

Opponensi bírálat Zöldy Máté “Energiahatékonyságnövelő- és emissziócsökkentő megoldások fejlesztése közúti járművek számára” c. doktori értekezéséről

Készítette: Tar József

2022. április 26.

1. A témaválasztás aktualitásának értékelése gyakorlati és tudományos szempontból

Az értekezés témaköre a műszaki és a gazdasági tudományok egymást átfedő részhalmozára esik abban az értelemben is, hogy annak gyakorlati szempontból tekintett aktualitását nemcsak általánosságokkal, hanem célzott gazdasági elemzések eredményeivel is alá tudta támasztani a Szerző. Az általánosan ismert legfontosabb körülmények (*az olajkincs végeessége, egyes iparilag fejlett országok nyersanyagokhoz való korlátozott hozzáférési lehetőségei, a szigorodó környezetvédelmi előírások, valamint a mobilitással szemben új elvárásokkal jelentkező fiatal generációk megjelenése*) említésén túl a Nemzetközi Energiaügynökség egy 2018-as elemzésére hivatkozik, amely szerint 2050 körül, az autópiacon lassú átforgási sebessége miatt, a személygépkocsi park nagyjából 70%-a még fosszilis vagy ahhoz nagyon hasonló üzemanyagot fog használni. Egy másik mértékadó elemzés azon megállapítását is idézi, amely szerint a hosszútávú áruszállításban, az iparban és mezőgazdaságban illetve a hajózásban a jelenlegi technológiákkal rövidtávon nem várható áttérés más energiahordozókra, a gázolaj könnyű kezelhetősége és nagy energiasűrűsége miatt, ugyanakkor az emissziós előírások konkrét szigorodása is érzékelhető.

A fenti megállapítások erősen alátámasztják, hogy az értekezés témaköre, azaz a belsőégésű motorok energiahatékonyságnövelő- és emissziócsökkentő fejlesztése roppant nagy gazdasági és gyakorlati jelentőséggel bír még igen hosszú ideig.

Tudományos és főleg **műszaki szempontból** megjegyzendő, hogy az ipari fejlesztés azon időszakából, melyben még sem a fosszilis üzemanyagaforrások várható kimerülése, sem a környezetterhelés problémái nem jelentkeztek mint piaci kényszerek, a rendelkezésre álló néhány üzemanyagtípus használatára fejlesztettek ki alapvető belsőégésű motor-típusokat. A továbbfejlesztés szempontjából alapvető kérdésként merülnek fel az alábbi lehetőségek:

- i) teljesen új, „alternatív tüzelőanyagok” kifejlesztésének lehetősége,
- ii) a hagyományos, fosszilis tüzelőanyagok továbbfejlesztése, új összetevőkkel való kombinálása,
- iii) vizsgálandó, hogy elégséges megoldás lehet-e a meglévő alapvető konstrukciók megtartása úgy, hogy hozzájuk kiegészítő alkatrészeket fejlesztenek ki az új típusú üzemanyagok használatához, a szabályozási rendszer továbbfejlesztésével integrálva azokat egy modernebb konstrukcióba, vagy

- iv) a hibrid járművek kialakításával érdemes foglalkozni mint már ismert technológiák egymással való kombinálásával, esetleg
- v) „nulláról indulva” teljesen új motor-konstrukciók kifejlesztése is indokolt lehet azok várható gazdasági megtérülésével.

Az értekezés a fenti irányokból vizsgálja a műszaki fejlesztés lehetőségeit, ezért műszaki/tudományos szempontból megítélve is erősen aktuális.

2. Az alkalmazott kutatási módszerek értékelése tudományos szempontból

A CO_2 ill. CO kibocsátás csökkentése érdekében kézenfekvő olyan szénhidrogén tüzelőanyagok használatának vizsgálata, amelyek nagyobb részben tartalmaznak hidrogént a széntartalomhoz viszonyítva, ezért égéstermékükben inkább víz mint CO_2 ill. CO keletkezik, noha ezen hajtóanyagok motorüzemi használata több országban biztonsági szempontok miatt jelenleg nem engedélyezett. Az általános lehetőségek bősége miatt a Szerző

- i) először világosan behatárolta vizsgálatainak területét, kiválasztva a dízelmotorok gázolaj és propán-bután (PB) valamint cseppfolyósított finomítói gázból (LPG) illetve sűrített földgázból (CNG) álló vegyes üzemanyaggal, kenőanyag adalékokkal, és emulziót tatósító adalékokkal való üzemeltetésének témakörét;
- ii) olyan motrokat vizsgált, melyekben a kipufogó gáz egy részét azért vezetik vissza az égéstérbe, hogy annak „semleges munkaközegként való kitágulását” használhassák fel a kisebb részarányú üzemanyag elegésekor felszabaduló hőenergia mechanikai munkává való átalakítására;
- iii) kritikailag elemezte az adott időszakban elérhető szakirodalomban fellelhető eredményeket, s azok alapján
- iv) a vegyes üzem módhoz szükséges átalakító készülékeket gyártó cégek szakmai tapasztalatait felhasználva hipotéziseket állított fel, majd motorfékpadon méréseket tervezett meg és végzett el,
- v) saját, többnyire fékpadon, illetve kisebb részben egy tesztautóval végzett mérései alapján értékelte ennek az üzem módnak az eredményeit, megállapításokat téve a gázolaj - PB - LPG vegyes hajtóanyag használatára, a füstgázösszetétel, a fogyasztás és a motor működése tekintetében.

