

## Belső égésű és elektromos motorral hajtott gépjárművek diagnosztikai teljesítménymérése

Dr. habil Lakatos István Ph.D., Kőrös Péter,

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

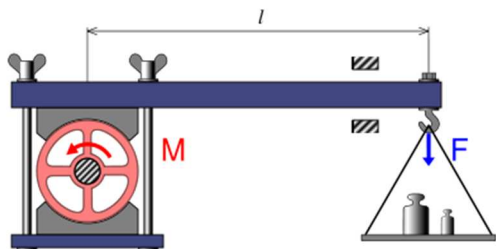
Abstract: Gépjárművek esetében nagyon fontos paraméter a forgató nyomaték és a teljesítmény. Ezek pontos meghatározása néha olyan szakértői feladat, amelyhez nem árt tisztában lenni néhány alapfelvetéssel, definícióval. Másik probléma, hogy a gépjárművek esetében a motorra vonatkozó adatokhoz tudunk hozzáférni, ezeket kellene összehasonlítani a tényleges jellemzőkkel. A gondot ilyenkor az okozza, hogy többnyire nincs lehetőség a motor járműből történő kiszérésére és a mérések elvégzésére. A cikkben ezt a témát járjuk körbe, eljutva egészen az elektromos hajtású járművekhez és az esetükben adódó lehetőségekig.

### 1. A TELJESÍTMÉNY ÉS MÉRÉSI LEHETŐSÉGEI

Európában a 18. században a korszak kiemelkedő fizikusai (a skót **James Watt** és a francia **Gaspard de Prony**) foglalkozott a gépek teljesítményével és annak meghatározásával.

#### 1.1. Az első teljesítménymérő fékpadok

Gaspard de Prony 1821-ben alkotta meg a Prony féket, amely gőzgépek és motorok teljesítménymérésére szolgált. Lényege, hogy a forgó tengelyre fékkel ellátott kart helyeznek, melynek végére annyi súlyt kell tenni, hogy a kar mérlegállásban (egyensúlyban) legyen (1. ábra<sup>1</sup>).



1. ábra Prony fék

A **Prony-fék** megalkotása után felgyorsult a teljesítménymérés fejlődése.

#### 1.2. A teljesítmény mérés fizikai háttere

A Nemzetközi Mértékegység-rendszer (SI) **származtatott egységei** az SI-alapegységek hatványainak szorzataként vagy hányadosaként képezhetők a megfelelő mennyiségekre vonatkozó fizikai egyenletek alapján. A teljesítmény is ebbe a csoportba tartozik. A továbbiakban áttekintjük a teljesítményszámításhoz szükséges összefüggéseket:

Forgó mozgás esetén:

$$P = M \cdot \omega$$

Ahol:

- **M** a nyomaték [Nm] (vektormennyiség)
- **$\omega$**  a szögsebesség [1/s] (vektormennyiség)
- **P** a teljesítmény [W] két vektormennyiség (skaláris szorzata)

Ha a kifejtett erő és a sebesség szorzataként is meghatározhatjuk a teljesítményt:

$$P = F \cdot v$$

- **P** teljesítmény [W] skalármennyiség
- **F** kifejtett erő [N] vektormennyiség
- **v** sebesség [m/s] vektormennyiség

#### 1.3. Fékgepek kialakítási változatai

A teljesítmény és nyomaték mérésére fékpadokat alkalmaznak melyek fékerejét különböző módon biztosítják. Erre az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre:

- **hidraulikus,**
- **örvényáramú,**
- mágnes poros,
- légfékes,
- mechanikus-dörzsfékes,
- egyenáramú,
- váltóáramú.

A gyakorlatban a hidraulikus és az elektromos fékezési lehetőségek a terjedtek el a leginkább.

A jármű motorjának kiszérése összetett, időigényes folyamat. Emiatt a fenntartóiparban, diagnosztikai célokra a

<sup>1</sup> [http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/~history/Biographies/De\\_Prony.html](http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/~history/Biographies/De_Prony.html)

fékpadi mérés nem terjedt el. Ezekben az esetekben a járművön (beépített motorral) végzünk méréseket.

## 2. TELJESÍTMÉNYMÉRÉS JÁRMŪVÖN (DIAGNOSZTIKA TELJESÍTMÉNYMÉRÉS)

### 2.1. Görgős padok

Diagnosztikai (minimális szerelési munkával járó) teljesítménymérést általában:

- görgős járműfékpádon, illetve
- ROTOTEST berendezéssel vagy
- az OBD adatok alapján
- végezhetünk.

A **görgős járműfékpádok** legfőbb előnye, hogy a jármű megbontása, átalakítása nélkül, közvetlenül a hajtott keréken mérhető a teljesítmény (igaz, ez nem azonos a motor effektív teljesítményével). A teljesítményen kívül egyszerűen mérhető a hajtáslánci veszteség is.

### 2.2. A görgős fékpádok felépítési változatai

#### Egygörgős fékpád (2. ábra)



2. ábra: Egygörgős fékpád<sup>2</sup>

A görgő átmérője nagy, akár 3000 mm is lehet. Ebben az esetben a kerék a görgő tetején áll, ami nem stabil állapon, ezért nagyon fontos a gépkocsi rögzítése. Ez a kialakítási változat főként autógyárakban használatos.

#### Kétegörgős fékpád (3. ábra):

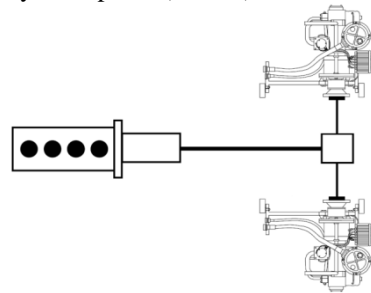


3. ábra: Kétegörgős fékpád<sup>3</sup>

A görgők átmérői kicsik, mintegy **250-400 mm** értékűek. Ennél a típusváltozatnál a kerék két görgő közé ékelődve hajt, ami statikailag stabil állapotot jelent. Természetesen rögzítésre ebben az esetben is szükség van. Ezt a változatot főként a járműfenntartó, javító és tuningolással foglalkozó cégek használják.

### 2.2. A hajtó féltengely csonkján történő teljesítménymérés

**Teljesítményt a hajtó féltengely csonkján is mérhetünk.** Ebben az esetben bizonyos mértékű megbontással (a hajtott kereket le kell szerelni) számolni kell. Ez némi hátrányt jelent a görgős paddal szemben. Ez a teljesítménymérő egyszerű kialakítású, kompakt szerkezet, amelynek jelentős előnye, hogy nem igényel telepítést (4. ábra).



4 ábra: Féltengely csonkján történő teljesítménymérés (ROTO-TEST fékpád)

### 2.3. Teljesítmény mérés a fedélzeti diagnosztika segítségével

További lehetőség a teljesítmény-mérésre, hogy felhasználjuk a **fedélzeti diagnosztikai rendszer (OBD)** lehetőségeit.

Az ehhez szükséges adatállományokhoz a járművek OBD-csatlakozóján keresztül férhetünk hozzá.

