

## Hengertéri nyomásindikáláson alapuló új motordiagnosztikai vizsgálati módszer

Dr. Lakatos István Ph.D., egyetemi docens\*, Czeglédi Dávid, tanszéki mérnök

\*Széchenyi István Egyetem, H-9026 Győr, Egyetem tér 1. (Tel: (96) 503-400/3277; e-mail: lakatos@sze.hu).

„TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003:

Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban.  
A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

**Abstract:** A motorindikálás elsősorban a motorfejlesztésben használt mérési módszer. Az érzékelők fejlesztése azonban lehetővé tette, hogy megbontás nélküli, azaz diagnosztikai vizsgálatokra is alkalmazható legyen.

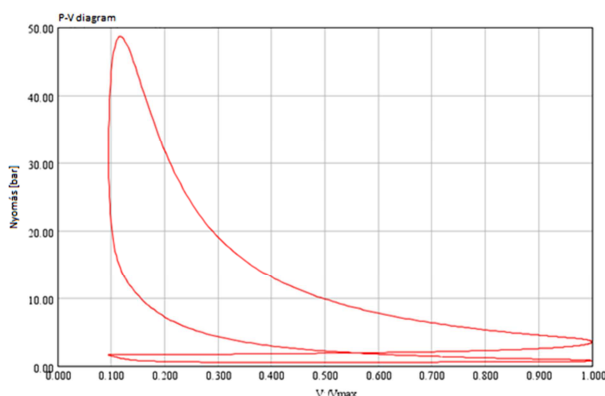
Ennek módszereit dolgoztuk ki egy kutatási projekt keretein belül. E munka eredményeit mutatjuk be a továbbiakban.

### 1. BEVEZETÉS

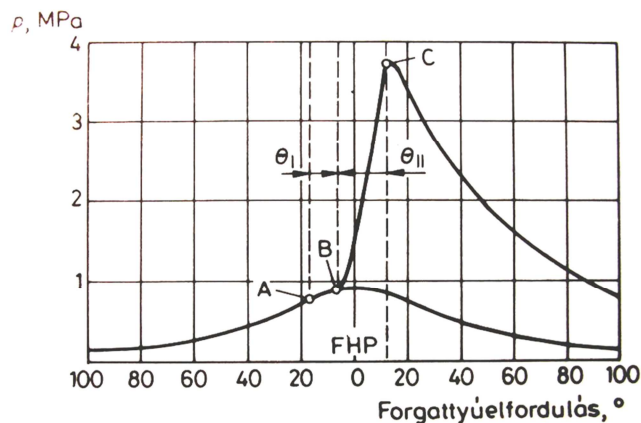
A hagyományos motorvizsgálati módszerekkel a motor forgattyús tengelyen leadott teljesítményét lehetett mérni ( $P_e$ , azaz effektív teljesítmény). A hengerben lejátszódó folyamat nyomásváltozásait a hengertéri nyomás mérésével vagy ahogyan a szakmában nevezik, indikálással lehet meghatározni.

A belsőégésű motorokban az adott ciklusban bevitt tüzelőanyag kémiai energiája alakul át hőenergiává, majd a nyomás-és térfogatváltozás során munkává. A munkatér térfogata eközben periodikusan változik. **A munkafolyamat során a munkavégző közeg nyomása folyamatosan változik, ezt a nyomásváltozást indikátordiagram formájában lehet megjeleníteni.**

Négyütemű motor dugattyúelmozdulás függvényében ábrázolt indikátordiagramja az 1., szögelfordulás függvényében ábrázolt indikátordiagramja pedig a 2. ábrán látható. A forgattyús mechanizmus jellemzőinek ismeretében, a két diagram egyikéből a másik megszerkeszthető.



1. ábra: dugattyúelmozdulás függvényében ábrázolt indikátordiagram



1. ábra: szögelfordulás függvényében ábrázolt indikátordiagram (A – gyújtás, B – az égés kezdete, C – csúcshőnyomás,  $\Theta_I$  – gyulladási késedelem,  $\Theta_{II}$  – nyomásnövekedési szakasz)

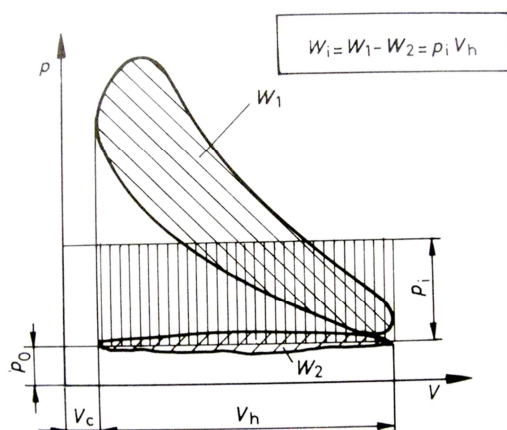
### 2. INDIKÁLT JELLEMZŐK

Az indikált középnyomás a p-V indikátordiagram hasznos területének közepes magassága. **Az indikátordiagram hasznos területe az indikált munka egy ciklusra eső értékét adja.** Ezt az indikált munkát osztva a henger lökettérfogatával, kapjuk az indikált középnyomást:

$$p_i = \frac{w_i}{V_H} \quad \left[ \text{J} / \text{m}^3 \quad \text{vagy} \quad \text{N} / \text{m}^2 \right]$$

(A középnyomást általában kPa-ban vagy MPa-ban fejezik ki.) A mértékegységekből látható, hogy az indikált középnyomás úgy is felfogható, mint az egységnyi lökettérfogatból származó indikált munka.

Az indikátordiagram ismeretében az indikált munka területméréssel határozható meg. Feltétlenül két- és négyütemű motorok töltéscsere-folyamatának területe negatív előjellű.



