

T Ö L T E T C S E R E I D Ő Z Í T É S H A T Á S A
A N É G Y Ű T E M Ű , F E L T Ő L T E T L E N
O T T O - M O T O R O K Ü Z E M É R E

Készítette:

DR. LAKATOS ISTVÁN
okl. gépészmérnök

Tudományos vezető:

PROF. DR. PALKOVICS LÁSZLÓ
egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora

B u d a p e s t

2 0 0 2

Tanulmány:

- [29.] Antal Attila - Lakatos István
Alternatív motorhajtó tüzelőanyagok (Alkoholok)
Bioreklám Bt., Győr, 1991.
- [30.] Antal Attila - Lakatos István
Alternatív motorhajtó tüzelőanyagok (Növényi olajok)
Bioreklám Bt., Győr, 1991.

Folyóirat cikk:

- [31.] Lakatos István
Gépjárműmotorok segédtengelyes tömegkiegyenlítése
Járművek, Építőipari És Mezőgazdasági Gépek, 1992. augusztus, p.
317-319
- [32.] Dr Lakatos István – dr. Varga Zoltán::
Mass balancing of engines with accessory shafts,
Járművek, 2000. december, p. 11-13
- [33.] Dr Lakatos István – dr. Varga Zoltán::
Effects of Some Differences Of the Sizes of Ball Threads on the Ope-
ration of the Thread
Hungarian Electronic Journal, 2001. május

Előadás:

- [34.] Dr. Lakatos István
Motortechnikai újdonások
AJAKSZ Szakértői Konferencia, Győr 1994. június
- [35.] Dr. Lakatos István
A Suzuki-gépkocsik benzinbefecskendező rendszere
AJAKSZ Szakértői Konferencia, Győr 1994. június
- [36.] Dr. Lakatos István
Korszerű Diesel-technika
AJAKSZ Szakértői Konferencia, Győr 1995. június

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok elsősorban témavezetőmnek, Dr. Palkovics László tanszékvezető egyetemi tanárnak, az MTA doktorának sokirányú értékes támogatásáért.

Köszönet illeti tanszékvezetőmet Dr. Nagy Vince főiskolai tanárt, a műszaki tudományok kandidátusát, a témaművelés feltevéleinek biztosításáért.

Köszönöm továbbá Prof. Dr. Pásztor Endrének, az MTA doktorának, Prof. Dr. Meggyes Attila egyetemi tanárnak Dr. Emőd István Ph.D. egyetemi docensnek, Dr. Dezsényi György egyetemi docensnek és dr. Nagyszokolyai Iván egyetemi adjunktusnak az értékes tanácsokat és a sokrétű segítséget.

Kiemelten köszönöm feleségem, Dr. Lakatosné Dr. Novák Éva támogatását, amivel a munka nyugodt háttérét biztosította.

Folyóirat cikk:

- [10.] Dr. Lakatos István
Feltöltetlen Otto-motorok körfolyamatának matematikai modellezése
Járművek, Építőipari És Mezőgazdasági Gépek, 1995. április, p. 125-129
- [11.] Dr. Lakatos István
A töltetsere-időzítés hatása a motorüzemre
Járművek, 1997/6, p. 197-199
- [12.] Dr. Lakatos István
A töltetsere-időzítés hatása a motorüzemre OHC-vezérlésű motoroknál
Járművek, 1999/3., p. 7-10
- [13.] Dr. Lakatos István
A töltetsere-folyamat vizsgálata matematikai modellel
Járművek, 1999/4., p. 27-30
- [14.] Dr. Lakatos István
A töltetsere-időzítés hatásának vizsgálata matematikai modellel
Járművek, 1999/5-6., p. 47-52
- [15.] Dr. Lakatos István
A töltetsere-időzítés vizsgálata matematikai modellel és kísérleti úton
Járművek, 1999/12., p. 27-29
- [16.] Dr. Lakatos István
Untersuchung der Zusammenhängen zwischen der indizierten Werten und der mit Rollenprüfstand gemessenen Versuchsergebnissen
Járművek, megjelenés alatt
- [17.] Dr. Lakatos István
Optimisation of the charge replace process of uncharged Otto engines of OHC control
Hungarian Electronic Journal, Győr, megjelenés alatt

Előadás:

- [18.] Lakatos István
Otto-motorok körfolyamat számítása számítógépi modell segítségével
Műszaki Főiskola Apeldoorn (Hollandia), 1992. április

[19.] Lakatos István

Gépjárműmotorok "intelligens" töltetcsere-vezérlő rendszerei
AJAKSZ Szakértői Konferencia, Győr 1993. június

[20.] Dr. Lakatos István
Otto-motorok számítógépi körfolyamat modellje és alkalmazása
"20 év Győrben" jubileumi tudományos ülészak, Győr SZIF 1995.