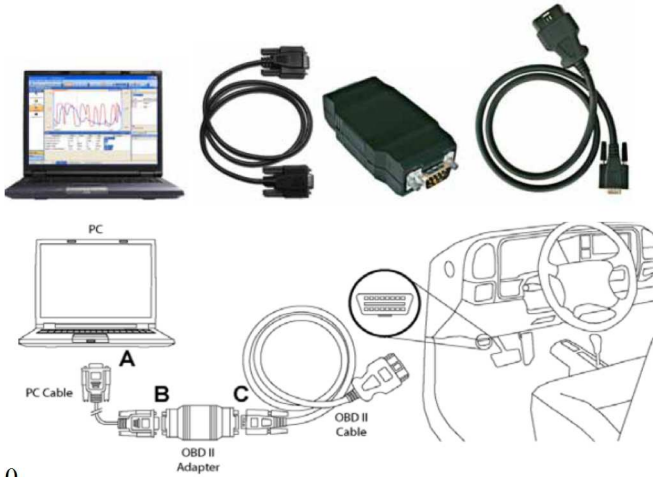
Az erre a célra használható **OBD Dyno** ingyenesen hozzáférhető és használható szoftver. A méréshez csupán az alábbiakra van szükség:

- laptop, Microsoft Windows szoftverrel és installált JAVA környezettel,
- VCDS (Ross-Tech) diagnosztikai programra,
- OBD diagnosztikai kábelre,
- a mérendő járművön OBD diagnosztikai csatlakozóra.

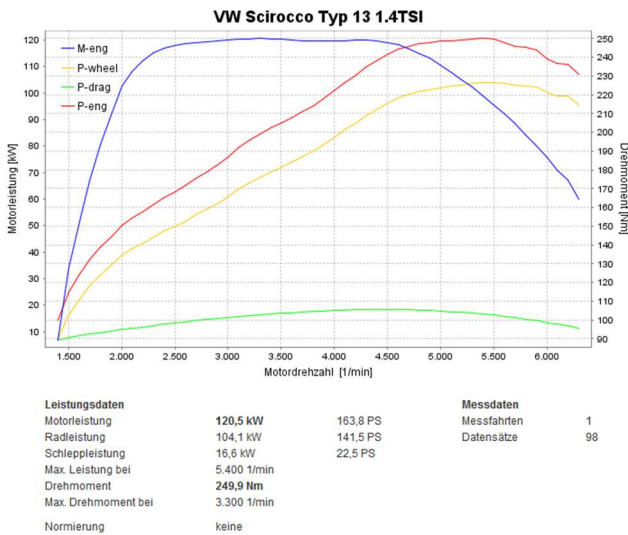
A mérés során az OBD Dyno program (5. ábra) két mérési fázisban (gyorsítás és kifuttatás) méri a sebességet, a motorfordulatszámot és az adatgyűjtési időpontokat. A mérés során a járművet kis fordulatszámról 1:1 sebességváltó áttétellel (5-fokozatú váltó esetén 3. fokozat, 6-fokozatú váltó esetén 4. fokozat) gyorsítjuk teljes terheléssel („padlógáz”), egészen a névleges motorfordulatszámig. Ennek elérésekor oldjuk a tengelykapcsolót és hagyjuk kigördülni a járművet a kezdeti járműsebesség eléréséig. (A mérésnek görgőspadi változata is létezik.) A mérés eredményeként a **motor effektív teljesítményét és nyomatékát** kapjuk (6. ábra).

<sup>2</sup> [http://www.mpz-alsdorf.de/Bilder/Rolle\\_Schema.jpg](http://www.mpz-alsdorf.de/Bilder/Rolle_Schema.jpg)

<sup>3</sup> <http://www.dynodynamics.de/images/dyno02.jpg>



5. ábra: LaptopDyno rendszer



6. ábra: OBD Dyno szoftverrel felvett motor teljesítmény és nyomaték görbék

### 3. A KERÉKTELJESÍTMÉNY MÉRÉS TECHNOLÓGIÁJA

A diagnosztikai célú teljesítménymérés eredménye kétféle lehet:

- kerékteljesítmény (vagy keréken leadott teljesítmény)
- motor effektív teljesítmén

#### Görgős járműfékpad mérések

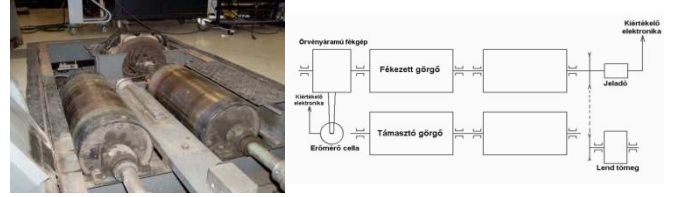
A görgős gépjármű fékpad a gépjármű álló helyzetében teszi lehetővé a hajtáslánc országúti haladásának megfelelő üzemet, azáltal, hogy a hajtott kerekek görgőkön futnak. Ez lehetővé teszi, hogy különböző (tüzelőanyag-fogyasztás, emisszió, stb.) méréseket végezzünk laboratóriumi körülmények között. A gépjármű fékpad eközben terheli a gépjármű hajtásláncát, így különböző munkapontok állíthatók be.

A fékpadon

- állandósult (stacioner)
- és folyamatosan változó (instacioner)

üzemállapotú vizsgálatokat végezhetünk.

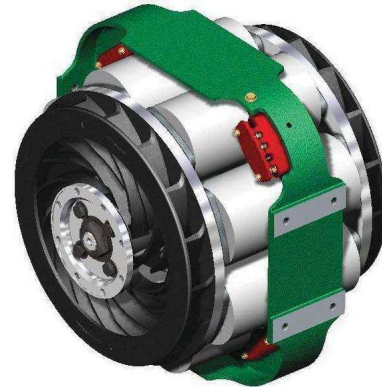
Stacioner üzemállapotban a motor adott (állandósult) munkapontban üzemel, amelyre beállított terhelés és fordulatszám jellemző.



9. ábra A gépjármű fékpad felépítése

#### A fékgép

A görgős gépjármű fékpadokon ma általánosan elektromos örvényáramú fékgépet használnak. A mindenkor szükséges fékezónyomatékot a gerjesztő áram változtatásával egyszerűen be lehet állítani és a karakterisztikák is ezen a módon képezhetők.



7. ábra Örvényáramú fékgép

A keréken leadott teljesítmény számítása a

$$P[\text{kW}] = \frac{F[\text{N}] \cdot v[\text{km/h}]}{3600}$$

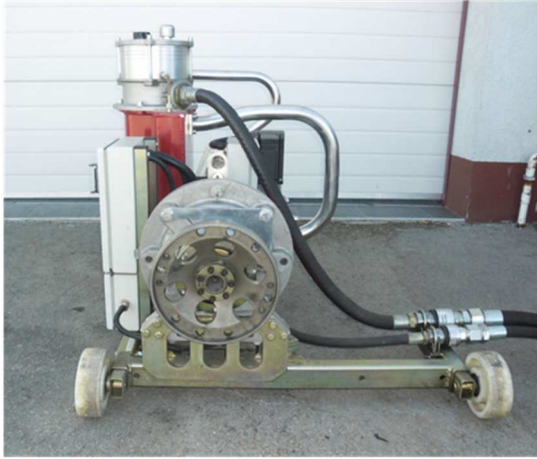
egyenlet alapján végezhető el.

#### Mérések ROTOTEST-tel

A ROTOTEST próbapad felülmúlja a hagyományos görgős padokat, a pontosság, a vizsgálati lehetőségek és a biztonság területén egyaránt. A görgős fékpadokkal ellentétben nincs csúszás (szlip) a gumiabroncsok és a görgők között, hiszen itt a kerékagyra csavarkötéssel rögzített adapter csatlakozik a fékgéphez. Fontos előny a hordozhatóság is, hiszen így nem vagyunk telepítési helyszínhez kötve.

