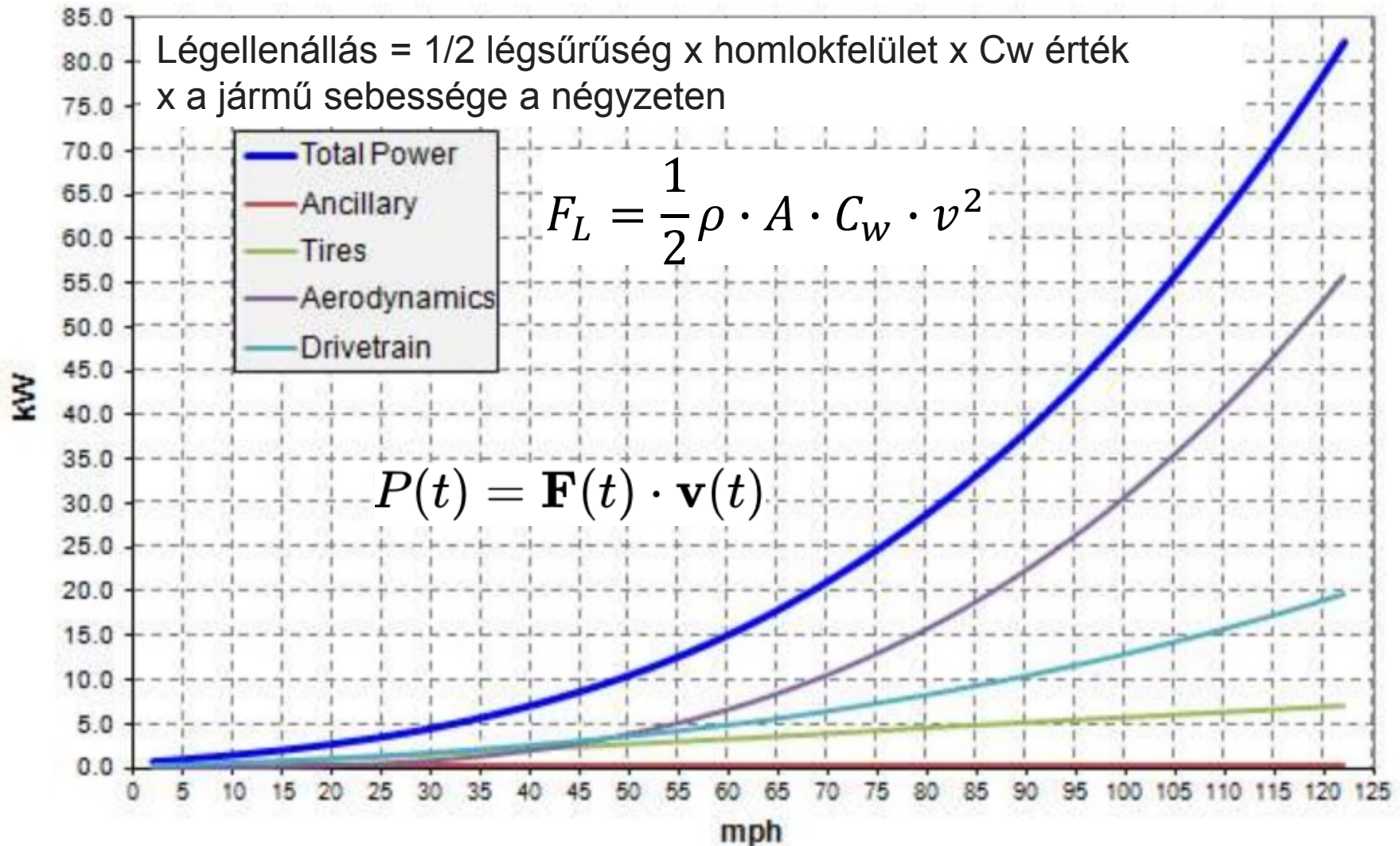


Villamos meghajtású jármű

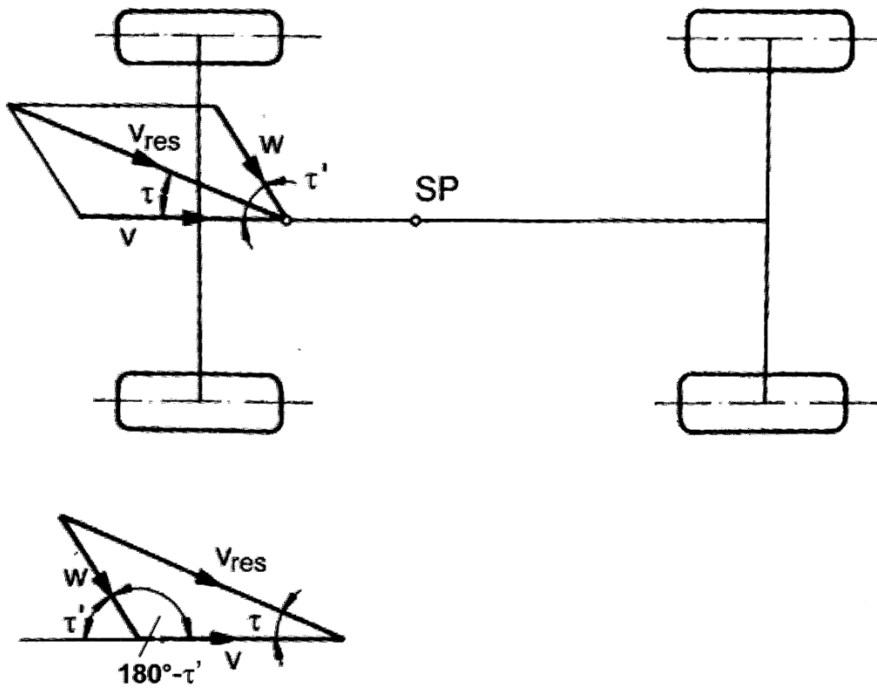
Autonóm jármű



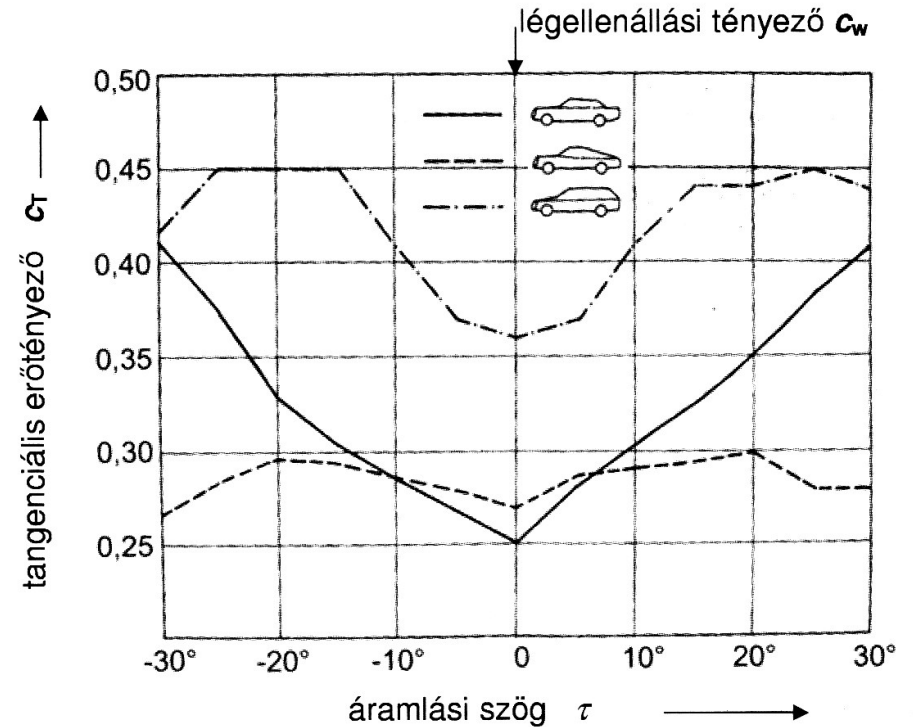
A LÉGELLENÁLLÁS ÉS A SEBESSÉG



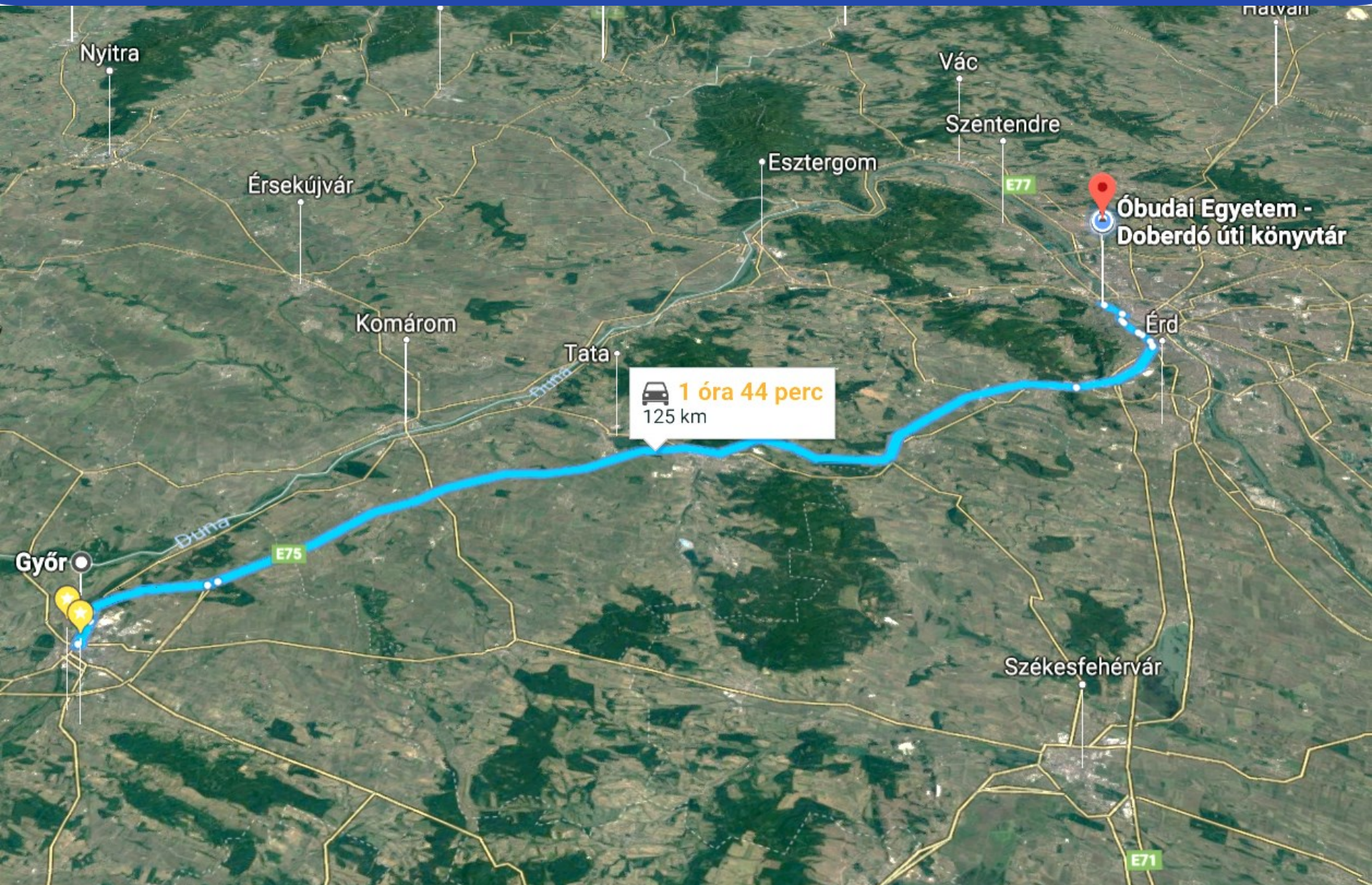
BEVEZETŐ GONDOLATOK



$w = \text{oldalszél}$



SEBESSÉGPROFIL AZ ÚTON



FEJLESZTÉS „SAJÁT” JÁRMŰVEL

A fejlesztett módszer megbízhatóan becsüli a külső terheléseket, amik kölcsönhatásba lépnek a járművel. A szabályozó alkalmazkodik a változásokhoz, így garantálja a minimális energiafogyasztást.



