

Záró szakmai beszámoló

a " Megújuló energiaforrások
tüzeléstechnikai vizsgálata "

című, Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok
(OTKA)
PD-48678 kutatásról

2007

1. Diesel-motoros vizsgálatok:

A kutatási terv alapján két jelentős mérés technikai fejlesztést hajtottam végre; az egyik a kutatás megkezdésekkor rendelkezésre álló cetánszám mérőmotort kiegészítettük a károsanyag kibocsátás méréséhez szükséges rendszerekkel. Kialakításra került az égéslefutás vizsgálatához szükséges indikáló rendszer. A kutatás során kidolgoztuk a feldolgozó program csoportot, amely segítségével számítható az égéstörvény [7].

A pályázati anyagban mindössze gázolaj-bioetanol keverékek vizsgálatokat terveztem. Már a kutatás első évében nyilvánvalóvá vált, hogy ennél, mind tudományos, mind ipari felhasználás szempontjából lényegesen fontosabb ettől eltérő keverékek vizsgálata. Ennek két fő oka van, az egyik, hogy a gázolaj-bioetanol keverékek nem stabilak, emulgáló szereket kell alkalmazni a keverék stabilizálásához. Az emulgáló szerek kialakítása elsősorban vegyszeti probléma. A másik ok, hogy ebben a témában 2003-ban készült egy átfogó tanulmány Dr. Emőd István vezetésével, így a téma részletesen vizsgált (KMFP-00031/2002). Ezért vizsgálataimat magasabb rendű alkoholok (pl. n-propanol, i-butanol, stb..) és nyers növényi olaj és gázolaj keverékeivel végeztem. Ennek oka, hogy a magasabb rendű alkoholok rendelkezésre állnak az etanol gyártása során keletkező kozmaolajok formájában, A kutatási tervben szereplő etanol felhasználása leginkább a benzinbe keveréssel oldható meg. Ezenkívül ezek az alkoholok oldódnak gázolajban és nyers növényi olajokban.

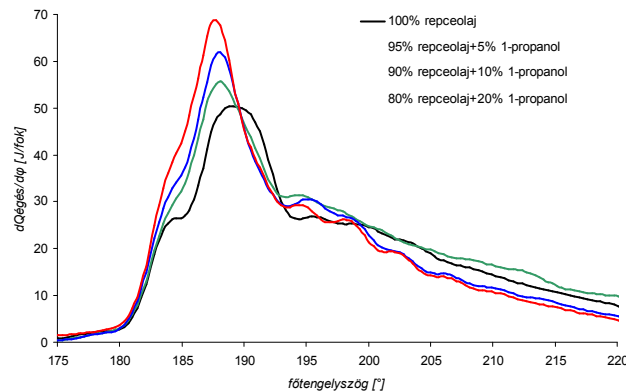
A kutatás első lépésében megvizsgáltuk a fenti keverékek viszkozitását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a bekeverés jelentős hatást gyakorol a nagy viszkozitású nyers növényi olajak viszkozitásának csökkentésében. Körülbelül 20 % magasabb rendű alkohol hatására a nyers növényi olajak viszkozitása a felére csökken. Megfigyelhető, hogy a különböző alkoholok más-más mértékben javítják azt [2, 6, 16].

A nyers növényi olajak felhasználásának másik jelentős problémája a magas jódszám, ami a telítetlen zsírsavak mennyiségét jellemzi. Hatására ezek a növényi olajok hajlamosak a gélesedésre, lakkosodásra. Ezen hajlamot csökkentheti az alkohol bekeverése.

Vizsgáltuk a cetánszám (öngyulladás hajlam) változását, és vele együtt az égési folyamat változását is. A cetánszám változásával kapcsolatban megfigyelhető, hogy a különböző magasabb rendű alkoholok különböző mértékben rontják a cetánszámot, továbbá a kapcsolat a bekeverés aránya és a cetánszám változása között nem lineáris ! [3]

Az égéstörvénnyel kapcsolatban számos eredményt mutattunk ki (1. ábra). Megfigyelhető, hogy a kinetikus égési szakasz az alkohol részarány növelésével folyamatosan növekszik. Ennek magyarázata, hogy az égést a növényi olaj indítja be, majd hatására kezdődik az

alkohol kiégése, ami igen gyorsan a zajlik le. A folyamat megnöveli az égés átlaghőmérsékletét és a kisebb növényi olaj hányad hatására lerövidül a diffúz égési szakasz. A mérések a cetánszám mérőmotoron készültek. Így a mérési elvnek megfelelően a motor kompresszió viszonya mind az előírásnak megfelelően úgy lett beállítva, hogy a 13 fokos előbefecskendezés esetén a gyulladási késedelem 13 fok legyen, azaz az égéskezdet mindig a felsőholtpontra essen [6, 13, 15, 16, 17].