A Szerző több esetben végzett analitikai vizsgálatokat, alkalmazott statisztikai modelleket és validált szimulációkat (a kísérleti vizsgálatokban statisztikai megfontolásokkal határozta meg a szükséges mintaméreteket, és szabványok előírásai alapján járt el).

A gázolajos méréseket ötszöri ismétléssel végezte el, és ha a mért értékek szórása nem haladta meg a $\pm 2\%$ -ot, akkor a mérési eredmények átlagát, mint mérési pontértéket vette figyelembe. A gázolaj – LPG üzem mód esetében a $\pm 5\%$ szórás meghaladó mérést figyelmen kívül hagyta, ügyelve arra, hogy legalább három mérési eredmény számára 5% -on belül legyen az értékeléshez. Mérési pontként legalább három értékelhető mérés értékének az átlagát használta fel a kiértékelésnél. Úgy tűnik, hogy ez a megközelítés elégséges volt a „megbízhatatlan” mérési eredmények elvetéséhez, és elegendő „megbízható” adatot szolgáltatott az eredmények kiértékeléséhez. *Feltehető, hogy a „megbízhatatlan, elvetett adatok” száma csekély volt a „megbízható adatok” számához képest.*

Értekezésében a Szerző kitért arra, hogy az LPG gázadagoló készülékek üzem közbeni szabályozása nem tette lehetővé a gázolaj és LPG arány pontos biztosítását, ezért az eredményeknél a pontos arány nem mindig volt állandó. Az elfogadható állandóságú keverési arányt az egyes mérési fordulatszámoknál egyedi beállítással eszközölte.

Az értekezés érdeme, hogy jól behatárolt feltételek mellett méréses vizsgálatokat végzett és jól rendszerezett, kvantitív ismereteket gyűjtött össze egy konkrét konstrukció viselkedéséről. A gyakorlati lehetőségek „korlátai” miatt ez a konkrét konstrukció egy egész osztályt reprezentáló paradigmának is tekinthető, és a róla szerzett tapasztalatok többé-kevésbé több hasonló, konkrét rendszerre is átvihetők.

Megállapítható, hogy a Szerző tudományos módszerei megfelelnek a kor általános követelményeinek.

3. A doktori értekezés formai értékelése

Az értekezés gördülékeny, szép magyar nyelven megírt munka, amely precízen használja a megfelelő fogalmakat és rövidítéseket, amelyeket egy egységes jegyzékben is összefoglalt. Teljes terjedelme 93 oldal, amihez még hozzáadódik néhány oldalnyi kiegészítő anyag („*ÁBRAJEGYZÉK*”, „*TÁBLAJEGYZÉK*”, „*RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK*”, a felhasznált külső szakirodalom jegyzéke, a saját publikációk jegyzéke az impakt faktoros, a tézisekhez kapcsolódó publikációk, szabadalmak, folyóiratban megjelent, egyéb saját publikációk, és ismeretterjesztő publikációk csoportjaira bontva), összesen 100 oldalban.

A „*I. Bevezetés*” c. fejezet a Szerző motivációit, a kutatási terület aktualitását foglalja össze, és az értekezés szerkezetét vetíti előre. A saját vizsgálati eredményeket a 2., a 3., a 4. és az 5. fejezetben részletezi, a 6. fejezet tartalmazza az **új tudományos eredmények tézisek formájában történő** összefoglalását.

A 2. fejezet a Szerző belsőégésű motorok továbbfejlesztése területén az energiahatékonyság növelésének és a környezetterhelés csökkentésének céljából végzett kutatásait taglalja.

A 3. fejezet tárgya a hagyományos, fosszilis tüzelőanyagok továbbfejlesztése, kiemelten a kompressziógyújtású motor üzemanyagának reformulázása alacsonyabb környezetterhelés és kisebb fogyasztás elérése céljából.

A 4. fejezet az alternatív tüzelőanyagok fejlesztésének eljárásaira koncentrál, melyek részeként kettes és hármas keverékek vizsgálatából származó eredményeit foglalja össze.

Az 5. fejezet azzal foglalkozik, hogy az önvezető jármű technológiák miként tudják csökkenteni a környezetterhelést és növelni az energiahatékonyságot.

A tézisek formájában összefoglalt új önálló tudományos eredményeket a 6. fejezet tartalmazza úgy, hogy minden egyes tézis mögött meg van adva az azt támogató tudományos közlemények listája. A 7. fejezet az eredmények gyakorlati alkalmazhatóságára tér ki.

4. Észrevételek, kérdések

A nem kimondottan dízelmotorok vizsgálatára szakosodott olvasó tájékozódását segítette volna, ha az értekezésben a felbukkanásuk helyén szigorúan nem definiált mennyiségek mint „*motorterhelés*”, ill. „*terhelési tényező*” használatára épülő szöveges elemzés előtt a Szerző felvázol egy egyszerű fizikai képet az égéstérben lejátszódó folyamatokról. Ezeket nagyjából így tudom elképzelni:

1. A dugattyú „legmagasabb” állásában a hengerben van egy füstgáz–levegő–fűtőgáz keverék (a „*Gáztartályból*” az „*Elpárologtató adagoló*” rendszeren keresztülfutó más bevezető utat/csövet nem látok az égéstérbe az 1. ábrán) valamilyen kiindulás nyomáson és hőmérsékleten. A kiindulási nyomást és hőmérsékletet nagyjából a bevitt kompresszált, hűtött levegő és a nagy- és kisnyomású füstgáz keveredése határozza meg.
2. Ebbe a közegbe fecskendezi be a rendszer a gázolajat, amely a hengerben meggyullad, és az abban lévő gáz nyomását és hőmérsékletét is megemeli;
3. Az égés minden bizonnyal nem pillanatszerű, és folyamatban van, miközben a dugattyú elmozdul és mechanikai munkát ad le, melyet a fékpad disszipál hővé;
4. Az aktuális fordulatszám meghatározza, hogy az égési folyamatra mennyi idő jut a hengerben, azaz az mennyire tökéletes a henegren belül; (arra nézve lézetik-e információ, hogy a dugattyúból kilépve zajlik-e még jelentős mértékű kémiai átalakulás a füstgázban miközben az kitágul a turbinában?)
5. Ha fordulatszám állandó értéken van tartva, a rendszerből időegység vagy egy teljes löket alatt valamennyi mechanikai munkát tud kiszedni a fékpad. E mechanikai munka fedezete a bevitt üzemanyag égéshője, tehát nagyobb motorterheléshez több gázolaj és/vagy több gázjellegű üzemanyag bevitele szükséges, amelynek elégetéséhez elegendő oxigénre is szükség van, tehát befolyásolhatja a szükséges bevitt levegő/füstgáz arányt is.
6. Több üzemanyag elégetése általában magasabbra emelheti a dugattyúban lévő elégett gázkeverék hőmérsékletét és nyomását (ennek köszönhetően szedhető ki a rendszerből több mechanikai munka egy löket alatt), ez emelheti a nitrogénoxidok, valamint a tökéletlen égés egyéb szennyező termékeinek (pl. korom) képződési rátáját;
7. Feltehető, hogy ha többlet oxigén van jelen a hengerben (az elégetendő üzemanyag kémiai szükségletéhez képest mért többletre gondolok), az káros lehet a nitrogén fölösleges oxidálása szempontjából, viszont az üzemanyag tökéletesebb égése szempontjából nézve előnyös lehet. A füstgáz egy részének munkaközegként való visszavezetésével redukálható az oxigéntöbblet és a friss nitrogén bevitele, így e két szempont között várható valamilyen gyakorlatias kompromisszum lehetősége.

Ez az egyszerű kép elegendő lehet bizonyos kvalitatív várakozások kialakítására, melyeket az alkalmazott alkatrészek (pl. kompresszor, turbina, hőcserélők, konkrét üzemanyagösszetétel) műszaki tulajdonságai árnyalhatnak vagy akár át is írhatnak. Továbbá, az 1. ábrán (a gépjárművek tényleges gyakorlati használatával összhangban) a motor és a fékpad közé lehetne egy változtatható mechanikai áttételű alkatrészt szerelni, amely újabb kompromisszumot tesz lehetővé azzal, hogy a fékpad felé más nyomatók és fordulatszám jelenik meg, mint a motor felé, így a motor oldalon „optimális” beállítás maradhat annak árán, hogy a fékpad oldalán ennek megfelelően kapunk valamit mint tudomásul vett viselkedést.

Az 1. ábrán a füstgáz kivezetése valószínűleg rajzolási hibát tartalmaz. Amennyiben a trapéz alakú alkatrész hosszabb oldala a „nagyobb fajlagos térfogatú (kisebb nyomású)”, míg rövidebb

oldala a „kisebb fajlagos térfogatú (nagyobb nyomású)” állapotnak felel meg, a szimbólum turbinát jelöl, ha a bemeneti oldal felel meg a sűrűbb állapotnak [ekkor a kitáguló gáz mechanikai munkát ad át a turbina lapátjainak]. Ha a bemeneti oldal a nagyobb fajlagos térfogatú állapotnak felel meg, a szimbólum kompresszort jelöl, melynek lapátjai az összenyomott gáznak adnak át mechanikai munkát. Hasonlóan hibás a levegő bevezetésének jelölése is. (Ha szimbólumok jelentése esetleg a fent leírt fordítottja lenne, a kompresszor és a turbina bekötése akkor sem nem történhet egymással azonos módon). (Az észrevétel nyilván csak **formális** jellegű, tartalmi vonatkozásai nincsenek.) Hasonló jellegű észrevétel tehető a „14. ábra: A kutatómotor töltetcsere rendszerének tervezett kialakítása” ábrával kapcsolatban is.

A „2.1.3 A fajlagos fogyasztási jellemzők elemzése” c. alfejezetben szerepel a következő mondat: „A tiszta gázolajjal és a gázolaj – LPG ilyen összetételű keverékével 100% motorterhelésnél végzett mérésekből számított fajlagos fogyasztások alakulását a 3. ábra mutatja.” mondatban jó lenne potosan érteni a „motorterhelés” definícióját. Fizikai vonatkozásai alapján az olvasó hajlamos lenne a terhelésen forgatónyomatékokat vagy kivett teljesítményt érteni. Fizikailag hogyan definiált ez a mennyiség %-ban? Mi a %-ban kifejezett érték alapja? (Később, a 27. oldal 16. ábrája és a 28. oldal 4. táblázata alapján arra lehet „tippelni”, hogy az értekezésben forgatónyomatékról van szó, a %-os számítás alapja pedig valamilyen, a gyártó által meghatározott maximális nyomaték lehet egy adott fordulatszámnál, amelynél nagyobb nyomatékkal nem javasolja terhelni a motort, vagy az esetleg nem is tud nagyobb nyomatékokat kifejteni?)

Hasonlóan, a „légvizony” fogalmát a Szerző az 53. oldalon definiálja a következőképp: „a beszívott levegő mennyisége az égéshez elméletileg szükséges levegőmennyiséghez viszonyítva” (tömegarányokban), míg e fogalom már a 27. oldalon is felbukkan, definíció nélkül.