A vizsgálopad pad fő részei:

- a fékgép,
- felfogató tárcsa,
- a „Hurricane” hűtő egység és
- a központi vezérlő.



8. ábra ROTOTEST fékgép

A vizsgált gépjármű a mérés közben a fékpadon támaszkodik, így nincs szükség további rögzítésre.

A ROTOTEST rendszer a **kerékteljesítmény** (azaz a keréken leadott teljesítmény) mérésére használandó, a motor jellemzői közül csupán a **forgatónyomatékot méri**. Ismerve a motor fordulatszámát, így a kerékét is meghatározhatjuk a sebességfokozat és a végáttétel ismeretében:

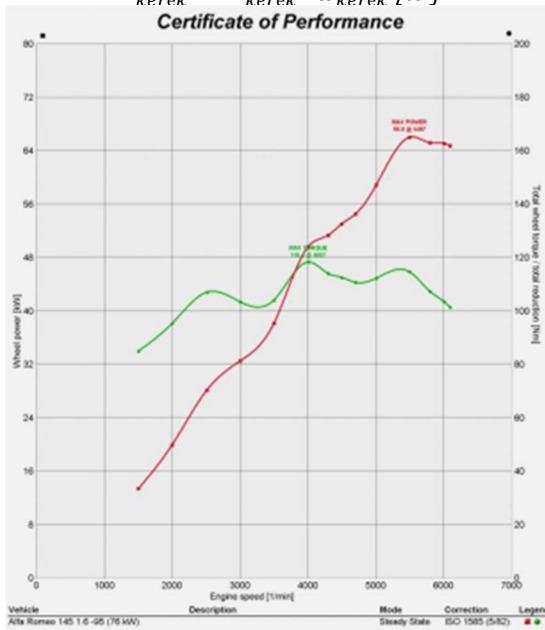
$$n_{kerék} = i_4 \cdot i_{végáttétel} \cdot n_{motor}$$

A motorteljesítmény meghatározásához szükség van a motor sebességére.

$$\omega_{kerék} = 2 \cdot \pi \cdot n_{kerék}$$

Az előző adatok ismeretében kiszámolható a kerékteljesítmény.

$$P_{kerék} = M_{kerék} \cdot \omega_{kerék} [W]$$



9. ábra: ROTOTEST-tel mért kerék-nyomaték és -teljesítmény görbék

#### 4. MOTOR EFFEKTÍV TELJESÍTMÉNY MÉRÉS

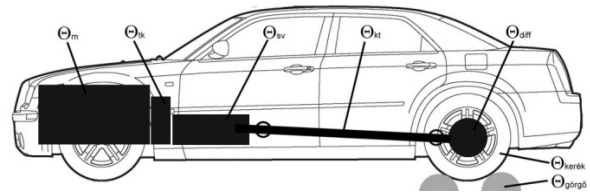
A görgős járműfékpadok segítségével a keréken leadott teljesítményt (kerékteljesítmény), nyomatókót, erőt (vonóerő) lehet mérni. Ezek az értékek a jármű országúti jellemzői.

A motor effektív jellemzői azonban a padba épített fékgép segítségével nem határozhatók meg, ugyanakkor a gyártók általában ezeket a jellemzőket (effektív motorteljesítmény, effektív motornyomaték) adják meg.

Diagnosztikai eszközökkel ugyanakkor van lehetőség a motor effektív jellemzőinek meghatározására is.

A mérés kiinduló állapota, hogy a pad görgőinek terhelését (fékgép) kikapcsoljuk és a padon álló jármű hajtásláncát teljes terhelésű (teljes gáz) szabad gyorsításban gyorsítjuk fel (instacioner üzemállapot) a névleges motorfordulatszámig a vizsgálati sebességfokozatban (**gyorsulási szakasz**). Ezt követően a tengelykapcsolót oldva, a sebességváltót az adott fokozatban hagyva, hagyjuk megállásig lelassulni az autót (**lassulási szakasz**).

Ilyenkor a motornak az 10. ábrán ábrázolt tehetetlenségi nyomatékokat kell felgyorsítania.



10. ábra: instacioner üzemállapotú motorteljesítmény mérés

A rendszerre felírhatjuk az energiaegyenletet, mely szerint a rendszerbe bevezetett munka időbeli változása ( $P_e$  – effektív motorteljesítmény) egyenlő a kinetikai energia ( $E_k$ ), a potenciális energia ( $E_p$ ) és az elvezetett hő ( $Q$ ) időbeli változásával:

$$P_e = \frac{dE_k}{dt} + \frac{dE_p}{dt} + \frac{dQ}{dt}$$

Mivel a potenciális energia a mérés során nem változik:

$$P_e = \frac{dE_k}{dt} + \frac{dQ}{dt}$$

A rendszer kinetikai energiájának megváltozása a kerék, illetve a pad görgőinek gyorsításában nyilvánul meg, tehát ez a tag a kerékteljesítménnyel ( $P_k$ ) egyenlő. Az elvezetett hő, viszont a hajtási veszteség teljesítménnyel ( $P_v$ ) egyenlő:

$$P_e = P_k + P_v$$

A forgó mozgás dinamikai alapegyenlete felírható mind a gyorsítási, mind a kifuttatási szakaszra:

$$P = M \cdot \omega = (\Theta_{red} \cdot \epsilon) \cdot \omega = \Theta_{red} \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

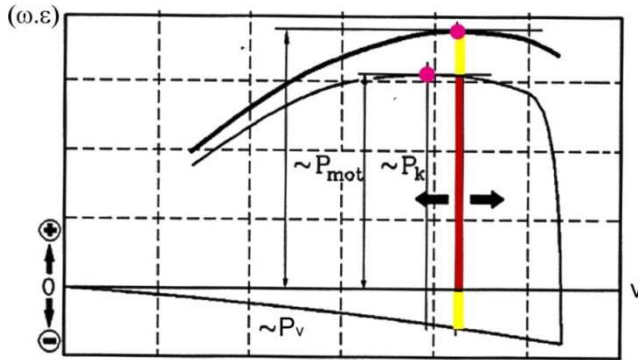
Ahol:

- $\omega$  a görgőspad görgőjének szögsebessége
- $\Theta_{red}$  a jármű hajtásláncának a görgőspad görgő tengelyére redukált tehetetlenségi nyomatéka
- $\varphi$  a görgő szögelfordulása
- $\epsilon$  a görgő szöggyorsulása
- $t$  idő

### Az effektív motorteljesítmény meghatározása

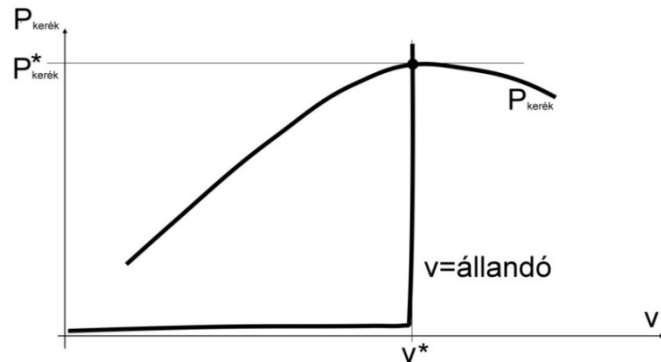
A gyorsítási és lassítási szakaszok regisztrátumait a 11. ábra mutatja. Ennek alapján és az előzőekben ismertetett összefüggéseknek megfelelően, a motor effektív teljesítménye az alábbi alakban írható fel:

$$P_{\text{mot,eff}} = \omega_g \cdot \varepsilon_g^+ \cdot [\theta_{\text{mot,red}} + \theta_{\text{járműred}} + \theta_{\text{pad}}] + \omega_g \cdot \varepsilon_g^- \cdot [\theta_{\text{járműred}} + \theta_{\text{pad}}] + P_{v,f(M)}^n$$



11. ábra: A teljesítménymérés regisztrátuma

A teljesítmény érték meghatározásához még a  $\theta_{\text{red}}$  értékre van szükség. Ezt úgy határozhatjuk meg, hogy a 11. ábrán látható diagram  $P_k$  görbéjének szélsőértékéhez (maximum) tartozó sebesség értéknél a görgőspad fékgepe segítségével megmérjük a teljes terhelési teljesítmény értékét (12. ábra).