Tankönyv, Budapest Műszaki Könyvkiadó, (megjelenés alatt)

[21.] Dr. Lakatos István
Feltöltetlen OHC Otto-motorok töltetcsere-folyamatának optimalizálása
Tudományos Napok, SZIF, Győr, 2001

VII. A szerző egyéb szakirodalmi tevékenysége

Könyv:

[22.] Dr. Lakatos István – Dr. Nagyszokolyai Iván
Elektronikus dízel szabályozás
NOVADAT, 1996

[23.] Dr. Hancsók - Dr. Lakatos - Dr. Valasek
Üzemanyagok és felhasználásuk
Tribotechnik Kft., 1998

[24.] Dr. Lakatos István – Dr. Németh Kálmán
Márkakereskedések és szervizek
Minerva-Sop, 1998

[25.] Dr. Lakatos István – Dr. Nagyszokolyai Iván
Motorüzemeltetési enciklopédia
Minerva-Sop – NOVADAT, 2000

[26.] Dr. Lakatos István
Jármű- és alkatrészkereskedelem
Minerva-Sop, 2001

[27.] Dr. Lakatos István – dr. Döme Béla (szerk.: Dr. Lakatos István):
Járműdiagnosztika
Tankönyv, Budapest Műszaki Könyvkiadó, (megjelenés alatt)

[28.] Dr. Lakatos István – dr. Nagyszokolyai Iván (szerk.: Dr. Lakatos István):
Gépjármű-diagnosztika és -vizsgálat

ELŐSZÓ

*A belsőégésű motor energetikai szempontból **nyitott rendszer**, mivel működését a munkavégző közeg periodikus cseréje biztosítja. Ezért **termodinamikai körfolyamatának meghatározó része a töltetcsere-fázis**, melynek hatásossága valamennyi fontos motorjellemzőre rányomja bélyegét. Meghatározza a főmunkafolyamat nyomás- és hőmérséklet szintjét és a belőle nyerhető technikai munka nagyságát, tehát erőteljesen befolyásolja a motor (nyomatéki, teljesítményi, fogyasztási és emissziós) karakterisztikáinak jellegét, lefutását.*

*A fenti okok miatt már az 1940-es években foglalkoztak a folyamat matematikai modelljének felállításával. Ekkor született **List és Reyl professzor "Ladungswechsel der Verbrennungskraftmaschine"** című könyve, amely ma is e szakterület alapküvének tekinthető. **Napjainkban még aktuálisabbá vált a töltetcsere-folyamat elemzése, hiszen az elméleti optimum kézzelfogható valósággá tehető.** A korszerű irányítástechnika – a motormenedzsm+ent rendszerek – révén ugyanis egyre több autógyár palettáján is szériaéretté vált a szabályozott (vagy többparaméterű vezérlésű) töltetcsere, vagy népszerű nevén a változtatható (variábilis) szelepvezérlés.*

VI. A szerző értekezéshez kapcsolódó főbb publikációi

Könyv:

- [1.] Dr. Lakatos István – Dr. Nagyszokolyai Iván
Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika I.
Minerva-Sop – NOVADAT, Győr, 1997
- [2.] Dr. Lakatos István – Dr. Nagyszokolyai Iván
Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika II.
Minerva-Sop – NOVADAT, 1998
- [3.] Dr. Lakatos István
Gépjárműmotorok szelepvezérlése
JAURINUM BT., 1994
- [4.] Dr. Lakatos István
Gépjárműmotorok töltetcsere-vezérlése
Főisk. jegyzet (kézirat) – a Pro Renovanda Alap. támogatásával, 1995

Tanulmány:

- [5.] Lakatos István
Mercedes személygépkocsi motorok szelepvezérlésnek elemzése
Szakdolgozat, KTMF, Győr, 1987
- [6.] Lakatos István
Szelepvezérlő mechanizmus számítása
Diplomaterv, BME 1989
- [7.] Lakatos István
Benzinmotorok szelepes töltetcsere-vezérlés optimalizálásának lehetőségei
Egyetemi doktori disszertáció, BME, 1993
- [8.] Dr. Lakatos István
Gépjárműmotorok üzemének vizsgálata stacioner és instacioner vizsgálatokkal (számítógépi rendszeridentifikáció, valamint modellezés és számítógéppel támogatott görgős járműfékpadai mérések)
Készült a Magyar Felsőoktatásért Alapítvány támogatásával, 1995

- [9.] Dr. Lakatos István
Feltöltetlen Otto-motorok körfolyamatának számítógépi modellezése
SZIF tudományos közlemények, 1996

I. A kitűzött tudományos feladat összefoglalása

A változtatható paraméterű szelepvezérlő rendszerek ma már nélkülözhetetlen részei a drágább, igényesebb járműkategóriákba épített motoroknak (Variocam, Valvetronic, VTEC, MIVEC, stb.). A szériában gyártott rendszerek esetében a fokozatokban állítottól egészen a fokozatmentes változatokig terjed a paletta. Az egyes konstrukciók a szelepnyitási függvény különböző jellemzőit módosítják, néha egyidejűleg többet is. A ma létező rendszerek fő jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.

Az egyszerűbb és olcsóbb motorváltozatok OHC-vezérművel azonban eddig még nem foglalkoztak az autógyárak és a szakirodalomban sem lehet találni ezzel kapcsolatos utalásokat.







Ezért Ph.D. témám kidolgozásához az **OHC-vezérlésű motorokat választottam a vizsgálat tárgyául**, hiszen ennél a konstrukciónál a **vizsgálódás** mindenképpen **új**, eddig feltáratlan **eredményeket hozhat**.

Az elemzést mind modellezéssel, mind méréssel el kívántam végezni. A módszerválasztást azonban alapvetően befolyásolták lehetőségeim (a rendelkezésre álló anyagi és technikai háttér), így ezek figyelembe vételével igyekeztem a célnak legmegfelelőbb vizsgálati eszközöket kiválasztani. **A választásom saját készítésű motor-körfolyamat modellre és görgős járműfékpadra esett.** Ez utóbbinál ugyanis már a jármű viselkedése válik mérhetővé (tehát a felhasználónál jelentkező előnyök és hátrányok jönnek elő), ugyanakkor a járulékos szerelési és illesztési igény (költség oldal) minimális.