2 üzemmód:

- » Terhelésfüggő ciklusvezérlés: 28 km/h átlagsebesség tartása
- » Automatikus indításvezérlés: 0 km/h-ról 29 km/h-ra való gyorsítás

MUNKAFOLYAMAT

1. A jármű menetellenállásának mérése, PMSM és motorvezérlő együttes hatásfokmezőjének mérése és feldolgozása
2. Szimulációs modell létrehozása (IPG CarMaker, AVL CRUISE)
3. Egyszerűsített hajtáslánc modell MATLAB Simulink-ban
4. Interfész létrehozása az egyszerűsített hajtásláncmodell és a MATLAB optimalizációs toolkit között
5. Optimalizációs folyamatok végrehajtása és az eredmények validálása
6. Az eredmények implementálása a jármű beágyazott-rendszerébe
7. Mérések elvégzése a valós környezetben
8. Eredmények kiértékelése

Kigurulásos mérések

- A járművet 35 km/h sebességre gyorsítottuk, majd szabadon kigurítottuk
- A nehezen számítható erőkomponenseket meghatároztuk (pl.: légellenállási együttható - CFD vizsgálatok validálása)

$$F_{Air\ resistance} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2$$

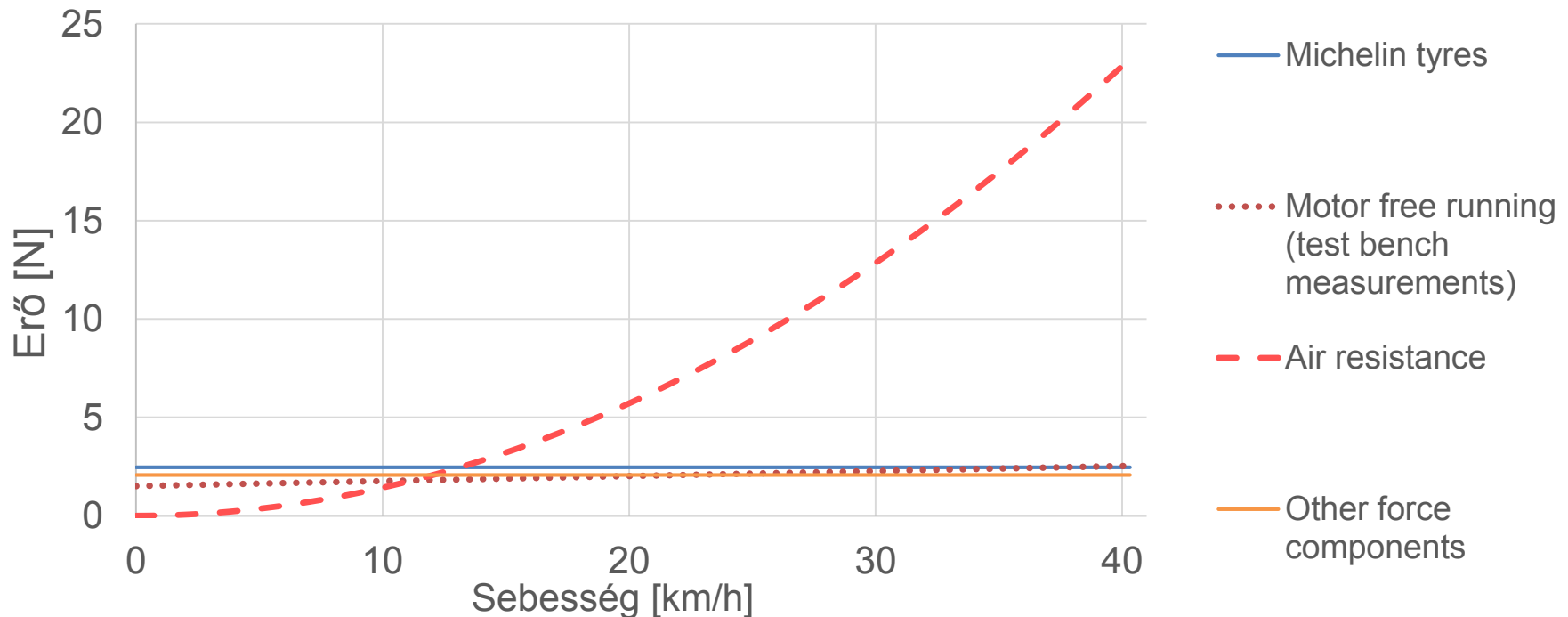
$F_{Air\ resistance}$	- légellenállási erő [N]
ρ	- a közeg sűrűsége [kg/m^3]
C_d	- légellenállási együttható
A	- frontfelület mérete [m^2]
v	- járműsebesség [m/s]

MODELLIDENTIFIKÁCIÓS MÉRÉSEK

Kigurulásos mérések

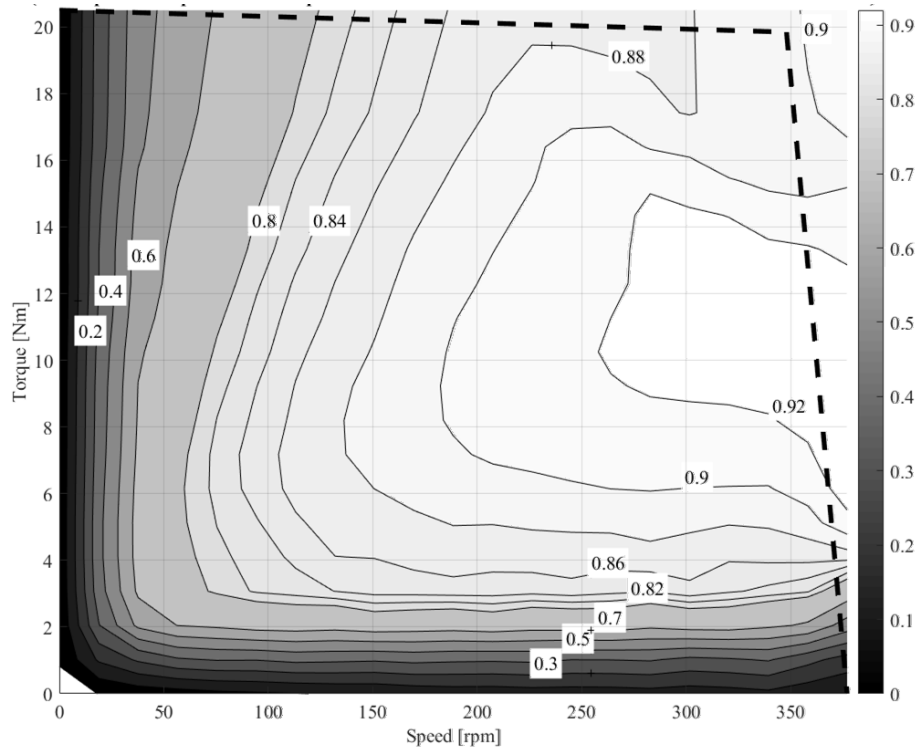
$$F_{\text{légellenállás}} + F_{\text{gördülési ellenállás}} + F_{\text{Motor szabadonfutás}} + F_{\text{identifikált erőkomponens}} = m a$$

