

# Károsanyag-kibocsátás elemzése szikragyújtású motoron megújuló komponenseket tartalmazó tüzelőanyagok használata esetén motorfékpadi környezetben

## Analysis of emissions in spark ignition engines using renewable fuel components in a testbench environment

TÓTH Máté

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, <https://jhjt.sze.hu/>

### Abstract

*Recent developments require that fuels contain components considered renewable energy sources. Currently, this can be achieved most easily by changing the bioethanol content of gasoline. Changes in bioethanol content alter the thermodynamic processes in the engine, which affects both the mechanical load on the engine and the emissions it produces. This document presents the effect of different bioethanol content gasolines on exhaust gas emissions in engine testbench environment. The exhaust gas components studied include carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides and particle number emissions.*

**Keywords:** spark-ignition engine, emission, fuel, thermodynamic

### Kivonat

*A jelenlegi autóipari fejlesztések folyamán szükséges, hogy a tüzelőanyagok tartalmazzanak megújuló energiaforrásnak számító összetevőket. Ez jelenleg a benzinek bioetanol-tartalmának változtatásával érhető el legkönnyebben. A bioetanol-tartalom változásának hatására a motorban lezajló termodinamikai folyamatok megváltoznak, mely hatással van a motor mechanikai terheléseire és a motor által kibocsátott emisszióra is. Jelen dokumentum bemutatja különböző bioetanol-tartalmú benzinek kipufogógáz-emisszióra gyakorolt hatását motorfékpadi környezetben. A vizsgált kipufogógáz-komponensek közé tartozik a szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok, valamint a részecske-darabszám kibocsátása.*

**Kulcsszavak:** szikragyújtású motor, károsanyag kibocsátás, emisszió, tüzelőanyag, termodinamika, fenntarthatóság

## 1. BEVEZETÉS

Az ismertetett kutatás során egy négyhengeres szikragyújtású motor volt tesztelve három különböző tüzelőanyag felhasználásával. A mérés célja bemutatni egy munkapontban, hogy a motor által kibocsátott károsanyagok miként változnak meg a légviszony-tényező, - illetve a gyújtási szög megváltoztatásának hatására. Mindezt 3 különböző tüzelőanyaggal megismételve. A motor működési paramétereinek megváltoztatásához módosítható motorvezérlőre volt szükség. A mérések egy AVL gyártmányú motorfékpadon történtek, ahol rendelkezésre állt hengernyomás-mérő berendezés is, így a gyújtási szög optimális értékre való beállítása lehetséges volt. A gyújtási szög akkor optimális a jelenlegi vizsgálat során, ha az adott terhelésen az a legalacsonyabb fajlagos fogyasztást eredményezi a motor stabil járása közben.

## 2. TÜZELŐANYAGOK

A személygépjárművek esetén felhasznált tüzelőanyagok nagy százaléka fosszilis eredetű, ezek a kőolaj finomításából vagy földgázból származnak, melyek nem megújuló források. Ezen üzemanyagok a magas felhasználói szám miatt jelentősen hozzájárulnak a klímaváltozáshoz és a légszennyezéshez. Míg a klímaváltozás okozójaként a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) a felelős, addig az emberi szervezetre káros anyagok közé sorolható a szén-monoxid (CO), nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>), elégtelen szénhidrogének (THC) és a szilárd

részecske (PM). A fenntarthatóság javítása érdekében az üzemanyagokat részben vagy egészben helyettesíthetik megújuló energiaforrásokkal. Megújuló energiaforrásból származó komponensek főleg adalékként vannak jelen a tüzelőanyagban, ezek közül pedig az etanol az egyik leggyakrabban használatos. Az etanol alapanyaga növényi, a növények fejlődéséhez pedig fotoszintézisre van szükség, melyben azok napsugárzás hatására a léghőből kivonják a szén-dioxidot, amit víz segítségével cukorra és oxigénné bontanak. Az így keletkező cukor pedig a növény energiaellátását, valamint a betakarítás után az alkohol előállításának alapanyagát adja. Mivel a szén-dioxidot a léghőből vonja el, így ez nem járul hozzá a nettó szén-dioxid kibocsátáshoz. [1,2]