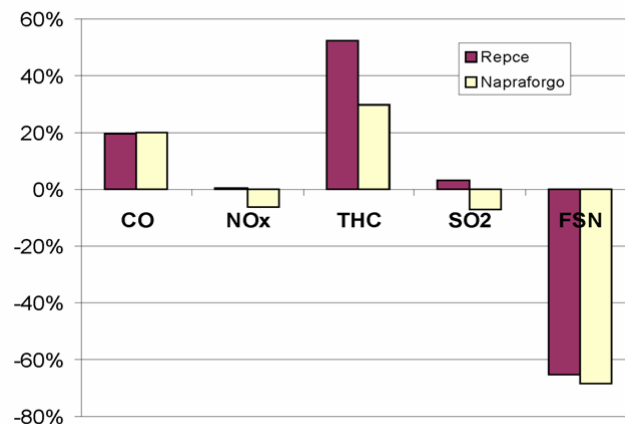
1.ábra. Égéstörvény a főtengelyszög függvényében különböző mennyiségű alkohol bekeverés esetén.

A károsanyag kibocsátásra is jelentős hatással van az alkohol bekeverés. Az elégtlen szénhidrogén (THC) és a CO kibocsátás feltételezés szerint alkohol gyors kiégésének hatására csökken, a lokális légfeszültség tényező miatt pedig növekszik, ami ellensúlyozza a gyors kinetikus égés hatására növekvő átlaghőmérsékletet. Az alkohol bekeverés hatására NO_x kibocsátás kismértékben csökken, míg a füstölés (FSN) jelentősen csökken. Viszont 20% bekeverés esetén már ismét növekszik. Itt is megfigyelhető, hogy tendenciák nem, de a változás nagysága függ a bekevert alkohol fajtájától [1, 16, 17, 18].

Az idei grázi „Central European Biomass Conference 2008” konferencián bemutatásra került egy hasonló vizsgálat, de ott gázolaj- és magasabb rendű alkohol keverékeket vizsgálták. Ezek után aktuálissá vált a saját kutatási eredmények bemutatása. Elkészült egy publikáció egy doktorandusz bevonásával, a melyet megfelelő impaktfaktoros folyóiratban kívánunk elhelyezni, ennek szervezése jelenleg is folyik.

Sajnos, a vizsgálatokhoz szükséges kozmaolajhoz nem jutottunk hozzá, mivel azt ellenőrzött ártalmatlanításra viszik.

A kutatási terven kívül benzin-gázolaj keverékekkel, továbbá nyers repceolajjal és nyers napraforgóolajjal végeztem összehasonlító vizsgálatokat [25, 27].



2.ábra. A CO, NOx THC, SO₂ kibocsátás és a füstölés(FSN) változása gázolajhoz képest nyers repceolaj és nyers napraforgóolaj esetén.

A vizsgálatok során egy másik lehetőség is felmerült a kettős keverékek felhasználásra. A THC és CO kibocsátás növekedés a lokálisan alacsony légfelesleg tényezővel magyarázható. Az alkohol a gázolajjal vagy növényolajjal együtt jut be az égéstérbe és inhomogén keveréket hoz létre. A lokálisan tüzelőanyagban sűrű keverék elkerülésére lehetőség ha a motorba belépő levegővel együtt juttatjuk be az alkohol, azzal homogén keveréket hozva létre. Ennek vizsgálatára a cetánszám mérőmotor levegő szívóvezetékében elhelyeztünk egy befecskendezőt, így létrehozva egy küldő keveréket, amelyet a (gáz- vagy növényi-)olaj gyújt be. A sikeres kísérletek alapján egy Jedlik pályázat keretében (Biomasszára alapozott, komplex, kapcsolt hő- és villamos energia előállítási technológia, NKFP 3/006/2005.) fejleszttem tovább a módszert. Ennek a megoldásnak előnye, hogy a nem tisztított, jelentős víztartalmú alkoholok tüzelésére is alkalmas.