Célszerű lett volna az „ÁBRAJEGYZÉK”, „TÁBLAJEGYZÉK”, „RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK” mellett egy jegyzéket is összeállítani az értekezésben szereplő fogalmak fizikai definíciójáról és szabványos mértékegységéről.

Az értekezés 23. oldalán említi a Szerző, hogy „Alapvetően kétféle módon lehetséges a motorba a kipufogógáz visszajuttatása: belső és külső visszavezetéssel [ZM49]. Belső EGR esetén a szelepezérlés megfelelő hangolásával lehet benn tartani, vagy visszaengedni a kipufogógázt a hengerbe. Előnye, hogy gyors, hátránya viszont, hogy a kipufogógáz nem húzható. Kutatásaimban csak a külső EGR rendszerekkel foglalkoztam. A külső EGR rendszer a motor kipufogócsatornáiból egy csővel vezeti vissza a kipufogógázt a szívócsatornába.”

Az „1. ábra: Mérőrendszer sematikus rajza” rajzán követni tudom, hogy a nagynyomású füstgáz egy részét az alkalmazott EGR rendszer közvetlenül visszapumpálja az égéstérbe, keverve azt a nagynyomású visszahűtött levegő bevitellel, de ebben a körben nem találok a füstgáz hűtését. A másik ág a „Motorvezérlő ECU” és a „Gázelektronikai vezérlő”, valamint az „Elpárologtató adagoló” egységen keresztül jut vissza az égéstérbe. Ez az ág felelne meg a „hűtött kipufogógáz” visszavezetésének úgy, hogy a hűtési folyamat a kissé félrevezető nevű „Gáz tartály”-ból (amely névvel ellentétben nem gáz, hanem folyadék halmazállapotú fűtőanyagot tartalmaz?) dupla (állandó fajlagos entalpiájú) fojtás után már nedves gáz folyadékfázisú részét párologtatja el? Ezen kívül egyéb hűtési mechanizmus nincs a rendszerben? (A bejövő levegő kompresszorát hajtó gázturbinából kijutó füstgáz szintén lehűl, de alacsony nyomása miatt mindenképp veszendőbe megy, mert visszatáplálásához vissza kellene kompresszálni.) A „14. ábra: A kutatómotor töltetcsere rendszerének tervezett kialakítása” rajzán már fellelhetők a hűtőelemek.

A „14. ábra: A kutatómotor töltetcsere rendszerének tervezett kialakítása” c. ábra alapján

világos, hogy mivel az alacsonyabb nyomású füstgáz visszavezetés esetén a „MEB (4)” fojtószelep zárásával próbálunk meg „kipufogó féket” működtetni (ekkor a motor kompresszorként működik, és a fékezéskor disszipált hőt a motor hűtővíz rendszere viszi el ahelyett, hogy a disszipáció a fékpofákon történne), világos, hogy a turbina/kompresszor rendszer mindenképp megterhelődik. A magas nyomású visszavezetés esetén a „MEB (6)” és „FOJTÓSZELEP (5)” egyidejű zárása viszont látszólag a turbina/kompresszor terhelése nélkül is létre tud hozni kipufogóféket. Mi a motivációja a „MEB (7)” szelep használatának a kiufogófék létrehozásában? (A 30. oldalon szerepel a következő mondat: „Ezután következett a turbina utáni kipufogófék által támogatott HP EGR szimulációja.”)

A 26. ábrán a 33. oldalon a „Terhelés [nm] 1380-as fordulatszámom” szövegrészben a métékegység valószínűleg [N · m] akart lenni.

A „26. ábra: Személyautó (balra) és haszongépjármű jellemző használati tartománya a fordulatszám-nyomaték síkon” magyarázatú ábrán a függőleges tengelyen pontosan mit jelent az „Arány”? (Esetleg a használat idő szerinti eloszlására vonatkozik úgy, hogy az oszlopok értékeit összeadva meg kell kapni a 100%-ot?) Erre nem ad magyarázatot a 38. oldalon fellelhető szövegrész sem: „A 26. ábra azt mutatja, hogy a személygépkocsi-motorokat általában nagyon különböző vezetési körülmények között használják. Ezzel ellentétben a nagy teljesítményű motorok jellemzően elsősorban jó lokalizálható nyomaték és motorfordulatszám tartományban használatosak.”

Világosan értelmezhető a III. tézissel kapcsolatban a „3.2 Mérések irányainak meghatározása” c. alfejezetben leírt cél: „Az irodalmi áttekintés alapján a kutatásom két fő paraméterre összpontosult: sűrűség és súrlódás-módosítók.” Kevésbé világos számomra a „3.3 Sűrűség optimalizálása gyártás során” rész tartalma, ami, ha jól értem, a nagy lepárló / finomító berendezések működésére vonatkozik, és hajlamos vagyok feltételezni, hogy e folyamatok részleteibe a Szerzőnek gyakorlatilag nincs beleszólása. A gyártók e berendezések valamilyen termékeit forgalmazzák nagy tételben a piacon. Feltételezem, hogy ez a rész csak a háttér folyamatok elméleti áttekintése szempontjából fontos, de a Szerző számára ebben igazi mozgástér nem létezik.