A disszertáció elkészítési munkahányadának jelentős részét tehát az eszközzel kialakítására fordítottam, míg a másik jelentős részt a vizsgálatok, illetve azok kiértékelése fémjelezte.

A többváltozós vizsgálatok során arra kerestem a választ, hogy OHC-vezérlésű motorok esetében jár-e számottevő előnnyel a vezérműtengely forgattyús tengelyhez viszonyított elékelési szögének üzem közbeni változtatása. Mindezt az alábbi három változó vezérműtengely – forgattyús-tengely elékelési szögtől függő alakulását elemezve végeztem el:

- indikált teljesítmény, illetve kerékteljesítmény,
- indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve fajlagos járműfogyasztás,
- károsanyag-emisszió (CO, HC, NO_x)

Típus		Javulás a hagyományos vezérléshez képest			Költség, bonyolultság
		Fogyasztás	Emisszió	Teljesítmény	
Folyamatosan változtatható szelepnyitási tartomány időzítés		☺	☺☺☺	☺☺☺	☹
Változtatható szelepnyitási tartomány		☺	☹	☺☺	☹☹☹
Változtatható szelepemelés, változtatható szelep-nyitási időzítéssel		☺☺	☺☺☺☺	☺☺☺	☹☹
Folyamatosan változtatható szelepemelés		☺☺	☹	☺☺	☹☹☹
Fojtószelep nélküli terhelés-változtatás		☺☺	☹	☺☺	☹☹☹
Elektro-mágneses szelepműködtetés		☺☺☺	☺☺☺☺	☺☺☺☺	☹☹☹☹

1. táblázat: változtatható paraméterű szelepvezérlő rendszerek csoportosítása

3.

4. Kipufogógáz-emisszió tekintetében az alábbi megállapítások tehetők:
 - 4.1. **A CO-kibocsátás mértéke OHC-vezérlésű (egy-vezérműtengelyes) motorok esetében sem függ a vezérműtengely forgattyús tengelyhez viszonyított elékelési szögének értékétől.**
 - 4.2. **Adott munkapontokban a vezérműtengely forgattyús tengelyhez viszonyított elékelési szögének üzemállapot-függő módosításával OHC-vezérlésű (egy-vezérműtengelyes) motoroknál is javítható az NO_x- és a HC-kibocsátás együttes mértéke (HC-emisszió esetében 7–11 %-os javulás érhető el) [20.], [21.]. (A csökkenés irányát az égési csúcshőmérséklet csökkenése és vele egyidejűleg a maradékgáz-hányad növekedése adja meg.) A vizsgált motor kis fordulatszámokon és kis terhelési tartományban jellemzően a gyári beállításhoz viszonyítva későbbi, míg közepes terhelés és fordulatszám esetén jellemzően korábbi beállítást igényelt [15.], [16.], [22.]. (A pontosabb értékek meghatározására irányuló további vizsgálatok esetén figyelembe kell venni, hogy a motorikus intézkedésekkel végrehajtott emisszió-csökkentésnek tekintettel kell lennie a motor forgatónyomatékának és tüzelőanyag-fogyasztásának várható alakulására. Emiatt ez a módszer kizárólag részterhelésre és alacsony, illetve közepes fordulatszámokra korlátozódik.)**
5. **Az előző tézisek együttes értékelése alapján megállapítottam, hogy OHC-vezérlésű (egy-vezérműtengelyes) motorok esetében is van értelme az üzem közbeni szelepnitítás-időzítés változtatásnak, amelynek a motor üzemállapotáról kell visszacsatolással rendelkeznie (fázis-adekvát vezérlés, illetve szabályozás) [12.], [14.], [15.], [16.], [17.], [20.], [21.]. (A szabályozási stratégia kidolgozása egyben kijelöli a további kutatások irányát.)**
6. **A „mért” és „számított” mechanikai hatások értékek (a vizsgált motornál) a vezérműtengely–forgattyús tengely elékelési szög függvényében nem változnak jelentős mértékben. Így megállapítható, hogy az optimum helyek elhelyezkedésére nem gyakorolnak jelentős hatást: azaz az optimum helyek az indikált és a keréken mért jellemzők esetében egymással közvetlenül összevethetők.**

V. Tudományos eredmények – tézisek

A matematikai modellel és a laboratóriumi mérésekkel végzett vizsgálatokat kiértékeltem és az eredményeket elemeztem. Ennek alapján az alábbi új tudományos eredmények születtek **(a megállapítások új eleme, hogy OHC-vezérlésű (egy-vezérműtengelyes) motorra vonatkoznak)**:

1. Megállapítottam, hogy **OHC-vezérlésű (egy-vezérműtengelyes) motoroknál** (azaz a szívási és a kipufogási folyamat azonos értelmű és mértékű fáziseltolása esetén) **az indikált teljesítmény, illetve a jármű által kifejtett kerékteljesítmény** értéke függ a fáziseltolás mértékétől. **A fáziseltolás függvényében felvett diagrammok egyértelmű és felismerhető optimummal rendelkeznek** [12.], [16.], [17.]. Az erre történő beállítás adott esetekben a gyári értékekhez viszonyítva mintegy **3–7%-os teljesítménynövekedést** eredményez.

