

# KÖZÚTI JÁRMŰVEKBEN ALKALMAZOTT VILLAMOS HAJTÁSOK KUTATÁSA ÉS FEJLESZTÉSE

*Varga Zoltán, Kuslits Márton*

---

Járműipari Felsőoktatási és Kutatási Együttműködés  
szekció

# A KUTATÁSOK CÉLJA ÉS HELYSZÍNE

Varga Zoltán

## Hivatás-koncepció

A kutatóintézeti aktivitás két sarokpontja a mai járműtechnikát követő legkorszerűbb tudományos-technikai színvonalhoz való felzárkózás, illetve a valós környezet technikai és felhasználói igényeinek a kielégítése a lehető legfejlettebb tudományos-technikai eszközökkel, módszerekkel.

Az alapkutatótól a kísérleti mintadarabok kifejlesztéséig terjedő kutatási tartomány igyekszik valós piaci igényeket kielégíteni és pályázati feltételeknek megfelelni.

## Hivatás-koncepció

A középpontban a járművek villamos hajtásai és az azokhoz szorosan kapcsolódó területek állnak:

- villamos motor tervezése tetszőleges helyre, körülményekre és teljesítménytartományra
- motorirányítás fejlesztése korszerű irányítási és elektronikai módszerek alkalmazásával
- központi elektronikus villamoshajtás- és járműirányítási, illetve kommunikációs rendszer fejlesztése
- egységesített, cserélhető akkumulátorcsomag fejlesztése, különböző járművek számára

Ezek alkotják a szélesebb értelemben vett járműhajtást, amelyet egységes rendszerben érdemes és szükséges fejleszteni.

## A kutatás szervezeti felépítése

- Alapkutatás munkacsoportjai:
  - Mágneses jelenségek kutatása SZE
  - Irányítás kutatás MTA SZTAKI
- Alkalmazott kutatás munkacsoportjai:
  - Motor modellezés és szimuláció
  - Elektronikus rendszerek
  - Jármű irányítás modellezés és szimuláció
- Kísérleti fejlesztés
  - Energiatároló rendszerek
  - Elektronikus és hajtástechnikai vizsgálatok
  - Elektromágneses kompatibilitás vizsgálatok
  - Jármű fejlesztés



## A kutatások helyszínei

*Széchenyi István Egyetem Győr*

*MTA Számítástechnikai és Automatizálási  
Kutatóintézet*

**Járműipari Kutató Intézet**

- Közúti és Vasúti Járművek Tanszék
- Automatizálási Tanszék
- EMC labor



**SZÉCHENYI  
ISTVÁN  
EGYETEM**



RESEARCH CENTER OF VEHICLE INDUSTRY  
FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KRAFTFAHRZEUGE

**JÁRMŰIPARI KUTATÓ KÖZPONT**

# VILLAMOSMOTOR-FEJLESZTÉS

Varga Zoltán

# Villamosmotor-fejlesztés

## Alap- és alkalmazott kutatás, kísérleti fejlesztés

- Alapkutatás: a mágneses tér kutatására irányul. A cél feladatoptimalizált villamos motorok és azok modellezésének, szimulációjának megalapozása (Kutzmann Miklós előadása)
- Alkalmazott kutatás: az alapkutatás eredményeinek alkalmazása főként járműhajtásra optimalizált motorok modellezésével és szimulációjával. Az alapkutatás eredményeinek és a gyakorlatban már használatos módszereknek, eljárásoknak összehasonlítása (Szénásy István)
- Kísérleti fejlesztés: járműhajtásra alkalmas villamos motorok gépészeti kialakításának és villamos jellemzőinek modellezése, főként külső forgórészes, állandó mágneses szinkronmotorok alkalmazásának szempontjából (Szénásy István)



## Villamos motorok alkalmazott kutatása

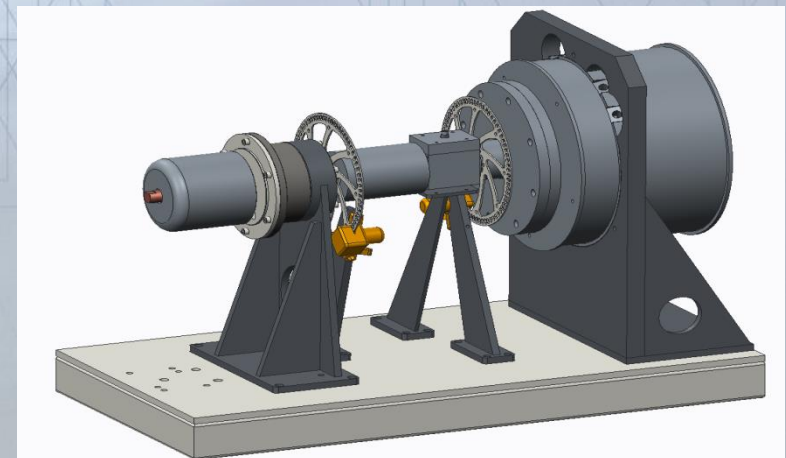
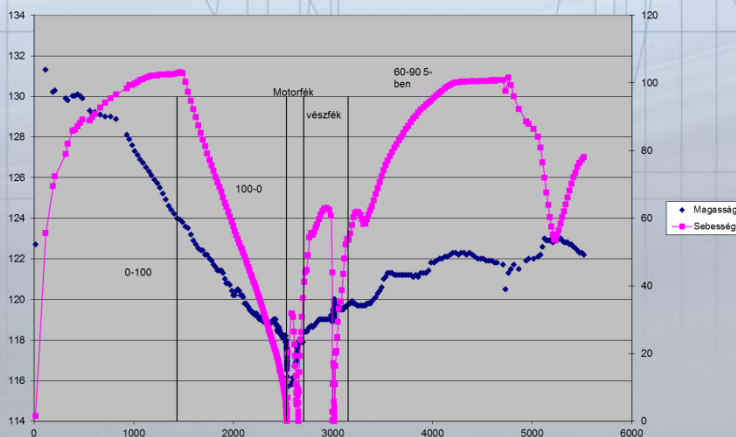
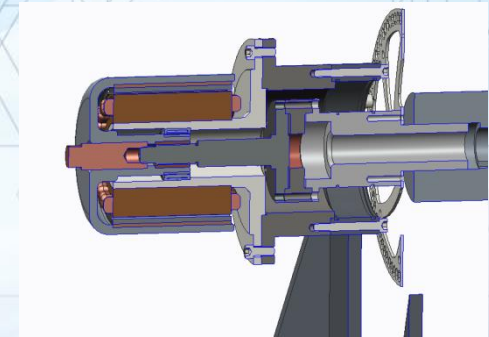
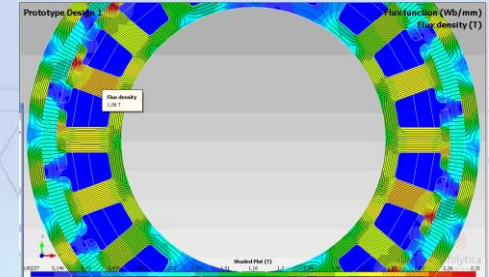
- A kutatott terület többféle járműfajta meghajtására alkalmas motorméreteket, hajtóműves vagy közvetlen meghajtásra alkalmas hajtóegységeket fog át.
- A kutatás célja hatásfok- és tömegoptimalizált, biztonságos hajtásrendszer létrehozása (PhD kutatási feladat)
  - A hatásfok- és tömegoptimalizáció a motorokra és a motor-hajtómű egységekre vonatkozik
  - A biztonságos rendszer a hajtásrendszer villamos feszültségének alacsony szinten tartását (50-100 V) jelenti (Beadás előtti szabadalom)

## Villamos motorok kísérleti fejlesztése

- 250 W teljesítményű PMS motor fejlesztése kerékpárok hajtására
- 11 kW teljesítményű PMS motor fejlesztése motorkerékpárok hajtására
- 15 kW teljesítményű PMS motor fejlesztése városi személyszállító jármű számára
- Igény szerinti kísérleti motorok fejlesztése a szimulációs eszközrendszer használatával és a gépészeti tervezés elemeinek kiterjesztésével
  - Célzott teljesítményhatárok: 40 kW személygépkocsik, 100 kW autóbuszok számára

# A villamosmotor-fejlesztés folyamata

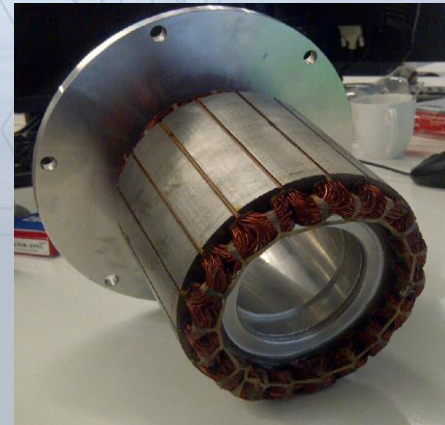
- Motor specifikáció, követelmények
- Motor szimuláció
- Gépészeti tervezés
- Kivitelezés
- Próbapadi vizsgálatok
- Járműves vizsgálatok





## Megvalósított motorok

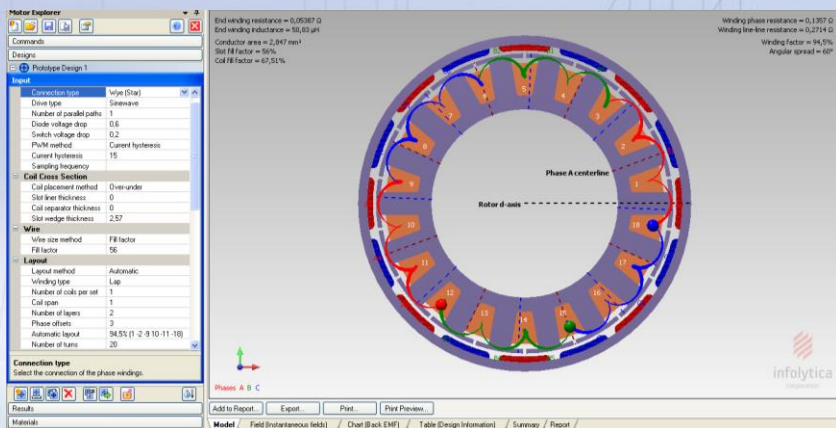
- 250 W kerékpár motor
- 11 kW motorkerékpár motor
- 15 kW járműmotor
- 30 kW járműmotor