### A benzinek összetétele

A benzin szénhidrogénekből álló folyékony üzemanyag, melyet kőolajból finomítanak. A szénhidrogének lánchosszúsága alapján a benzinben parafinok (40-60%), olefinek (20-30%), aromás szénhidrogének (15-25%) és nafténok (5-10%) találhatóak. Az alapbenzint szükséges adalékokkal ellátni, hogy annak tulajdonságai kedvezőbbek legyenek a felhasználás során. Ilyen adalékok közé tartoznak az oktánszámnövelő, korróziógátló adalékok, detergensok, stabilizátorok. [1]

A kísérletben alkalmazott tüzelőanyagok összetételében az etanoltartalom változó, így ennek tulajdonságai kerülnek kifejtésre, mint megújuló energiaforrás. Az **etanol** az oktánszámnövelő adalékok kategóriájába sorolható, amely akár önálló üzemanyagnak is tekinthető (E85, E100). Oktánszáma 108-112 közé tehető, ami magasabb, mint az alapbenziné. Az etanol jellemzője, hogy alacsony gőznyomása a hidegindítást megnehezíti, illetve a belső oxigéntartalma magasabb. Továbbá a tiszta etanol fajhője megközelítőleg 30%-kal alacsonyabb, mint a benziné. Az alkoholok hátrányai közé sorolható, hogy azok vízmegkötő tulajdonságokkal rendelkeznek, előállításuk költséges, stabilitásuk pedig alacsony, ami tárolási nehézségekhez vezet. Továbbá az alkoholok bizonyos műanyag típusok polimer láncait roncsolják, mely az üzemanyag-rendszerek alkatrészeiben is kárt tehet. Ezen tulajdonságok miatt tiszta hajtóanyagként csak ritkán alkalmazzák, jelenleg adalékként használatos. Az MSZ EN 228 szabvány 2020 januárjától 10 % (V/V) etanol tartalmat enged meg. Ilyen mennyiség nem okoz a már forgalomban lévő járművekben olyan mértékű változást, ami jelentősen befolyásolná a károsanyag-kibocsátást és a motor működését, amennyiben az a szabvány egyéb paramétereinek megfelel. Azonban néhány jármű gyártója nem szavatolja az E10-zel való összeférhetőséget, így az ilyen járművekbe a tüzelőanyag-gyártók alacsonyabb etanoltartalmú üzemanyagát kell tankolni, ami jellemzően RON100 oktánszámmal rendelkezik. A következő táblázatban a vizsgált tüzelőanyag főbb adatai találhatóak meg: [1]

Jelen cikkben 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           |
| C [m/m%]               | 83,4           | 83,77          | 80,6           |
| H [m/m%]               | 13,2           | 12,87          | 12,8           |
| O [m/m%]               | 3,4            | 3,36           | 6,6            |
| MSZ EN 228             | igen           | igen           | nem            |
| Minőségi fokozat       | E10            | E5             | E20            |

### A tüzelőanyagok égése

A tüzelőanyagok szénvegyületekből, hidrogénből, illetve oxigénből állnak. Ezek tökéletes égése során szén-dioxid és víz keletkezik. A szén, hidrogén és oxigén reakcióegyenleteiből megállapítható, hogy a tökéletes égéshez mekkora a levegő-tüzelőanyag arány, továbbiakban AFR (Air-Fuel Ratio). [1,2]

$$AFR = (2,667 * \text{széntartalom} \frac{m}{m} \% + 8 * \text{hidrogén tartalom} \frac{m}{m} \% - \text{oxigén tartalom}) / 0,232$$

Számolt levegő szükséglet a tökéletes égéshez

2. táblázat

|                        | Benzin | Etanol | Referencia benzin | 1. tesztbenzin | 2. tesztbenzin |
|------------------------|--------|--------|-------------------|----------------|----------------|
| Levegő szükséglet [kg] | 14,7   | 9      | 13,99             | 13,92          | 13,39          |

A számításokból látható, hogy a magasabb oxigéntartalom alacsonyabb levegőigénnyel jár. Az oxigéntartalmú adalékok használata javítja a károsanyag kibocsátást, csökkenti az égés hőmérsékletét, ezáltal a motor termikus terhelését. Mivel a felhasznált benzinek között oktánszámbéli különbség is van, ezért az elemzésre olyan munkapont lett kiválasztva, amely használata nem ütközik a kopogásos égés határaiába, így a gyújtás időzítése beállítható a legjobb hatásfokot adó pontra.