Az indikált teljesítmény, illetve a jármű által kifejtett kerékteljesítmény értéke a terhelés és a fordulatszám változása függvényében az alábbi törvényszerűségekkel jellemezhető [16.], [20.], [21.]:

- 1.1. **kis fordulatszám és kis terhelés esetén (a gyári beállításhoz viszonyítva) „későbbi”,**
- 1.2. **részterhelés és közepes fordulatszám tartomány esetén „korábbi”,**
- 1.3. **teljes terhelésen pedig jellemzően „későbbi”**

vezérműtengely-forgattyús tengely beállítási szöveget igényel a vizsgált motor.

2. A vizsgálati eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy **OHC-vezérlésű motoroknál az indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve a fajlagos járműfogyasztás értéke** függ a fáziseltolás mértékétől. **A fáziseltolás függvényében felvett diagrammok egyértelmű és felismerhető optimummal rendelkeznek** [12.], [16.], [17.]. Az erre történő beállítás adott esetekben a gyári értékekhez viszonyítva mintegy **2–6%-os fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenést** eredményez.

Az indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve a jármű fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásának értéke (a vizsgált motornál) a terhelés és a fordulatszám változása függvényében alapvetően a gyárinál későbbi vezérműtengely-forgattyús tengely beállításokat igényel. Ennek mértéke a fordulatszám növekedésével csökken [15.], [16.], [22.].

II. A tématerület ismeretanyagának összegzése

A töltetcsere folyamat optimalizálása révén, az indikált jellemzők szempontjából az alábbi hatások érhetők el:

- a töltési fok növelése,
- a töltetcsere veszteségek csökkentése,
- a maradékgáz-hányad befolyásolása.

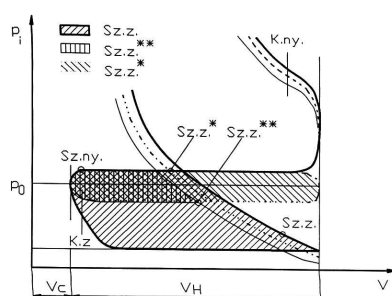
AHMAD és WOLF publikációi alapján a kipufogó szelep zárási pontja ezekre a jellemzőkre kisebb hatással van csupán a kipufogási veszteség oldalba szól bele, ez azonban arányaiban nem jelentős.

A szelep-összenyitási fázis (tehát a szívószelep nyitása és a kipufogó zárás) főként a maradékgázok mennyiségét szabja meg. Alapjáraton és alacsony részterhelési tartományban a rövid szelep-összenyitási fázis előnyös. Ez ugyanis csökkenti a maradékgázok mennyiségét és ezzel jelentősen javítja az alapjáratú stabilitást (LENZ, BURGHART, BRANDSTÄTTER).

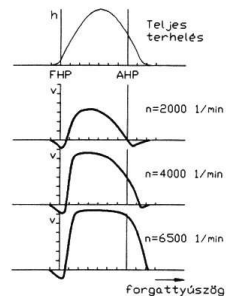
A szívószelep zárási időzítésének azonban nagy a jelentősége az indikált jellemzők szempontjából is (TUTTLE). A töltetcsere veszteségek változására az 1. ábra mutat példát.

Az ábrán szépen látható, hogy az adott munkapontban ideális szívószelep-záráshoz (Sz.z.) viszonyítva korábbi (Sz.z.**), jelen esetben AHP előtti, szelepszárás lényegesen csökkenti a töltetcsere munkát. A járulékosan fellépő expanziós munka, a dugattyú irányváltása után, majdnem teljesen visszanyerhető.

A későbbi szívószelep-zárás (Sz.z.*) ugyancsak kisebb veszteségekkel jár, de ehhez már egy visszatoldási folyamat is járul.



1. ábra: szívószelep zárás hatása a töltetcsere-veszteségekre



2. ábra: a szívószelep-zárás dinamikai hatása

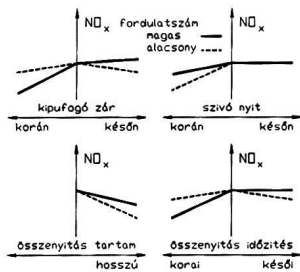
Ha a szívószelep zárását dinamikai szempontból vizsgáljuk (ún. hangolási probléma), akkor a 2. ábrával indokolható módon jelentős töltési fok növelő hatást érhetünk el.

Az ábra-sorozaton szépen látható, hogy adott vezérlés beállítás csak adott üzemállapotban megfelelő. Tehát adott terhelési állapotban, az ún. utántöltő hatás miatt, magasabb fordulatszámokon később lehet zárni a szívószelepet. Ez természetesen fordítva is igaz, hiszen ha a már beáramlott töltet visszatalódását el akarjuk kerülni, akkor alacsony fordulatszámokon előbb kell zárni a szelepet.

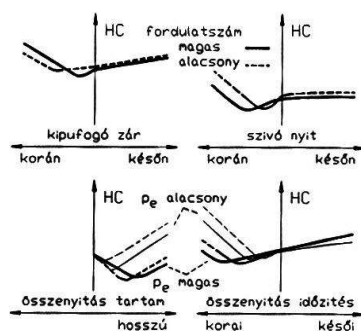
A töltetcsere-folyamat időzítése a kipufogógáz emisszióra is jelentős hatást gyakorol. Ez alól kivétel a CO-emisszió, amelynek nagyságára a vezérlési paraméterek nem hatnak jelentős mértékben (LANGE, STARKMAN).

