

Megújuló összetevőket tartalmazó tüzelőanyagok termodinamikai vizsgálata szikragyújtású motoron motorfékpadai környezetben

Thermodynamic investigation of bioethanol containing fuels in a spark ignition engine under engine testbench conditions

SZŐCS Bence¹, TÓTH Máté²

Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.
tel.: +36 96 613574, fax: +36 96 613677, e-mail: bence.szocs@szengine.hu, http://jhtt.sze.hu
Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.
tel.: +36 96 613574, fax: +36 96 613677, e-mail: toth.mate@ga.sze.hu, http://jhtt.sze.hu

Abstract

Due to increasingly stringent environmental regulations, it will be necessary to supply fuels with components from renewable energy sources. Therefore, it is important to know the effect of alternative components on the thermodynamic operation of internal combustion engines. The document presents the effect of different renewable component fuels on the thermodynamic processes of a four-cylinder engine. The study is conducted on an engine dynamometer using cylinder pressure indication.

Keywords: spark-ignition engine, fuel, thermodynamics, ethanol, testbench

Kivonat

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások miatt a tüzelőanyagokat szükséges lesz ellátni megújuló energiaforrásokból származó összetevőkkel. Ezért fontos, hogy az alternatív komponenseket tartalmazó tüzelőanyagok hatása ismert legyen a belsőégésű motorok termodinamikai működése szempontjából is. A dokumentum bemutatja különböző megújuló komponens tartalmú tüzelőanyagok hatását egy négy hengeres motor termodinamikai folyamataira. A vizsgálat motorfékpadon történik, hengernyomás mérő műszer használatával.

Kulcsszavak: szikragyújtású motor, tüzelőanyag, termodinamika, etanol, fékpad

1. BEVEZETÉS

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírásoknak a személygépjárművek is meg kell feleljenek, ezeket EURO normák szabályozzák, melyben az adott járműkategória károsanyag kibocsájtási határértékek vannak meghatározva. Ez a szigorítás nagy kihatással van a tüzelőanyagokban lévő alternatív komponensek mennyiségére, ugyanis ezekről általánosságban elmondható, hogy alacsonyabb a károsanyag-kibocsátásuk. Jelen dokumentum három különböző bioetanol tartalmú tüzelőanyaggal mutat be méréseket. A bioetanol energiatartalma alacsonyabb, mint egy normál forgalomban lévő tüzelőanyagé, ezért ez kihatással van a motorok termodinamikai folyamataira, illetve annak üzemanyag fogyasztására is. Az etanol mellett a metanol egyaránt használható alternatív komponensként a szikragyújtású motorok tüzelőanyagában. Az égés folyamán a metanol jelentős mennyiségű formaldehidet bocsájt ki, emiatt az etanol terjedt el, amelyet biomasszából lehet kinyerni fermentálás és lepárlás útján. A bioetanol kedvező tulajdonságai közé sorolható a magas oktánszám és a magas belső oxigén tartalom, valamint, hogy az elégetése nem járul hozzá a nettó szén-dioxid kibocsátáshoz. Hátránya az alacsonyabb gőznyomás mely a hidegindítást megnehezíti, az alacsonyabb fajhő a normál tüzelőanyaghoz képest, illetve rendelkezik vízmegkötő tulajdonsággal. Előállításuk költséges. [1,2]

A cikk témája, hogy megújuló komponenseket is tartalmazó tüzelőanyagok felhasználásával mutasson be méréseket motorfékpadai környezetben, ahol a mérések során az égési jellemzők is elemzésre kerülnek. A

vizsgálat alanya egy négy hengeres turbófeltöltővel ellátott szikragyújtású motor. A motor hengerenként hengernyomásmérő szenzorokkal van felszerelve. A pontos főtengely szöghelyzet meghatározására egy nagy felbontású szögjeladó, a pontos gyújtási szög meghatározásához pedig egy magas reakcióidővel rendelkező lakatfogó került beépítésre.