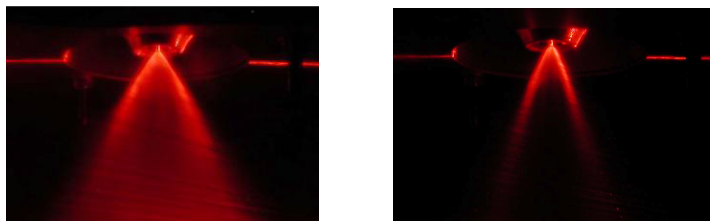
A második jelentős mérés technikai fejlesztés, egy korábban fékpadra telepített korszerű TDI motorhoz kialakítottunk az ESC (European Stationary Cycle), mérési ciklus mérésére alkalmas rendszert. Ez ismert OICA/ACEA ciklus néven is az ETC (European Transient Cycle) és a ELR (European Load Response) ciklussal együtt motorok emissziós minősítésére alkalmazzák 2000-től az EU-ban (*Directive 1999/96/EC of December 13, 1999*). Szakképzési támogatás segítségével beszerzésre került egy HORIBA gyártmányú emisszió mérőrendszer. A berendezés jelenlegi kiépítettségében 4 csatornás, a CO, CO₂, THC és NO/NO_x kibocsátás mérésére alkalmas a fenti szabványok szerinti vizsgálatoknál. A mérőrendszerbe integrálását és üzemben helyezését az OTKA kutatási program segítségével végeztem el. Továbbá egy

korszerű AVL, fogyasztásmérőt is telepítettünk a rendszerhez. Az így kialakított rendszeren különböző megújuló tüzelőanyagok és azok keverékeinek összehasonlító vizsgálatát lehet elvégezni.

2. Otto-motoros vizsgálatok

A kutatás során kutatási tervben szereplő bioetanol Otto-motoros vizsgálatok nagy nehézséget okoztak. A nehézségek első sorban nem műszakiak, hanem gazdaságiak voltak. Az Egyetem számára nem beszerezhető etanol csak a jövedéki adó befizetése után, amely az etanol kb. 130 Ft/liter árát 2500 Ft/literre növelte! Ezért a vizsgálatokat első lépésben a szintén jövedéki adóval (?) terhelt denaturált szesszel végeztem el, majd mikor megjelent a piacon az E-85, akkor azzal folytattam. Felmerült a metanolos kísérletek elvégzése is, de végül erről lettem, annak erősen mérgező hatása miatt.

A vizsgálatok első lépése a befecskendező rendszer vizsgálata volt. A vizsgálandó megújuló tüzelőanyagok sűrűsége és viszkozitása jelentősen eltér a hagyományos tüzelőanyagoktól. Ezért feltételeztem, hogy a porlasztási kép is változni fog. Vizsgálatára épült egy befecskendező próbapad. Segítségével vizsgálni lehet a befecskendezett tüzelőanyag tömegét különböző befecskendezési idő hosszaknál (befecskendező nyitási ideje). Egy lézer segítségével egy síkban megvilágítottam porlasztó után kialakuló tüzelőanyag kúpot. A megvilágított kúpról készült fénykép segítségével mérhető a porlasztási kúpszög (3. ábra).



3. ábra. Benzin és etanol befecskendezési képe

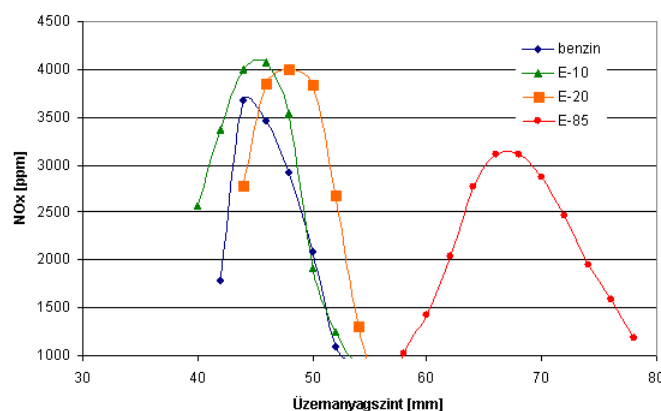
Számos vizsgálat készült el a porlasztási kép javítására. Mérési eredmények szerint a nyomásnövelés vezetett a legjobb eredményre, viszont az jelentősen befolyásolja az egy befecskendezés alatt befecskendezett tüzelőanyag mennyiségét [4].

A belsőégésű motoros vizsgálatot egy SUZUKI SF-310 központi befecskendezős motoron kezdtem el. Erre a célra átalakításra került a befecskendező rendszer. Az előzetes számítások és a porlasztási vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a motor eredeti befecskendezője nem lesz képes ellátni a motort. A cél érdekében három befecskendező került beépítésre egy közdarabban a benzin befecskendező és a pillangószelep közé.

A vizsgálatokhoz, egy korábban elkészült, saját tervezésű ECM-et használtunk. Segítségével mind befecskendezés hossza (befecskendezett tüzelőanyag mennyiség), mind az optimalizálás szempontjából fontos előgyújtás ideje változtatható. A méréseket csak egy adott fordulatszámra és különböző terheléseken - szívótér nyomáson - sikerült elvégezni a szűkös etanol beszerzési források miatt. A méréseket hagyományos tüzelőanyaggal is elvégeztük összehasonlíthatóság érdekében.