3. ábra: indikált jellemzők

Az indikált középnyomás a motor terhelésével változik, legkisebb értékét a motor üresjáratában veszi fel, ekkor az indikált munka csak a súrlódás és a segédberendezések energiaszükségleteit fedezi ( $p_i = p_m$ ).

Egy munkaciklus alatt a motor egy hengerének indikátordiagramból számított indikált munkája

$$W_i = p_i \cdot V_H \quad [Nm]$$

Ahol:

$p_i$  az indikált középnyomás

$V_H$  a henger lökettérfogata.

A munkaciklusok száma másodpercenként  $\frac{2n}{i}$ , ahol  $n$  a forgattyús tengely fordulatszáma 1/s-ban;  $2n$  a dugattyú másodpercenkénti löketeinek száma,  $i$  pedig az egy munkaciklus alatt megtett löketek száma. Ezek alapján a  $z$  hengerszámú motor indikált teljesítménye:

$$P_i = \frac{2}{i} \cdot p_i \cdot z \cdot V_H \cdot n \quad [W]$$

Ahol:

- négyütemű motornál:  $i=4$ ,
- kétüteműnél:  $i=2$ .

A teljesítményt általában kW-ban adják meg. Az indikált hatásfok és az indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás a motor indikált jellemzőinek gazdaságossági mutatói.

A fajlagos fogyasztás gyakorlatban elterjedt mértékegysége a **g/kWh**. Gázüzemű motoroknál a fajlagos fogyasztást térfogategységre vonatkoztatva adják meg, **m<sup>3</sup>/kWh**-ban, vagy a **MJ/kWh** fajlagos hőfogyasztással jellemzik a motorok gazdaságosságát.

A motor főtengelyén levehető teljesítmény, az effektív teljesítmény kisebb, mint az indikátor diagram alapján számított indikált teljesítmény. Az indikált teljesítmény meghatározott hányada ugyanis a motor egymáson elmozduló alkatrészeinek mozgatására, ill. a motorüzem folyamatosságának fenntartására fordítódik. Ezt a szükségszerű veszteséget  $P_m$ -mel jelölve a motor effektív teljesítménye a következőképpen fejezhető ki:

$$P_e = P_i - P_m$$

A mechanikai teljesítményvesztés és az effektív teljesítmény egy munkaciklusra jutó munkáját - mint az indikált munka esetében - egységnyi lökettérfogatra vonatkoztatva adódik a mechanikai veszteségekre jellemző középnyomás ( $p_m$ ) és az effektív középnyomás ( $p_e$ ) fogalma. Ezek segítségével a megfelelő teljesítmények ugyanúgy kifejezhetők, mint az indikált jellemzők esetében.

A mechanikai veszteségek a mechanikai hatásfok segítségével is kifejezhetők:

$$\eta_m = \frac{P_i - P_m}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i} = \frac{P_e}{P_i}$$

$$\eta_m = \frac{p_i - p_m}{p_i} = 1 - \frac{p_m}{p_i} = \frac{p_e}{p_i}$$

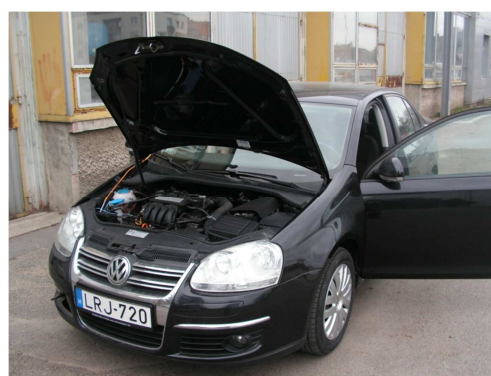
A motor mechanikai veszteségeinek egyik részét a súrlódás (főként a dugattyúk és a hengerek között, másodsorban a csapágsúrlódások) okozza, ezt  $P_s$ -sel jelöljük. A segédberendezések teljesítményszükségletén ( $P_b$ ) az olajszivattyú, vízszivattyú, a gyújtó- vagy befecskendező berendezés, a tüzelőanyag-szivattyú és a mérési feltételeket rögzítő szabványtól függően a hűtőventilátor teljesítményszükségletét értjük. Ehhez jön még a nem forgattyúház- sűrítésű kétütemű motoroknál (és mechanikusan feltöltött négyüteműeknél) a sűrítőhajtás teljesítményszükséglete ( $P_k$ ). Tehát az effektív és az indikált teljesítmény kapcsolata:

$$P_e = \eta_m P_i$$

### 3. MOTORINDIKÁLÁSON ALAPULÓ DIAGNOSZTIKAI MÓDSZER

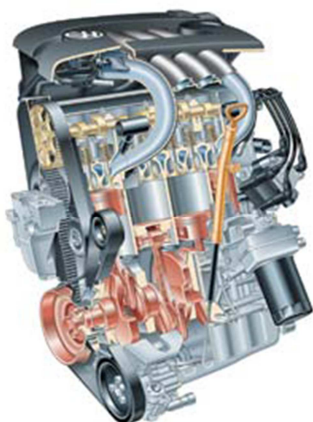
#### 3.1. A vizsgált jármű és motor

A vizsgálatokhoz választott jármű egy VW Jetta volt (3. ábra).