Menetellenállás erőkomponensek – SZElectricity 2015

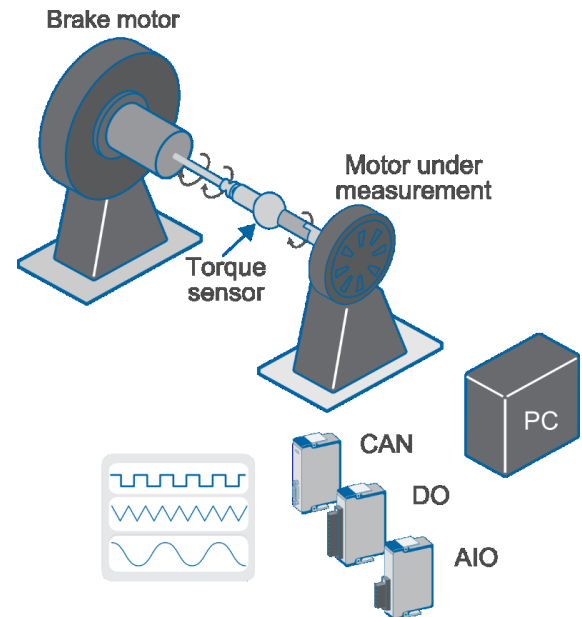


MODELLIDENTIFIKÁCIÓS MÉRÉSEK

A PMSM és motorvezérlő együttes hatásfokmezője 43V-on; az elérhető munkapontok a szaggatott vonalon belül vannak

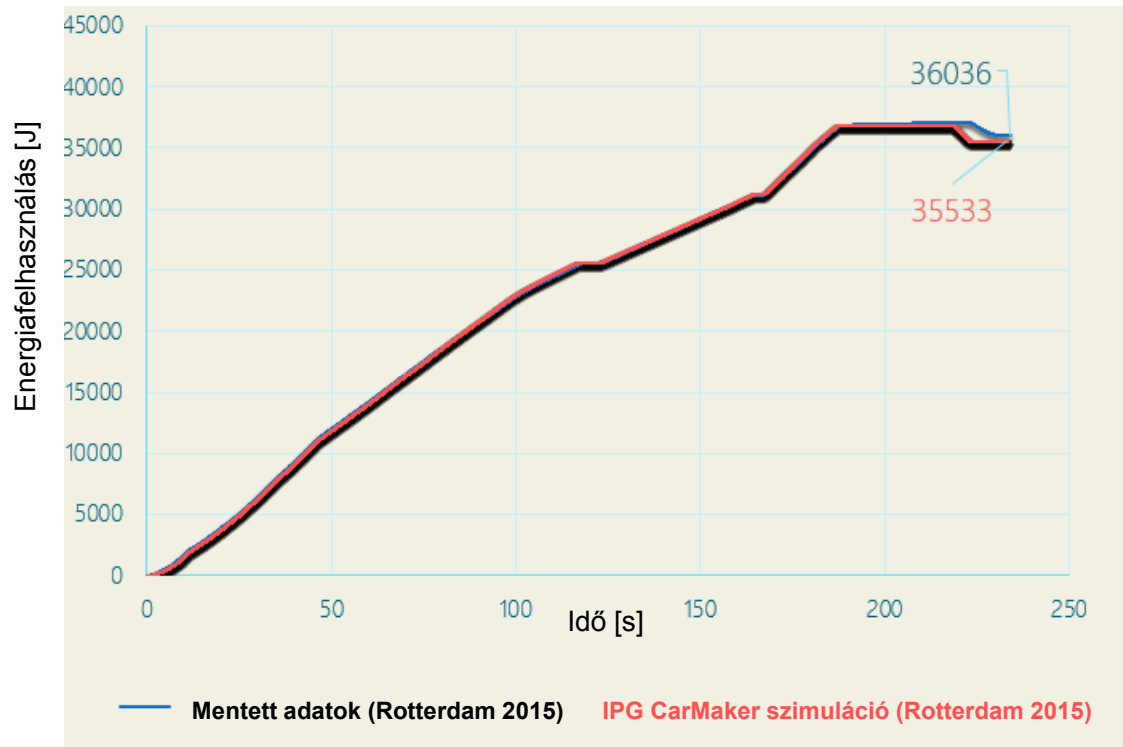


A motor munkaterét - teljesen automatikusan - egy saját fejlesztésű rendszer állította elő, értékelte ki



JÁRMŰSZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK

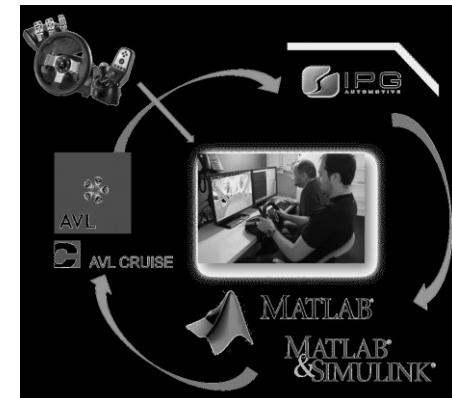
Energiafelhasználás – Mentett adatok vs. szimuláció (2015)