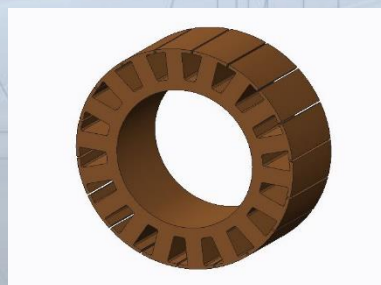
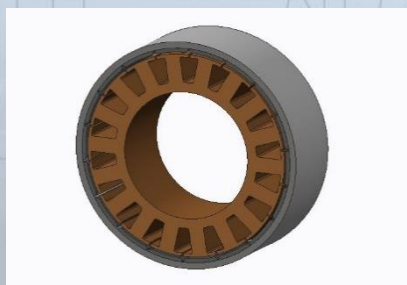


# Megvalósított motorok – 250W-os PMS motor

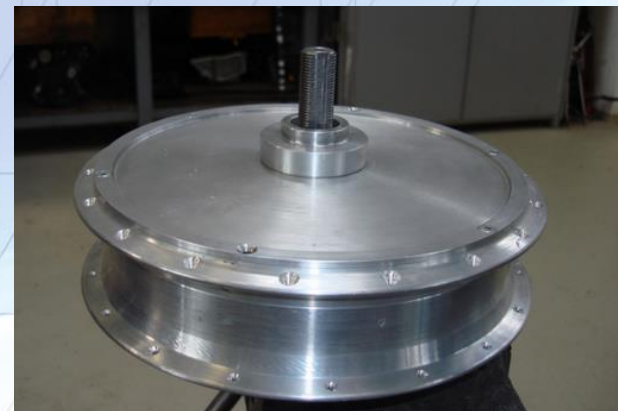
- Felhasználási terület:
  - Elektromos kerékpár



Tervezési fázis



A tekercsház és a mágnesgyűrű CAD rajza



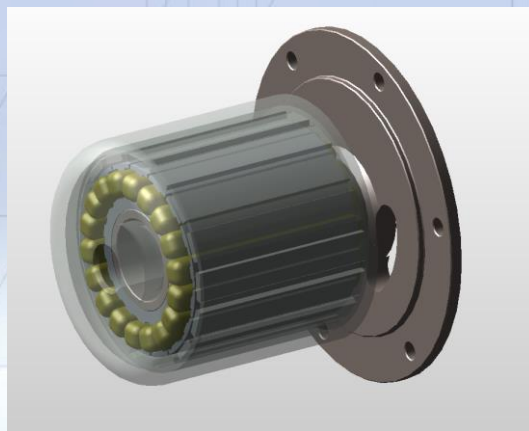
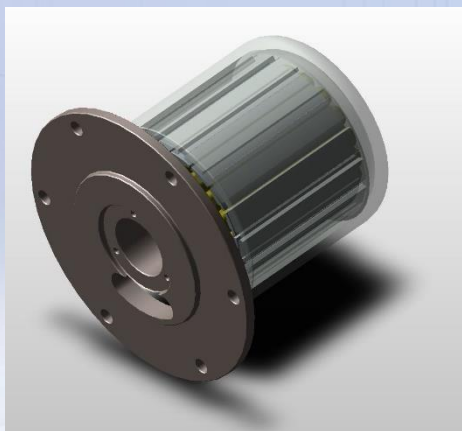
Megvalósult egység



Tesztperiódus a padon

# Megvalósított motorok – 11 KW-os PMS motor

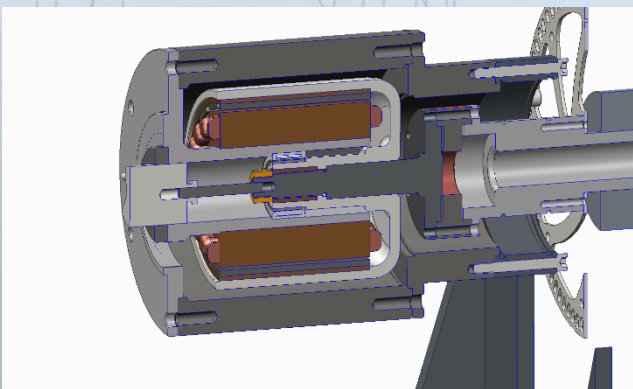
- Felhasználási terület:
  - Elektromos motorkerékpár



CAD modell



Tesztelés a próbapadon



A próbapadra való illesztés terve

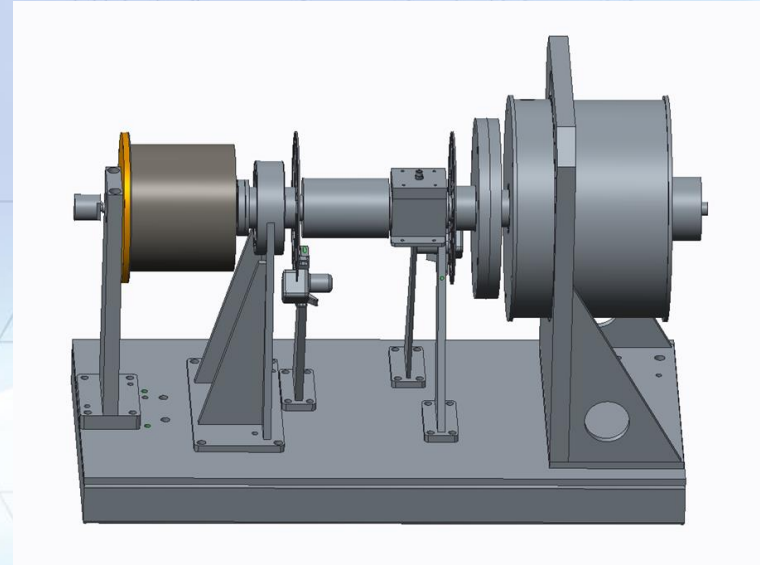
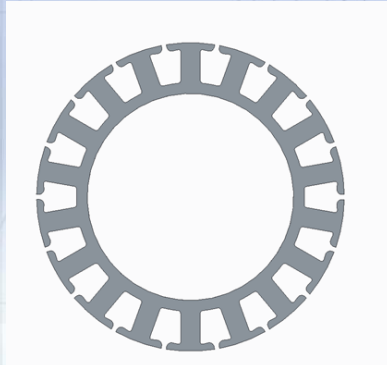
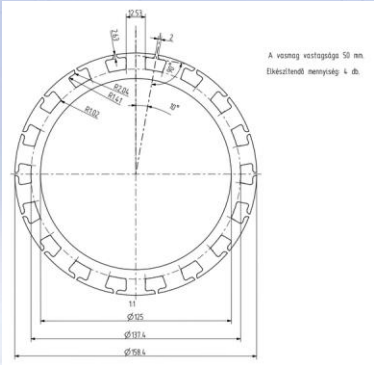


A legyártott alkatrészek



# Megvalósított motorok - 15KW-os PMS motor

- Alkalmazási terület:
  - Városi kisautó

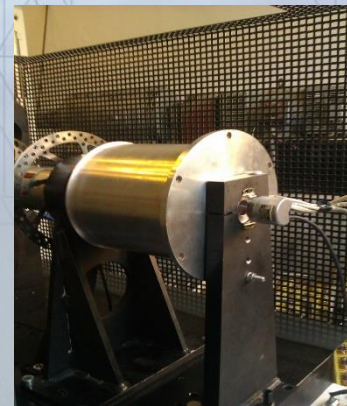


Tervezési szakasz, méretek és alakok meghatározása

A padra való illesztés terve



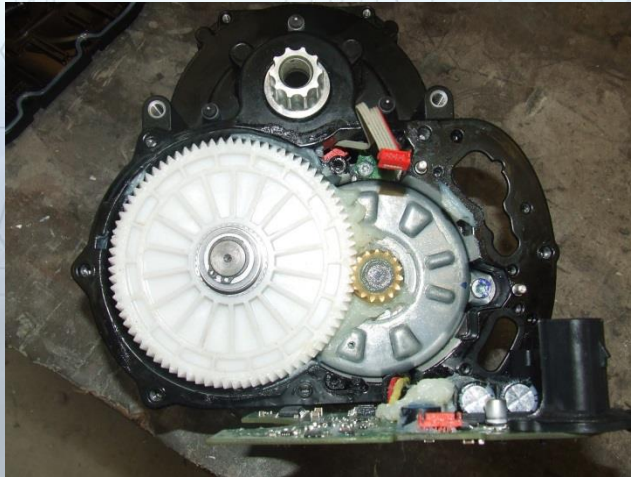
A motor összeszerelése



Tesztüzem a próbapadon

## Különleges motor megoldások kutatása

- Ferrit mágneses motor szimuláció
  - Gyártható konstrukció keresése
  - Felkészülés a neodymbium nélküli világra
- Pedál generátor konstrukciók kutatása
  - Mechanikus transzmisszió helyettesítése