4. ábra: a vizsgált jármű

A Jettában a Volkswagen AG. autóiipari konszern által gyártott négyütemű, négyhengeres, nyolcszelepes, feltöltetlen Otto-motor (4. ábra) volt beépítve, melynek főbb adatait az 1. táblázat tartalmazza:

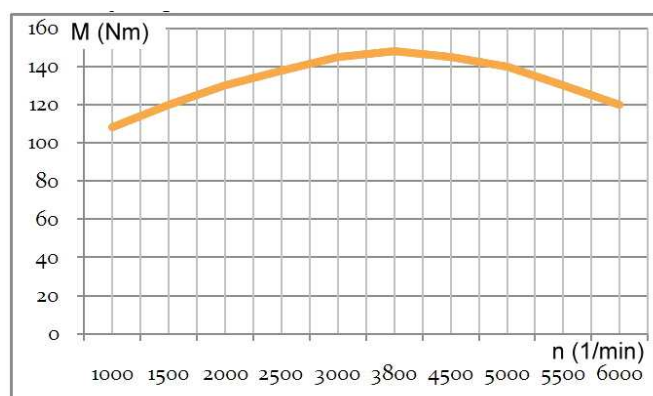


5. ábra: a vizsgált motor

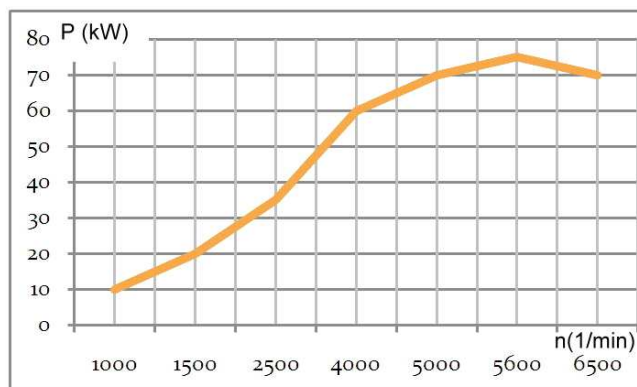
Építési mód	4-hengeres soros motor
Lökettérfogat	1595 cm <sup>3</sup>
Furat	81,0 mm
Löket	77,4 mm
Sűrítési viszony	10,3:1
Max. teljesítmény	75 kW, 5600 min <sup>-1</sup>
Max. nyomaték	148 Nm, 3800 min <sup>-1</sup>
Üzemanyag	95-ös ólmozatlan benzín
Károsanyag-kibocsájtási szint	EU 4

1. táblázat: a vizsgált motor főbb adatai

A motor jelleggörbéi az alábbi ábrákon láthatók.



6. ábra: külső (teljes terhelés) nyomatéki jelleggörbe



7. ábra: külső (teljes terhelés) teljesítmény jelleggörbe

Ezt a motorblokkot építik be a Volkswagen konszern szinte összes márkájának (Audi, Seat, Skoda, VW) típusaiba.

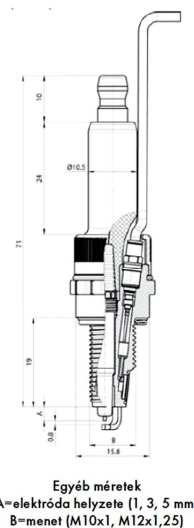
Azért ezt a motortípust választottuk, mert nem tartalmaz olyan bonyolult vezérlési rendszereket, amelyek a mérést bonyolítanánk, mint például változó szelepvezérlés, turbófeltöltő stb. A kidolgozandó módszer alapelveinek lefektetéséhez azonban ez a konstrukció maximálisan alkalmas.

### 3.2. Az összeállított mérőrendszer

A motorindikálás alapvetően motorkísérleti módszer. A projektben azonban diagnosztikai célú (megbontás nélkül vagy csekély megbontással elvégzett vizsgálat) új módszer kidolgozására vállalkoztunk.

A mérések elvégzéséhez az alábbi típusú nyomásmérő gyújtógyertyát választottuk (a motorba előírt gyújtógyertya méreteinek és hőértékének megfelelően):

GG1452 INDICATING SET GH13Z-24/ ZF43 F7L PRT



8. ábra: indikáló gyújtógyertya

AVL DPM-800 hengertér nyomás vizsgáló gyertya kompletten tartalmazza a nyomásmérő egységet is a gyújtógyertyába integráltan.

Az új fejlesztésű indikáló gyújtógyertya nagypontosságú nyomásmérésre alkalmas, anélkül, hogy az égési folyamatot bármilyen zavaró hatással befolyásolná. M10, M12 furatátmérőkben, különböző hosszúságokban és 3, 5 és 7 hőértékkel érhetőek el.

A beépített érzékelő piezokristály, azaz a GaPO<sub>4</sub> (gallium-foszfát) elem érzékenysége 12 pC/bar. Az új eszköz nemcsak a motorfejlesztésben, a chip-tuningban, hanem a javítóipar motordiagnosztikájának terén is nagy segítséget nyújthat.

A megfelelően hosszú élettartam tesztkörülmények között a gyújtógyertya-nyomásmérő egység fejlesztésének elsődleges szempontja volt. A platinaelektroda megfelelő szilárdságú és a hőhatásokat hosszan tűrő eleme a gyújtógyertyának. A test elektróda is platinaerősítésű. A 30.000 km hosszú tesztciklus alatt semmilyen rendellenességet nem tapasztaltak a fejlesztők a gyertya gyújtó- és nyomásmérő funkciójában. Az átlátható moduláris felépítésnek köszönhetően akár a végfelhasználó is ki tudja cserélni egy-egy elemét az egységnek.