12. ábra: Stacioner üzemiállapotú mérés lépték meghatározáshoz

Az ismertetett módszer ugyanakkor a mindennapi diagnosztikai mérés technikában is kitűnően felhasználható. Tovább fejlesztve azonban a görgős pad fékgepe elhagyható<sup>4</sup>.

### Új mérési módszer

A mérés ún. additív tömeg felhasználásával fékgep nélkül is elvégezhető. Így nincs szükségünk görgős teljesítménymérő padra, csupán olyan görgőágyra, amelyre additív tömeg is kapcsolható. A lépték meghatározás elve ekkor az alábbiak szerint történik:

Ebben az esetben két egymás utáni mérést végzünk:

#### 1. mérés

Ez tulajdonképpen megegyezik az eddig ismertetett mérési módszerrel. Egyenletei:

$$P_{k,1} = (\theta_{\text{motor,red}} + \theta_{\text{hajtáslánc,red}}) \cdot \varepsilon_1 \cdot \omega_1$$

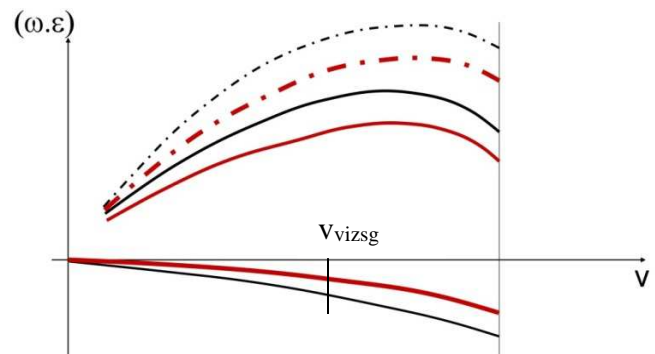
$$P_{v,1} = \theta_{\text{hajtáslánc,red}} \cdot \varepsilon_1'' \cdot \omega_1^2$$

#### 2. mérés

Ebben az esetben a görgők tengelyéhez járulékosan lendtömeget kötünk hozzá, amely növeli a görgő tengelyére számított összes redukált tehetetlenségi nyomatékot.

$$P_{k,2} = (\theta_{\text{motor,red}} + \theta_{\text{hajtáslánc,red}} + \theta_{\text{lendőtömeg,red}}) \cdot \varepsilon_2 \cdot \omega_2^2$$

$$P_{v,2} = (\theta_{\text{hajtáslánc,red}} + \theta_{\text{lendőtömeg,red}}) \cdot \varepsilon_2'' \cdot \omega_2^2$$



13. ábra: A két egymás után végzett mérés diagramjai

A két esetben ugyan eltérők a rendszer tehetetlenségei és természetesen lassulási-gyorsulási is, de teljesítménybe átszámolva már a keréken leadott teljesítményeknek és a veszteség teljesítményeknek is egyezniük kell, hiszen a motor, amely a rendszert gyorsítja, és a hajtáslánc, amelynek veszteségei vannak, változatlan.

Így az 1. és 2. mérés kerékteljesítmény és hajtáslánci veszteség egyenletei páronként egyenlővé tehetők.

A kifuttatási egyenletekből a hajtáslánc redukált tehetetlenségi nyomatéka számítható:

$$\theta_{\text{hajtáslánc,red}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \omega_1^2 = (\theta_{\text{hajtáslánc,red}} + \theta_{\text{lendőtömeg,red}}) \cdot \varepsilon_2 \cdot \omega_2^2$$

$$\theta_{\text{hajtáslánc,red}} = \frac{\theta_{\text{lendőtömeg,red}} \cdot \varepsilon_2'' \cdot \omega_2^2}{(\varepsilon_1'' \cdot \omega_1^2 - \varepsilon_2'' \cdot \omega_2^2)}$$

A kerékteljesítmény egyenletbe ezt visszahelyettesítve megkapjuk a motor tehetetlenségi nyomaték értékét is ( $\varepsilon_1'$  és  $\varepsilon_2'$ -t egy adott vizsgálati fordulatszám, azaz azonos járműsebesség,  $v_{\text{vizsg}}$  esetén határozzuk meg, lásd 13. ábra).

A fenti minta alapján, a motor tehetetlenségi nyomatéka a kerékteljesítmény egyenleteket egyenlővé téve, meghatározható a motor tehetetlenségi nyomatéka is.

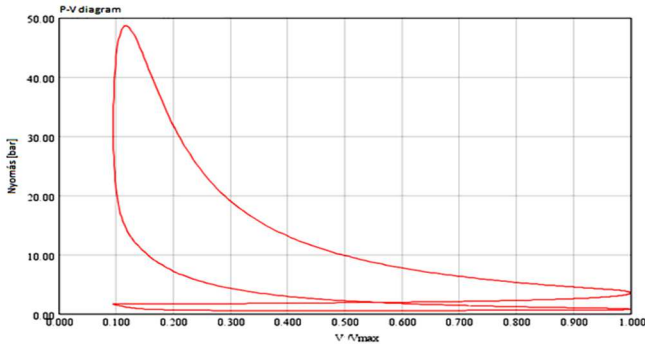
Míndezt természetesen a megfelelően megírt mérőszoftver levezényli és kiszámolja. Így a végeredmény már pontos értékekkel megadható nyomatéki és teljesítmény külső jellegűre lesz.

<sup>4</sup> Dr. Lakatos István habilitációs téziseiben kidolgozott eljárás

## 5. MOTORINDIKÁLÁSON ALAPULÓ ÚJ SZERVIZ-DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁS

A belső égésű motorok hengerében lejátszódó folyamat nyomásváltozásait hengertéri nyomásméréssel, röviden indikálással lehet meghatározni.

A belsőégésű motorok munkafolyamata során a munkavégző közeg nyomása folyamatosan változik, ezt a nyomásváltozást **indikátordiagram** formájában lehet megjeleníteni, a forgattyús tengely szögelfordulás vagy a pillanatnyi hengertérfogat függvényében.




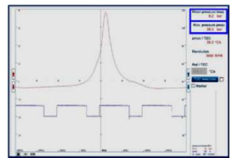


14. ábra: Belsőégésű motor indikátor diagramja

Az indikált jellemzők indikáló gyújtógyertya segítségével határozhatók meg nagy pontossággal anélkül, hogy az égési folyamatot bármilyen zavaró hatással befolyásolná. Kiválasztásánál természetesen ügyelni kell az adott motorhoz előírt méretekre és a hőértékre.