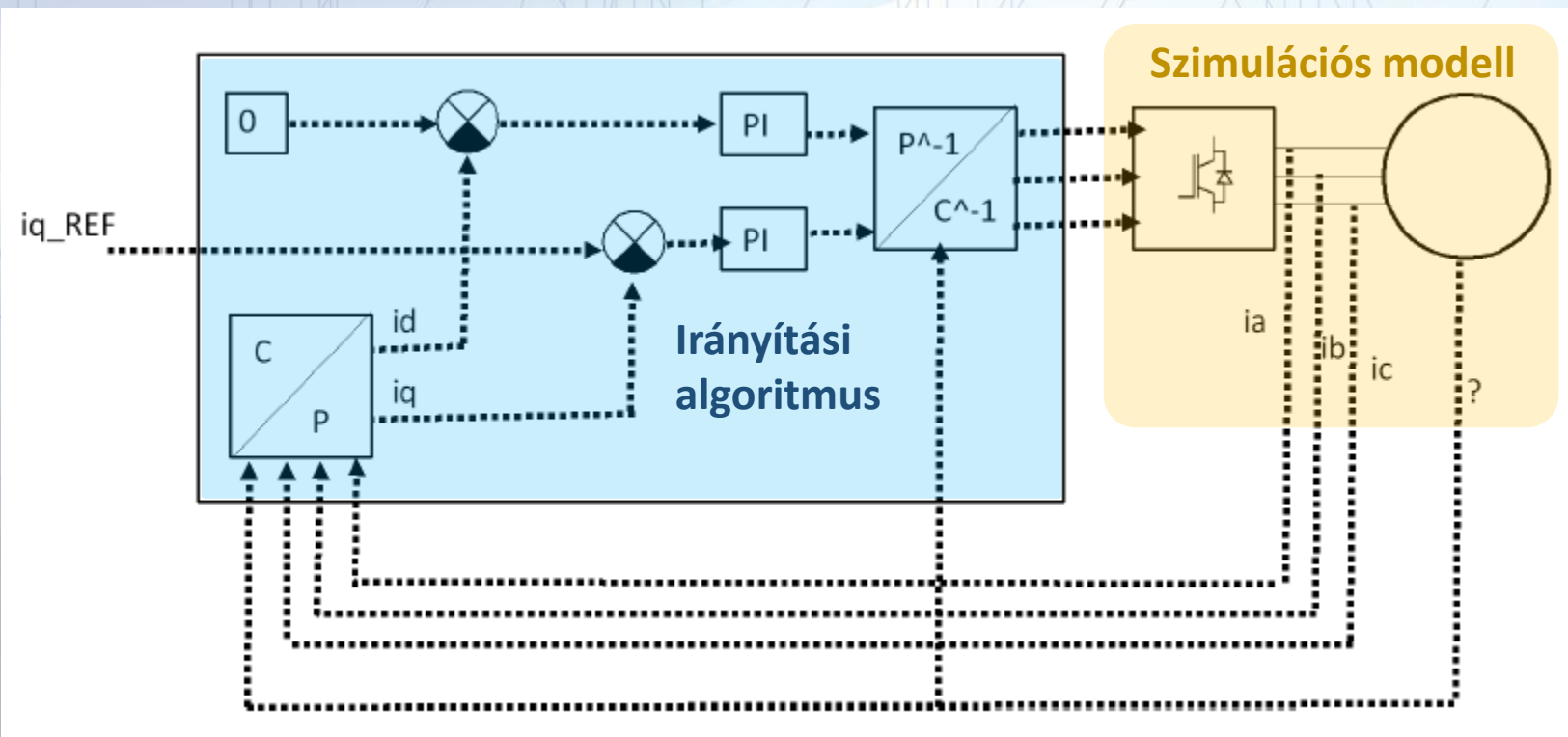
# VILLAMOSMOTOR-IRÁNYÍTÁS FEJLESZTÉSE

Kuslits Márton

- Motorszabályozás fejlesztése szimulációs környezetben. Alap kutatás: Sumelidis Alexandros-Bakos Ádám előadása
- Motorszabályozás fejlesztése szimulációs környezetben. Alkalmazott kutatás: Kuslits Márton
- Univerzális, minden saját fejlesztésű motor számára használható irányítórendszer (hardver és szoftver) fejlesztése (Kuslits Márton, Lovas Szilárd)
- Modulárisan illeszthető teljesítményelektronika fejlesztése a motorok teljesítményszintjeinek megfelelően (Szeli Zoltán)

# PMS motor irányítási algoritmusának fejlesztése szimulációs környezetben

- A PMS motor irányítási rendszere a motor áramszabályozásán alapul
- Az irányítási algoritmus kiegészítő elemeket is tartalmaz, pl.:
  - áramreferencia meghatározása
  - túláramvédelem
  - nyomaték becslése
  - stb.



# PMS motor irányítási algoritmusának fejlesztése szimulációs környezetben

- A PMS motor irányítási rendszerének fejlesztéséhez alkalmazott szimulációs modell a motor csatolt villamos-dinamikai modellje (MATLAB/Simulink környezetben megvalósítva)

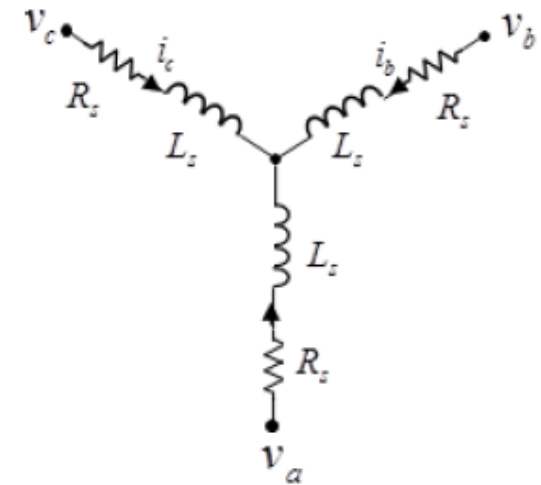
Áramegyenlet:

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d\Psi_a}{dt} \\ \frac{d\Psi_b}{dt} \\ \frac{d\Psi_c}{dt} \end{bmatrix}$$

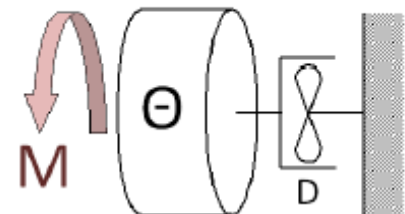
Dinamikai egyenlet:

$$-D\dot{\phi} + M = \Theta\ddot{\phi}$$

Villamos modell:



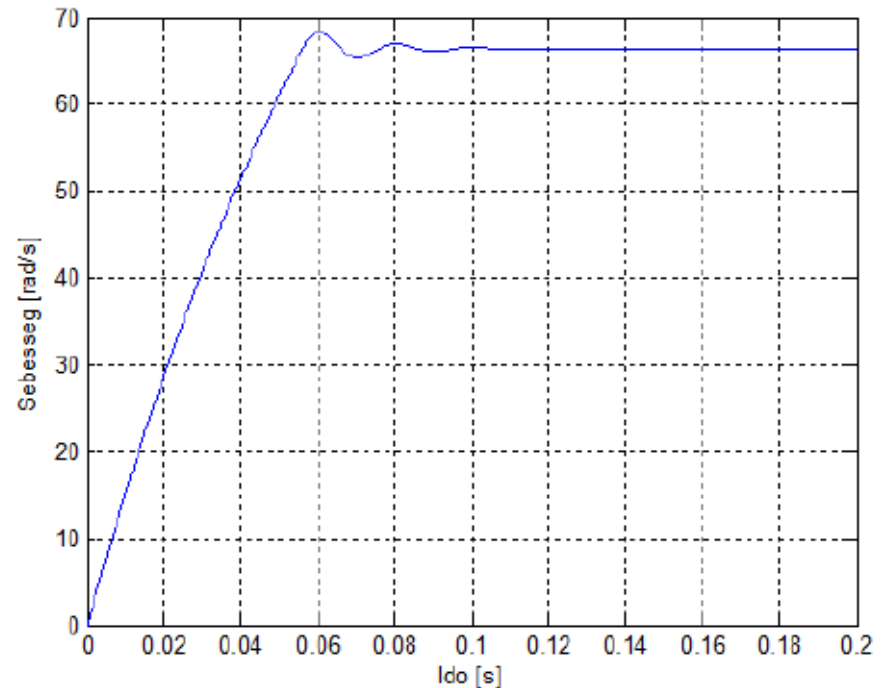
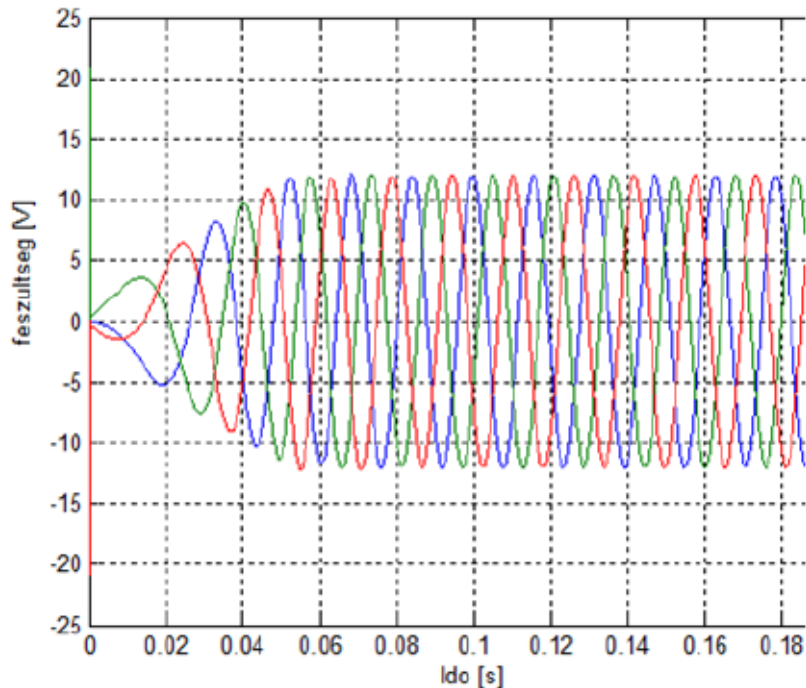
Dinamikai modell:





# PMS motor irányítási algoritmusának fejlesztése szimulációs környezetben

- Az irányítási algoritmus a szimulációs modellhez hasonlóan MATLAB/Simulink környezetben van megvalósítva, egyszerűsítendő a kapcsolatot a szimulációs modellel
- A Szimulációs környezetben vizsgálható az irányítási algoritmus és a motor együttes viselkedése
- Példa: indulási folyamat

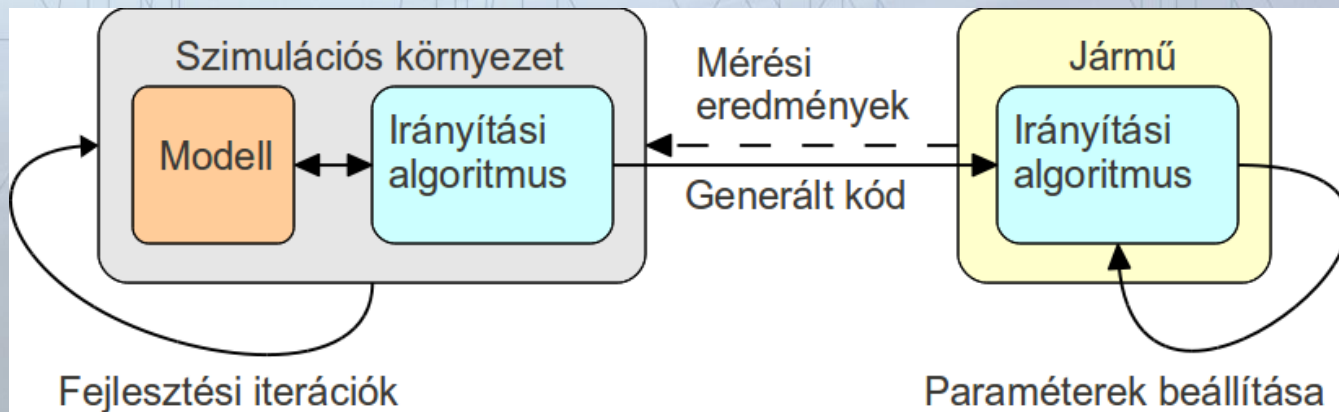


# JÁRMŰIRÁNYÍTÁS-FEJLESZTÉS SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZETBEN

Kuslits Márton

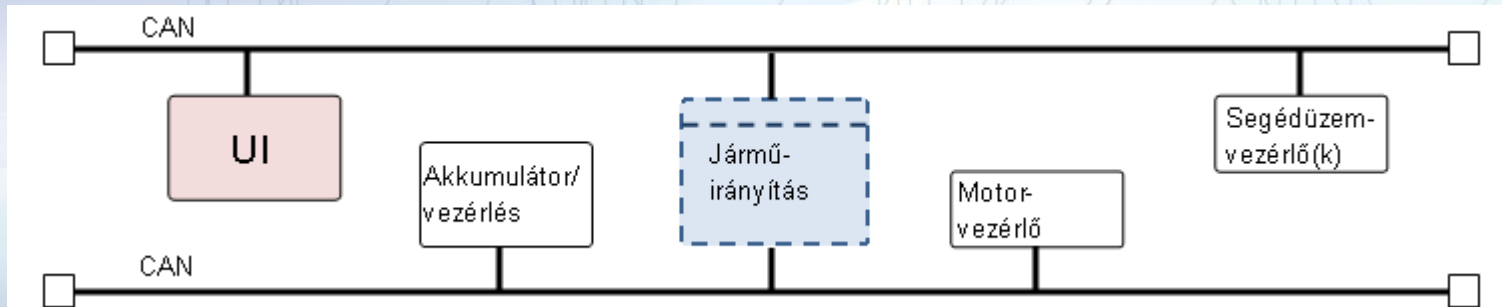
# Irányítási rendszerek fejlesztése szimulációs környezetben