#### A mérőrendszer összeállítása:

Az új mérőrendszert az alábbi elemekből terveztük meg:

Az indikáló gyújtógyertya beépítésekor kellő körültekintéssel kellett eljárni. Ennek főbb szempontjait foglalják össze az alábbi ábrák:



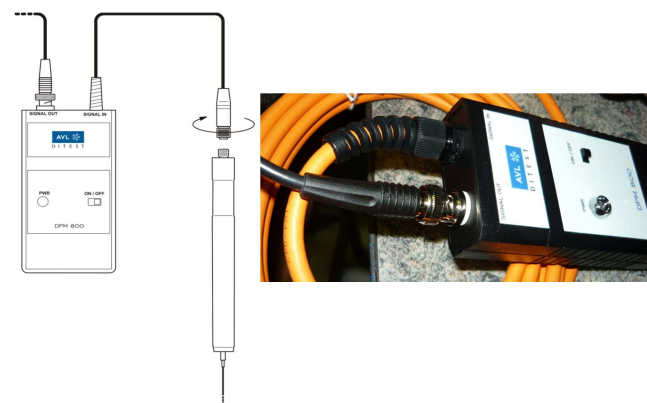
9. ábra: az indikáló gyújtógyertya méreteinek ellenőrzése



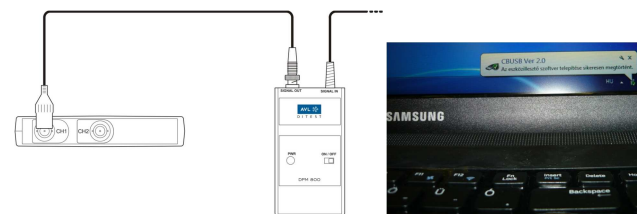
10. ábra: indikáló gyújtógyertya beszerelése a motorba




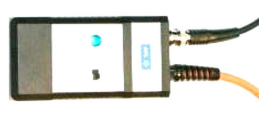

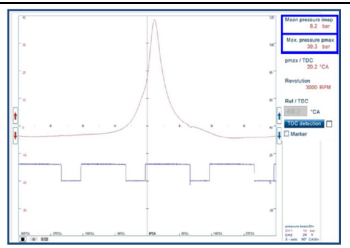
11. ábra: indikáló gyertya összekötése a gyertya adapterrel (erősítő)



12. ábra: a tápegység és az erősítő összekötése



13. ábra: csatlakoztatás az oszcilloszkóphoz, majd a laptophoz

AVL piezo gyújtógyertya	
AVL jelerősítő egység	
AVL DiScope 802 két csatornás oszcilloszkóp	
AVL moduláris DiX mérő-szoftver	

2. táblázat: az új nyomásmérő diagnosztikai rendszer alkotó elemei

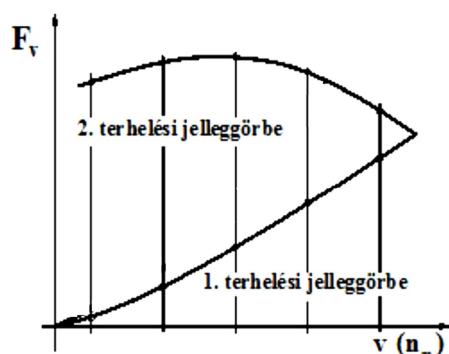
### 3.3. Vizsgálati munkapontok

A belsőégésű motorok terhelési jellegmezője végtelen sok munkapontból áll.

Ezekből a vizsgálatunk céljára meghatározott jelleggörbék elhelyezkedő pontokat választottunk ki. A jelleggörbék munkapontjai stacioner munkapontok, amely azt jelenti, hogy a munkapontot meghatározó motorjellemzőket (motorfordulatszám és terhelés) állandó értéken tartjuk. A mai motorok szabályozott motorüzem azonban hatást gyakorol a munkapontokon belüli ciklus-állandóságra. Ezt a ténytet a későbbiekben fogjuk elemezni.

A vizsgálatok céljára kettő jelleggörbe típust választottunk ki (8. ábra):

- a menet-ellenállási jelleggörbét ( $F_v \sim v^2$ )  
– 1. terhelési jelleggörbe,
- a külső (teljes terhelési) nyomateki jelleggörbét  
– 2. terhelési jelleggörbe.



14. ábra: vizsgálati üzemi jelleggörbék

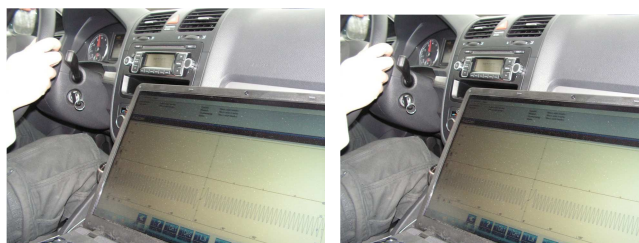
A továbbiakban a jelleggörbe mérési pontjaiban felvett indikátor diagramok értékeit foglaljuk táblázatokba. A diagramok soraiban található értékek a motor vizsgált hengerének egy-egy

munkaciklusát jellemző indikátor diagramok adatai. Az értékek jelentős szórása abból adódik, hogy a keréken leadott teljesítmény átlagos (állandó) szintjéhez, a motorikus működésből fakadó, változó munkaciklusok társulnak. Ezt a változást még erősítik a motoron található irányítási körök, mint pl. a lambdaszabályzás vagy a kopogásszabályzás. Ezek működése ugyanis az üzemi paramétereket folyamatos kismértékű módosítását eredményezi.

A munkaponti jellemző érték tehát minden esetben a ciklus értékek számtani átlaga. A méréseket illusztráló néhány fotót mutatunk be az alábbi ábrákon.