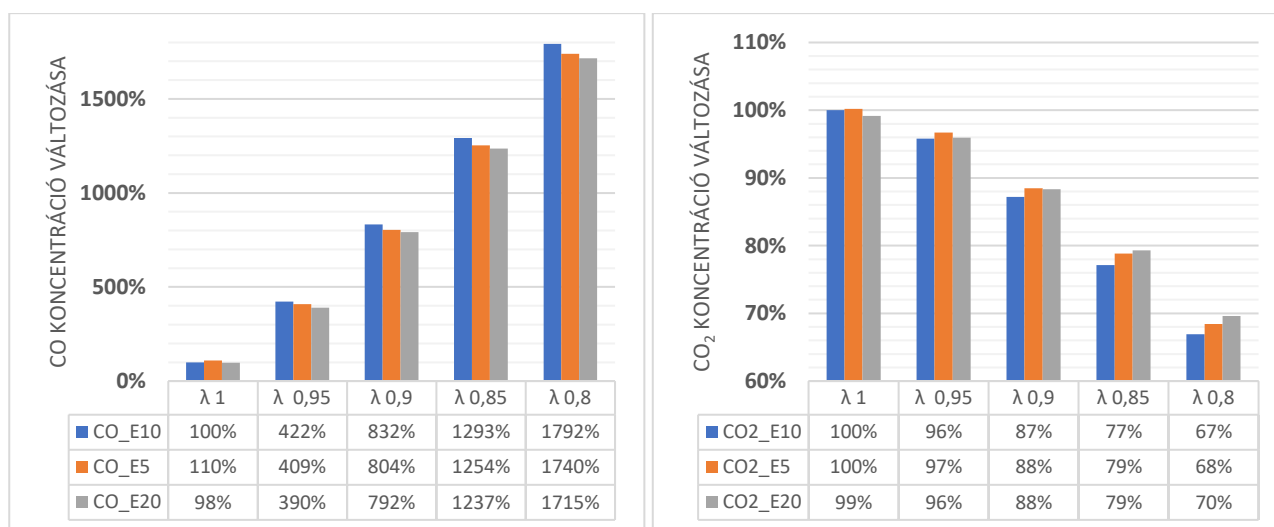
### 3. MÉRÉSEK

A bemutatott mérések célja a tüzelőanyagok közötti károsanyag-kibocsátás különbségeit bemutatni. Erre az alkalmazott módszer jelenleg a légviszony tényező direkt változtatása. A kipufogógáz-összetétel mérése AVL SESAM i60 Ft műszerrel történt (Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia). A szilárdrészcskék darabszámának mérése AVL Advanced Partikel Counter műszerrel történt (CPC, kondenzációs mérési elv). A termodinamikai paraméterek mérése AVL Indicom berendezéssel történt, melyhez Kistler PiezoSmart magasnyomású hengernyomásmérő szenzorok voltak csatlakoztatva.

#### Emissziós értékek bemutatása a légfeszleg tényező változtatásnak hatására

A mérés során a kiválasztott munkapontban a motor légviszony tényezője lett megváltoztatva a dúsítás irányába. A mérés célja megállapítani a károsanyag-kibocsátás változását a benzin-levegő keverék változtatásának – dúsításának függvényében. Ugyan a normál járműhasználatnál a  $\lambda=1$  légviszony tényező elengedhetetlen, azonban a magas terhelésű állapotokban a dúsítás megengedett bizonyos EURO besorolások esetén. A dúsított üzemben a hármass hatású katalizátor átalakítási hatásfoka jelentősen csökken, az nem tud megfelelően működni. Ebben a mérési sorozatban katalizátor utáni mérés nem történt.