A mérések során egy stabil fordulatszámot öt különböző terhelésű pont került vizsgálat alá, mindhárom vizsgálandó tüzelőanyaggal. Minden munkapont során a motor gyújtási szöge és légviszony tényezője a lehető legjobb fajlagos fogyasztású pontra lett beállítva. Az optimális beállításhoz bizonyos esetekben határt szab a maximálisan megengedhető kipufogógáz hőmérséklet, maximális hengernyomás és a kopogásos égés intenzitása.

2. TÜZELŐANYAGOK BEMUTATÁSA

A vizsgálatokhoz felhasznált referencia tüzelőanyag egy kereskedelemben elérhető névlegesen RON95 oktánszámú motorbenzin 10 %V/V etanoltartalommal. Ez a tüzelőanyag két különböző kísérleti benzinnel van összehasonlítva. A motorbenzinek adatai a következő táblázatban láthatóak:

A vizsgált tüzelőanyagok adatai

1. táblázat

	Referencia E10	1. tesztbenzin	2. tesztbenzin
RON	97,2	102	99
Etanol tartalom [V/V%]	8,7	0,2	18,7
MSZ EN 228	igen	igen	nem

A táblázatból látható, hogy a vizsgált tüzelőanyagok bioetanol tartalma mellett azok oktánszáma is különböző, melynek nagy hatása van a motor viselkedésére, az oktánszám növelésével a motor több munkapontban érheti el a legjobb hatásfokhoz tartozó gyújtási szöveget. Az etanol tartalom növelésével várhatóan a fajlagos fogyasztás növekszik, mivel a tiszta etanol fajhője megközelítőleg 30 %-kal alacsonyabb, mint a benziné. A magasabb etanoltartalom további előnye az oktánszámnövelő tulajdonsága, valamint a csökkenő károsanyag kibocsátás, mely mérése ennek a dokumentumnak nem témája. [3]

3. MÉRÉSEK ELVÉGZÉSE ÉS KIÉRTÉKELÉSE

A mérések során a motor egyik leggyakrabban használt fordulatszáma lett elemezve, amely 2000 fordulat/perc. Ezen fordulatszámot a motor teljesítménye 5 részre lett elosztva, 5 bar effektív középnyomás lépcsőkkel. A mérések során a környezeti paraméterek állandóak voltak, melyek a következő táblázatban találhatóak meg:

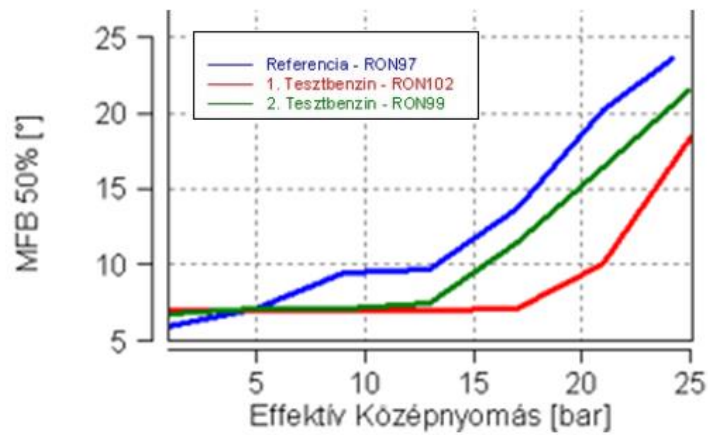
A motorfékpad kondicionálási értékei

2. táblázat

Beszívott levegő relatív páratartalom	Beszívott levegő hőmérséklet	Töltőlevegő hőmérséklet	Hűtőfolyadék bemenő hőmérséklet
35 %	25 °C	30 °C	60 °C

A motor fajlagos fogyasztásának egy megfelelő indikátora az elégetett tüzelőanyag 50 % hányadának (továbbiakban MFB 50 %) értéke, mely megmutatja, hogy az adott ciklusban milyen főtengely szöghelyzethez tartozik az a pont, ahol a bejuttatott tüzelőanyag tömegének 50 %-a már elégett. Motortól függően ez a pont 6-8 °főtengely között található, ezért minden munkapontban ez volt a célérték [4].