15. ábra: az indikáló gyújtógyertya bekötése



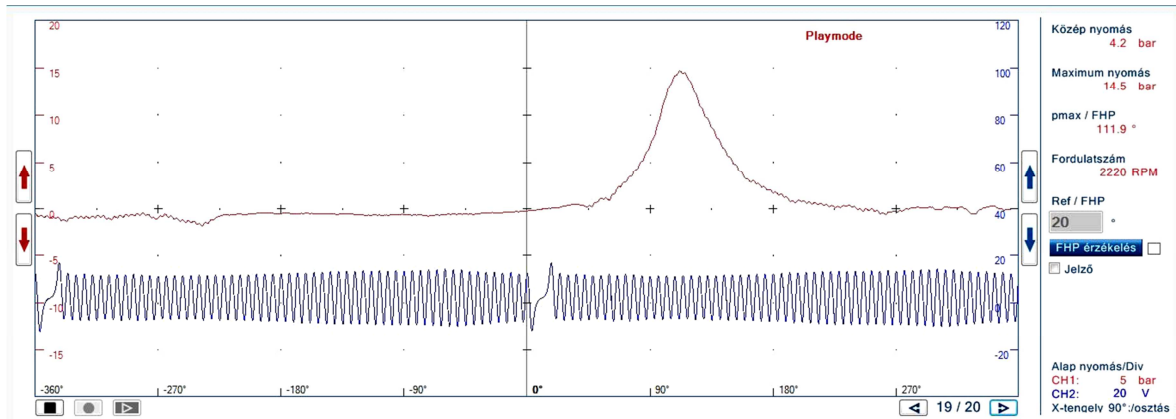
16. ábra: mérés autópályán

A mérések többségét a reprodukálhatóság miatt a Közúti és Vasúti Járművek Tanszék Gépjármű Diagnosztika Laboratóriumában végeztük, görgős járműfékpadon.

A méréseket hibátlan állapotban és szimulált hibákkal is elvégeztük.

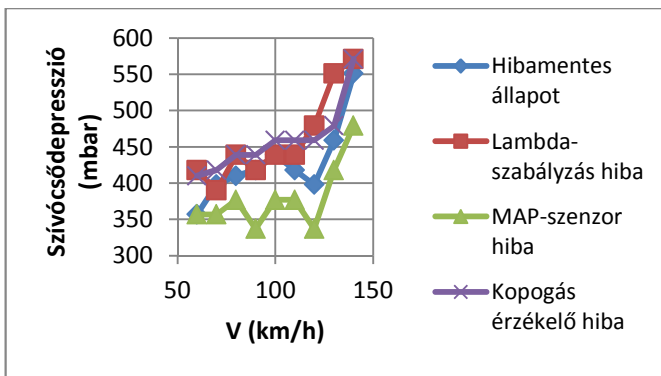
Sebesség 60 km/h; terhelés 100%						
	Indikált középnyomás		Égési csúcnyomás		pmax/FHP	Fordulatszám
	bar	N/mm2	bar	N/mm2	fok	Ford/perc
1.	4,3	43	14,9	149	112	2280
2.	4,5	45	16,3	163	110,7	2270
3.	4,5	45	17,1	171	111,3	2270
4.	..	..	..	..	..	..
19.	4,7	47	16,4	164	110,7	2230
20.	4,5	45	22,5	225	109,9	2230
Max	4,7	47	22,5	225	114,8	2280
Min	3,7	37	12,1	121	109,8	2220
Átlag	4,29	42,85	15,33	153,25	112,02	2244,50
Eltérés	1	10	10,4	104	5	60
Szórás	0,22	2,23	2,11	21,13	1,50	20,38

17. ábra: a négyzetes terhelő karakterisztika ( $v=60$  km/h) ciklusjellemzői

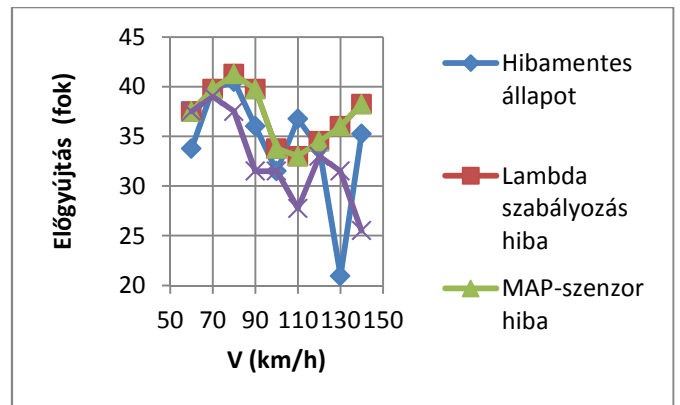


18. ábra: indikátor diagram (Munkapont: négyzetes terhelő karakterisztika,  $v=60$  km/h)

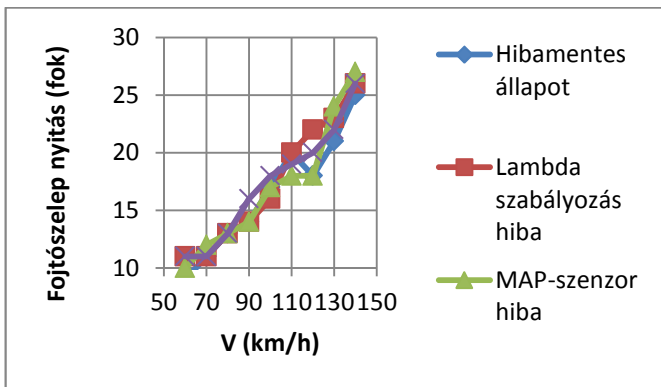
A hibátlan állapot után lássunk néhány szimulált hibát, illetve azok következményeit, diagrammokon, mért regisztrátumokon:



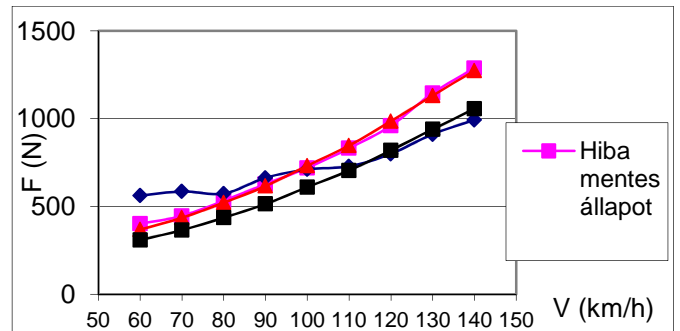
19. ábra: a négyzetes terhelő karakterisztika mentén mért hibák összevetése szívócsődepresszió szempontjából