IPG CarMaker – teljes járműmodell

AVL CRUISE – hajtásláncmodell

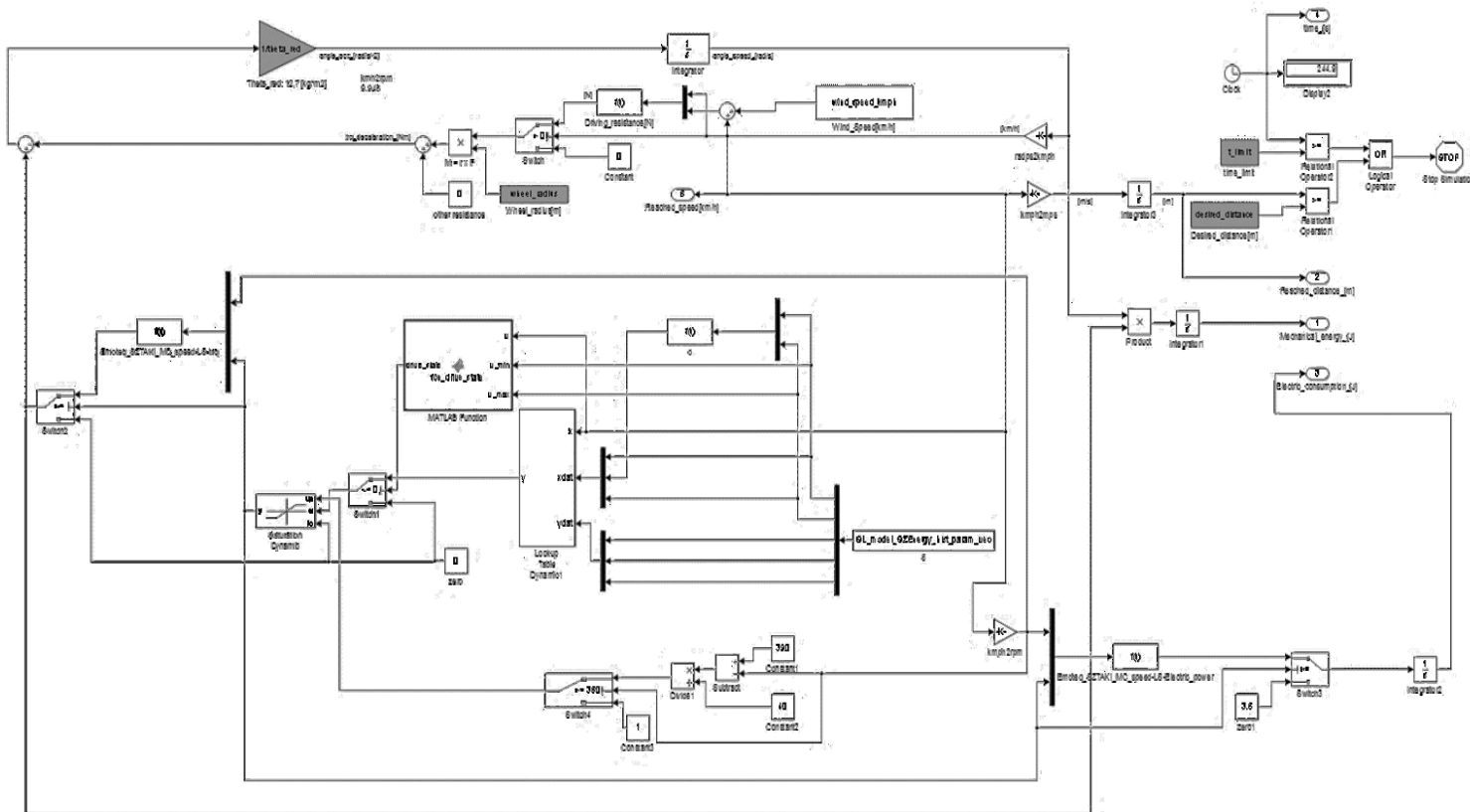
MATLAB Simulink – egyszerűsített hajtásláncmodell



A mérések eredményei alapján egy teljes járműmodellt és környezetmodellt valósítottunk meg az IPG CarMaker és az AVL CRUISE szimulációs programokban.

JÁRMŰSZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK

Egyszerűsített hajtáslánckmodell



- Függetlenül működő járműmodell
- A modell úgy lett kialakítva, hogy könnyen csatolni tudjuk a MATLAB Optimalizációs Toolbox-ához. Ezt a modellt felhasználva vált lehetőség a két járművezérlő funkció megvalósítására.

OPTIMALIZÁCIÓ

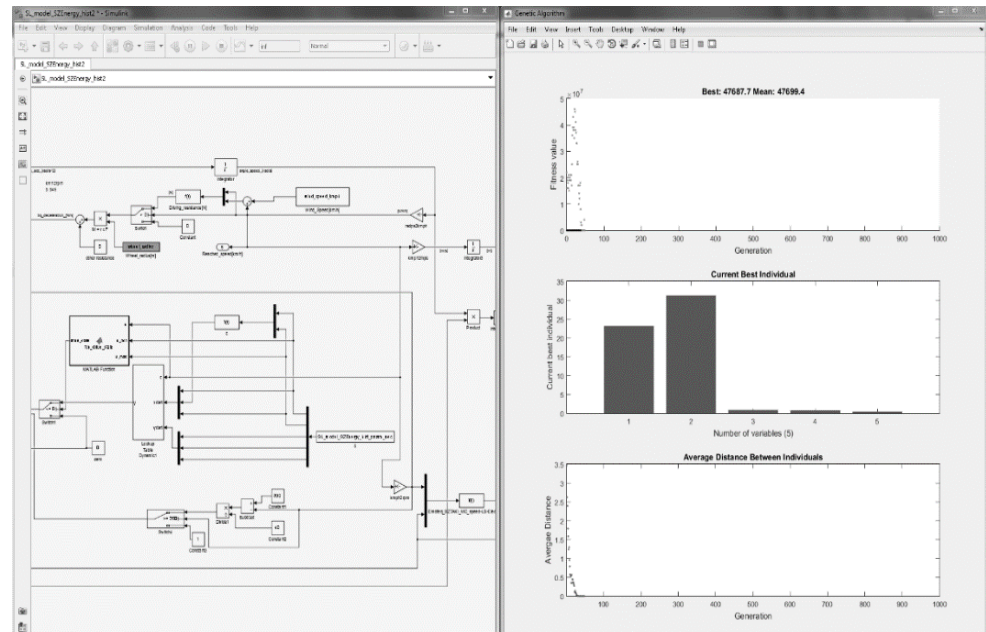
Az optimalizációs folyamatot mindkét járműüzemre elvégeztük. Optimalizálási módszerként genetikai algoritmusokat (GA) használtunk, amit MATLAB környezetben valósítottunk meg.