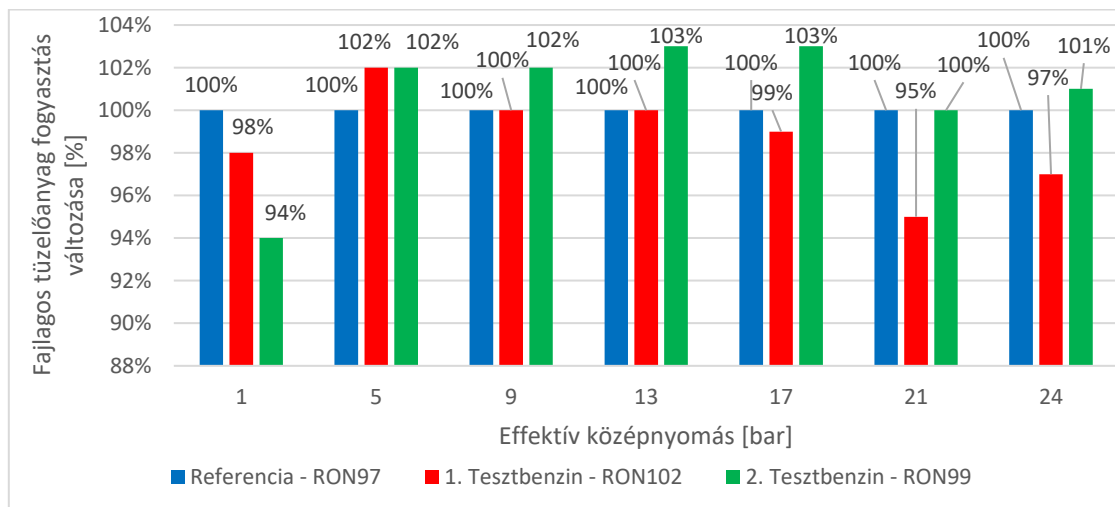
Alacsony terhelésű munkapontokon mind három tüzelőanyaggal elérhető volt az optimális gyújtási szög. A terhelés növekedésével azonban a korábbi bekezdésben kifejtett határok közül a kopogásos égés jelenléte miatt nem valósulhat meg az elméleti optimum gyújtási szög. (9 bar effektív középnyomástól) A következő ábra bemutatja, hogy az adott fordulatszámokon hogyan alakult az MFB 50 % értéke.



1. ábra. Az elégetett tüzelőanyag 50 % hányadának értéke (MFB 50 %) főtengeley fokban kifejezve

A diagram alapján látható, hogy referencia tüzelőanyaggal a maximálisan megengedhető kopogásos égés intenzitása már 9 bar effektív középnyomásonál határt szab, ugyanis az elméleti optimumpontot nem lehetett 7 főtengeleyfokra beállítani a tesztbenzinekkel ellentétben. A 99 oktánszámmal rendelkező bioetanolt is tartalmazó tüzelőanyag 13 bar, míg a 102-es oktánszámú tüzelőanyag 17 bar effektív középnyomásig tette lehetővé az optimumponton való üzemelést.