Az **NO_x-képződés sebessége** és a képződött koncentráció nagysága az **égéstér hőmérséklet-szintjével arányosan növekszik** (SCHWARZBAUER, PATTAS). Az égési csúcshőmérséklet csökkentésére kitűnő lehetőséget kínál a kipufogógázok egy részének visszavezetése az égéstérbe (MEGGYES), amely a hengertöltet ballasztgáz tartalmát növeli és ezzel leszorítja az égési hőmérséklet csúcspontját. Ez a hatás pedig a szelep-összenyitási szakasz paramétereivel befolyásolható (3. ábra) – **belső kipufogógáz visszavezetés**. Ennek lényege, hogy a hengertöltet maradék-gáz hányadát nem külső, vezérelt csatorna (AGR vagy EGR) segítségével növeljük meg adott esetekben, hanem a vezérlési paraméterek célszerű megválasztásával érjük el ugyanezt a hatást.

A vezérlési idő HC-emisszióra gyakorolt hatása nehezebben tekinthető át (LANGE, NAGYSZOKOLYAI). Ugyanis, ha HC-ben dús kipufogógázok maradnak vissza a hengerben, akkor az utóégési folyamat jelentősen emisszió-csökkentő hatású. Ennek azonban határt szab, hogy a túlságosan nagy visszamaradó mennyiség miatt az égésfolyamat tökéletlenné válik (többször megszakad), ami már HC-növelő hatású. Ezek a hatások, a NO_x-emissziónál leírtakat is figyelembe véve, szépen megfigyelhetők a 4. ábrán.



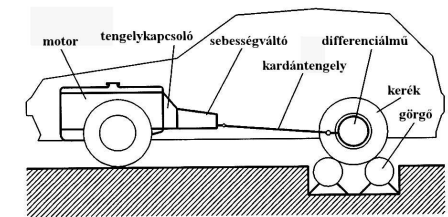
3. ábra: a vezérlési idő hatása az NO_x-emisszióra



4. ábra: a vezérlési idő hatása a HC-emisszióra

A görgős jármű-fékpadi és az indukált jellemzők közötti kapcsolat elemzése

Az **indukált** (indukált munka, indukált teljesítmény) és **görgős jármű-fékpadi** (vonóerő, kerék-teljesítmény) **jellemzők között a mechanikai hatások teremtik meg a kapcsolatot.** Az 14. ábra a vizsgált jármű hajtásláncát szemlélteti jelképesen.



14. ábra: a vizsgált jármű hajtáslánc

Az indukált jellemzők és a pad görgőjének kerületén mért jellemzők számításához tehát az alábbi hatások ismerete szükséges:

- motor mechanikai hatások (PÁSZTOR-módszer),
- jármű hajtáslánc hatások (tengelykapcsoló, sebességváltó, kardántengely, differenciálmű) – JANTE-formula, valamint
- a gumigyúrási munkából és a szlipből eredő veszteséghányad (amerikai szakirodalomból származó empirikus képlet).

A hatások kiszámítását mind a fenti módszerekkel (számított), mind a kerék-teljesítmény és az indukált teljesítmény hányadosaként (mért) kiszámítottam. A kapott értékeket a 6. táblázat mutatja be két munkapontra.

φ [°ft]	Munkapont azonosító: teljes terhelési jelleggörbe, n _m =3500 min ⁻¹			Munkapont azonosító: síkúti menet-ellenállási jelleggörbe, n _m =2500 min ⁻¹		
	P _i [MPa]	η _ö , számított [%]	η _ö , mért [%]	P _i [MPa]	η _ö , számított [%]	η _ö , mért [%]
-16	0,71	71,01	74,73	0,39	32,38	29,60
-12	0,75	72,13	74,21	0,40	32,85	30,09
-8	0,79	73,20	72,52	0,40	33,21	29,66
-4	0,78	72,83	71,07	0,41	33,58	30,13
0	0,74	71,98	72,75	0,43	33,70	29,03
4	0,71	70,93	73,43	0,45	33,91	28,00
8	0,67	70,00	73,49	0,44	34,67	28,53
12	0,66	69,38	73,76	0,42	33,93	29,33
16	0,64	68,73	71,11	0,43	33,20	28,04

6. táblázat: mért és számított összhatófok értékek

A 6. táblázatban összehasonlított „mért” és „számított” hatásfok értékek a forgattyús-tengely vezérműtengely elékelési szög függvényében nem változnak jelentős mértékben, így megállapítható, hogy az optimum helyek elhelyezkedésére nem gyakorolnak jelentős hatást.

A vizsgált motor esetében a 11. – 13. ábrák a három vizsgált jellemző egyenkénti optimumát adják meg. Emellett azonban célszerű megvizsgálni a vizsgált jellemzők gyári beállításához viszonyított százalékos változását. A szakirodalom és a motorüzemeltetési jellegmező funkcionális analízise alapján, magas fordulatszámok és nagy terhelés esetén a „teljesítmény-elv”-et célszerű érvényesíteni, míg részterhelésen és alacsony motorfordulatszámok mellett a tüzelőanyag-fogyasztás és a kipufogógáz-emisszió javítása lehet a cél. Ennek megfelelően a 3. – 5. táblázatokban a raszterral jelölt százalékos értékek a „teljesítmény-elv” szerinti optimumhoz tartoznak, míg a többi esetben a tüzelőanyag-fogyasztás optimum-helye adta a százalékszámítás alapját.