A mérési adatok alapján megállapítható, hogy a motor nyomatéka nem csökkent jelentősen megújuló tüzelőanyag esetén. A befecskendezési idő megnőtt az eltérő befecskendező rendszer, és a két tüzelőanyag eltérő fűtőértéke, illetve elméleti levegő igénye miatt. Megfigyelhető, hogy az előgyújtásra sokkal érzékenyebb a megújuló tüzelőanyag és így növelni kellett az előgyújtást. A fajlagos fogyasztás értékeknél megfigyelhető, hogy ha a tömeg/fűtőérték arányokat figyelembe vesszük a fajlagos fogyasztás nem növekszik jelentősen. A CO kibocsátás szempontjából jelentős eltérés benzin, illetve a megújuló tüzelőanyag alkalmazása esetén nem tapasztalható. A NO_x kibocsátás szempontjából jelentős eltérést tapasztalhatunk, mivel etanol tüzelésekor a kialakuló adiabatikus láng hőmérséklet alacsonyabb, ennek hatására és az elhúzó égés miatt jelentősen csökken az NO_x kibocsátás [23].

A kutatás utolsó évében két új mérőrendszerhez jutottunk hozzá és azokat OTKA támogatás segítségével üzembe helyeztük. Az egyik berendezés egy bontásból beszerezett BASF oktánszám mérőmotor. A mérőmotort felújítottuk, beszereztük a motorindikálásra szolgáló eszközöket és azokat illesztettük a berendezéshez. A mérések ezen a motoron E-85, illetve ennek hígításával E-10 és E-20 tüzelőanyagokkal folytak. A témában elkészült egy TDK dolgozat, 2008-ban várhatóan elkészül egy diplomamunka és továbbá publikációk várhatók.



4. ábra. Különböző etanol tartalmú üzemanyagok NO_x kibocsátása az üzemanyagszint szabályzó úszó függvényében.

A 4. ábrán a különböző etanol tartalmú tüzelőanyagok NO_x kibocsátása látható. A mérőmotornál a légfelesleg állítása a karburátor üzemanyagszintjét szabályzó úszó szintjével változtatható, így ennek függvényében mutatom be az NO_x kibocsátást. A berendezés oktatási célokra is felhasználható.

A berendezésnél számos további kísérletet tervezek a kopogási tulajdonságok vizsgálatára, mivel a berendezésnek változtatható a kompresszió viszonya. További előnye az egy hengeres kialakításnak köszönhetően, hogy a kutatás első szakaszában alkalmazott SF-310 motorhoz képest lényegesen alacsonyabb fogyasztással bír.

A másik jelentős fejlesztés, hogy a régi SF-310 motor helyére egy korszerűbb SUZUKI RS-416 motort telepítettünk és illesztettünk a mérőrendszerhez [29]. A mostani kialakítás segítségével a motorvezérlő elektronika (ECM vagy ECU) összes adata kiolvasható és rögzíthető. Itt is E-85, illetve ennek hígításával E-10 és E-20 tüzelőanyagokkal folynak vizsgálatok. A vizsgálatokból az első publikációk 2008-ban készülnek el. A motoron folyó kutatásokra jelenleg is jelentős ipari és üzemeltetői érdeklődés mutatkozik. A katalizátorokkal kapcsolatos vizsgálatokat is ezen a motoron végeztük el.

3. Biogázok vizsgálata

A kutatás elsődleges célja a magas inert tartalmú gázok és biogázok tüzelési tulajdonságainak vizsgálata, a szükséges mérő rendszer kifejlesztése, valamint a főbb magyarországi és európai gáztípusok bevizsgálása, a létrehozott mérőrendszer segítségével.

3.1. A vizsgálatokhoz szükséges gáztípusok kiválasztása

A kutatási projekt első évében feltérképezésre került a magyar, illetve a főbb európai biogáz források összetétele. Az irodalmi adatok alapján az ipari felhasználás szempontjából fontos gáztípusok két alapvető típusra bonthatók: az egyik a biológiai bomlással előállított, általában „biogáz”-nak nevezett fermentorokban megtermelt vagy deponia gázok, (tipikus összetétele 50-70% CH_4 , 50-30% CO_2 , és egyéb komponensek: O_2 , N_2 , H_2O , H_2S , SO_2), jelenleg Magyarországon ez képezi az alapját a biogáz felhasználásnak. A másik, Európában és a világon most terjedő, a jövőbeli magyarországi felhasználás szempontjából fontos típus a különböző termikus bontással előállított úgynevezett pirolízis gázok, amit gyakran „fagázok”-nak nevezünk. A pirolízis gázok minősége alapvetően az előállítási technológiától függ. A biomasszát elgázosíthatjuk anaerob úton, és aerob úton levegővel (producer gáz) vagy tiszta