További gyakorlati lehetőségre utal a következő mondat a 38. oldalon: „A dízelüzemanyagok sűrűsége leginkább a finomítóban vagy a kereskedési helyszínen végzett keverési folyamatban módosítható. A legtöbb esetben a dízelt különböző keverőkomponensekből, leggyakrabban négy-hat komponensből keverik össze, és a keverés során akár 8-12 adalékanyagot is hozzáadnak a szabványban lévő követelmények eléréséhez.” A „8. táblázat: Tesztüzemanyagok kémiai tulajdonságai” táblázatban jellemzett négyféle tesztüzemanyag értelmezhető úgy, hogy azok a kereskedelmi forgalomban kaphatók mint a „helyszínen végzett keverés” eredményei, vagy a Szerző maga keverte ki ezeket a gázolajokat a kereskedelmi forgalomban kapható termékekből, figyelemmel a hatályos szabványok adta korlátokra, és esetleg javaslattal élhet majd a forgalmazók felé arra nézve, hogy milyen helyi keverésű termékeket lenne célszerű forgalmazniuk?

A IV. Tézis közlésének struktúrájával kapcsolatban merült fel bennem a következő kérdés: maga a tézis „4.1.6 Az etanol-gázolaj emulziók vizsgálatának értékelése” c. fejezet elején van kimondva, az azt megelőző vizsgálati szempontok mint az „etanol bekeverésének hatása a motor hatékonyságára”, az „etanol bekeverésének hatása a környezetkárosító anyagok emissziójára”, s végül „megállapítások az etanol-gázolaj keverékek emisszióra gyakorolt hatásáról”. E vizsgálatok kémiai folyamatok leírására szorítkoznak, és nem volt szó bennük arról, hogy a különböző komponensek egymással való keveredése miképp valósul meg.

Mivel a bioetanol vizes közegben képződik (szerves anyagok biológiai erjedése következtében), és az etanol vízben is oldódik, feltehető, hogy a kinyert etanolnak is lesz valamilyen víztartalma. Mi-

vel a víz nem keveredik a gázolajjal, feltételezhető, hogy a gyakorlatban **az emulzióban** valamilyen vizes etanol – gázolaj keverékről lehet szó?

Nem derül ki az értekezésből, hogy miért kényszerülünk a gyakorlatban emulzió használatára? Lehet ennek oka valamennyi víztartalom, vagy valami egyéb fizikai oka van?

Az emulzió fizikai természetével a tézis kimondása előtt a Szerző nem foglalkozik, csupán a tézist tartalmazó blokkban merül fel annak fogalma. Az emulzióra vonatkozóan a Szerző érdekes megállapításokat tesz úgy, hogy azok lényegében nincsenek beépítve magába a tézisbe. Úgy tűnik, hogy a tézis csak **etanol-gázolaj oldatok**-ra vonatkozott, míg az emulziók eltarthatóságuk biztosítása miatt szükségszerűen tartalmaznak adalékanyagokat, amelyeknek jelentős hatása lehet a vizsgált szempontokra. E hatásokat a Szerző lényegében a tézisen kívül fogalmazza meg.

Az 58. oldal (39) és (40) egyenlete szövegszerkesztési hibát tartalmaz: bennük a „ $\langle \mu \rangle$ ” és a „ $\langle M(x) \rangle$ ” szimbólumok (ezek zárójel) helyett **relációjelek** írása lett volna helyesebb a „ $\mu <$ ” és a „ $< M(x) <$ ” formában (az idézett tételek arról szólnak, hogy egy mennyiség milyen valószínűséggel helyezkedik el egy adott tartományban). Ez nyilván csak formai hiba, **tartalmi hibáról szó sem lehet.**

A „4.3 Butanol alkalmazásának bemutatása, mérése és értékelése kompressziógyújtású motorban” fejezetben nem esik szó a butanol előállításáról, e technológia előnyeiről/hátrányairól. (Az etanolról általánosan tudott, hogy szerves anyagok erjedéséből képződik).

5. A tézisek értékelése

A „2. BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK TOVÁBBFEJLESZTÉSE” c. fejezetben a Szerző összefoglalja azokat a szakirodalmi eredményeket, amelyeket a kettős tüzelőanyagú kompressziógyújtású motor fejlesztése témában megtalált és részletesen elemzett. Megállapítja, hogy a témában eddig végzett vizsgálatok hagyományos dízel befecskendezésekkel történtek, míg napjaink dízelmotorjai a változtatható nagynyomású és több periódusú hajtóanyagellátó rendszerekkel vannak felszerelve, és ezek részletes vizsgálata a dízelolaj–LPG keverékek használata vonatkozásában még nem lett elvégzve. A már elvégzett vizsgálatok alapján azt a **hipotézist** állította fel, hogy *az utólagosan felszerelt cseppfolyósított finomítói gáz (LPG) adagoló rendszerek áttételes illesztése a motorvezérlő rendszerhez nem elégséges az LPG–dízel rendszerek jobb üzemelési tulajdonságainak eléréséhez. Az LPG gázolajnál rosszabb cetánszáma és magasabb égéshőmérséklete rontja az égés minőségét, ezáltal növeli füstgáz, HC, CO, és NO_x tartalmát.*

A hipotézis elvetését vagy megtartását az 1. ábrán vázolt mérési rendszerrel végzett mérésekkel döntötte el. Elemezte a „*fajlagos fogyasztási jellemzőket*”, és a füstgáz összetevőit, majd ezek alapján megállapításokat tett az LPG rendszerek dízelmotoron való alkalmazhatóságáról. Megítélés szerint a vizsgált jelenséget illető, a „2.1.5” alpont alatt tett 5 pontba szedett megállapítás az igazi tudományos eredmény, amelyet formálisan is összefoglal az **I. Tézis** mint az első hipotézis megerősítése, kiegészítve azt egy közelítő matematikai összefüggéssel, amely az LPG–dízelolaj 10–41 tf%-os „keverésére” érvényes és a károsanyag kibocsátást leíró emissziós mátrixra vonatkozik. **A tézist egy impakt faktoral rendelkező nemzetközi folyóirat közlemény ([ZM2]), egy nemzetközi konferenciaközlemény ([ZM61]), és két magyar nyelvű közlemény ([ZM11] és [ZM36]) támasztja alá.**