- Alkalmazási területek:
  - központi járműirányítási rendszer (VCU)
  - villamos motorok vezérlőegységei (MCU)
  - egyéb irányítórendszerek (tesztberendezések, perifériavezérlők, stb.)
- A szimulációs környezet alkalmazása lehetővé teszi:
  - a fejlesztésre fordított idő csökkentését
  - a fejlesztési költségek csökkentését
  - automatizált módszerek alkalmazását (pl. formális optimalizáció)
  - a konzisztencia biztosítását a tervezés és a megvalósítás között



# Központi járműirányítási rendszer fejlesztése szimulációs környezetben

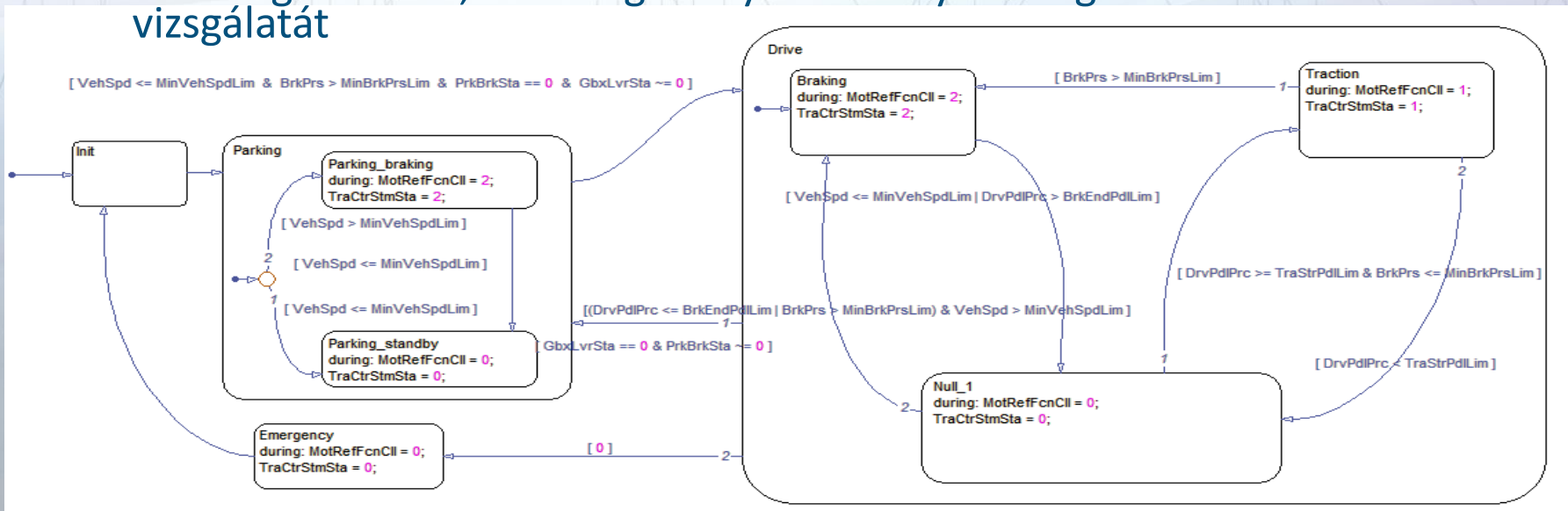
- A központi járműirányítási rendszer:
  - felügyeli és összehangolja az alrendszerek működését
  - kapcsolatot biztosít a kezelőszervek és a hajtásért felelős alrendszerek között





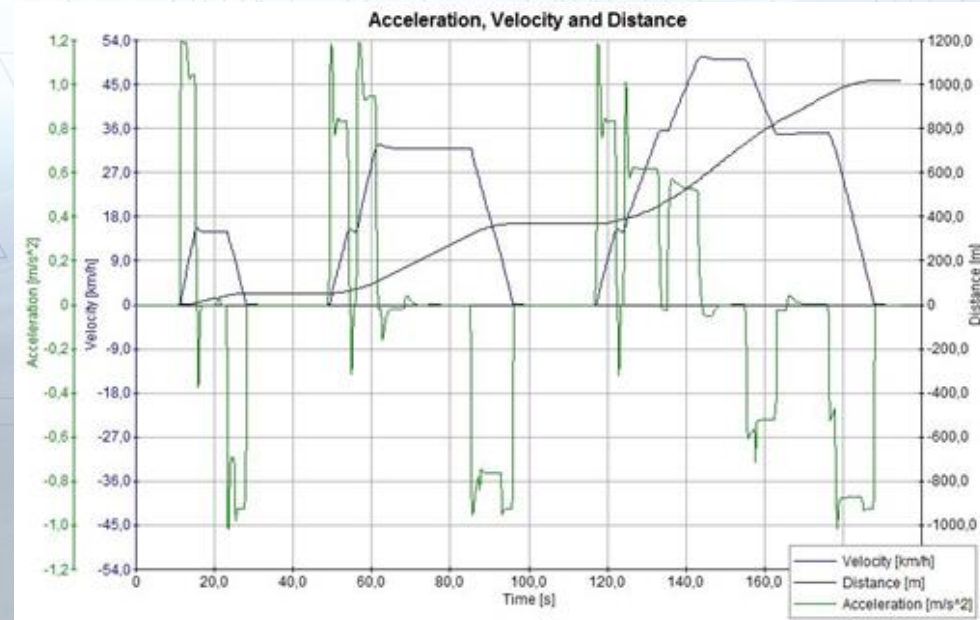
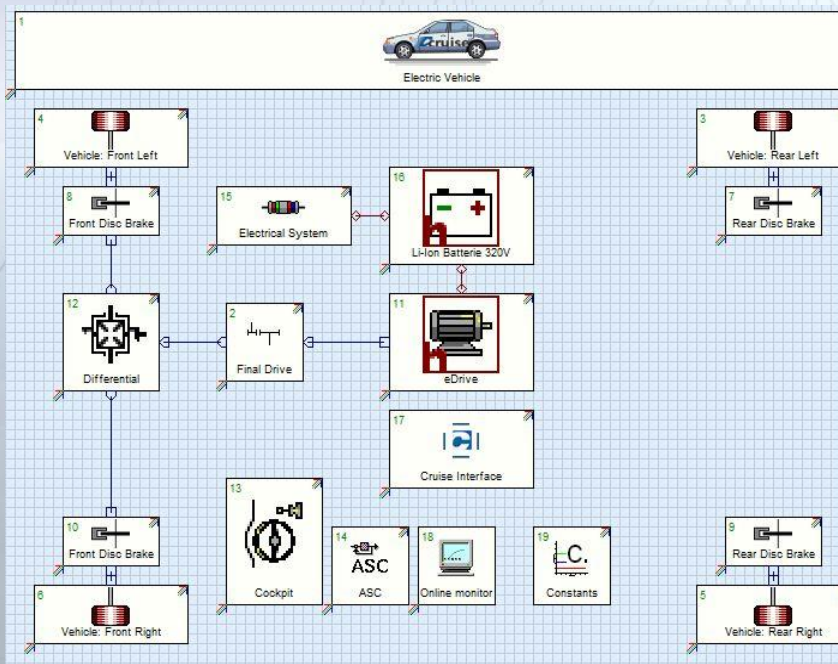
# Központi járműirányítási rendszer fejlesztése szimulációs környezetben

- A központi járműirányítási rendszer központi eleme a jármű-állapotgép, ami meghatározza, hogy az egyes alrendszerek hogyan működjenek a különböző üzemállapotokban, pl.:
  - a jármű elindításakor
  - álló helyzetben
  - vonóüzemben, féküzemben, vagy üresjáratban haladáskor
  - üzemzavar esetén
  - stb.
- Az irányítási algoritmus MATLAB/Simulink, ill. Stateflow környezetben van megvalósítva, ami megkönnyíti az irányítási algoritmus szimulációs vizsgálatát



# Központi járműirányítási rendszer fejlesztése szimulációs környezetben (Kuslits Márton, Kőrös Péter)

- A központi járműirányítási rendszer szimulációs vizsgálatához a szimulációs modellt a villamos hajtáslánc modellje biztosítja (AVL/CRUISE és MATLAB/Simulink környezetben megvalósítva)
- A szimulációs környezetben különböző üzemi körülmények között (pl. NEDC ciklus) vizsgálható a hajtásrendszer és az irányítási algoritmus(ok) együttes működése



# ENERGIATÁROLÓ EGYSÉG FEJLESZTÉSE JÁRMŰHAJTÁS SZÁMÁRA

Varga Zoltán

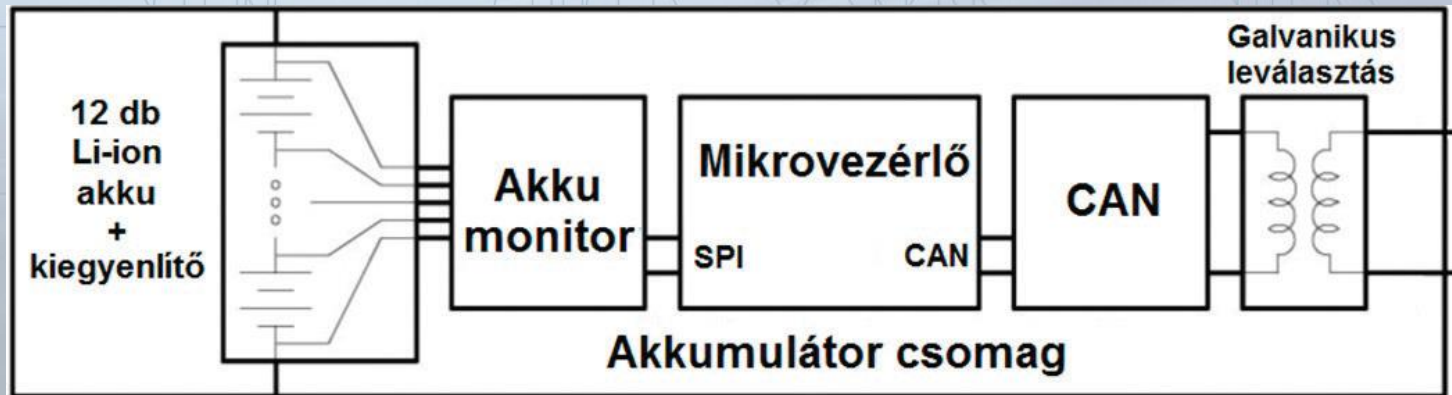
# Egységesített, kifestültségű, cserélhető lítiumakkumulátor-csomag fejlesztése járművek számára