		Síkúti menet-ellenállási jelleggörbe				
n_m	[min ⁻¹]	2000	2500	3500	4000	5000
$\Phi_{\text{vezért., opt.}}$	[°ft]	-2	-6	-3	7	-1
ΔP_i	[%]	~0	-9,1	-9,5	+4,7	~0
ΔP_k	[%]	~0	-3,1	3,2	+4,2	~0
Δb_i	[%]	~0	-3,0	-1,1	+6,2	~0
$\Delta b_{\text{jármű}}$	[%]	~0	-1,0	-1,2	+5,9	~0
ΔHC	[%]	~0	-8,3	-6,8	+5,4	~0

3. táblázat

		Síkútinál nagyobb menetellenállás			
n_m	[min ⁻¹]	2000	2500	3500	4000
$\Phi_{\text{vezért., opt.}}$	[°ft]	-2	0	6	2
ΔP_i	[%]	~0	0	+7,3	+2,0
ΔP_k	[%]	~0	0	+2,9	+1,0
Δb_i	[%]	~0	0	+4,2	+1,8
$\Delta b_{\text{jármű}}$	[%]	~0	0	+5,3	0
ΔHC	[%]	~0	0	-11,1	+2,5

4. táblázat

		Teljes terhelési jelleggörbe				
n_m	[min ⁻¹]	2000	2500	3500	4000	5000
$\Phi_{\text{vezért., opt.}}$	[°ft]	-4	-8	-6	2	0
ΔP_i	[%]	+1,0	+4,1	+5,8	~0	0
ΔP_k	[%]	+0,5	+2,1	+3,8	~0	0
Δb_i	[%]	-5,8	-4,5	-4,6	~0	0
$\Delta b_{\text{jármű}}$	[%]	-4,5	-2,6	-3,7	~0	0
ΔHC	[%]	-8,3	-6,7	-6,8	~0	0

5. táblázat

III. Vizsgálati módszerek

Az elemzést kétféle módszerrel hajtottam végre:

- egyrészt a motor hengerében lezajló folyamatok és azok jellemző paraméterei felől megközelítve (**saját fejlesztésű számítógépi kör-folyamat modell segítségével**),
- másrészt laboratóriumi mérésekkel (**görgős járműfékpad vizsgálatokkal**).

Matematikai modell

A modellezés kellő körültekintést igényelt. Kész számítási (számítógépi) modell nem állt rendelkezésemre, így olyan módszereket kellett választanom, amelyek bonyolultság és komplexitás tekintetében lehetővé tették a saját algoritmus felállítását, valamint annak programozását, mindemellett a modell által szolgáltatott eredmények is megfelelték a disszertáció célkitűzésének. A modellválasztást alapos irodalomkutatás előzte meg.

A vizsgálatokat stacionárius motor-üzemállapotban hajtottam végre. Ez azt jelenti, hogy a motor üzemi és beállítási paraméterei – természetesen a vizsgált vezérlési jellemzők kivételével – a felvett és vizsgált munkapontokban állandóak voltak.

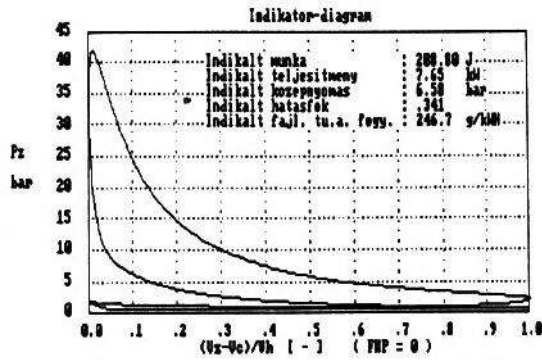
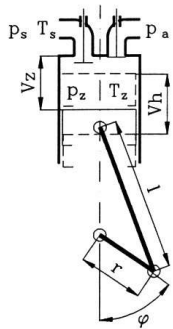
A szakirodalmi ajánlásokat és a modellek fő jellemzőit figyelembe véve, a szívó oldalra HUBER-módszerrel kiegészített (és ebben az esetben instacionáriusan kezelt) stacionárius (LIST, HASSELGRUBER) töltetcsere, valamint a nulla-dimenzionális egyzónás égési modell (VIBE) kombinációt választottam a további vizsgálatok céljára (5. ábra).

A modellt tovább pontosítottam a DONG módszerrel történő (dinamikai szempontokat is figyelembe vevő) szelepnitási-görbe számítással és a WOSCHNI–CSALLNER formulákkal, amely segítségével figyelembe vehető az égésfolyamat paraméterek üzemállapot-függő változása

Választásom azzal indokolható, hogy az így felállított körfolyamat modell programozási és számítási igénye, valamint a számításához szükséges bemenő paraméterek mennyisége a disszertáció keretein belül realizálható, ugyanakkor a kapott eredmények pontossága is kielégítő és alkalmas a vizsgálati következtetések levonására.

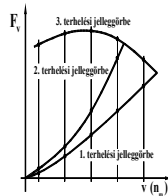
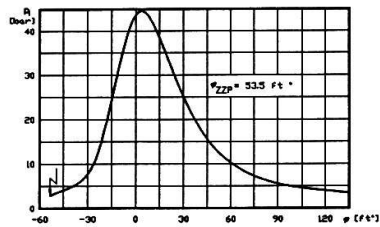
A modell segítségével az alábbi égéstéri jellemzők számítása vált lehetővé (6. ábra):

- hengertéri-nyomáslefutás diagram,
- hengertéri-hőmérsékletlefutás diagram,
- a hengertöltet (töltési fok) változása,
- a maradékgáz-tényező változása,



- az indikált munka, illetve az indikált teljesítmény nagysága, valamint
- az indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás mértéke.

5. ábra: jelölések a töltetcsere modellen 6. ábra: a modell által számított indikátor diagram



A modellt adott munkapontra mérésel meghatározott indikátor diagram (7. ábra) alapján **identifikáltam** a vizsgált motorra (LADA 1300).