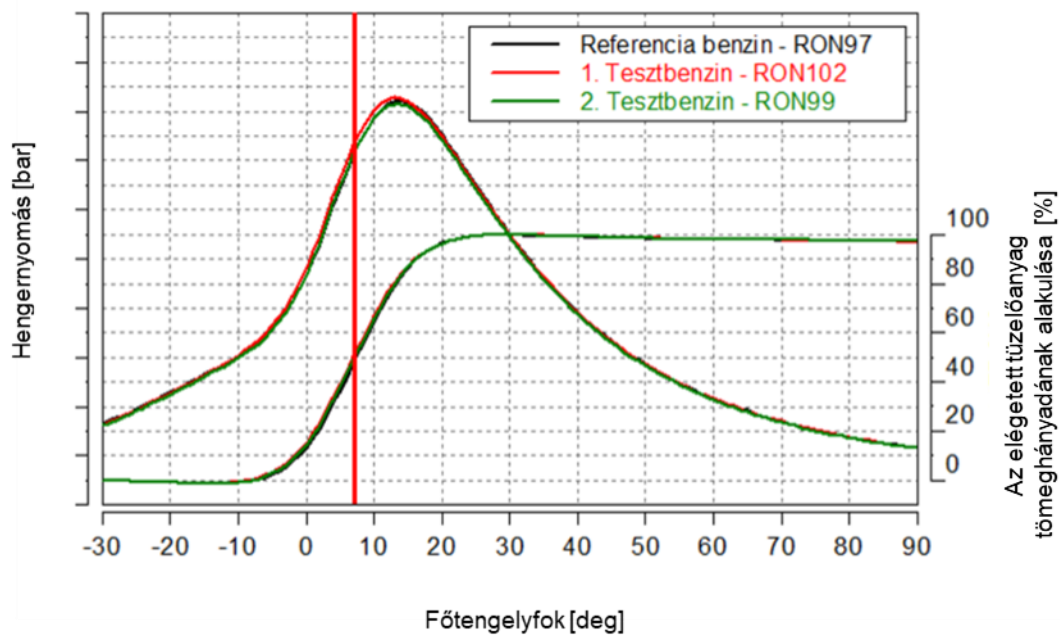
A mérés során a fajlagos fogyasztás változása a referencia tüzelőanyaghoz képest a következő diagramon látható:



2. ábra. Fajlagos tüzelőanyag fogyasztás változása munkapontonként

A mérési sor nagy részén a motor a referencia tüzelőanyaggal érte el a legjobb fajlagos fogyasztást. A 99-es oktánszámú 18,7 % V/V etanol tartalmú motorbenzin esetében a fajlagos fogyasztás a várakozásoknak megfelelően nőtt. A referenciához képest ennek az etanol tartalma 10 % V/V-kal magasabb, mely az ismert fűtőérték különbség alapján 3 % fajlagos fogyasztás növekedést eredményezett. A magasabb terhelésű munkapontokban a 102-es oktánszámú 1. kísérleti benzinnel volt elérhető a legjobb fajlagos fogyasztás. Ennek oka, hogy az oktánszám növelése miatt a kopogásos égés nem szabott korai határt, a gyújtási szöghelyzet beállítása során. Az 1 bar effektív középnyomásnál a 2. kísérleti benzin csupán égési egyenletlenség miatt eredményezett kisebb fogyasztást, ez a több mint 2% ciklusszórásnak tudható be [5].

A következő diagramokon a fenti mérés sorozatból két mérés kerül részletesebb bemutatásra. Az első az 5 bar effektív középnyomáshoz tartozó, mely során mindhárom tüzelőanyag ugyanolyan MFB 50 % szöghelyzetet tudott elérni, ezért az égés paraméterei jól láthatóak, ugyanolyan feltételek mellett.



3. ábra. Égéstényomás és az elégett tüzelőanyag hányad ábrázolása 5 bar effektív középnyomás esetén

Piros vonallal az optimális MFB 50 % pont van jelölve, mely ez esetben a legjobb fajlagos fogyasztást adta az adott munkapontban. Ezen terhelésen mindhárom tüzelőanyaggal lehetséges volt ennek elérése. Az alábbi táblázatban láthatóak a motor égési paraméterei a referencia tüzelőanyaghoz képest.