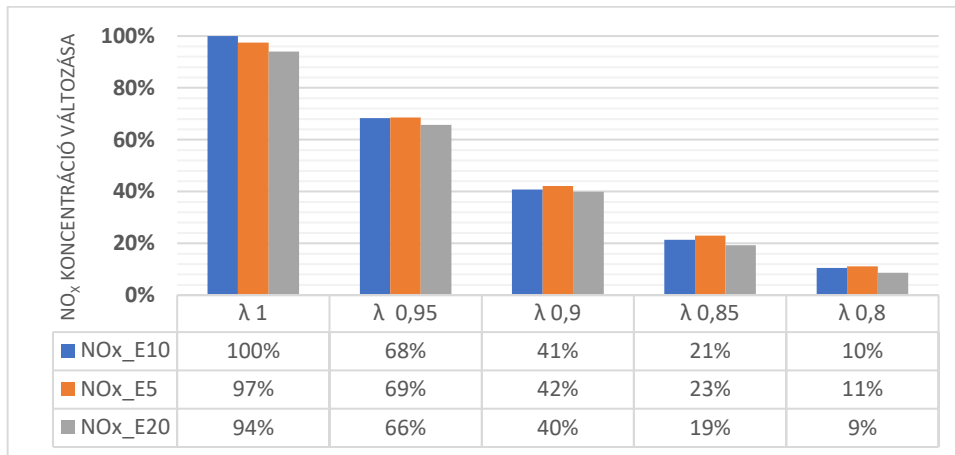
A légviszony tényező beállítása után az adott üzemállapothoz tartozó, legjobb fajlagos fogyasztást eredményező pontra lett állítva a gyújtási szög. A motorfékpad szabályozását tekintve a fordulatszám és mért nyomaték állandó értéken volt tartva. A megjelenített károsanyag-kibocsátás diagramokon a viszonyítási alapot a referencia tüzelőanyag  $\lambda=1$  mérése adja (100 %). Az 1. táblázat alapján a referencia benzin E10, az 1. kísérleti benzin E5, a 2. kísérleti benzin pedig E20 megnevezést kap a diagramokban.



1. ábra: Szén-monoxid és szén-dioxid kibocsátásának változása százalékosan kifejezve a referencia benzinnel képest

A szén-monoxid a tökéletes égés során keletkezik, melynek kiváltó okai között szerepel az alacsony hőmérséklet, a keverékképzésre rendelkezésre álló rövid időtartam, valamint annak legfőbb oka léghiány, mely a dús keverék esetében áll fent. A keverék dúsítása a szén-monoxid kibocsátást jelentősen megnöveli. Ahogy az 1. ábra bal oldali részén látható, a légviszony tényező 20 százalékos módosítása esetén a kibocsátott szén-monoxid mértéke több mint 17-szeresére növekszik. Azonos tüzelőanyagokat vizsgálva a kipufogógáz összetételének változása jobban függ a motorban megvalósuló levegő-tüzelőanyag keverési arányától (AFR), mint a felhasznált tüzelőanyagtól. Az 1. kísérleti benzin esetén már a kiinduló állapotot tekintve is 10 %-kal magasabb a szén-monoxid-koncentráció a kipufogógázban. A 2. kísérleti benzin esetén pedig ez az érték kis mértékben csökkent a referenciához képest. Ennek egyik oka a molekulák kisebb mérete a benzinnel képest, valamint a magasabb belső oxigéntartalom.

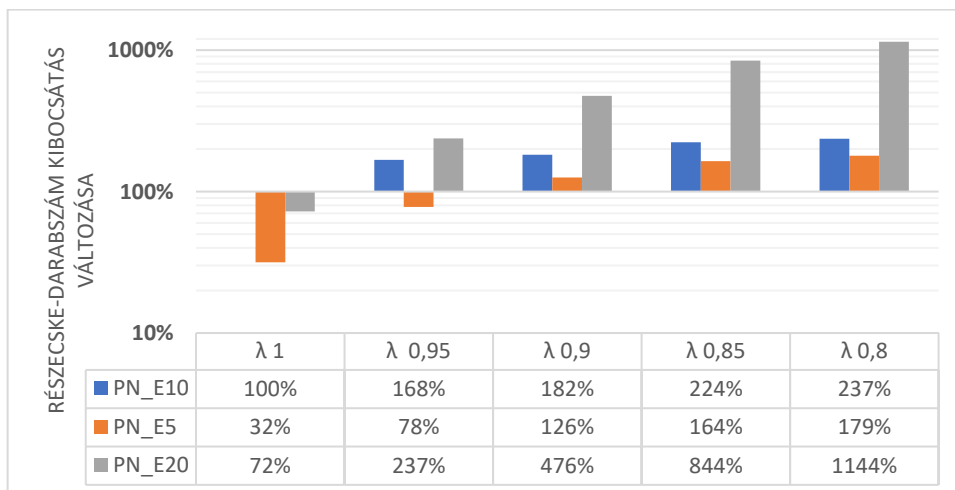
A **szén-dioxid** a tüzelőanyag égése során keletkező fő égéstermék. Az égés a keverék dúsításával tökéletlenné válik, ekkor csökken a szén-dioxid kibocsátás és nő a szén-monoxid kibocsátás.  $\lambda=1$  mellett a 2. kísérleti benzin használata úgy jár kevesebb CO<sub>2</sub>-kibocsátással, hogy közben a CO kibocsátás is csökkent. Ez azért lehetséges, mert az etanol molekula tartalmaz oxigén atomot, így a tökéletes égés feltétele többször létrejön. (1. ábra jobb oldali diagram)