A további vizsgálatok a „2.2 Kompressziógyújtású motorok **utánkezelő** rendszerének fejlesztése” c. részfejeztben arra vonatkoznak, hogyha megelégszünk a motorban lejátszódó, az előző tézisben

vizsgált égési folyamatokkal (azaz nem arra törekszünk, hogy a motorban hozzunk létre jobb égési feltételeket), akkor a kipufogógáz **utókezelése** válik szükségessé: különböző elvű szűrőkkel és katalizátorokkal lehet elérni a kibocsátott károsanyagok mennyiségének csökkentését. Ettől eltér a kipufogógáz részleges visszavezetése a munkahengerbe, amivel befolyásolni lehet az égési folyamatot is. A Szerző megállapította, hogy „A nagy arányú kipufogógáz visszavezetés alacsony és magas nyomáson egyaránt eddig még nem képezte kutatások tárgyát.”, így saját munkájával ezt a hiányosságot igyekezett pótolni. Kiinduló **hipotézise** az volt, hogy „Mérések és szimuláció alapján egyértelmű sorrend állítható föl az EGR rendszerek között az üzemanyagfogyasztásra gyakorolt hatásuk alapján.”

A „26. ábra Kipufogógáz visszavezetések sorrendje a fogyasztásra gyakorolt hatás szempontjából” ábrán adott eredmények egyöntetűen és világosan kísérletileg igazolják a II. Tézist mint a megfelelő hipotézis megerősítését. **A tézist két nemzetközi, impakt faktoral bíró lapban kiadott folyóirat közlemény([ZM6], [ZM8]), két további angol nyelvű folyóirat közlemény ([ZM19], [ZM24]), egy magyar nyelvű folyóirat közlemény([ZM23]) és egy magyar nyelvű konferencia közlemény ([ZM49]) támasztja alá.**

A „3. **KOMPRESSZIÓGYÚJTÁSÚ MOTOR TÜZELŐANYAGÁNAK REFORMULÁZÁSA**” c. fejezetben a Szerző azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy hogyan lehet a dízelmotorok üzemanyag-összetételét megváltoztatni az üzemanyag-fogyasztás és az üzemanyag-kibocsátás jellemzőinek javítása érdekében. Gyakorlati szempontból a vizsgálódásokat az indokolja, hogy számos alkalmazási területen egyszerűen nem lehet a dízelmotorok használatáról gazdaságosan visszaállni a benzinmotorokra – az ásványolaj alapú dízelüzemanyaggal üzemelő kompressziós gyújtású motorok a legjobb üzemanyag-takarékossággal rendelkeznek, és a legnagyobb mértékben járulnak hozzá az üzemanyag-fogyasztáshoz–, elméleti szempontból pedig az, hogy a dízelmotorok további fejlesztése még sok szempontból nyitott kérdés maradt. A Szerző talált irodalmi utalásokat a dízel üzemanyag lehetséges újra tervezésére vonatkozóan a kibocsátás csökkentése és az üzemanyag-hatékonyság javítása érdekében. Saját munkájával e fellelhető irodalom tanulmányozása után e területen kívánt tudományosan hozzáadott értéket képezni.

A kompressziós gyújtás a dugattyúban lezajló komplex folyamatok eredményeképp jön létre, melyben szerepet játszik a gázfázis és a folyadékfázis behatolásában vagy elterjedésében az üzemanyag sűrűsége, viszkozitása, felületi feszültsége, illékonyasága, a gyújtás késleltetése (a dugattyú jelentős elmozdulást tehet meg, mielőtt a mechanikai munkává alakítható hő termelő égés beindulna, ezért csökken a munkavégzésre felhasználható „úthossz”, ami miatt az égéshő kisebb hányada hasznosítható). További fontos szempont a dugattyú hengerben való mozgásának súrlódása, ami megfelelő kenőanyagok használatával jelentős mértékben csökkenthető.

A Szerző jól áttekinthető formában foglalta össze az irodalmi áttekintés eredményeit a „5. táblázat: **Üzemanyag-fogyasztásra ható motorreleváns tényezők a szakirodalom alapján**” c. táblázatban, amelynek alapján kimondta **III. Hipotézisét**: „A gázolajban a sűrűség és a súrlódás-módosítók optimalizált mennyiségének köszönhetően csökkenthető a motor dízel fogyasztása és így a szén-dioxid kibocsátása.”