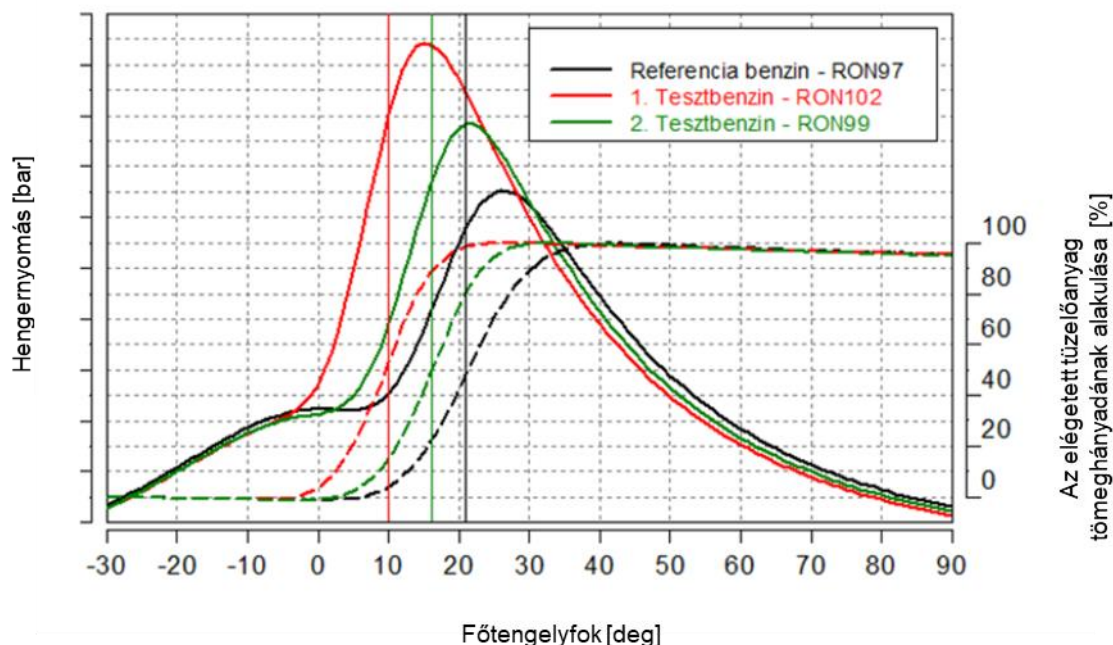
Az égés paramétereinek bemutatása 5 bar effektív középnyomás mellett a referencia tüzelőanyaghoz viszonyítva

3. táblázat

	Gyújtási szög [°BTDC]	Gyulladásí kisédelem [°CA]	MFB 10%	MFB 50% [°CA]	MFB 90%	Égési időtartam [°CA]	BSFC [g/kWh]	COV [%]
Ref.	100%	100%	100%	100% 7 °CA	100%	100%	100%	100%
1. teszt benzin	110%	108%	129%	98% 6,9°CA	105%	106%	102%	103%
2. teszt benzin	105%	105%	107%	101% 7,1°CA	103%	103%	102%	105%

Ugyanolyan MFB 50 % elérése volt a cél a mérések alatt, mely megvalósult. Ehhez a kísérleti tüzelőanyagokkal korábbi gyújtás időzítés volt szükséges a referenciához képest. Ennek egyik oka a gyulladásí kisédelem növekedése. Az oktánszám növelésével nő a gyulladásí kisédelem és az égési időtartam is, mely látható az MFB 90 % változásán. A fajlagos fogyasztás (BSFC) 2 %-kal nőtt a kísérleti tüzelőanyagok használata során. Ezen terhelésen nincs előnye a magasabb oktánszámú tüzelőanyagok használatának.

A következő diagramon a 21 bar effektív középnyomású munkapont hengernyomása látható. Ezen a diagramon is bejelölésre került az MFB 50 % pontja. Azonban ebben a magas terhelésű munkapontban már előnyököt élvez a magas oktánszámú tüzelőanyag, a gyújtási szög optimalizálásának szempontjából. A mérés alatt csak megközelíteni lehetett az optimális MFB 50 % értéket a 102-es oktánszámú kísérleti benzinnel. Az alacsonyabb oktánszámú motorbenzinekkal erre nem volt lehetőség.



4. ábra. Égéstényomás és az elégetett tüzelőanyag hányad ábrázolása 21 bar effektív középnyomás esetén

A korábbi gyújtási szög a hengernyomást nagy mértékben növeli, 30 %-os hengernyomás növekedést eredményezett az 1. kísérleti benzin a referenciához képest. Ez a forgattyús hajtómű alkatrészein fárasztó igénybevételként jelenik meg. A következő táblázat a munkapont részletes adatait tartalmazza.