Paramétervektor a rajtautomatika megvalósítására:

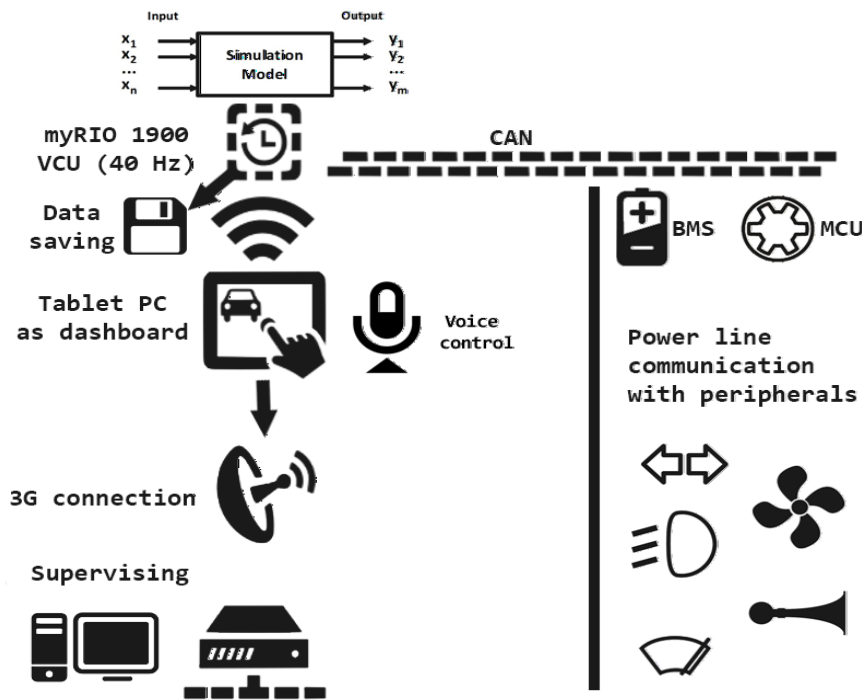
$paramvectorstart(LoadSignal0rpm, LoadSignal20rpm, LoadSignal40rpm, LoadSignal60rpm, LoadSignal80rpm, LoadSignal100rpm, LoadSignal150rpm, LoadSignal200rpm, LoadSignal250rpm, LoadSignal300rpm)$

Paramétervektor a sebességtartás megvalósítására:

$param_{vector\ cruising}(Speed_{minimum}, Speed_{maximum}, LoadSignal_{minimum_{speed}}, LoadSignal_{avarage_{speed}}, LoadSignal_{maximum_{speed}})$



AZ OPTIMALIZÁCIÓS FOLYAMAT EREDMÉNYEINEK IMPLEMENTÁLÁSA A JÁRMŰ BEÁGYAZOTT-RENDSZERÉBE



- Az energiahatékony járműüzemeltetést megvalósító algoritmusok futtatása mellett számos más funkciót is meg kellett valósítani a rendszerben.
- Hosszas fejlesztési munka után a 40Hz-es futtatási frekvencia mellett döntöttünk.
- Létre kellett hozni a járműmodellt az NI platform rendszeren is, így az optimalizációs folyamat eredményét fel tudtuk használni.

TERHELÉSBECSLÉS

A RealTime **terhelésbecslő** kimenete a *PowerFactor*: egy arányszám, amely jellemzi az aktuális teljesítményszükségletet, „1” érték jelenti a terheletlen egyenes vonalú sebességtartást.

$$\begin{aligned}P_{motor} &= M_{motor} \omega \\P_{system} &= \theta \varepsilon \omega \\P_{resistance} &= F v \\PowerFactor &= \frac{P_{motor} - P_{system}}{P_{resistance}}\end{aligned}$$

- P_{motor} - Motor mechanikai teljesítmény (polinomiális leírás, fékpadi mérések alapján)
- P_{system} - Rendszer teljesítménye (szenzoros jelekből számítva)
- $P_{resistance}$ - Jármű mentellenállása (kigurulásokból számítva, polinomiális leírás)

Ciklusvezérlés
(automata)

PowerFactor < 2,1

Folyamatos
hajtás
(manuális)

PowerFactor ≥ 2,1

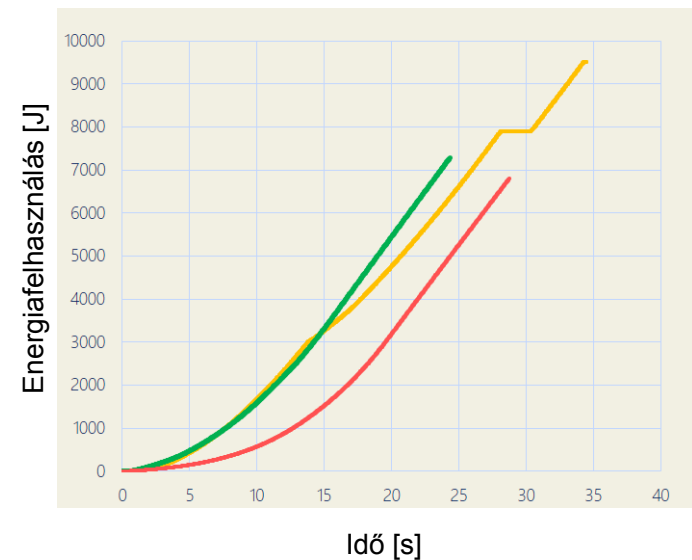
VALIDÁCIÓS MÉRÉSEK

AUTOMATIKUS INDÍTÁSVEZÉRLÉS

	Manuális	Teljes terhelés	Automatikus indításvezérlés
I. mérés	9517	7920	7366
II. mérés	8253	7292	6807
III. mérés	9337	7680	7416
Átlag:	9036	7631	7196