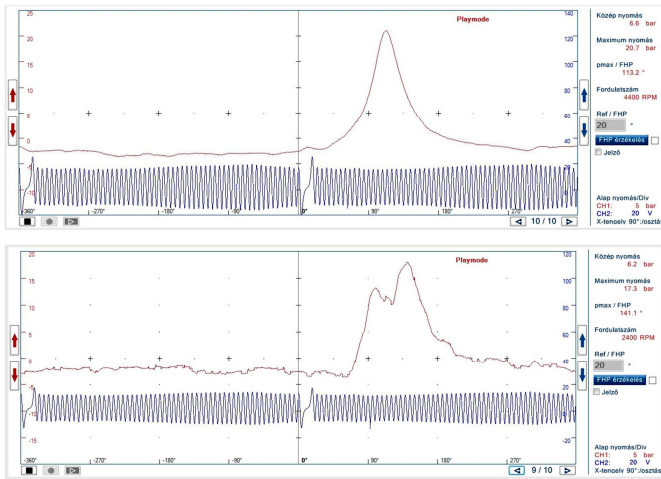
21. ábra: a négyzetes terhelő karakterisztika mentén mért hibák összevetése előgyújtási szög szempontjából



20. ábra: a négyzetes terhelő karakterisztika mentén mért hibák összevetése fojtószelep nyitási szög szempontjából



22. ábra: a négyzetes terhelő karakterisztika mentén mért hibák összevetése vonóerő szempontjából

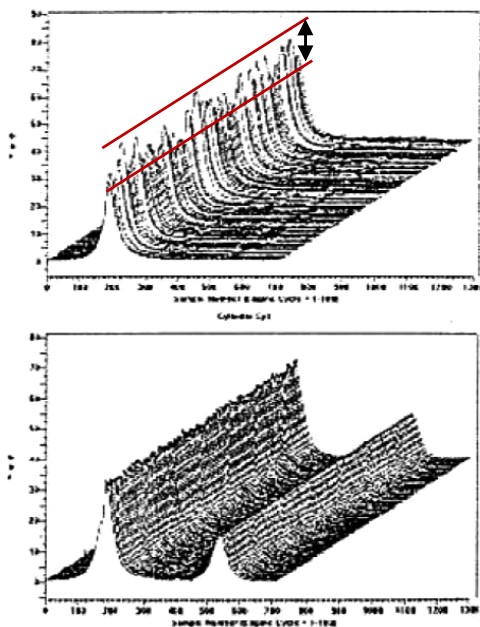


23. ábra: kopogásérzékelő hiba (teljes terhelés): fenti a hibátlan, a lenti a hibás kép

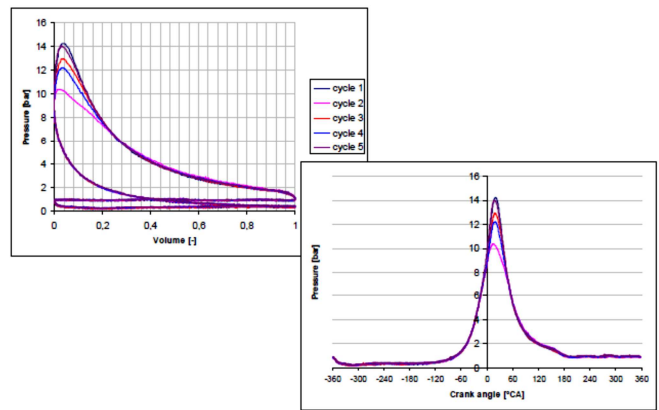
## 6. KÖVETKEZTETÉSEK, KIÉRTÉKELÉS

Otto motoroknál adott munkapontra jellemző a munkaciklusok ingadozása. Ennek okai az égési sebesség időben és helyben eltérő értékeiből adódnak. Ez abból fakad, hogy az égéster különböző pontjaiban nem homogén a keverék-összetétel. A keverékképzés minőségének javításával a ciklusingadozás mértéke csökkenthető.

Az egymástól különböző ciklusjellemzők átlagértéke jellemző az adott munkapontra. Emiatt a munkapontokban mérés felvett táblázatokban minden esetben megadtuk az átlag és a szórás értékét is.



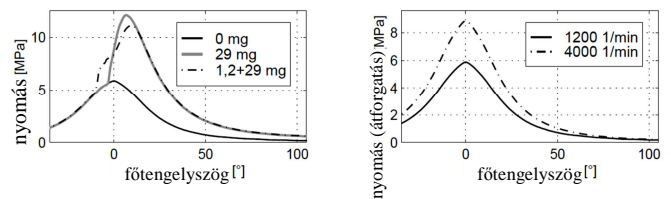
24. ábra: ciklusingadozás



25. ábra: ciklusingadozás indikátor diagramon történő megjelenítése (p-V, p-φ), (n=3000 1/min,  $p_e=0.18$  MPa, var  $p_{max}=11,7\%$ )

A ciklusingadozásra a motor irányított rendszerei is hatást gyakorolnak, hiszen adott munkapontban is beleszólnak a motor beállítási jellemzőibe. Így, ha az irányított rendszerek kiiktatásra (pl. lamda- és kopogás-szabályzás) kerülnek, a ciklusingadozás mértéke csökken. Erre vonatkozóan az előző fejezetben több mérést is végeztünk.