7. ábra: mért indikátor diagram 8. ábra: vizsgálati terhelési görbék

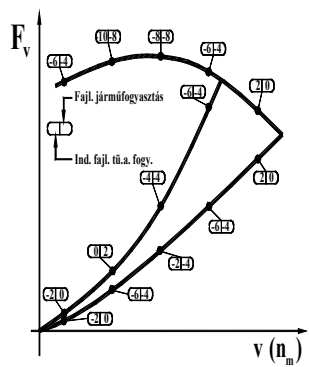
Laboratóriumi mérések

A vizsgálatok céljára **három jelleggörbe típust** választottam ki, amely megegyezett a modellvizsgálatok és a mérések során (8. ábra):

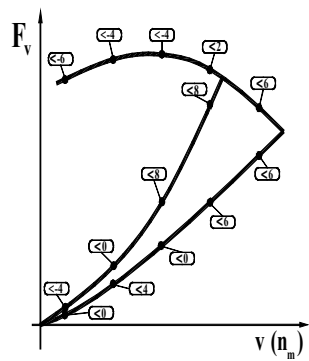
- a síkúti menet-ellenállási jelleggörbét ($F_v \sim v^2$),
- egy síkútinál nagyobb terhelésű menet-ellenállási jelleggörbét ($F_v \sim v^2$), valamint
- a külső (teljes terhelési) nyomatóéki jelleggörbét.

A méréseket a vizsgálati célnak megfelelően átalakított járművel végeztem el. Az átalakítás azt jelentette, hogy az egyes vizsgálati munkapontokban (kis mértékű szereléssel) könnyen állíthatóvá kellett tenni a ve-

zerműtengelyt a forgattyús tengelyhez viszonyítva. Ezt a 9. ábrán látható konstrukció tette lehetővé. A szelepfedélre vágott, tömített fedéllel zárt, állító ab-



12. ábra: Indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve fajlagos járműfogyasztás szempontjából optimális vezérműtengely elékelési szögértékek



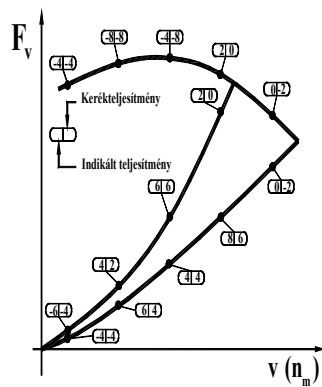
13. ábra: NO_x - , illetve HC-emisszió szempontjából optimális vezérműtengely elékelési szög tartományok

Az előzőekben bemutatott mérés-, illetve számítás-kiértékelési adatlapok alapján **összegző diagramokat készítettem** a kiértékelés megkönnyítése céljából.

A diagramok alapját a terhelési jelleggörbék képezik, ahol a vizsgált munkapont fölött jelenítettem meg azokat a vezérműtengely elékelési szög értékeket, ahol az adott paraméter optimumot mutat. Közös diagramban ábrázoltam az indikált teljesítményre és a kerékteljesítményre vonatkozó optimumhoz tartozó szögértékeket (11. ábra), valamint az indikált fajlagos tüzelőanyag fogyasztás és a fajlagos járműfogyasztás (12. ábra) optimum helyeit.

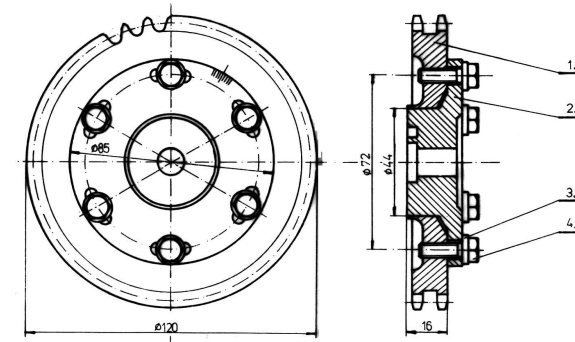
A károsanyag-emisszió tekintetében az általam készített modell nem tett lehetővé ilyen egzakt megállapításokat. Itt azt a szöghelyzet-intervallumot (illetve irányt) adtam meg, ahol a hengerbeli csúcshőmérséklet csökken (az NO_x-emisszió csökkentésének kritériuma) és egyidejűleg a maradékgáz-hányad növekszik (az NO_x- és a HC-emisszió csökkentésének együttes kritériuma). A HC-emisszió szempontjából ezeket a kijelölt értékeket a méréssel meghatározott HC-emissziós görbék is alátámasztják (13. ábra).

11. ábra: Indikált teljesítmény, illetve kerékteljesítmény szempontjából



optimális vezérműtengely elékelési szögértékek

- lakon keresztül a vezérműtengely és az öt hajtó lánckerék egymáshoz viszonyítva elfordíthatóan volt kialakítva. Ez, a rá munkált szögosztásnak köszönhetően, megfelelő (2 °ft) pontossággal tette lehetővé az időzítés



változtatását.