2. ábra: Nitrogén oxidok kibocsátásának változása százalékosan kifejezve a referencia tüzelőanyaghoz képest

A **nitrogén-oxidok** a levegő nitrogéntartalmából keletkeznek, magas hőmérséklet és nyomás hatására. Keletkezése nagymértékben függ az égési csúcshőmérséklettől. A kipufogógázban lévő NO<sub>x</sub> koncentráció a dúsítás hatására csökken, mivel a többlet-tüzelőanyag hőelvonó hatása alacsonyabb égési csúcshőmérsékletet eredményez. Továbbá alacsony légfelesleg tényezőnél az oxigén hiánya miatt is csökken a NO<sub>x</sub> kibocsátás. A benzinek közötti különbség alapján pedig a magasabb etanoltartalom csökkenti a kibocsátást.

A **részecskekibocsátás** létrejöttének több oka ismert, köztük szerepel az inhomogén keverék, tökéletlen égés, olajfogyasztás, motorkopás, valamint a használatban lévő tüzelőanyag kémiai tulajdonságai.



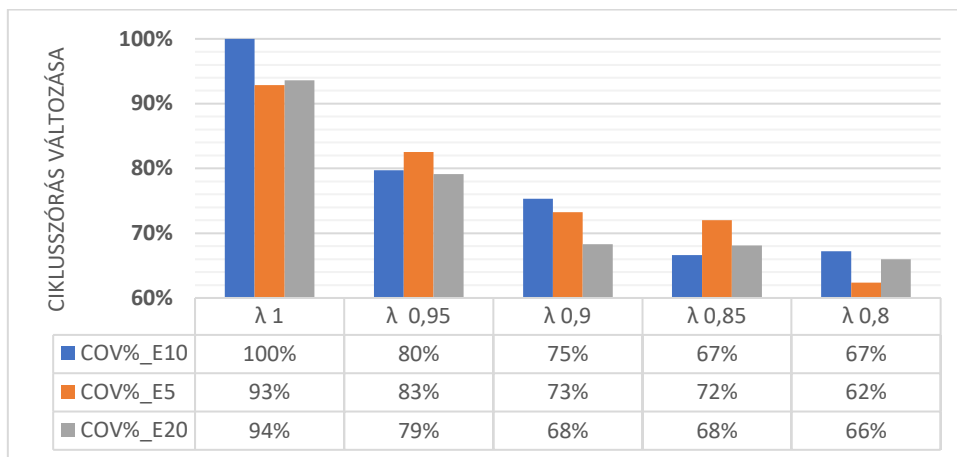
3. ábra: Relatív részecske-darabszám kibocsátás változása logaritmikus skálán ábrázolva

Ebben a vizsgálatban jól látható, hogy az alap  $\lambda=1$  üzemenben a referencia tüzelőanyaghoz képest csökkent részecske-darabszám kibocsátást mutatnak a kísérleti benzinek. A keverék dúsításával a kibocsátás mértéke növekszik. Dús üzemenben a legmagasabb részecske-darabszámot a 2. kísérleti benzin okozta, legkevesebbet pedig az 1. kísérleti benzin. Mivel a motor állapotok állandósultak voltak, ezért vélhetőleg ennek oka az 1. kísérleti benzin kedvezőbb kémiai tulajdonságai miatt alakultak így. (gőznyomás, párolgáshő, végforráspont)

### Az égési folyamat jellemzőinek bemutatása

Ebben a részben nem teljeskörűen kerülnek bemutatásra a motor üzemi paraméterei. Ez alapján látható a motor és a mérés stabilitása, valamint az, hogy a motor termodinamikai jellemzői azonosak voltak minden mérés során.