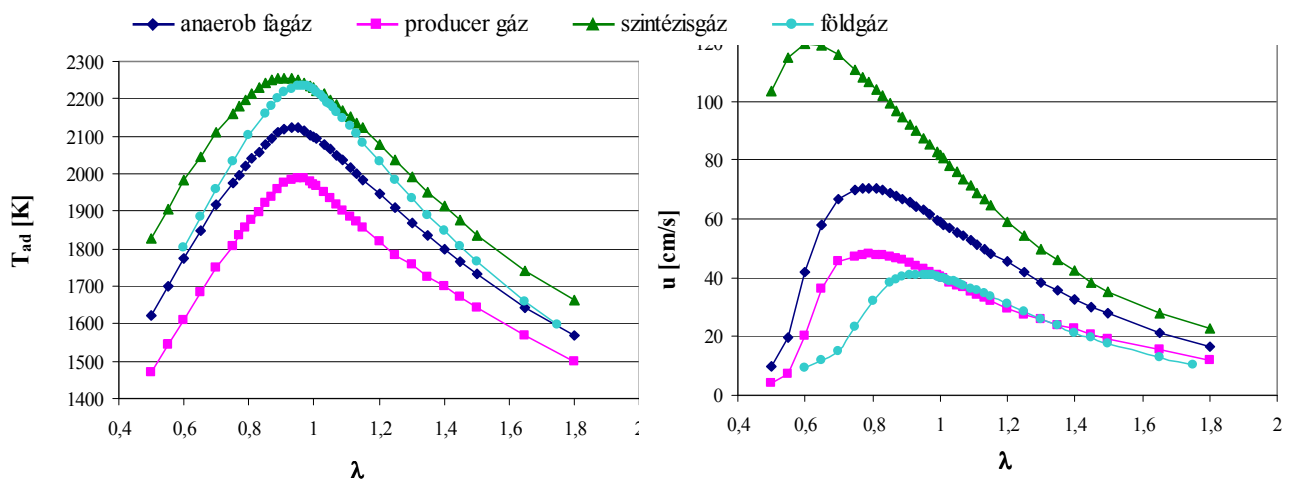
oxigénnel (szintézis gáz). Irodalmi források szerint a fenti technológiákra jellemző fagázok összetétele a következő:

| Komponens | anaerob fagáz | producer gáz | szintézis gáz |
|---------------------|---------------|--------------|---------------|
| CH ₄ (%) | 8 | 5 | 3 |
| CO ₂ (%) | 20 | 5 | 17 |
| CO (%) | 20 | 20 | 40 |
| H ₂ (%) | 38 | 20 | 40 |
| N ₂ (%) | 14 | 50 | 0 |

1. táblázat: különböző eredetű pirolízis gázok összetétele

A gázfajták áttekintése után meghatároztuk, hogy a kísérleteket a fenti gázkeverékekkel, valamint 40 % CO₂ és 60 % CH₄ „biogáz” gázkeverékkel végezzük el a kutatást. Ezekről a kiválasztott gázkeverékektől az irodalmi adatok alapján nem találtunk jelentős eltérést. Például a nem megújuló gáznak számító IGCC-ben is alkalmazott szintézis gázok maximum 5%-kal nagyobb a CO tartalma (45%). Így a kiválasztott öt gázkeverékektől eltérő keverékek vizsgálatát kutatás szempontjából és beszerzési okokból nem láttuk szükségesnek. A vizsgálatok során referenciaként földgázzal hasonlítottuk össze az égési tulajdonságokat. A későbbi vizsgálatokba bevontuk a tiszta metánt is.

Előzetes vizsgálatokat végeztünk a fenti gázok tüzelési tulajdonságairól a szükséges kísérleti égők kialakításához, valamint az alap égési tulajdonságok vizsgálatára. Chemkin 4.0 program csomag és a GRI 3.0 mechanizmus segítségével modelleztük a kiválasztott gázok égése során kialakuló lángterjedési sebességeket és az adiabatikus lánghőmérsékleteket.