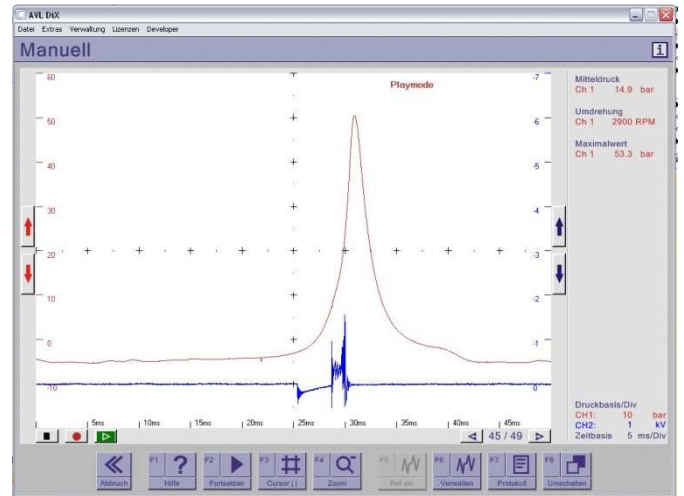
A kialakításnak köszönhetően tartósan is üzemelhet a motor a beépített indikáló gyertyával. Nagyon fontos, hogy a gyertyába épített piezo elem nem igényel külön hűtést, így diagnosztikai célú alkalmazásra megfelelő.

A diagnosztikai mérőrendszer a 15. ábrán látható elemekből áll.

AVL piezo gyújtógyertya	
Jelerősítő egység	
Kétsatornás oszcilloszkóp	
Mérő-szoftver	

15. ábra: Diagnosztikai célú nyomásindikálás eszközei

A méréssel felvett adatok és diagram számos diagnosztikai kiértékelésre alkalmas.



16. ábra: A hengertéri nyomás függvény és gyújtáskép

Az indikátordiagram ismeretében az indikált munka területméréssel határozható meg. Feltöltetlen két- és négyütemű motorok töltetcsere-folyamatának területe negatív előjelű.

Ennek alapján az indikált teljesítmény az alábbi definíció alapján számítható:

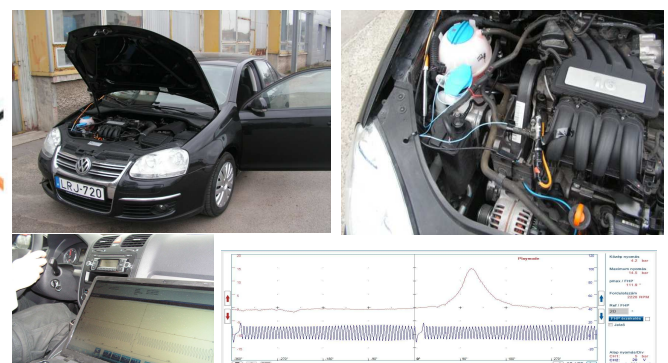
$$\text{Definíció szerint: } P_{ielm} = \frac{W_{ielm}}{t_{cikl}} \text{ [kW]}$$

Ahol:

$$- t_{cikl} = \frac{4 \cdot \pi}{n_m} \text{ [s]} \quad \text{egy munkaciklus ideje}$$

$$- (n_m \text{ dimenziója: [min}^{-1}\text{)})$$

A Széchenyi István Közúti és Vasúti Járművek Tanszékén végzett méréseket az alábbi ábra-montázs mutatják be.



17. ábra: Diagnosztikai célú nyomásindikálás a SZE KVJT-n

## 6. ELEKTROMOS HAJTÁSÚ JÁRMŰVEK TELJESÍTMÉNY FELVÉTELÉNEK DIAGNOSZTIKAI MEGHATÁROZÁSA

Az elektromos hajtású járművek esetében konkrét diagnosztikai célon keresztül mutatjuk be a telemetriás eszközökkel végrehajtott teljesítményfelvétel mérést.

### Jármű telemetriás rendszerek

A telemetria nagy távolságú adattovábbítást, távoli méréseket és vezérlést lehetővé tévő, jellemzően vezeték nélküli kommunikációs rendszer.

Telemetriás rendszerek fő jellemzője, hogy működés során figyelünk olyan paramétereket, amelyek meghatározzák a jármű fontosabb paramétereit, így akár dönthetünk az üzemeltetés jóságáról, a baleseti veszélyről. A tárolt adatok utólagos elemzése pedig a már megtörtént balesetek okainak feltárásában lehet segítségünkre.

A továbbiakban ezeket a lehetőségeket elemeztük, a Széchenyi István Egyetemen tervezett és kivitelezett járműveken végzett mérések eredményeinek bemutatásával.

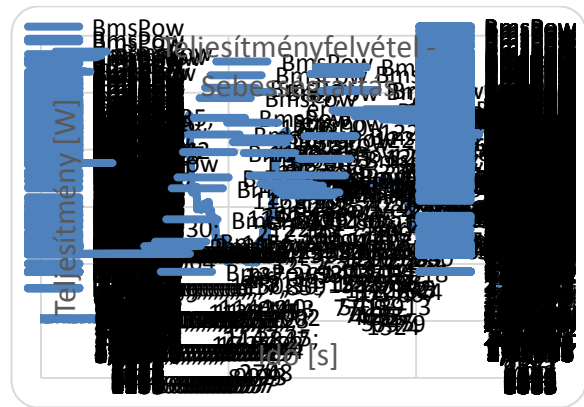
A Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjában által létrehozott telemetriás rendszer a **SZEnergy jármű** esetében például lehetőséget biztosított számunkra az üzem során olyan döntések meghozatalára, amelyek jól kimutatható javulást eredményeztek az üzemeltetés során.

A járműben üzemelő **adatrögzítő rendszer** pedig lehetőséget adott a mélyebbre ható elemzések elvégzésére és a rendszerhibák feltárására.

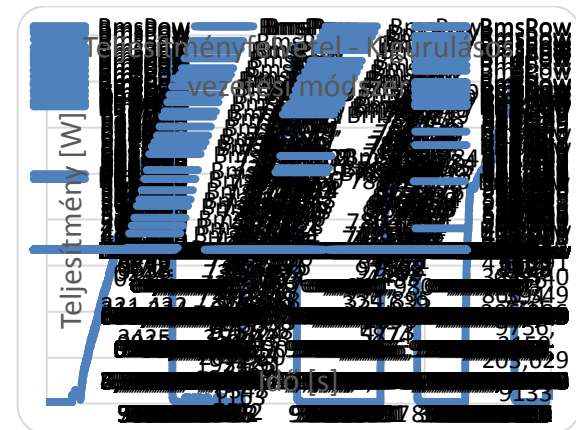
A vezetési stratégiát két módszerrel vizsgáltuk:

1. Az első esetben az **utazósebességet tartottuk** a jármű üzemeltetése során. Ennek a módszernek az előnye az, hogy a maximális teljesítményfelvételek jelentősen elmaradnak a másik vezetési módszerétől.
2. A másik módszer esetében pedig agresszív gyorsítási szakaszok mellett **szabadkifutásos üzemet** próbáltunk (ezeken a szakaszokon nem jelentkezik teljesítményfelvétel).

A két módszer eltérését az alábbi ábrák mutatják be.