Energiafelhasználás [J]

Szelectricity 0-29 km/h gyorsítás



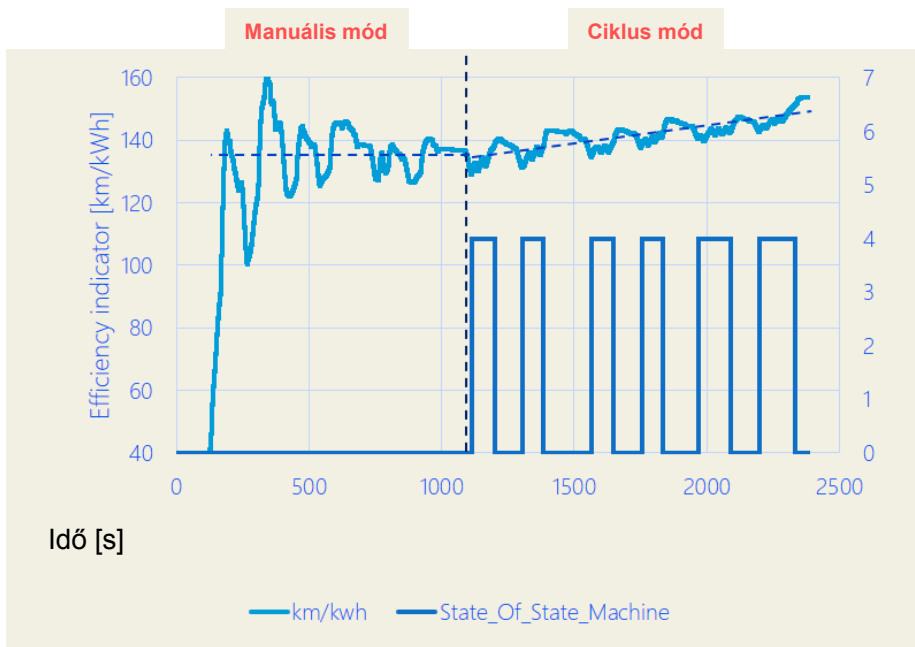
— Manuális — Teljes terhelés

— Automatikus indításvezérlés

VALIDÁCIÓS MÉRÉSEK

CIKLUSVEZÉRLÉS – 28 KM/H ÁTLAGSEBESSÉG TARTÁSA

Ciklusvezérlés teszt 2016

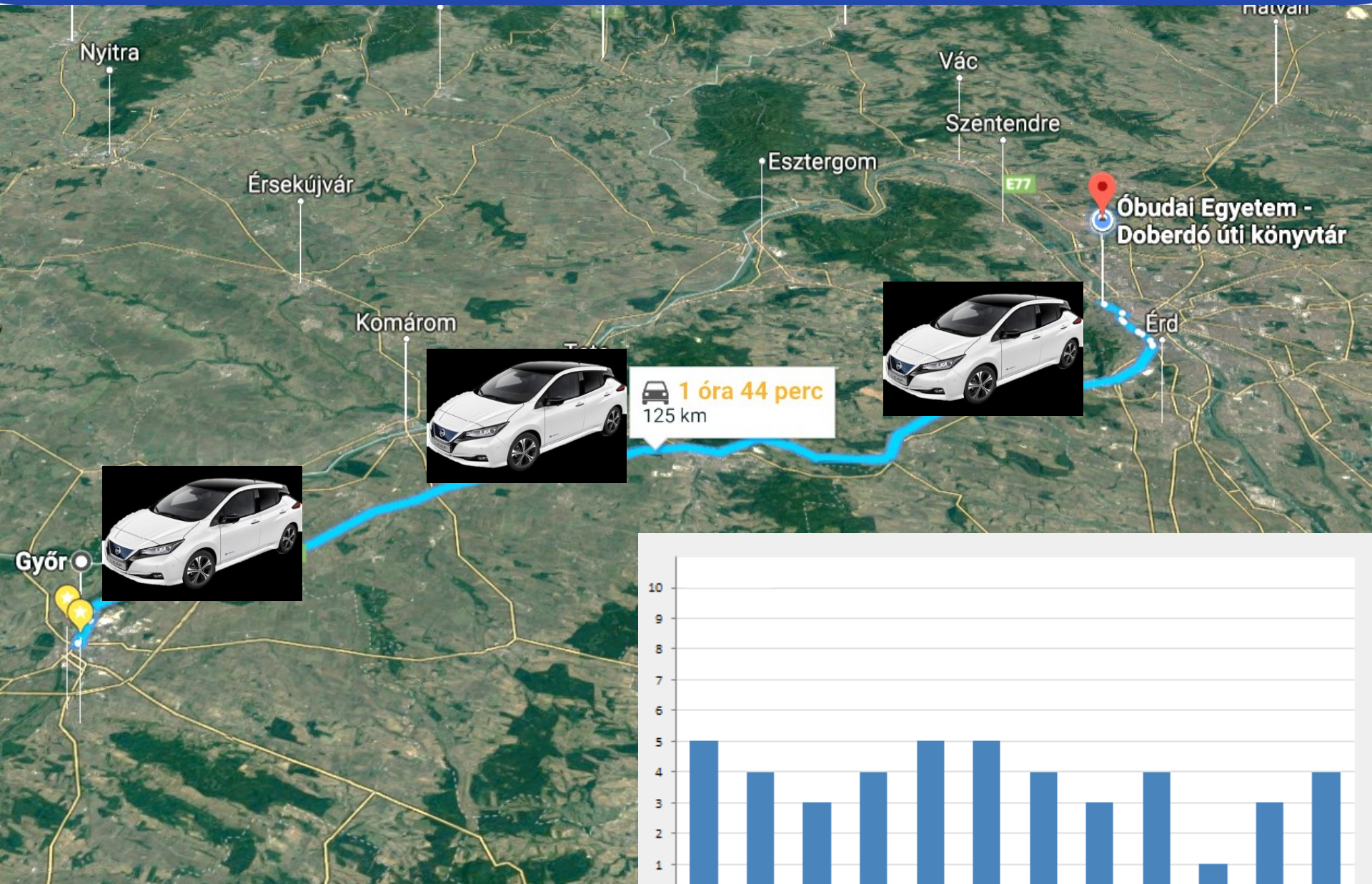


	Manuális	Ciklusvezérlés
Mérés I.	7305	5084
Mérés II.	4975	5184
Mérés III.	7172	5654
Mérés IV.	6178	5731
Mérés V.	4473	6275
Mérés VI.	6370	4390
Átlag:	6078	5386
	Energiafelhasználás [J]	