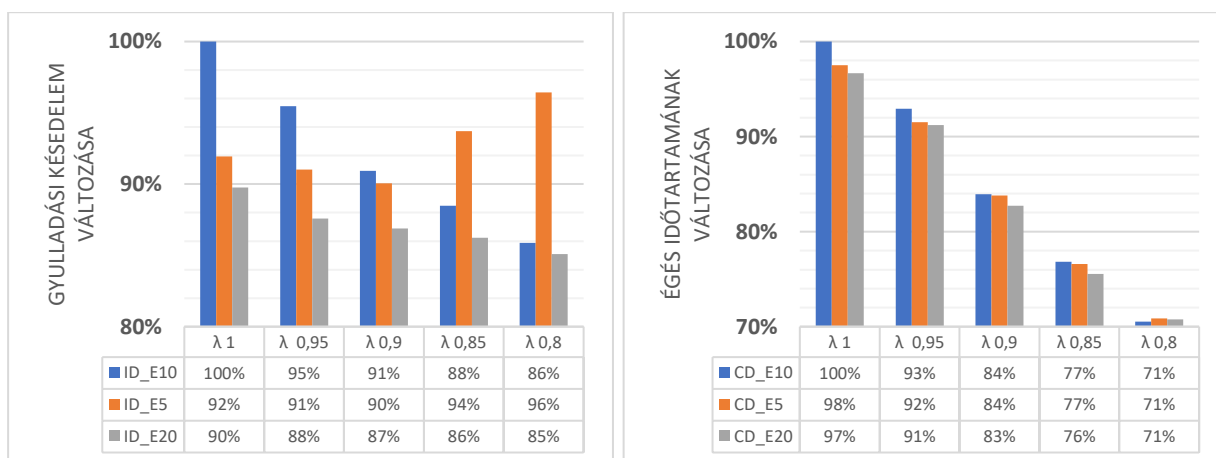
Az égési folyamat ciklusszórását mutatja be a következő ábra. Ez százalékos érték, mely az indikált nyomás szórásából és átlagából számítható ki.



4. ábra: Ciklusszórás ábrázolása a referencia tüzelőanyaghoz képest

A ciklusszórás a keverék dúsításával jelentősen csökkenthető, nagyobb ennek hatása, mint a benzin típusának váltása. A legnagyobb szórással a referencia benzin rendelkezik, de a benzinek között csak minimális különbség mutatható ki.

A következő két ábrán a gyulladási késedelem változása és az égés időtartama látható.

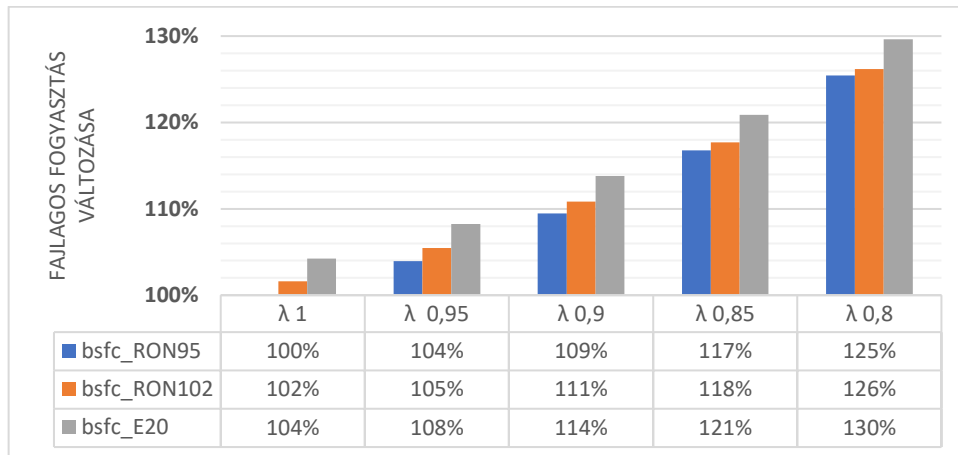


5. ábra: Gyulladási késedelem és égési időtartam ábrázolása a referencia tüzelőanyaghoz képest