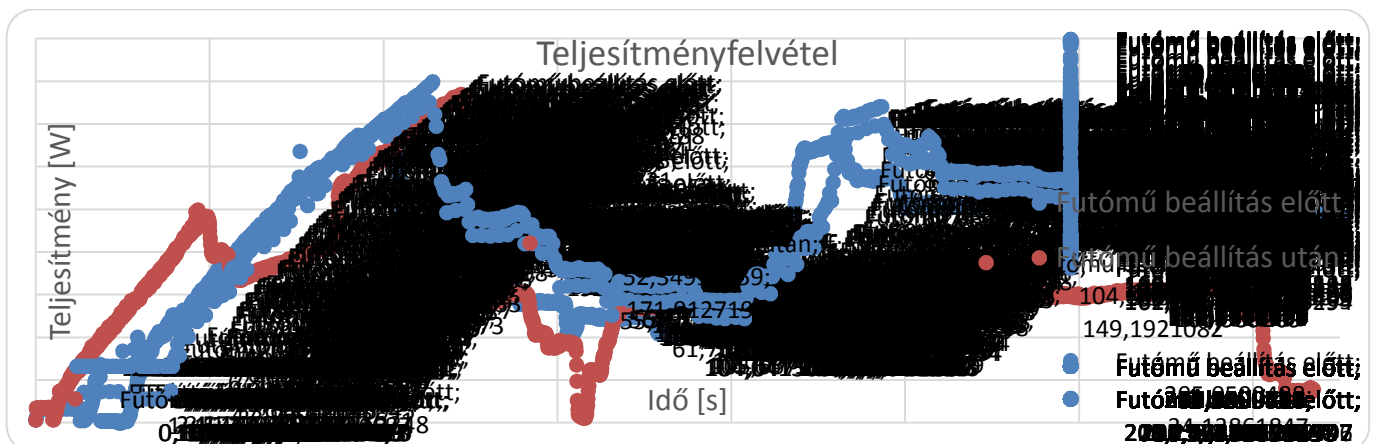
18. ábra: Teljesítményfelvétel sebességtartásos üzem



19. ábra: Teljesítményfelvétel szabadkifutásos vezetési módszerrel

Az 18. és 19. ábrákon jól látható a két módszer közötti különbség. A kigurulós módszer akkor jobb, ha a járművet lassító ellenállási erők minimálisak, nem emésztik fel gyorsan a jármű mozgási energiáját.

A 20. ábra mutatja, hogy ha csökkentjük az ellenállási erőket (pl. megfelelő futómű beállítással), akkor jelentős teljesítményfelvételt „takaríthatunk” meg.



20. ábra: Teljesítmény-felvétel futómű beállítás előtt és után

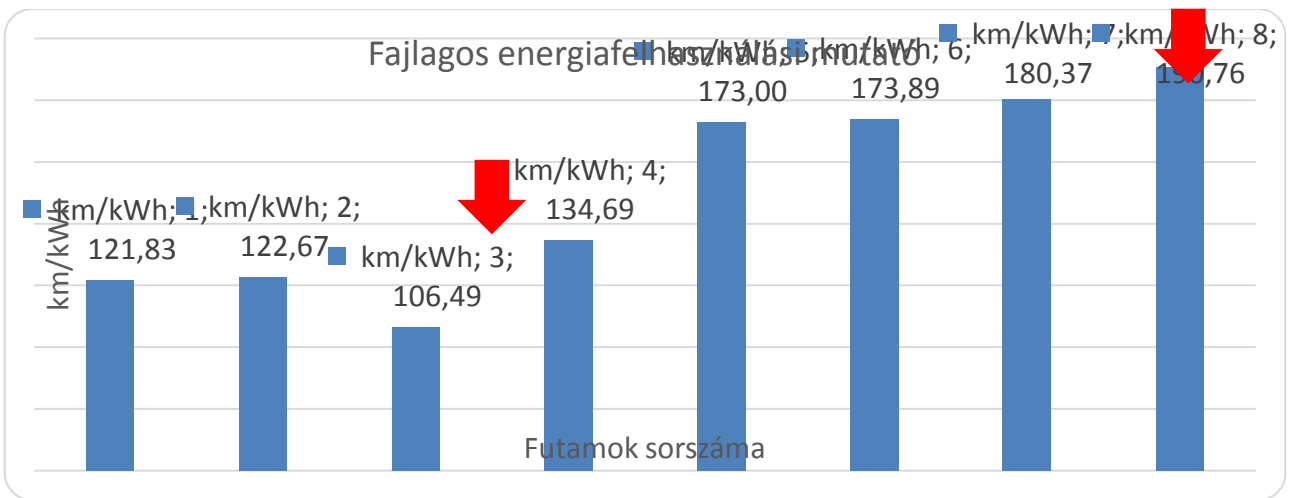
A javasolt módosítások alapján az 1. táblázatban összefoglalt energiafelhasználási mutatókat kaptuk.

A bemutatott táblázat (1. táblázat) és diagram (21. ábra) jól mutatják, hogy a jármű működéséről gyűjtött és kiértékelt információk segítenek elérni az kitűzött célokat.

Jelen esetben kb. 50%-os javulást volt elérhető ugyanazon konstrukciójú járműnél az adatértékeléssel.

Teszt	km/kWh	Vezetési stílus
Teszt 1	121,83	Sebességtartás
Teszt 2	122,67	Kigurulás
Teszt 3	106,49	Kigurulás
Teszt 4	134,69	Kigurulás és sebességtartás
Verseny 1	173,00	Sebességtartás
Verseny 2	173,89	Sebességtartás
Verseny 3	180,37	Sebességtartás
Verseny 4	190,76	Sebességtartás

1. táblázat: Energiafelhasználási mutatók és vezetési módszerek



21. ábra: Fajlagos energiafelhasználási mutatók





22. ábra: Motor teljesítményfelvétele egy körben (a 0 értékek szenzoros illetve adatkapcsolati hibát jelentenek)

A motor üzeme során a kifejtett nyomaték mérése csak drága és nehezen beépíthető érzékelők elhelyezését jelentene a hajtásban. A motorfékpadon mért adatokból azonban kiszámolhatjuk az aktuális hatásfokértéket, így a motor nyomatéka is ismert lesz.

A motorfékpadon mért adatokból adott feszültség mellett előállítottunk egy olyan kétváltozós polinomot ( $\eta = \eta(U, I, \omega)$ ), mely megadja a motor és kontroller aktuális **hatásfokát** ( $\eta_{akt.}$ ).

A polinom két bemenő paramétere:

- Fordulatszám [rpm]
- DC áram [A]