A legnagyobb szemmel is látható eltérés a kopogásszenzor kiiktatásával jelentkezett, mind teljes terheléses, mind négyzetes terheléses esetében. Erre az esetre a teljes terhelés állapot a legjellemzőbb, hiszen itt a legnagyobb a kopogási kockázat.



26. ábra: a befecskendezett mennyiség és a különböző motorféküzemi üzemiállapotokban mérhető indikátor diagramok

A megtervezett új mérési rendszer és módszer lehetővé teszi az eddig kutatási és motorfejlesztési célokra használt motorindikálás diagnosztikai célokra történő felhasználását.

Jelentősége abban rejlik, hogy a bemutatott eljárások akár országúti méréseket is lehetővé tesznek a mérőrendszer kialakítási rugalmasság révén.

A mérések során mindig arra kell törekedni, hogy a vizsgált típushoz rendelkezünk eltárolt referencia képekkel és adatokkal, amelyeket hibátlan műszaki állapotú referencia járművek mérése útján állíthatunk elő. A referencia adatokhoz mindig rendeljük hozzá a mérési üzemiállapot azonosító jellemzőit.

A további diagnosztikai vizsgálatok során, a referencia állapottal megegyező üzemi pontokban mérünk és a mért képeket, adatokat vetjük össze az adott típus hibátlan állapotban tárolt jellemzőivel.

Ügyeljünk arra, hogy a ciklusingadozások figyelembe vételével, a méréssel felvett időintervallum (pl. 20 s) léptetett cikluskepei közül mindig az átlagnak megfelelőt vegyük alapul.

A mérőműszerbe integrált laborszópkó előnyeit a vizsgálatnál kihasználhatjuk arra is, hogy a nyomásanalízis mellett elvégezzük a szenzorok és beavatkozók oszcilloszkópos vizsgálatát. Ehhez a mérő-laptopon referencia képeket tárolunk, illetve továbbiak tárolására is van lehetőség.

A kutatás keretein belül kifejlesztett új mérési módszer és mérőrendszer prototípus olyan praktikus alkalmazható digitális mérő és mérésadatgyűjtő rendszer, amely nem csupán a motor hengerterének indikálására (nyomásmérésére) alkalmas, hanem az integrált digitális oszcilloszkóp segítségével a gépjárműben fellelhető elektronikus jeladók jelei és jellemző értékei is megjeleníthetők és referencia képekkel, valamint egymással össze is vethetők.

A kutatási munka során hetekig teszteltük az eszközt, gyűjtöttük az információkat és feldolgoztuk a mérési eredményeket.

Ennek alapján a mérőrendszer használata 2 fő típusra bontható:

**Direkt mérés:** amikor a jármű valamely jeladójának jelét jelenítjük meg a képernyőn, és ennek az elektromos jelnek az alakjából, értékeiből következtetni tudunk a hibára. Pl: generátor, gyújtásrendszer, jeladók, stb. esetében

**Indirekt mérés:** A műszerrel referencia értékeket felvesszünk fel és később a mért értékeket, vagy jelalakokat ehhez hasonlítjuk (pl: hengertéri nyomásanalízis, de akár a jeladók, beavatkozók vizsgálata is végezhető így)

#### Az indirekt mérés folyamata:

Referenciajel, illetve érték felvétele

A referenciajel tulajdonképpen a gyári állapotról jellemző összehasonlító paraméter. (azon szervek, amelyek hozzáférnek az általuk szervizelt gépjárművek gyári paramétereire, nem kell referenciát felvenniük, csupán be kell szerezni ezeket)

A referencia jelek adattárát tetszés szerint bővíthetjük:

A referenciajel felvétele történhet pl. egyenes, sík úton haladás közben (síktúti menetellenállás terhelés vagy görgős teljesítménymérő padon).

Tapasztalataink szerint a 100 km/h-s sebesség alkalmas erre. Célszerű egy viszonylag hosszú egyenes sík autópálya-szakaszt keresni. **Figyelem, a gépjármű esetleges domb-, vagy lejtmenete, illetve terhelése jelentősen befolyásolhatja a mérést.** A műszer összesen 100 képet képes rögzíteni egy mérés során. Javasoljuk, hogy ezt használják is ki a felhasználók, azaz a jelfelvétel hossza legalább 1 percig tartson.

#### Jelek rögzítése, kiértékelése

Ahogy azt már az előző fejezetekben említettük, a motorok működési tulajdonságai, különösen a szabályozási körök működése, ciklusingadozáshoz vezet. Emiatt nem mindegy, hogy a mért 100 képből melyiket emeljük ki referenciaként. **A mért értékeket átlagolni kell. Emellett érdemes a legnagyobb, legkisebb értéket és a szórást is rögzíteni.** Ezek a műveletek pl. excellben nagyon egyszerűen végrehajthatók.

Ezt követően, végignézve az elmentett képeket, az átlagolt értékekhez közeli, az egész mérésre jellemző jeleket kell megkeresni és azt referenciaként az adott mérési üzemiállapot azonosításával kimenteni. Később ezeket fogjuk a hibafeltáráshoz felhasználni.

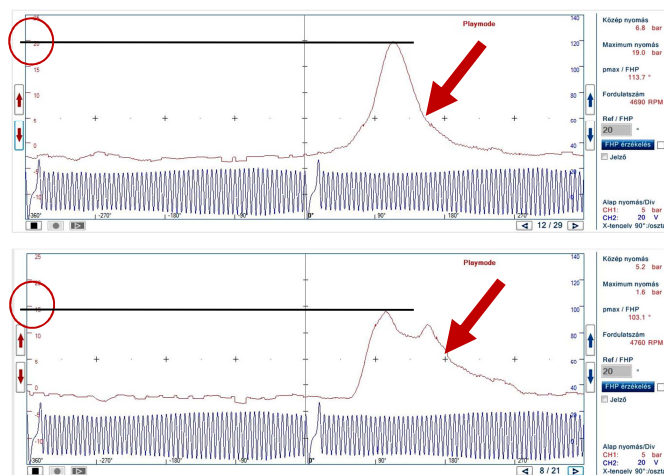
A referenciák tehát egy jelalakból, ahhoz tartozó átlagos-, minimális-, maximális értékekből és szórásból állnak.