A **III. Tézissel** kapcsolatban, részletesebb, a gyártással és a termékek keverésével kapcsolatos elméleti megfontolásokat követően a Szerző a „8. táblázat: **Testüzemanyagok kémiai tulajdonságai**” táblázatban adott 4 különböző gázolaj keverékre végzett részletezett vizsgálatokat: egy „*alapidízel (Gázolaj 1)*”, ami feltehetően általánosan forgalmazott, és nem tartalmaz súrlódáscsökkentő adalékokat, egy „*megnövelt sűrűségű minta, a felső sűrűség határ közelében, amit a szabvány megenged (Gázolaj 2)*”, a „*Gázolaj 3*”, ami a „*Gázolaj 2*”-höz adott 600 ppm súrlódás-módosító adalékot tartalmaz, valamint a „*Gázolaj 4*”, ami a „*Gázolaj 2*”-höz adott 1200 ppm súrlódás-

módosító adalékot tartalmaz. (Ez utóbbi három változatot a Szerző maga keverte ki, vagy ezeket is forgalmazzák ilyen arányban?) A „teljes terheléses mérések” eredményeit összehasonlító 28. és 29. ábra világosan tudományosan igazoltta teszi a Szerző **III. Tézisét**, mely szerint *mérésekkel igazolta, hogy a sűrűség és a súrlódás-módosítók mennyiségének optimális alakításával a motor gázolaj fogyasztását csökkenteni lehet.* A tézishoz tartozik még a (15) egyenletben megfogalmazott kvantitatív állítás is. *A tézist két impakt faktoros folyóirat közlemény ([ZM3], [ZM9]), egy angol nyelvű folyóirat közlemény ([ZM19]), egy magyar nyelvű konferencia közlemény([ZM41]), és két idegen nyelvű konferenciaközlemény ([ZM54], [ZM56]) támasztja alá.*

A „4. ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK” c. fejezetben irodalmi előzményekre támaszkodva a Szerző a bioetanol dízelmotorokban való használatára vonatkozóan fogalmazza meg **IV. Hipotézisét**, mely szerint etanol dízelmotorban való alkalmazásával csökkenthető a motor szén-dioxid, a nitrogén oxidok és a korom emissziója. A hipotézis nagyszámú szempont és ismerethalmaz átvizsgálása alapján lett felállítva.

A hipotézist igazoló **tézis** megfogalmazásában kiemelt szerepet kapnak a következő szempontok: „4.1.3 Etanol bekeverésének hatása a motor hatékonyságára”, „4.1.4 Etanol bekeverésének hatása a környezetkárosító anyagok emissziójára”, „4.1.5 Megállapítások az etanol-gázolaj keverékek emisszióra gyakorolt hatásáról”, és végül a „4.1.6 Az etanol-gázolaj emulziók vizsgálatának értékelése”. Lényege egy állítás, amely így foglalható össze: **Tézis IV: A Szerző számításokkal és mérésekkel igazolta, hogy az etanol bekeverése a gázolajba pozitív hatással van a motor emissziójára.** A tézishoz tartozik még a (37) és (38) egyenlet mint kvantitatív becslés. *A tézis alfejezetben való elhelyezkedése alapján számomra úgy tűnik, hogy az az etanol-gázolaj oldatok használatára vonatkozik. Az emulziókról – és az azok tárolhatóságát biztosító adalék anyagok hatásairól – tett megállapítások a tézisen kívül vannak megfogalmazva. A tézist egy magyar nyelvű könyv ([ZM10]), két magyar nyelvű folyóirat közlemény ([ZM11], [ZM28]), két angol nyelvű folyóirat közlemény ([ZM38], [ZM39]), és egy angol nyelvű konferencia közlemény ([ZM65]) támasztja alá.*

A Szerző etanollal folytatott kísérleteinek egyik eredménye az volt, hogy megállapította: az etanol emulzióban nehezen tartható a gázolajjal. Az emulzió eltartahtóságát biztosító speciális adalékok hatásának tanulmányozása helyett kutatásai új irányt vettek, és inkább azt kezdte vizsgálni, hogy milyen hármaskeverékben (bioetanol – biodízel – gázolaj keverék) lehet ez etanolt a gázolajjal jól tárolható keverékben tartani. Különböző tüzelőanyag keverékeket állított össze, és ezek motorikus alkalmazásának műszaki, gazdasági és környezetvédelmi szempontjait vizsgálta, releváns szakirodalmi elemzésekre támaszkodva, melyek eredményeképp a következő **hipotézist** fogalmazta meg: „**Hipotézis V: Az etanol-biodízel-gázolaj hármaskeverékekben az etanol és a biodízel hátrányos tulajdonságai kiegyenlítik egymást, a hármaskeverékek megfelelnek a gázolajra vonatkozó szabvány égés releváns előírásainak, miközben összeségében csökkentik a keverék károsanyag kibocsátását a gázolajhoz képest.**”

A hipotézist tézissé átminősítő kísérleti vizsgálatokat a Szerző gondosan tervezte meg, statisztikai megfontolásokkal határozta meg a szükséges mintaméreteket, és szabványok előírásai alapján járt el. Mérté a minták **viszkozitását, kenőképességét**, a **cetánszám** meghatározásához saját mérőberendezést fejlesztett ki, mérte a motor **teljesítményét és fogyasztását**, a **károsanyagok kibocsátását**, (CO , SO_2 , NO_x , elégetlen szénhidrogének), becsléseket végzett az **externális költségekre**, majd megállapításait az **V. Tézisben** foglalta össze, mely szerint a Szerző mérésekkel és számításokkal igazolta, hogy a vizsgált bioetanol-biodízel-gázolaj keverékek teljesítik a gázolajra vonatkozó viszkozitás, cetánszám és kenőképesség előírásokat. A tézis további közelítő formulákat tartalmaz a keverékek viszkozitásának és cetánszámának becslésére, valamint egy képletet a keverék emissziócsökkentés

hatásának számítására. *A tézist két impakt faktoros folyóirat közlemény ([ZM1], [ZM7]), két egyéb nemzetközi folyóirat közlemény ([ZM14], [ZM12]), és egy magyar nyelvű folyóirat közlemény ([ZM29]) támasztja alá.*

A továbbiakban a Szerző célszerűen az etanol helyett egy magasabb rendű alkohol, a butanol használatára vonatkozó szakirodalmi kutatásokat végzett, amelyek alapján megfogalmazta **VI. hipotézisét**, amely szerint a butanol mint magasabb rendű alkohol előnyösen alkalmazható dízelmotorban üzemanyag keverő komponensként, a keverékek égési tulajdonságai megfelelnek a gázolajszabvány előírásainak.