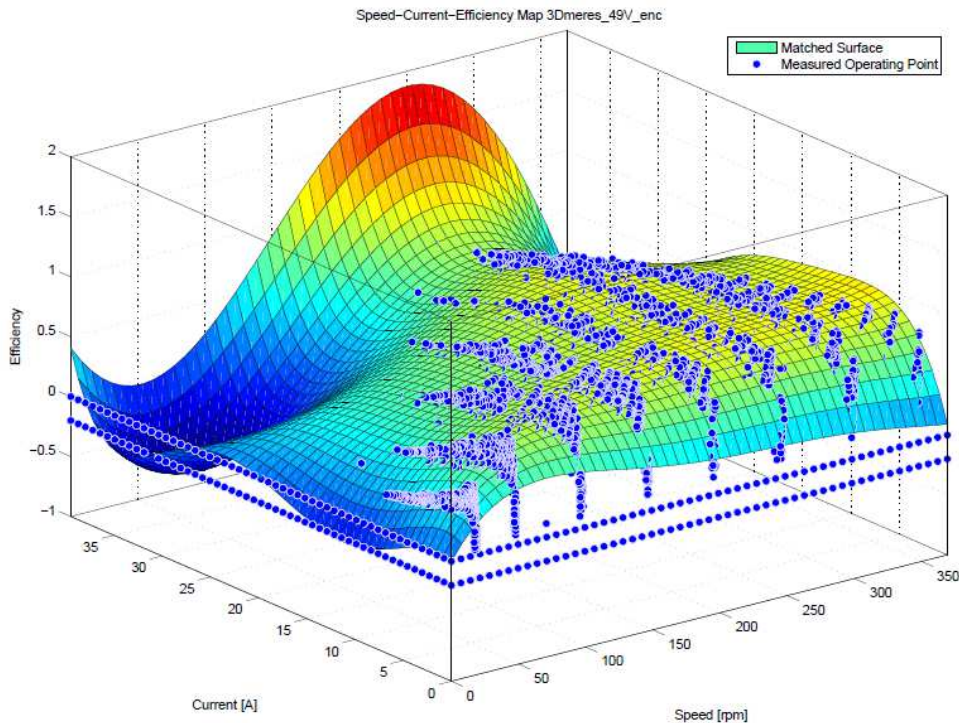
Az állandó feszültség szinten rögzített hatásfokmező felvett pontjaira felületillesztést alkalmaztunk. Black-box megközelítéssel polinomfüggvény paramétereit határoztuk meg, a MATLAB Curve Fitting Toolbox segítségével. Least absolute residuals (LAR) opciót választva csökkenthető a szélsőértékek hatása az eredményre (mérési hibák).

A hatásfokot adó polinom a következő (adott feszültség szinten):

$$\eta_U = p_{00} + p_{10} \omega + p_{01} I + p_{20} \omega^2 + p_{11} \omega I + p_{02} I^2 + p_{30} \omega^3 + p_{21} \omega^2 I + p_{12} \omega I^2 + p_{03} I^3 + p_{31} \omega^3 I + p_{22} \omega^2 I^2 + p_{13} \omega I^3 + p_{04} I^4$$

Azaz konkrét együtthatókkal:

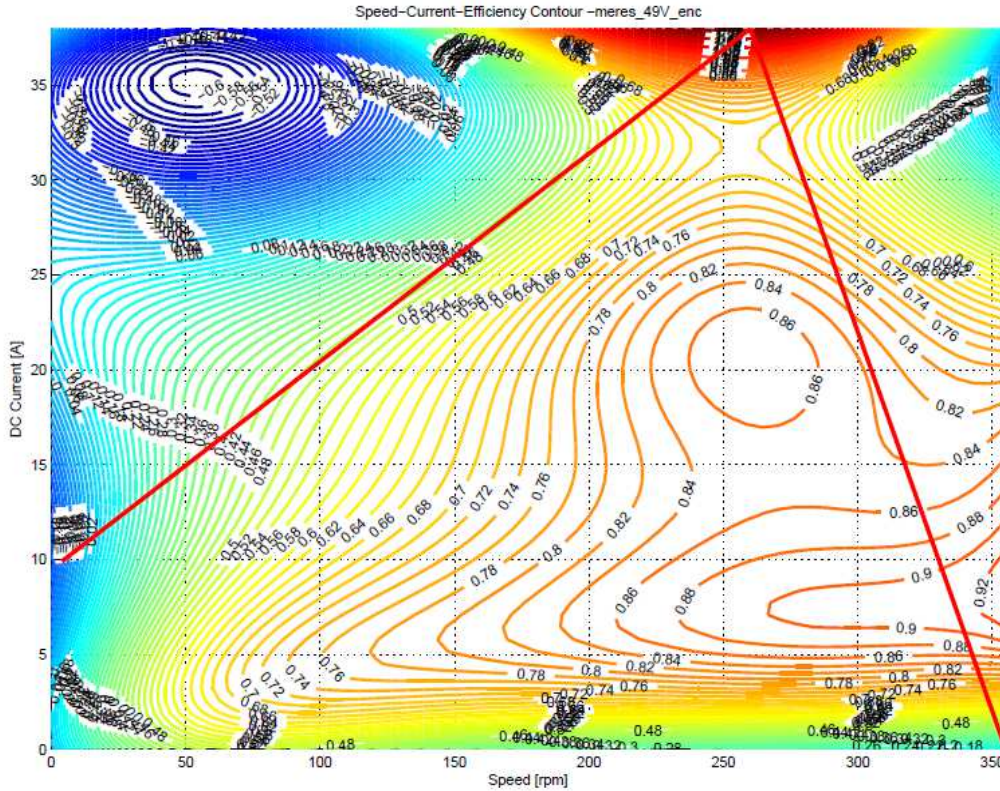
$$\begin{aligned} \eta_{akt\ 49V} = & 6,86086139765083E - 17 + (0,0177057242431314) * rpm + (0,0503606285344223) * I \\ & + (-0,000217955304331778) * rpm^2 + (0,00118918865543692) * rpm * I \\ & + (-0,0204189400235523) * I^2 + (1,10205871794546E - 06) * rpm^3 \\ & + (5,77934411976598E - 07) * rpm^2 * I + (-0,000119964265338177) * rpm * I^2 \\ & + (0,00188500765061006) * I^3 + (-2,5216048766139E - 09) * rpm^4 \\ & + (-1,56765782014545E - 08) * rpm^3 * I + (3,38976669430467E - 07) * rpm^2 * I^2 \\ & + (2,21863233285161E - 06) * rpm * I^3 + (-0,0000639796926718501) * I^4 \\ & + (2,13614863246793E - 12) * rpm^5 + (2,83817217454528E - 11) * rpm^4 * I \\ & + (-4,2101073987097E - 10) * rpm^3 * I^2 + (-2,27371106904608E - 09) * rpm^2 * I^3 \\ & + (-1,328779093098E - 08) * rpm * I^4 + (7,26481464473029E - 07) * I^5 \end{aligned}$$



23. ábra: Fordulatszám-áram hatásfokmező adott feszültségen

Ha az így kapott polinom-függvényt áram szerint deriváljuk, megkapjuk hatásfokfüggvény áram szerinti változását:

$$\frac{\partial \eta_u}{\partial I} = p_{01} + p_{11}\omega + 2p_{02}I + p_{21}\omega^2 + 2p_{12}\omega I + 3p_{03}I^2 + p_{31}\omega^3 + 2p_{22}\omega^2 I + 3p_{13}\omega I^2 + 4p_{04}I^3$$



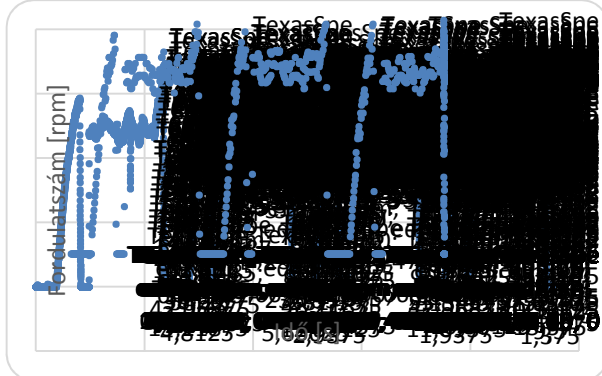
24. ábra: Hatásfokmező áram szerint deriválva