- Lítium akkumulátorcella megválasztása
- Cellatulajdonságok specifikálása, mérése (Kőrös Péter)
- Az akkumulátorok elhelyezése: az akkumulátorcsomag fizikai kialakításának tervezése
- Az akkumulátorok hőmérsékleti problémái megoldásának a közelítése
- Töltés kiegyenlítés és töltésfelügyeleti rendszer kifejlesztése (Szelei Zoltán)



# Töltéskiegyenlítés és töltésfelügyeleti rendszer kifejlesztése

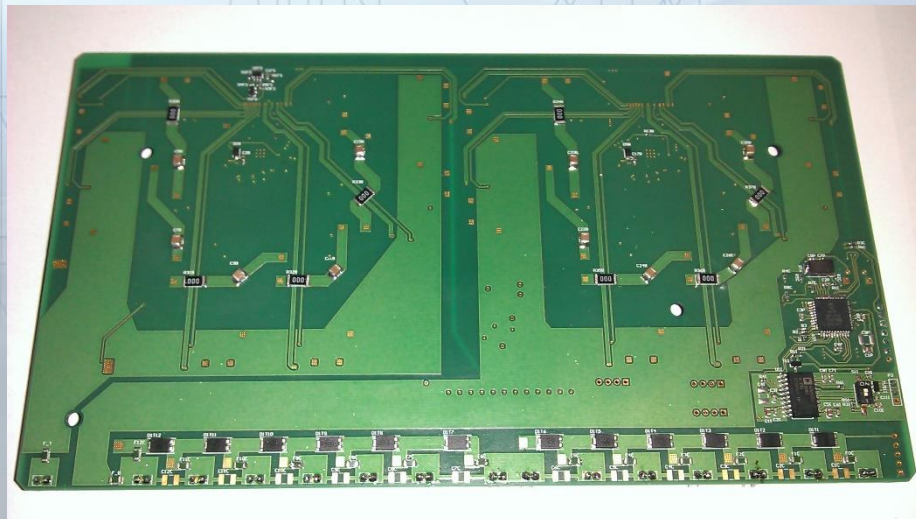
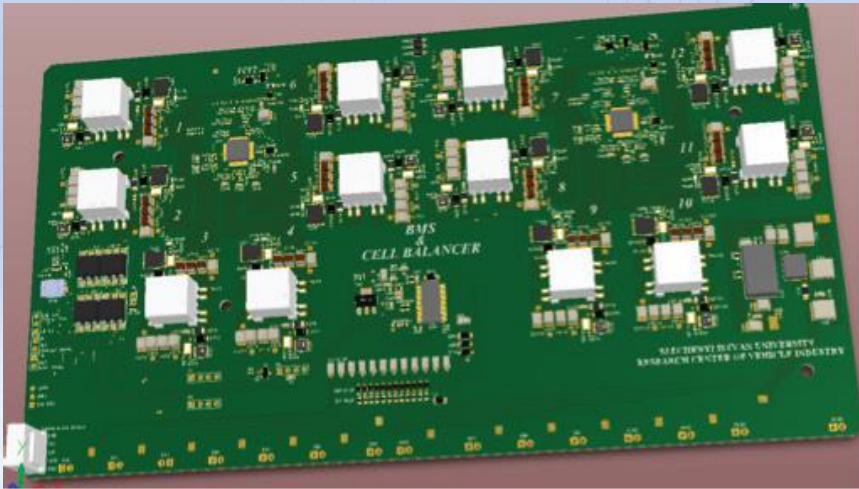
- 12 db sorba kötött lítium-ion akkumulátor cella monitorozása és kiegyenlítése
- Kétirányú aktív cellakiegyenlítés, cellából-teljes akkumulátorcsomagba
- Túlfeszültség, túlmerítés, túláram és túlmelegedés elleni védelem
- Rövidzár és szakadás detektálása a kkiegyenlítőkben
- Sorba kötött akkumulátor csomagok esetén csomagok közötti töltéskiegyenlítés
- CAN kommunikáció, vezeték nélküli kommunikációs bővítési lehetőség
- 100 $\mu$ V nagyságrendű feszültségmérés,  $\approx$ 5A kiegyenlítő áram, 290  $\mu$ s teljes mérési idő





# Töltéskiegyenlítés és töltésfelügyeleti rendszer kifejlesztése

- 3D terv és az elkészült BMS

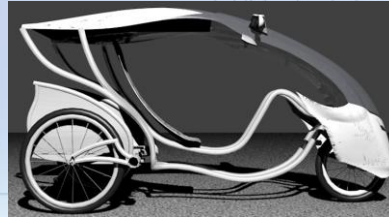


## Az egységesített energiatároló rendszer elem

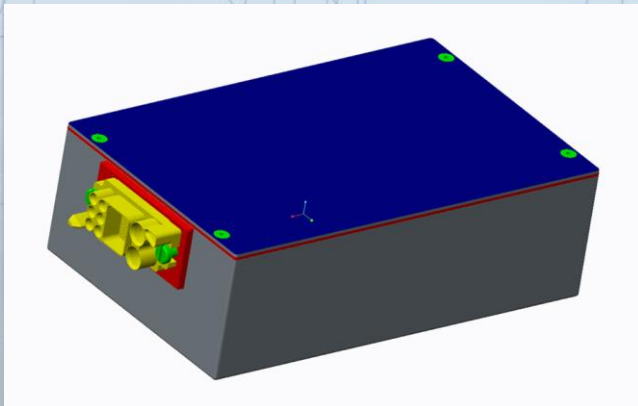
Városi autó



Tricikli



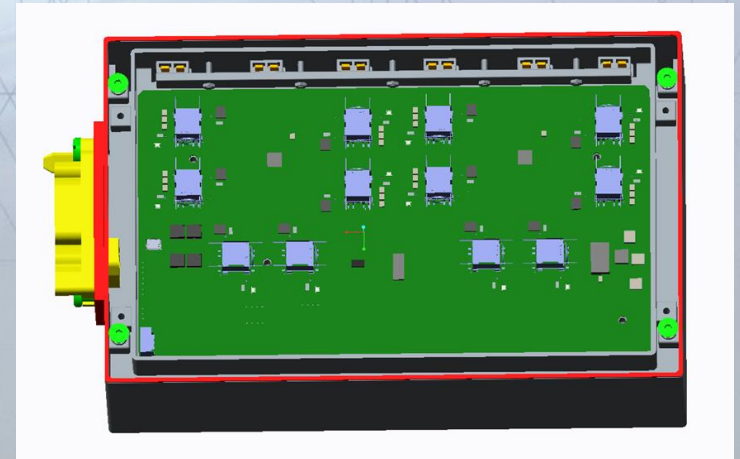
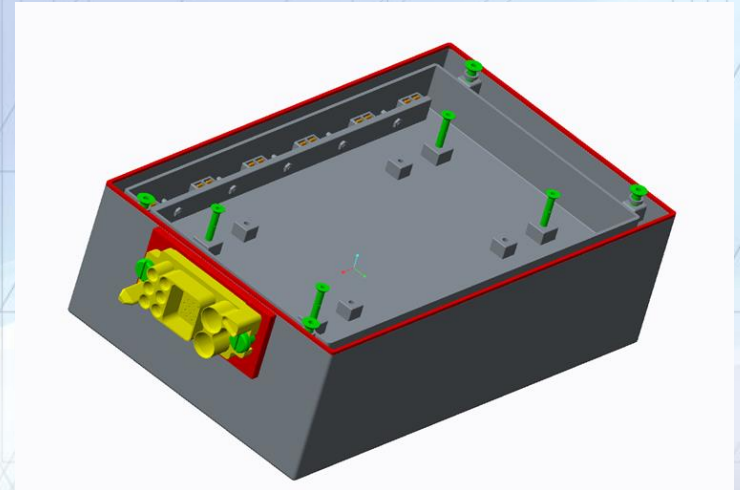
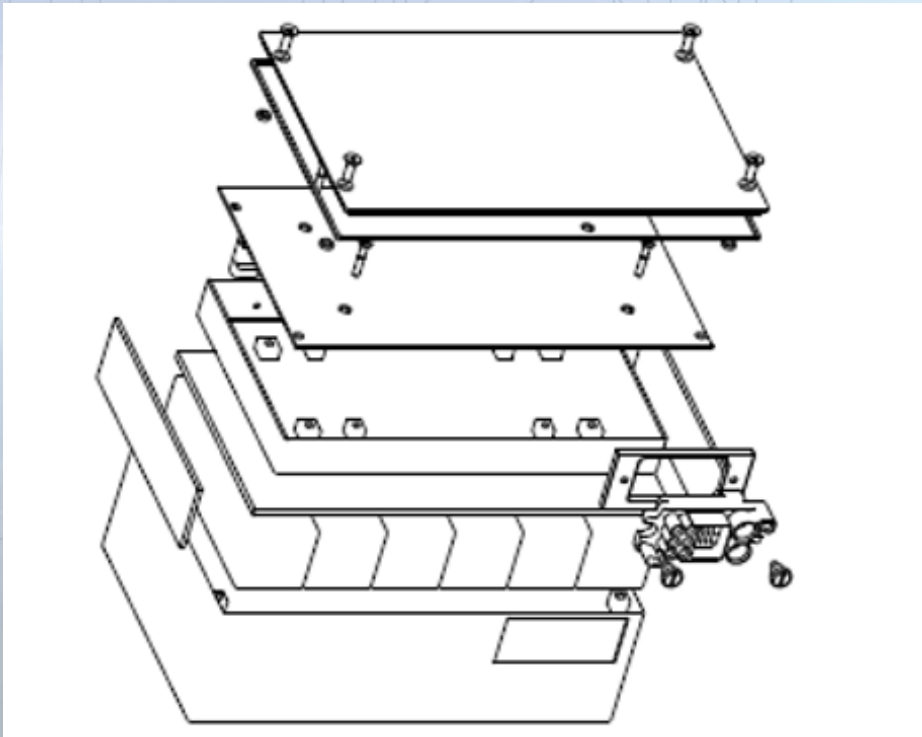
Motorkerékpár