A hipotézisből a előző téziséhez hasonlíthatóan gondos mérések eredményeképp lesz **VI. tézis**, amely megállapítja, hogy konkrétan kis (max. 5 V/V%) butanoltartalmú keverékek a jó választások, továbbá tapasztalati összefüggést dolgozott ki a keverék viszkozitásának, cetánszámának, valamint a butanol injektor feltisztító hatásának becslésére. E tézist egy Opel Astra Caravan személygépkocsival végzett mérések is alátámasztják. A jármű fogyasztási eredményének tendenciája megegyezett a motorfékpadon végzett mérésekével. *A tézist 5 idegen nyelvű folyóirat közlemény ([ZM20], [ZM22], [ZM15], [ZM18], [ZM31]) támasztja alá.*

További célszerű vizsgálatok tárgyát képezte a butanol-hidrogénezett növényi olaj - gázolaj hármaskverékek kémiai tulajdonságainak értékelése üzemanyagként való felhasználás szempontjából az etanol-biodízel-gázolaj keverékekkel kapcsolatos vizsgálatok analógiája alapján. Ezzel kapcsolatban is állt már rendelkezésre szakirodalom, amely alapján a Szerző megkockáztatott egy **VII. hipotézist**, mely szerint a hidrogénezett növényi olaj (HVO) és butanol keverőkomponensek ellensúlyozzák egymás hatását a keverékben, így olyan keverék hozható létre, amely a teljesíti a gázolaj égési tulajdonságai felé támasztott elvárásokat.

A hipotézist kísérleti vizsgálatok eredményei támasztották alá, és vezettek a **VII. Tézishez**, amely jól behatárolt tartományon érvényes tapasztalati képleteket ad meg. *A tézist egy impakt faktoros nemzetközi folyóirat közlemény ([ZM4]), két idegen nyelvű folyóirat közlemény ([ZM19], [ZM31]), és egy angol nyelvű folyóirat közlemény([ZM51]) támasztja alá.*

A Szerző utolsó tézise egy olyan területhez kapcsolódik, amely ma még nem erősen kutatott: „**HIBRID JÁRMŰVEK FOGYASZTÁSÁNAK ÉS ÚJRATÖLTÉSÉNEK ELŐREBECSLÉSE**”. A plug-in-hibrid technológiára fókuszál, amely a ma elérhető legösszetettebb technológia. A probléma lényegét abban látom, hogy a városi és a közúti közlekedésben a járművek használatának módja nem az energiafelhasználás optimaizálására fókuszál, hanem ehelyett a járművezető az aktuális forgalmi viszonyokra kénytelen tekintettel lenni. Ennek akkor is jelentős szerepe lehet, ha maga a jármű automatizált, és maga dönti el az elektromos illetve belsőégésű motorra alapított használati arányokat. A járművek intelligenciájának szerepe lehet együttműködő járművek működésének kialakításában, ami a globális forgalmi viszonyokat is átalakíthatja (pl. különböző becslések léteznek a fundamentális diagramra.)

Tézisében a Szerző nagyszámú paramétert klasszifikált és rendezett össze, amelyeknek jelentős szerepük lehet a hibrid járművek fogyasztásának kialakításában. Nagyon speciális körülmények között végzett szimulációs vizsgálatokat, amelyekkel bizonyos paraméterek hatását e speciális körülmények között ki lehet mutatni.

Összességében nincs okom ellentmondani a tézisben adott állításoknak azok adott megfogalmazásában. Ugyanakkor úgy érzem, hogy ez az értekezés leggyengébb tézise, amely inkább közelebb áll egy hipotézishez, mint egy erősen alátámasztott tézishoz. *A tézist egy impakt faktoros folyó-*

irat közlemény ([ZM5]), két nemzetközi konferencia közlemény ([ZM43], [ZM53]), két egyéb angol nyelvű folyóirat közlemény ([ZM32], [ZM33]), egy angol ([ZM58]) és egy magyar nyelvű ([ZM52]) konferencia közlemény támasztja alá.

6. Nyilatkozat az egyes tézisek elfogadásáról vagy elutasításáról

A korábban tett megjegyzésekkel együtt, amelyek érdemi kritikai észrevételt csupán az utolsó tézissel kapcsolatban fogalmaznak meg, deklarálom, hogy **a Szerző minden egyes tézisét elfogadom új, önálló tudományos eredménynek.**

7. Nyilatkozat arról, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz-e

A tézisek tudományos tartalmának részletes ismertetése, a szakterület aktuális állását az adott tézisekhez illeszkedően ismertető alapos és részletes szakirodalmi áttekintések valamint a tézisek megállapításainak erős publikáltsága alapján **az a határozott meggyőződésem alakult ki, hogy az értekezés hiteles eredményekről számol be.**

8. Nyilatkozat a nyilvános vita megtartásáról

A fentiek alapján határozottan javaslom a nyilvános vita megtartását.

9. Javaslat az „MTA doktora” cím odaítéléséről

Értékelésem alapján határozottan javaslom a Jelölt számára az MTA doktora cím megadását.



Tar József egyetemi tanár, az MTA doktora