Az elektromos motorok által leadott jellemzők meghatározása

A motor által kifejtett nyomaték a következő összefüggéssel számolható ki:

$$M = \frac{P_{\text{elektromos}} * \eta_{\text{akt}}}{\omega}$$

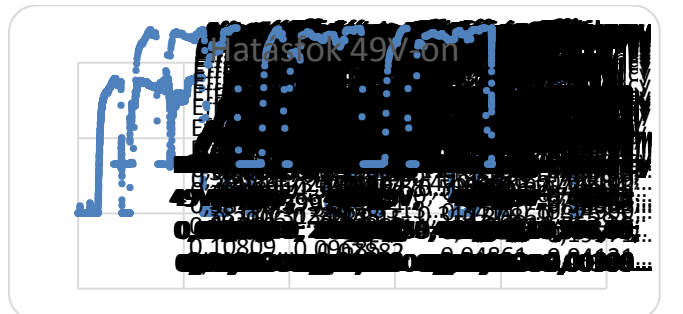
Ehhez az alábbi jellemzők mérésre van szükség (25-27. ábrák)



25. ábra: Motor fordulatszám

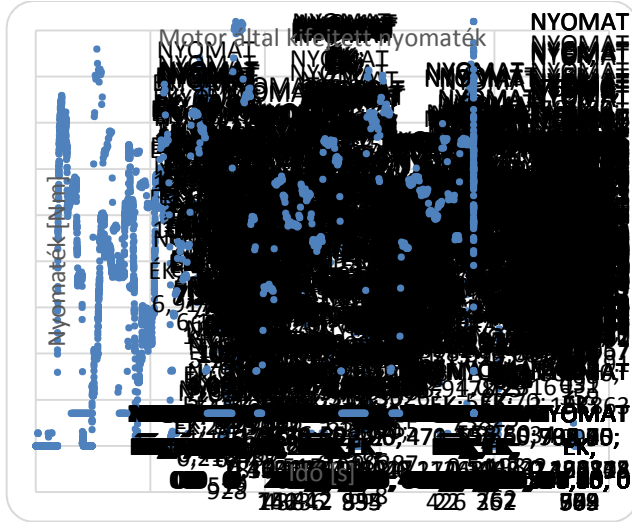


26. ábra: DC áram



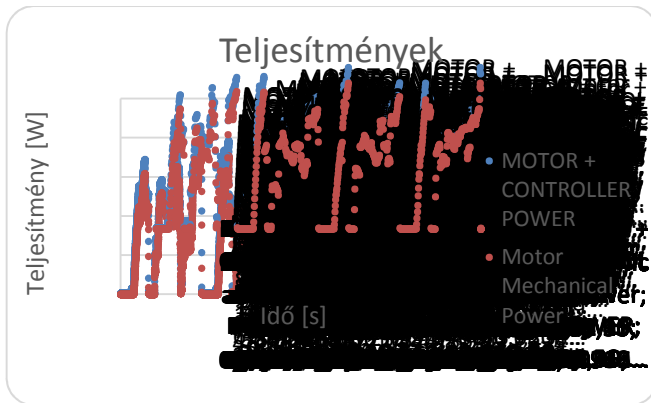
27. ábra: Számított motor hatásfok-idő diagram

A 28. és 29. ábra a mért adatok alapján számított nyomatók és teljesítmény értékeket mutatja.



28. ábra: Számított motornyomatók

A 29. ábrán a felvett elektromos teljesítményt és a kifejtett mechanikai teljesítmény közti különbség látható.



29. ábra: Felvett és leadott teljesítmény

## 6. ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatott diagnosztika teljesítménymérési eljárások széles palettán mozognak. Mindig az adott feladathoz legmegfelelőbbet kell választanunk. Ehhez kíván segítséget nyújtani a cikk a leggyakoribb és a legkorszerűbb eljárások rendszerezésével, és ismertetésével.

A témával kapcsolatos kutatások és modellezések jelenleg is folynak. Az új modellfejlesztések a valós közlekedési folyamatokat Péter [11,15] és körülményeket is figyelembe veszik [12,13,14] a Széchenyi István Egyetem Közúti és Vasúti Járművek Tanszékén, valamint a Járműipari Kutatóközpontban.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

1. „TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások –

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

2. „A kutatás a TÁMOP-4.2.2.A/2-11/1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] I Lakatos: Performance measurement facilities aiming modern diagnostic, XXII. International Conference on Mechanical Engineering (OGÉT), Sibiu, Romania, published in Cluj, Technical Scientific Society Transylvania, (ed.: Csibi, Vencel József), pp. 217-220
- [2] I Lakatos, P Kőrös, F Hajdu: Examination of the effect of sensor properties on the secondary battery model in simulation environment, ACTA TECHNICA JAURINENSIS 7:(1) pp. 71-86 (2014)
- [3] V Nagy, I Lakatos, P Kőrös, T Orbán: Modelling of minimum power consumption electric vehicle drive system In: AVL Advanced Simulation Technologies International User Conference 2013. Graz, Austria, pp. 101-102
- [4] V Nagy, I Lakatos, P Kőrös, T Orbán: Analysis of electric powered city bus in AVL Cruise Simulation Software, 11th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfüred, Hungary, 2013 In: Proceedings of the conference (ed. Gróf, Gy.)
- [5] I Lakatos: Elaboration of a new method for developing a diagnostic procedure for motor vehicles based on a model, Periodica Polytechnica: Transportation Engineering 41:(1) pp. 57-64. (2013)
- [6] I Lakatos: Diagnostic measurement for the effective performance of vehicles, Acta Polytechnica Hungarica 10:(3) pp. 239-249. (2013)
- [7] I Lakatos, V Nagy, P Kőrös, T Orbán: Computer Aided Modelling Of Hybrid Mini Van, Hungarian Journal of Industrial Chemistry 40:(1) pp. 57-64 (2013)
- [8] I Lakatos, P Kőrös, V Nagy: Description of fundamental characteristics of a synchronous motor with a vehicle simulation program using the similarity principles, In: microCAD 2013: XXVII. International Scientific Conference. Miskolc, Hungary
- [9] Lakatos István: New analytical method for engine diagnostics based on pressure indication of cylinder clearance, ACTA TECHNICA JAURINENSIS 6:(2) pp. 59-72. (2013)
- [10] Lakatos István: Diagnostic measurement for the effective performance of motor vehicles, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 10:(3) pp. 239-249. (2013)
- [11] Péter Tamás: Nagyméretű nemlineáris közlekedési hálózatok modellezése, KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE (ISSN: 0023 4362) LVII.: (9) pp. 322-331. (2007)

- [12] Péter Tamás: Mathematical Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds. Studies in vehicle engineering and transportation science: a festschrift in honor of professor Pál Michelberger on occasion of his 70th birthday. 305 p. Budapest: Hungarian Academy of Sciences - Budapest University of Technology and Economics, 2000. pp. 51-69. (ISBN:963 420 660 3)
- [13] Peter T, Bellay A.: Integral Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds, *VEHICLE SYSTEM DYNAMICS* 15:(1) pp. 19-40. (1986)
- [14] Péter T.:Fuzzy and Anytime Signal Processing Approaches for Supporting Modeling and Control, In: Rudas IJ (szerk.), ICCC 2005 : IEEE 3rd International Conference on Computational Cybernetics. 350 p., Konferencia helye, ideje: Balaclava, Mauritius, 2005.04.13-2005.04.16. Piscataway: IEEE, 2005. pp. 339-344., (ISBN:0780391225)
- [15] Péter Tamás: *Közúti közlekedési hálózat generálása és a modell szimulációs vizsgálata*. Intelligens közlekedési rendszerek és jármű-controll konferencia Nagykanizsa CD. Konferencia helye, ideje: Nagykanizsa, Magyarország, 2004.04.05-2004.04.10. Budapest: BME, 2005. pp. 444-465