5. ábra. A kiválasztott gázok égése során kialakuló lángterjedési sebességeket és adiabatikus lánghőmérsékletek a légfeslesleg függvényében (Chemkin 4.0 segítségével számolva)

A számítások szerint az adiabatikus lánghőmérséklet a referencia földgáz és a szintézis gáz esetén különösen $\lambda \geq 1$ tartományban közel megegyezik. Az anaerob és producer gáz esetén pedig csökken. A lángterjedési sebesség a szintézis gáz esetén a legmagasabb, háromszorosa a földgáznak, maximuma viszont léghiányos tartományban 0,6-os légfeslesleg esetén jön létre. Az anaerob pirolízis gáz maximális lángterjedési sebessége is több mint 1,5-szerese a földgáznak. Az eredményekből számos publikáció [7,12] készült el.

4. Mérő rendszer kifejlesztése

A kutatási projekt fontos eleme a kiválasztott gázok vizsgálatához szükséges mérőrendszer kialakítása. A vizsgálatokhoz három új, vagy már meglévő rendszert alakítottunk át, illetve a mérésekhez több már meglévő rendszert integráltunk be. Kialakításra kerültek a szükséges kísérleti égők és azok ellátó rendszerei.

4.1. A „Schlieren” berendezés

A Schlieren módszer lényege az átlátszó közegek optikai törésmutató eloszlásának meghatározása résoptikai módszerrel. Az optikai törésmutatót alapvetően a közeg sűrűsége befolyásolja. A sűrűséget azonban számos fizikai paraméter alakítja: pl. összetétel, nyomás, hőmérséklet. A Schlieren berendezéssel készített képen az adott képrésznek az elsötétedése utal a fény eltérülés mértékére, azaz az elsötétedés mértékéből számítható a vizsgált térfogat

részben fellépett eltérülés, az eltérülés mértékéből a törésmutató és végül a pedig, a törésmutató változás okainak elemzésével nyerjük a számunkra szükséges mérési információt. (A fényforrás útjába rés, illetve egy kitakarás kerül, így egy rés-fényforrás sugárnyalábja haladhat tovább. Az eltérült fény a későbbi képből a rés élére merőleges (egy tengely) eltérüléseket teszi láthatóvá. Értékelhető kép csak akkor keletkezik, amikor a rés és Schlieren blende párhuzamos.)

A Tanszéknek a tulajdonában van egy Zeiss-80 típusú Schlieren berendezés, amely eszközt megközelítőleg 20 éve nem használtak. A rendszer pozícionáló és kezelő mechanizmusa az állás során nem ment tönkre, de a benne található kenőanyagok kiszáradtak. Mozdíthatatlanná váltak az optikai elemek, így a berendezés használhatatlanná vált. Ezért szükséges volt a teljes szétszedés és tisztítás. Az összeszerelés során az optikai elemeket újra be kellett állítani, és a pozícionáló rendszert kalibrálni.

A berendezés felhasználása több irányban indult el. Az egyik lehetőség az volt, hogy a különböző gázok égéséről Schlieren felvételeket készítünk. A képek segítségével az eltérülési szög hely szerinti eloszlásából megfelelő matematikai transzformációk segítségével meghatározható a hőmérséklet eloszlás.

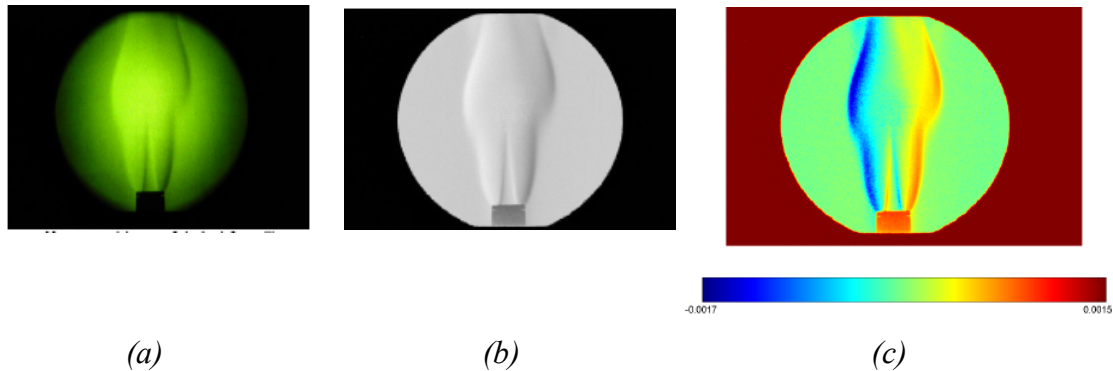
Ennek a meglehetősen bonyolult feladat kidolgozásakor számos akadályba ütköztünk. A leképezés egy mattüveg ernyőre történik. A mattüveget a berendezés kialakítása miatt csak szemből lehet fotózni, ezért a fényforrás - a lencserendszeren keresztül - a képen is fényforrásként jelenik meg. Hatására a kép közepe kivilágosodik, a széle elsötétül. A mattüveg egyenetlen felülete a kép szürkeségi érték eloszlásának egyenletességét rontja, a kép szemcsés lesz és nyilvánvalóan hibás színű pixelek is megjelennek.