- BMS
- Autóiparban szabványosított csatlakozók
- Por-víz-rázkódásvédelem
- Kompakt kialakítás

# Az egységesített 50 V 12 Ah energiatároló rendszer elem

- Akkumulátor-egység terv



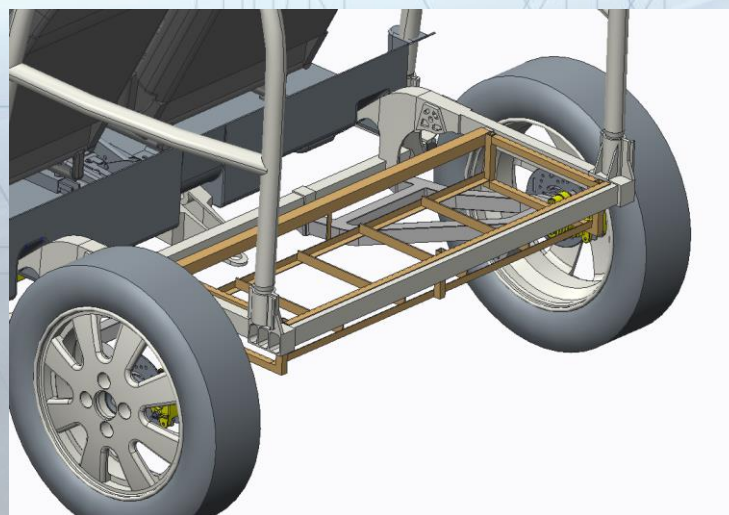


# Az egységesített energiatároló rendszer elem

- Megvalósult akkumulátor-egység



# Akkumulátorok, elhelyezésük járműben





# Mobil tápegység fejlesztése próbapadhoz 400 V 16 kWh

50V 40 Ah egységesített mobil csomagokkal, saját fejlesztésű  
töltéskegyenlítővel és cellánként töltésfelügyelettel



# MÉRŐRENDSZER ÉS FEJLESZTÉSE TELJES JÁRMŰHAJTÁS VIZSGÁLATÁHOZ

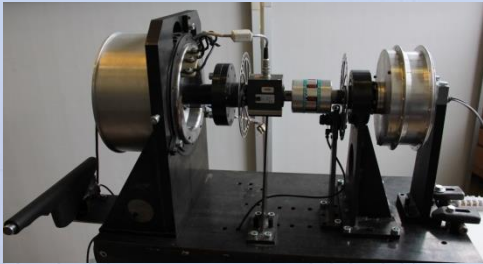
Varga Zoltán

## A mérőrendszer felépítése

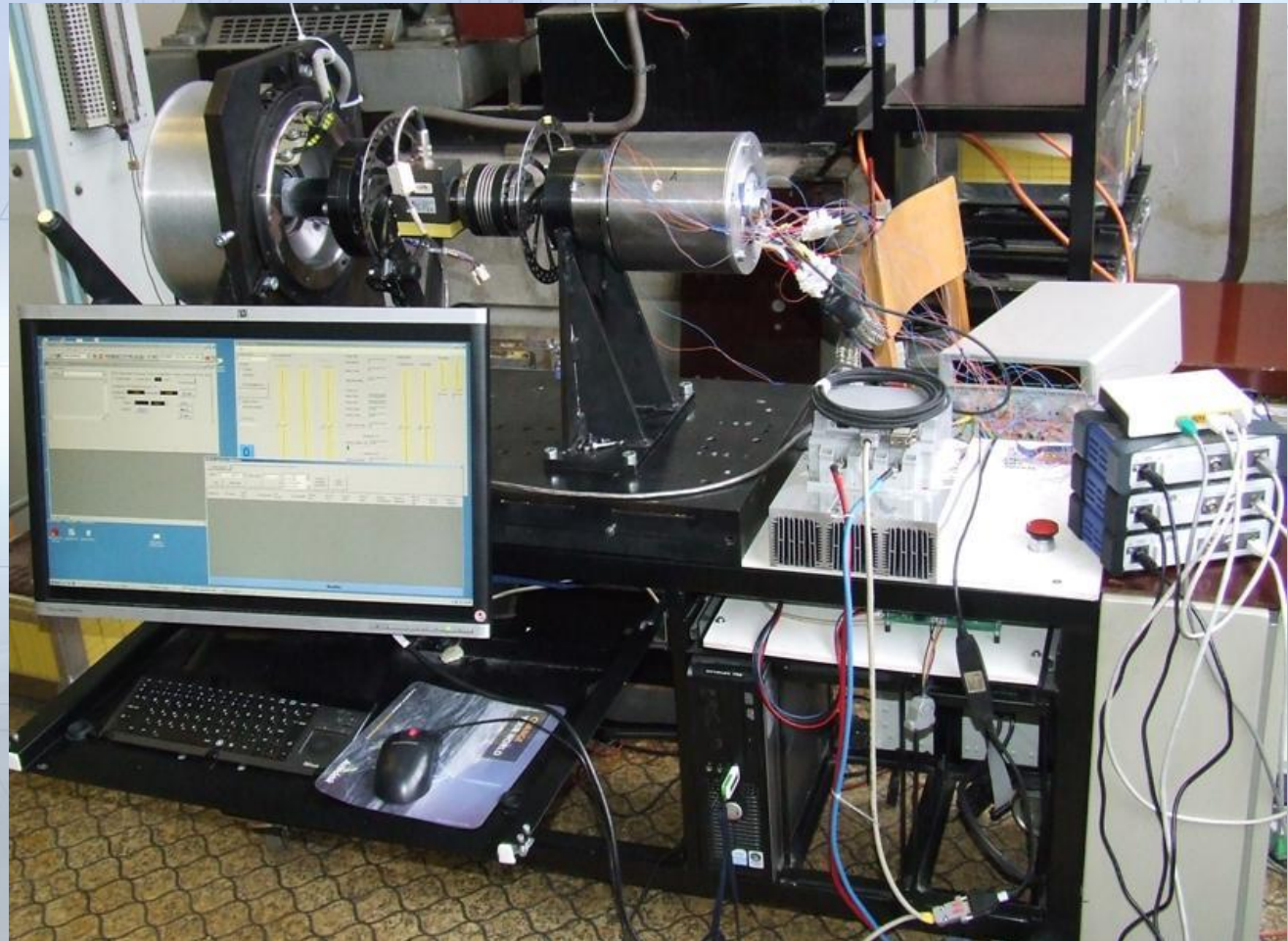
- Minden munkacsoport saját mérőeszközökkel rendelkezik
- A motorok önálló és saját szabályozóval történő mérésére egy 30/40 kW-200 Nm-12 000 f/p jellemzőkkel rendelkező számítógép-vezérlésű próbapad áll rendelkezésre.
- A teljes hajtásrendszer mérésére egy nagyteljesítményű próbapad és egy kapcsolódó HIL rendszer fejlesztése folyamatban van



## A jelenleg használt próbapad

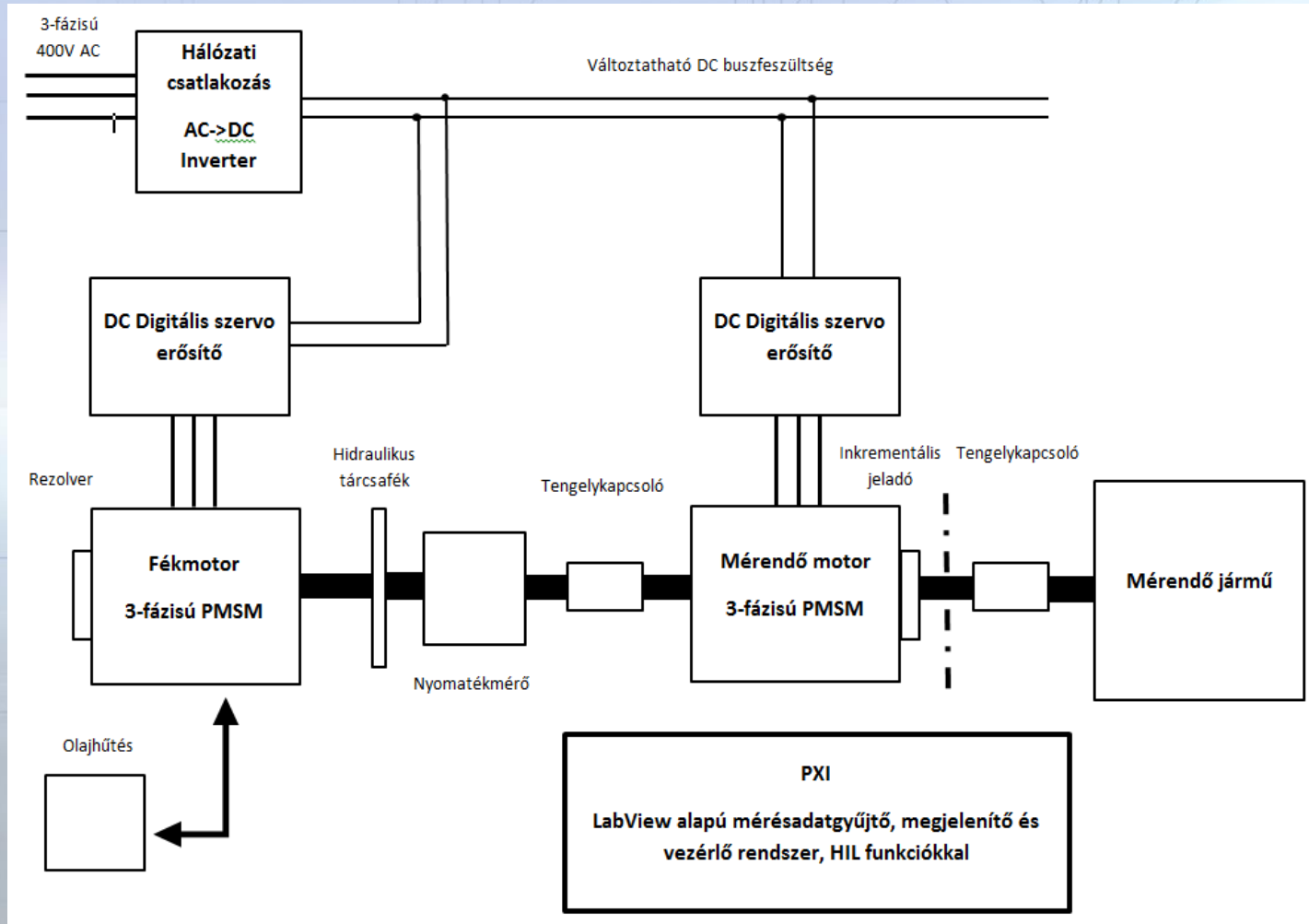


30/40 kW  
200 Nm  
12 000 f/p  
Programvezérelhető  
Labview platform  
400 V 40 Ah lítium a.  
DC táplálás