A gyulladási késedelem a gyújtószikra megjelenése és az égés kezdete között eltelt főténgely szögtartomány. A keverék dúsítása az etanol tartalmú benzinek esetén csökkenti a gyulladási késedelmet. Az 1. kísérleti benzin azonban közel állandó értékű gyulladási késedelemmel rendelkezett. A magasabb etanol tartalom pedig a 2. kísérleti benzinben segít az alacsonyabb gyulladási késedelemben.

Az égési időtartam a dúsítás hatására csökkent. A benzinek között minimális különbség mutatható csak ki, melyek közül a 2. kísérleti benzin produkálta a legjobb eredményt.

Végezetül a motor fajlagos fogyasztásának alakulása figyelhető meg az utolsó diagramon.



6. ábra: Fajlagos fogyasztás alakulása a referencia benzinnel képest

A fajlagos fogyasztásokat vizsgálva megfigyelhető, hogy a legalacsonyabb értéket a referencia tüzelőanyag biztosítja. Ahogy várható volt, az etanoltartalom 10 %-os növelésével a fajlagos fogyasztás megközelítőleg 3 %-kal növekszik. Ebben a viszonylag alacsony terhelésű munkapontban a magasabb oktánszámú tesztbenzinek nem mutatnak előnyt.

#### 4. EREDMÉNYEK ÖSSZEGLÉSE

A vizsgált tüzelőanyagok összehasonlításra kerültek egy kísérleti mérési sorozatban. A köztük lévő különbségeket a tüzelőanyagok kémiai összetétele befolyásolta. A belsőégésű motor állapota a teljes teszt alatt állandó maradt.

A mérések a referencia, illetve két tesztbenzinnel kerültek elvégzésre, melyekben az etanol-tartalom, illetve oktánszám is változó volt. Az 1. kísérleti benzin egy magas oktánszámú, főként verseny célokra és nem károsanyag kibocsátás javításra tervezett benzin. Ez a benzin nem tartalmaz etanolt, magasabb hőmérsékleten ég, ezáltal a nitrogén-oxidok kibocsátása is magasabb. A magas oktánszámú további potenciálok vannak, melyek a közepes motorterhelésű üzemi állapot miatt ebben a kutatásban nem láthatóak. Ezen benzin párolgási és keverékképző tulajdonságai kimagaslók, ezért homogénebb keveréket képez, mint a többi, ezáltal alacsonyabb részecske-darabszám kibocsátást eredményez.

A 2. kísérleti benzin használata alacsonyabb CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> és részecske-darabszám kibocsátást eredményezett  $\lambda=1$  üzemi állapotokban, mint a referencia benzin, ami kedvező a környezetvédelem és a levegő minősége szempontjából. A fenntarthatóság jegyében fontos, hogy a véges fosszilis tüzelőanyag készletet minél nagyobb arányban egészítsük ki megújuló energiák használatával. A megnövelt etanol tartalmú benzin hátránya, hogy a fajlagos üzemanyag-fogyasztása és az előállítási költsége is magasabb. Amennyiben a törvényalkotás és járműfejlesztés lehetővé teszi magas etanol tartalmú benzinek használatát, úgy jelentős CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkenés lenne elérhető a személyi járművek felhasználásából adódóan.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt és mérésorozat 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] Kalmár I., Stukovszky Zs. Belsőégésű motorok folyamatai, BME Gépjárművek Tanszék, Budapest, 1998
- [2] dr Szabó M., dr Vida L. Szénhidrogénipari technológia és katalízis labor jegyzet – Otto-motor (Kipufogógát vizsgálat, energiamérleg), BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Budapest, 2016
- [3] Magyar Szabvány MSZ EN 228:2012+A1, Gépjármű-hajtóanyagok. Ólmozatlan motorbenzin. Követelmények és vizsgálati módszerek, 2017