KONKLÚZIÓ

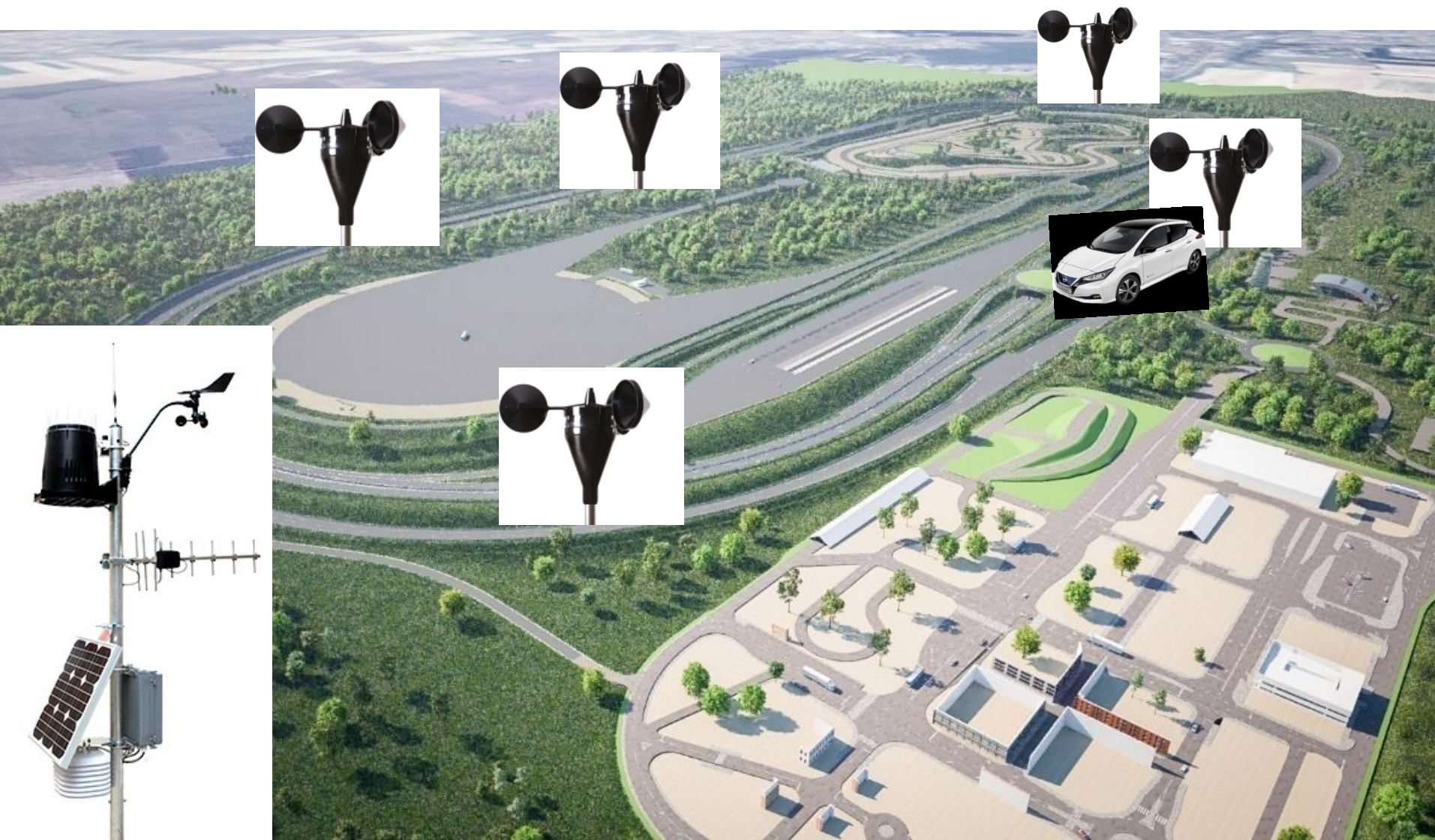
- Összességében megerősítést nyert a mérések által, hogy a két algoritmus (automatikus indításvezérlés és modell alapú ciklusvezérlés) használatával az energiahatékonysági mutató jobb eredményeket mutat és nem volt működésbéli anomália.
- Az előző éves gyorsításokkal összehasonlítva az automatikus indításvezérlés akár **17 százalékpontos** energiafogyasztás-javulást, a ciklusvezérlés pedig akár **11 százalékpontos** javulást eredményezhet.

A JÁRMŰVEK, MINT „SZENZOROK” AZ ÚTON



INFRASTRUKTÚRA

– KÖRNYEZETÉRZÉKELŐ SZENZOROK A TESZTPÁLYÁN



KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMET!



SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Strukturális
és Beruházási Alapok



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

- [1] H. Trømborg, *Control system for the DNV GL Fuel Fighter Prototype and the DNV GL Fuel Fighter UrbanConcept*, Norwegian University of Science and Technology, 2014.
- [2] K. Sternal, A. Cholewa, W. Skarka and M. Targosz, “Electric Vehicle for the Students’ Shell Eco-Marathon Competition. Design of the Car and Telemetry System,” *Telematics in the Transport Environment*, vol. 329, pp. 26-33, 2012.
- [3] E. Horváth and P. Kőrös, “Systematic approach to software related tasks in electric fuel-efficiency vehicle development,” in *IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Bratislava, 2015.