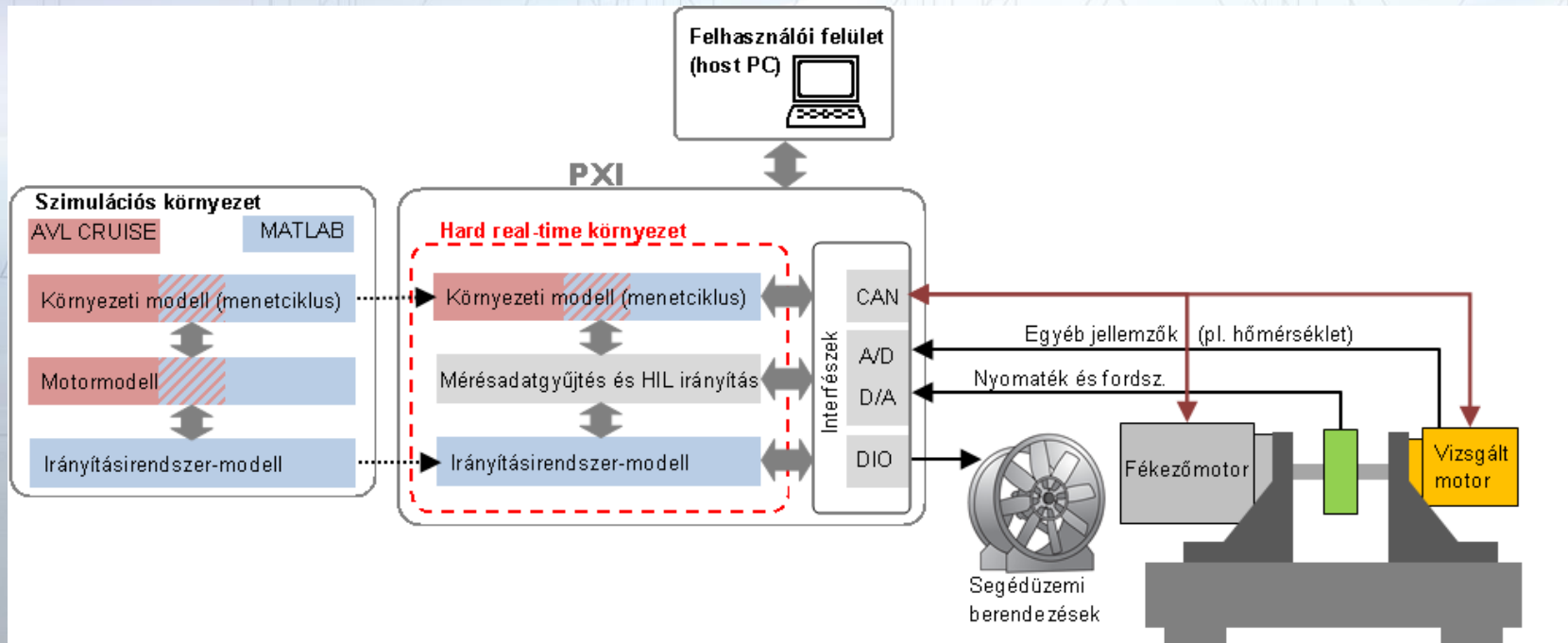
# A tervezett próbapad felépítése (Szakállas Gábor)



## A tervezett HIL rendszer felépítése (Kuslits Márton)

A HIL-rendszert kiszolgáló számítógépnek (PXI) valós időben kell futtatnia a környezetet (menetciklus, hajtáslánc, vezető, stb.) és a jármű irányítási rendszerét leíró szimulációs modelleket, ill. az irányítási rendszer tekintetében a vezérlőegység szerepét is el kell látnia.

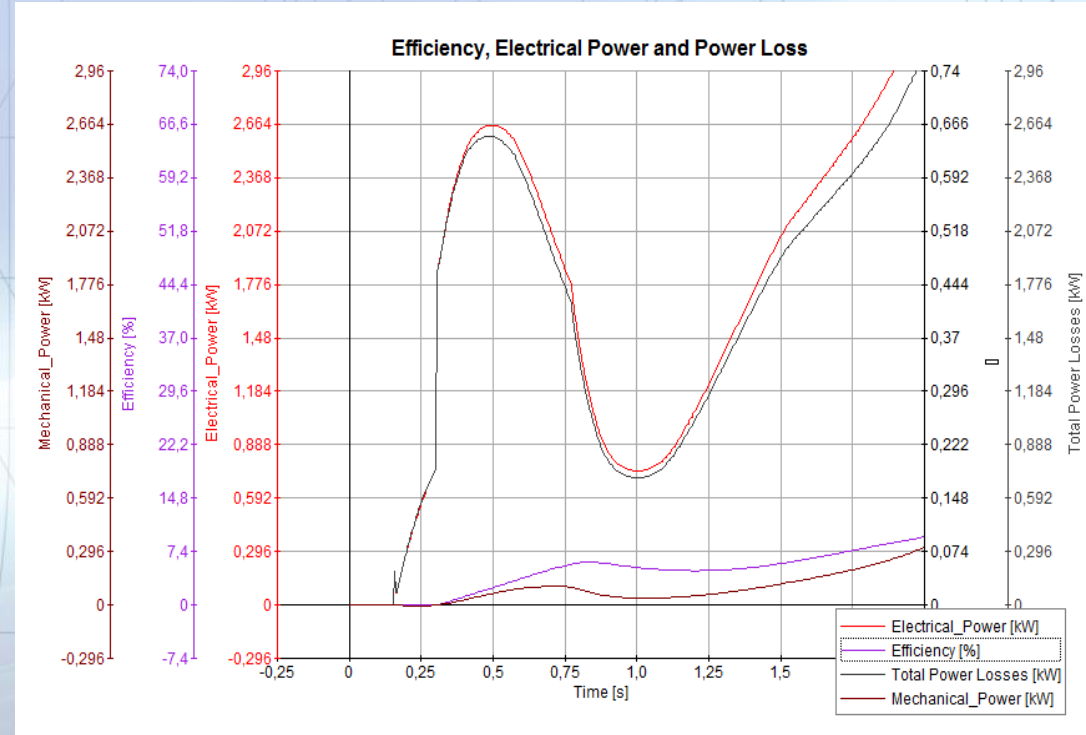
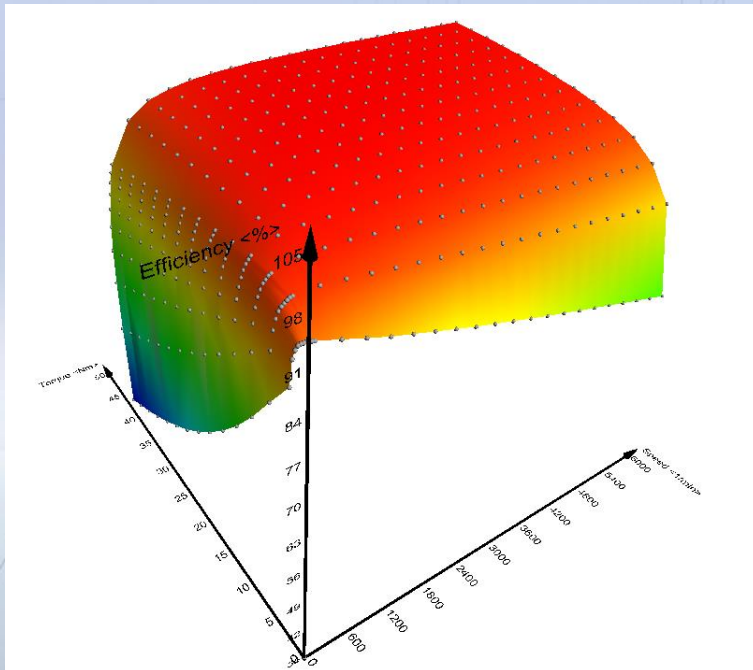
Az említett modelleket előzetesen MATLAB/Simulink, ill. AVL CRUISE környezetben tervezzük felépíteni és vizsgálni.



# JÁRMŰSZIMULÁCIÓS KÖRNYEZET ALKALMAZÁSAI

Varga Zoltán

# Jármű motorok hatásfok mezőinek szimulációja



PMSM HATÁSFOKMEZŐ (INFOLYTICA)

INDÍTÁSI SZAKASZ SORÁN  
FELLÉPŐ VESZTESÉGTELJESÍTMÉNY VIZSGÁLAT



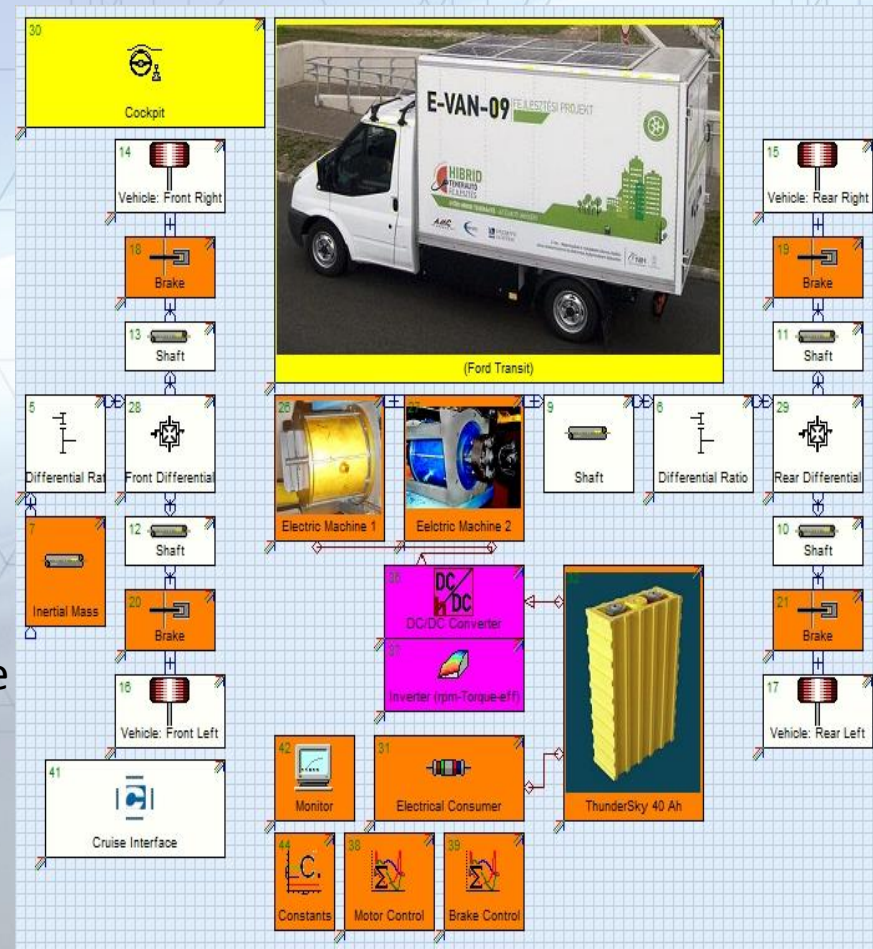
# Jármű hajtás rendszerek és elemek modellezése és szimulációja AVL Cruise felhasználói szoftverrel (Lakatos István)