Az égés paramétereinek bemutatása 21 bar effektív középnyomás mellett a referencia tüzelőanyaghoz viszonyítva

4. táblázat

	Gyújtási szög [°BTDC]	Gyulladás késedelem [°CA]	MFB 10%	MFB 50% [°CA]	MFB 90%	Égési időtartam [°CA]	BSFC [g/kWh]	COV [%]
Ref.	100%	100%	100%	100% 20,2°CA	100%	100%	100%	100%
1. teszt benzin	352%	92%	22%	50% 10°CA	86%	70%	95%	50%
2. teszt benzin	184%	96%	73%	82% 16,5°CA	92%	87%	100%	68%

A korábbi MFB 50 % értékekhez korábbi gyújtási szög is társul és a motor ciklusszórása (COV) is felére csökkent a tökéletesebb égést követően. Ennek egyik oka, hogy a magasabb hengernyomás a hengerben lévő töltet mozgását erősíti. Ezen terhelésen a gyulladási késedelem csökkent, valamint az égés gyorsult a referencia tüzelőanyaghoz képest, az hamarabb kezdődik és az időtartama is alacsonyabb. A motor leadott teljesítménye állandó volt, annak fajlagos fogyasztása 5 %-kal csökkent.

4. KONKLÚZIÓ

A mérésekből megállapítható, hogy a kopogáshatár alatti tartományokban a referencia motorbenzinnel lehetett elérni a legjobb fajlagos fogyasztást. Ezen munkapontokban az égés paraméterei is kedvezőbbek voltak, mint a kísérleti tüzelőanyagokkal mért adatok. A magasabb terhelésű munkapontokba jobban teljesítettek a kísérleti tüzelőanyagok. A magasabb oktánszám miatt a gyújtási szöget közelebb lehetett állítani a legkisebb fajlagos fogyasztást eredményező szöghelyzethez, amelynek a kopogásos égés szabott határt. Azonban a korábbi gyújtási szögekkel a motor mechanikai és termikus terhelése is növekszik.

Elmondható, hogy a vizsgált terheléseken a kísérleti tüzelőanyagoknak termodinamikai szempontból csak magas terhelésen volt előnyük. Magas terhelésen jelentősen javult az égés stabilitása, mely a ciklusszórás csökkenésén jól látható. Azonban a termodinamikai paraméterek változása mellett nem lehet figyelmen kívül hagyni a károsanyag kibocsátást sem, mivel ennek szempontjából nem mindig a legalacsonyabb fajlagos fogyasztású pont eredményezi a legalacsonyabb károsanyag kibocsátást.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt megvalósulásáért köszönetem szeretném kifejezni a **GINOP-2.3.4-15-2020-00006 azonosító projektnek**, a **Szegedi Tudományegyetemnek** és a **MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt.-nek** a támogatásáért.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Suresh Shetty, Shrinivasa Rao B.R. *In-cylinder pressure based combustion analysis of cycle-by-cycle variations in a dual spark plug SI engine using ethanol-gasoline blends as a fuel*, International Conference on Smart and Sustainable Developments in Materials, Manufacturing and Energy Engineering, Elsevier, 2022, 780 – 786.
- [2] George W. Huber *Biofuels: Chemistry and Applications*
- [3] Masuku M., Wibowo C., Ivander Setiady N., Hamzah A., Fedori I., Maymuchar, Sugiarto B. *Optimization of engine performance on gasoline 88 RON with additional 60% bioethanol (E60) on four stroke spark ignition engine*, Proceedings of the scientific conference on railway transport and engineering, 2021
- [4] Mendera K. Z., Smereka M. *On the influence of fuel type on optimal location of 50% mass fraction burned*, Journal of KONES, 2006, 333-342.
- [5] Remmert, S., Cracknell, R., Head, R., Schuetze, A. et al., *Octane Response in a Downsized, Highly Boosted Direct Injection Spark Ignition Engine*, *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 2014, 7(1):131-143,