Ezt a hibát a digitális képfeldolgozás során szűrés segítségével lehet megoldani. A szűrés alap gondolata az volt, hogy egy olyan felvételen, amin nincs vizsgált tárgy, a látómezőnek egyenletes szürkeségűnek kell lennie. Ez a valóságban nincs így, ezért létrehoztunk egy konverziós képet, amelynek minden pixelére az eredeti (tárgy nélküli) kép szürkeségi értékeinek egy referencia szürkeségi értéktől való eltérését mértük föl. A műveletet, mint mátrix műveletet lehet a két kép pixelein végrehajtani. A referencia szürkeségi értéket a kép legnagyobb szürkeségi értékénél nagyobbra vettük fel.

A Schlieren képek szürkeségi érték eloszlása a konverziós szűrés után még nem mondható egyenletesnek, ezért egy további szűrés volt szükséges. Erre a célra a digitális fotózásban gyakran használt Gauss szűrést alkalmaztuk.

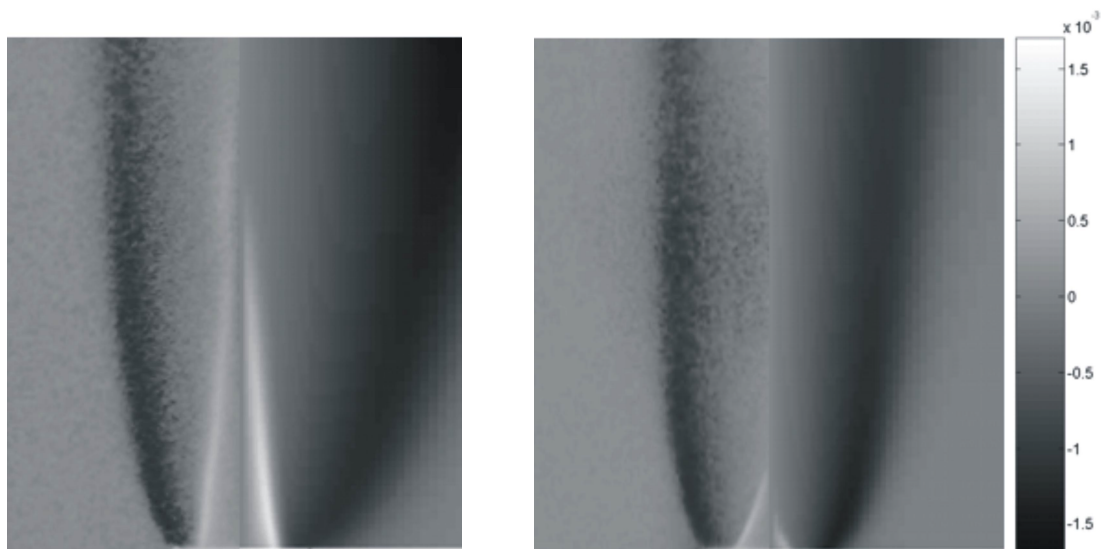
A szürkeségi érték és eltérülési szög kapcsolatának meghatározását az üres vizsgálaterről különböző késállások mellett készített és feldolgozott felvételek segítségével tudtuk

meghatározni. A szűrt képek szürkeségi értékét egy kiválasztott terület elemeinek átlagolásával számoltuk ki. Az átlagoláshoz felhasznált terület az összes képen ugyanaz volt. A szürkeségi értékeket feljegyezve minden szürkeségi értékhez hozzárendeltük a késállást, aminél a kép készült (6.ábra).



6. ábra. Eredeti Schlieren kép (a), szűrt Schlieren kép (b), számolt eltérülési szög (c)