9. ábra: a vizsgálati motor átalakított vezérműtengely-lánckereke

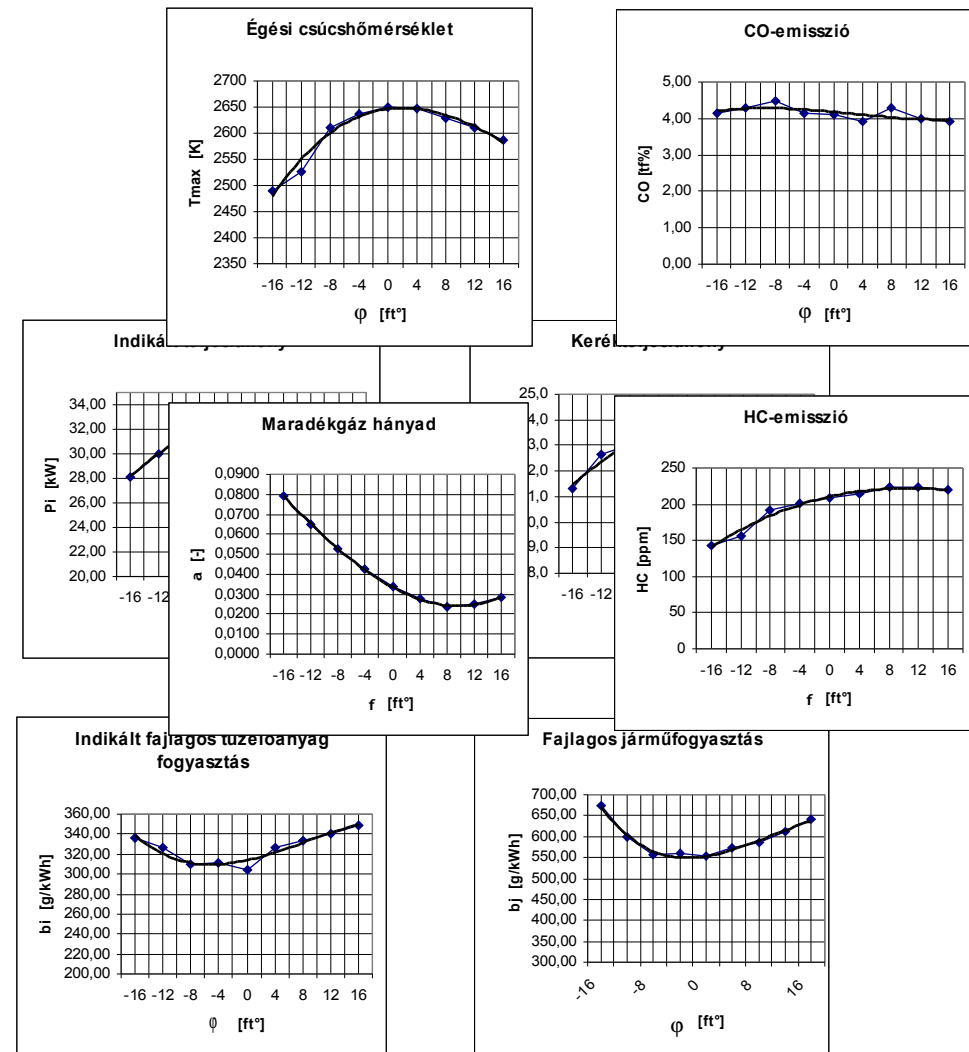
A vizsgálati eszközök, műszerek:

- Schenck W 280 típusú görgős járműfékpad,
- SUN MEA 1500 L típusú diagnosztikai pad (egyben gázelemző),
- Flowtronic típusú tüzelőanyag-fogyasztás mérő.

A vizsgálatok során az adott munkapontokban a motor beállítási és terhelési jellemzőit, valamint a fékpad-karakterisztikákat állandó értéken tartottam. A vizsgálatok független változója a vezérműtengely főtengelyhez viszonyított elékelési szöge volt. A laboratóriumi mérések során vizsgált jellemzőket a 2. táblázat állítja a párhuzamba a modellezés során vizsgált jellemzőkkel.

N ^o	Matematikai modell	Járműfékpadi vizsgálat
1.	Indikált teljesítmény	Kerékteljesítmény
2.	Indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás	Fajlagos járműfogyasztás
3.	Égési csúcshőmérséklet	CO-emisszió
4.	Maradékgáz tényező	HC-emisszió

2. táblázat: vizsgált motor-jellemzők



IV. A VIZSGÁLATOK KIÉRTÉKELÉSE

A vizsgálatok kiértékeléséhez a Microsoft Excel programot használtam fel. Munkapontként 4 matematikai modelltől és 4 görgős járműfék-padi vizsgálatokból származó függvényt vettem fel (10. ábra). Valamennyi függvény független változója a vezérműtengely elékelési szög, illetve annak elállított értéke. (Az adott vizsgálati munkapontokban a gyári elé-

kelési helyzetet jelöltem „0”-val, míg az ettől korábbi beállításokat „+” előjellel, a későbbieket „-” előjellel láttam el.)

10. a. ábra: a külső jelleggörbe $n_m=4000 \text{ min}^{-1}$ munkapontjához tartozó kiértékelő diagramok

10. b. ábra: a külső jelleggörbe $n_m=4000 \text{ min}^{-1}$ munkapontjához tartozó kiértékelő diagramok

A diagramok értelmezéshez el kell mondani, hogy az égési csúcshőmérséklet értéke az NO_x kibocsátással van összefüggésben (ez utóbbi értékét megfelelő műszer hiányában mérésel nem tudtam meghatározni). Ezzel párhuzamosan a CO-emisszió csupán mért értékek alapján elemezhető, mert a matematikai modell ehhez nem ad támpontot.

A diagramokban a mért, illetve számított pontok alapján (vastag vonallal behúzva) meghatároztam az approximációs függvényt. Közelítésre 3-ad fokú polinomot használtam. A közelítő függvények elemzése során szépen felismerhetők a vizsgált jellemzők optimum-helyei.