Diagnosztizált/hibás jármű jelfelvétele

A hibás jármű jelfelvétele a referenciájelnél leírtakkal pontosan azonos módon történik. A kiértékelés folyamata is megegyezik.

#### Hibafeltárás

A hibafeltárás a referencia és a hibás jel összehasonlításával történik. Itt az értékekre és a jelalakokra is oda kell figyelniük.



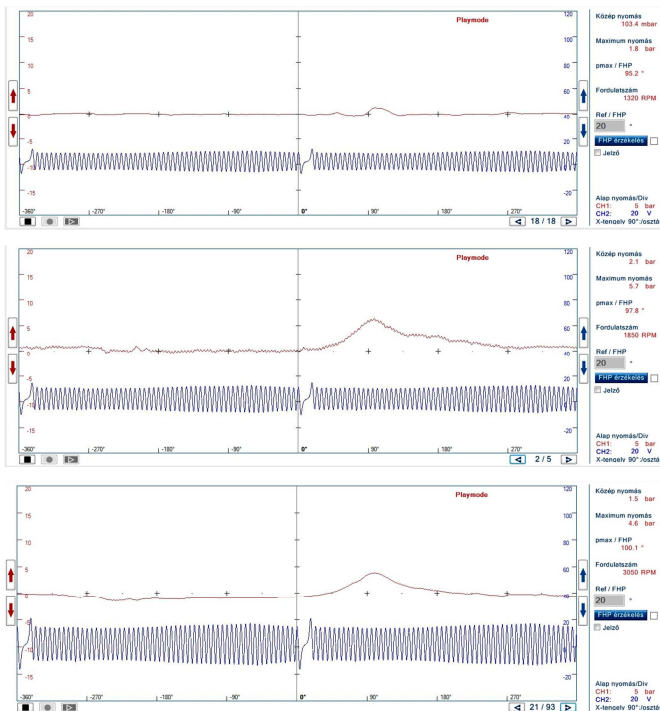
27. ábra: referencia és hibás jel összehasonlítása

A két ábra összehasonlításából egyértelműen megállapíthatjuk, hogy mind a jelalakban, mind a csúcs és a középnyomás-értékekben is jelentős az eltérés.

A mindennapos felhasználás napi gyakorlata fogja meghozni a diagnosztikai döntések rutinját, amelyhez minél több hibás és referencia kép tárolása szükséges az adattárban.



A továbbiakban még néhány, üresjárati állapotban felvett képet mutatunk be.



28. ábra: üresjárati üzemállapotban felvett nyomásgörbék

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Lakatos István: Töltéscsere-időzítés hatása a négyütemű feltöltetlen Otto-motorok üzemére, Ph.D. disszertáció, BME, 2002, 112 p.
- [2.] Dr. Lakatos István: Optimisation of the charge replace process of uncharged Otto engines of OHC control, Hungarian Electronic Journal, Győr, megjelenés alatt
- [3.] Dr. Lakatos István: Untersuchung der Zusammenhängen zwischen der indizierten Werten und der mit Rollenprüfstand gemessenen Versuchsergebnissen, Járművek, 2002
- [4.] AVL DISCOPE 802 GÉPKÖNYV, a 1.6.0.192 program verzióból, AVL DITEST FAHRZEUGDIAGNOSE GMBHALTE POSTSTRASSE 152A-8020 GRAZ, AUSTRIA, 2011
- [5.] AVL DITEST DPM 800 gépkönyv, AVL DITEST FAHRZEUGDIAGNOSE GMBHALTE POSTSTRASSE 152A-8020 GRAZ, AUSTRIA, 2011
- [6.] Benjamin Robert Brown: Combustion Data Acquisition and Analysis, Loughborough University, Department of Aeronautical and Automotive Engineering
- [7.] Dipl.-Ing. Gerald Rämisch: Modellbasierte Diagnose am Beispiel der Zylinderdrucksensorik von Ottomotoren, Isenbüttel, 2009
- [8.] Verbrennungsmotoren / Prof. Dr. Jan Czerwinski / Assistent Dipl. Ing. Thomas Hilfiker / in Zusammenarbeit mit KISTLER Instrumente AG – Experten: Hans-Jörg Gisler / Christian Bach: Verbrennungsdagnostik mittels Druckindizierung
- [9.] Mark C. Sellnau Delphi Central Research and Development Frederic A. Matekunas, Paul A. Battiston and Chen-Fang Chang General Motors Research and Development Center David R. Lancaster General Motors Powertrain Group: Cylinder-Pressure-Based Engine Control Using Pressure-Ratio-Management and Low-Cost Non-Intrusive Cylinder Pressure Sensors, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2000-01-0932
- [10.] Josef Blažek: THE COMBUSTION PROCESS ANALYSIS BY MEANS OF IN-CYLINDER PRESSURE MEASUREMENT, Međunarodni naučni simpozijum Motorna Vozila i Motori International Scientific Meeting Motor Vehicles & Engines Kragujevac, 04. - 06.10.2004
- [11.] RAINER MÜLLER, HANS-HUBERT HEMBERGER, and KARLHEINZ BAIER Daimler Benz AG, Research Institute 1, F1M/EA, HPC T721; 70546 Stuttgart, Germany: Engine Control using Neural Networks: A New Method in Engine Management Systems, Meccanica 32: 423–430, 1997., © 1997 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.