## Jármű hajtásláncok modellezése

- Villamos hajtású hasznongjármű
- Versenyautó (Shell Ecomarathon)
- Város személyszállító
- Tanulmány járművek

## Hajtáselemek modellezése

- Akkumulátor modell fejlesztés
- PMS motor modell fejlesztés
- Hajtóművek részterhelési modellezése



# A FEJLESZTÉSEK LEHETSÉGES ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

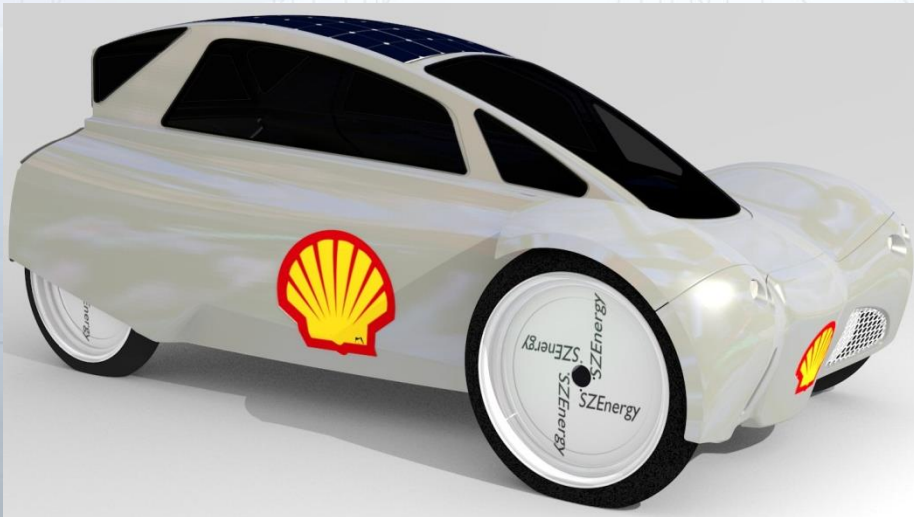
Varga Zoltán-Kuslits Márton

## A fejlesztési tevékenység alkalmazási lehetőségei

- A fejlesztés eredményei közvetlenül ipari szinten nem alkalmazhatók. Ehhez együttműködő fejlesztés szükséges a megvalósítást vállaló intézménnyel, vállalattal.
- A fejlesztés elsősorban a közúti járművek hajtására összpontosít.
- A fenti területen kívül is találhatók olyan alkalmazási lehetőségek, amelyek illeszkednek a vázolt fejlesztési tevékenységhez: vasúti járművek, ipari felhasználások, egyedi szállító eszközök, mezőgazdasági gépek, járművek nem hajtáshoz kapcsolódó rendszerei.



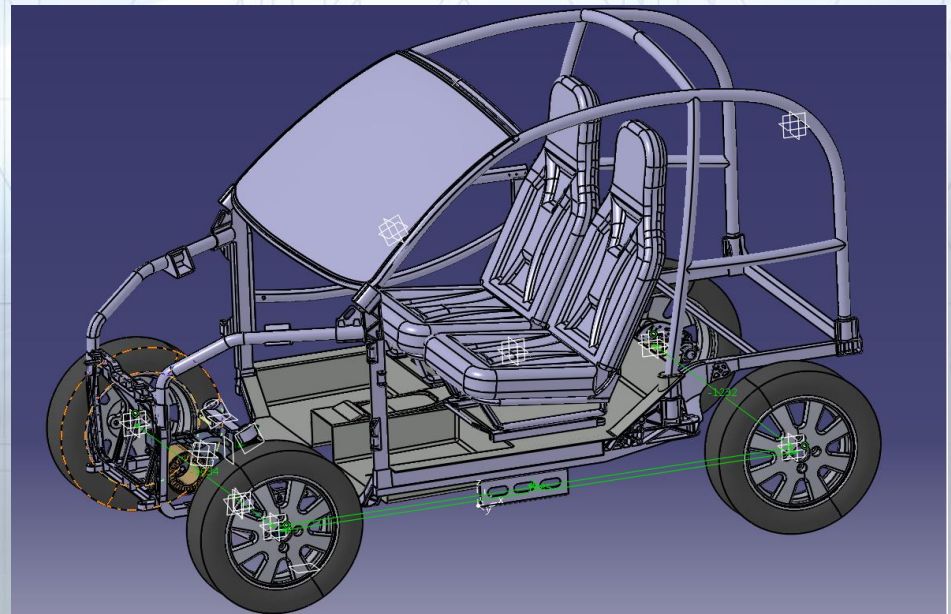
Villamos hajtású versenyautók  
Hajtásrendszer  
Energiatárolás  
Írányítás  
Telemetria



- **Felépítés:**
  - térhálós alumínium cső váz
  - karbon kompozit karosszéria
  - napelem segédtöltés
- **Adatok:**
  - Súly: 85kg
  - 3kW BLDC motor >90% hatásfok
  - 48V Li-ion akkumulátor, saját fejlesztésű BMS
  - 0,65m<sup>2</sup> monokristályos napelem cellák



- Villamos hajtású városi személyszállító jármű (Czeplédi Dávid)
- Saját fejlesztésű elemek:
  - Motor
  - Szabályzó
  - CAN BUS
  - Akkumulátor r.
  - Napelemes töltő
  - Járműirányítás
  - Karosszéria



## Villamos hajtású városi személyszállító jármű

- 2 személy
- 15 kW
- 70-80 km/h
- 3x 12 Ah 250V
- Napelemes tető





- Hibrid hajtású városi teherszállító jármű



E-VAN-09

Fordt Transit 3,5 t  
77kw dízel

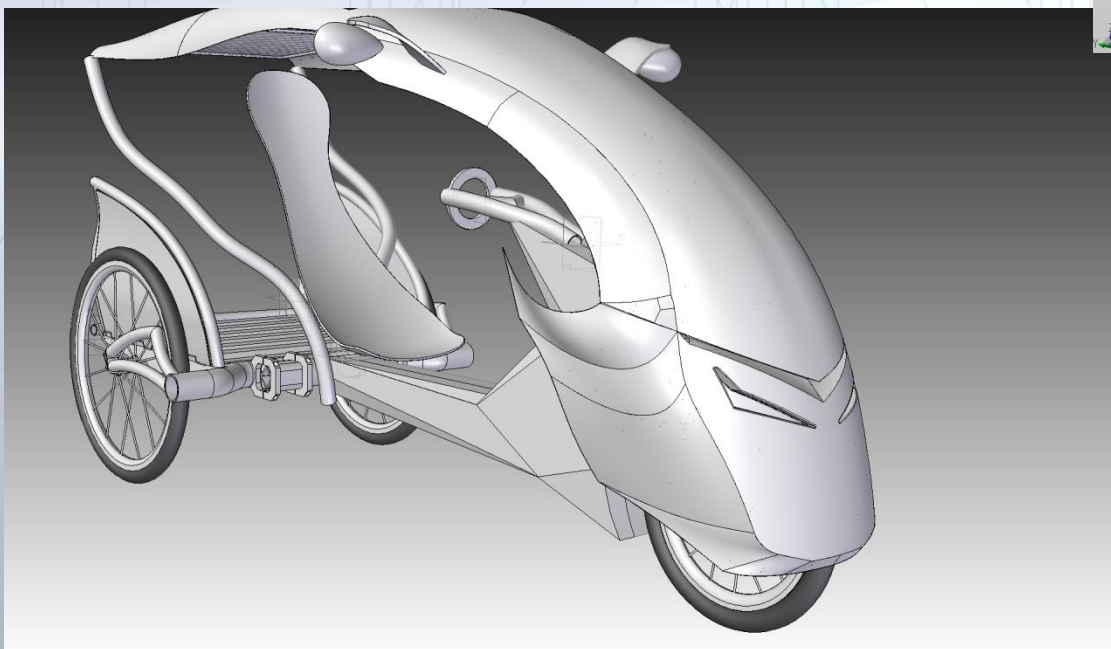
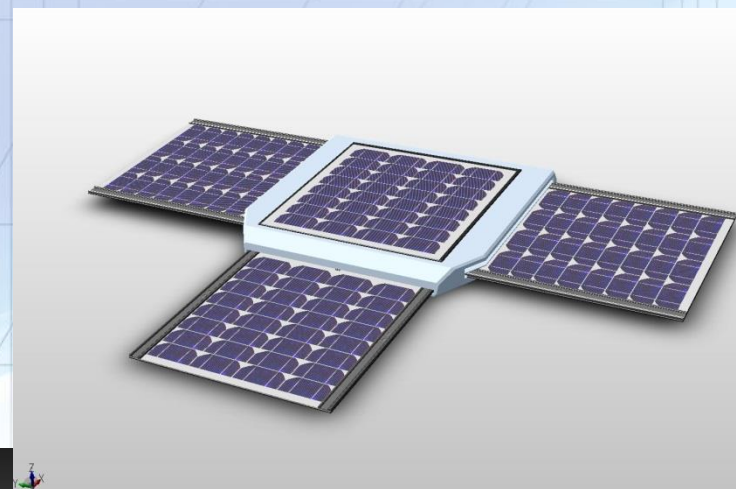
Villamos hajtás

- 2x30/40 kW PMS motor
- 400 V 40 Ah litium akkumulátor
- Hajtásirányítás
- CAN-BUS

EH szervokormány

# Tanulmány városi járműre: 3 kerekű, villamosan és pedállal hajtott könnyű jármű

Oszcilláló kerékfelfüggesztés  
Pedálgenerátor  
Kihúzható napelem tető





# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

*Varga Zoltán*

*Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutató Központ,  
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék*

*Kapcsolat*

*Email: [vargaz@sze.hu](mailto:vargaz@sze.hu)*

*Tel.: +36 20 55 76 555*

## JÁRMŰIPARI FELSŐOKTATÁSI ÉS KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS

TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002

## HIBRID ÉS ELEKTROMOS JÁRMŰVEK FEJLESZTÉSÉT MEGALAPOZÓ KUTATÁSOK

TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012

## „SMARTER TRANSPORT” KOOPERATÍV KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK INFOKOMMUNIKÁCIÓS TÁMOGATÁSA

TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujszechenyiterv.gov.hu](http://www.ujszechenyiterv.gov.hu)  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.