A szürkeségi érték és eltérülési szög kapcsolatának ismeretében lehetséges minden egyes pixel szürkeségi értékéhez az eltérülési szöget visszakeresni. Segítségével és további összetett matematikai összefüggések felhasználásával lehetővé vált a környezeti zavartalan tér hőmérsékletének meghatározása. Ez az eredmény tendenciájában megegyezett a referenciamérési és CFD számítási eredményekkel, de értékeiben jelentős eltérést mutattak. Ennek számos oka van. Legjelentősebb, hogy a hőmérsékletek növekedésével az eltérülési szög változás egyre csökken, így a Schlieren módszer érzékenysége is a kiértékelhetőség határa alá csökken. A kiértékelési eljárást, amely segítségével a Schlieren képekből meghatároztuk az eltérülési szögeket, „megfordítva”, sikerült kidolgozni egy másik módszert a CFD számítások ellenőrzésére. A módszer lényege, hogy a CFD számítások eredményeiből elkészítünk egy „mesterséges” Schlieren képet és ezt hasonlítjuk össze a szimuláció peremfeltételeinek megfelelő fizikai jelenségről készült valódi Schlieren felvétellel. Ezzel a módszerrel számos összehasonlító vizsgálatot végeztünk. Bizonyos kereskedelmi CFD programokhoz alapértelmezett reakciómechanizmusról megállapítottuk, hogy a kutatás során vizsgált gázok égését igen rosszul közelítik meg. A bonyolultabb reakciómechanizmusok jobb leírását adják az égési folyamatnak. A hengersizmetrikus lángok esetén a fél-fél kép egymás mellé szerkesztését alkalmazzuk az eredmények megjelenítésére, azaz a kép balkez felőli oldala mérésből, a jobb kéz felőli oldala számolásból származik, amint a 3. ábra mutatja.



Biogáz égése

Anaerob gáz égése

7. ábra. Biogáz és az anaerob gáz égésének valódi és a CFD számításból származó szögeltérülései (balkéz felőli rész: mérésből, a jobb kéz felőli rész: számolásból)

A kutatási projekt alapvető célkitűzésének megfelelően elkészítettük valamennyi vizsgált gáz – különböző légfelesleg tényezők esetén kialakuló – láng Schlieren képét és az ebből számolt eltérülési szög képét. Segítségével a szakterületen dolgozó kutatómunkatársak ellenőrizni tudják számításaikat. A képek az interneten elérhetők a következő címen:

<http://www.energia.bme.hu/elterul.html>

A honlap folyamatosan frissül, jelenleg készül az angol változat és fel fog kerülni az alkalmazott számítás leírása is, amely a felhasználáshoz szükséges. A mérési eredményekből számos publikáció [9, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 26], és egy TDK [8] dolgozat készült.

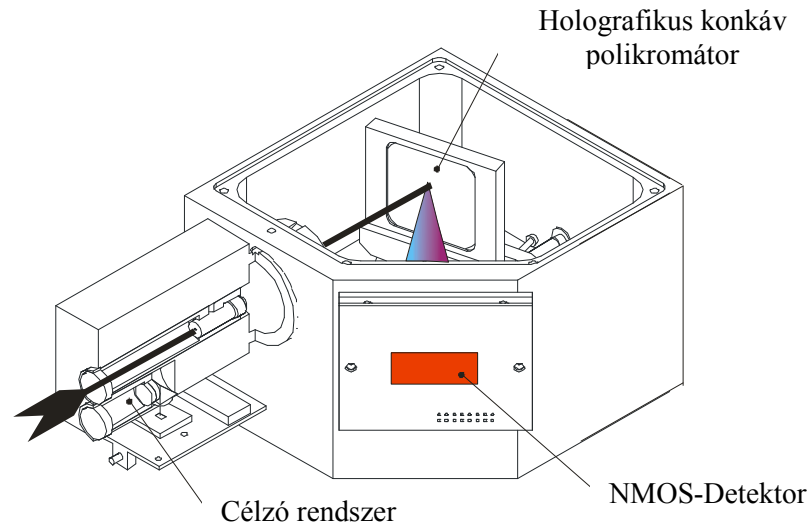
4.2. A láng spektroszkópiai berendezés

A lángokban lezajló reakciók, különböző rövidéletű gyökök, illetve égéstermékek képződését a lángsugárzás hullámhossz szerinti (spektrális) összetételének mérésével, illetve a spektrális eloszlás időbeli változásának követésével határozzuk meg. Meghatározható, hogy a lángnak (tűztérnek) bizonyos térfogatában milyen gyökök, égéstermékek keletkeznek. Ezzel a láng egyes részeiben lejátszódó reakciók meghatározhatók. Így lehetőség nyílik különböző összetételű tüzelőanyagok égési folyamatainak összehasonlítására. Alapvetően OH, CH, C₂, HCO gyökök, valamint CO, CO₂ és NO égéstermékek kemilumineszcens vizsgálata célszerű.

A spektrofotométer cserélhető rácsainak segítségével e komponensek emissziós spektruma felvehető.

A BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék az OpLab Kft-t bízta meg a lángok spektroszkópiai analizálására alkalmas spektrofotométer megtervezésével és kivitelezésével.

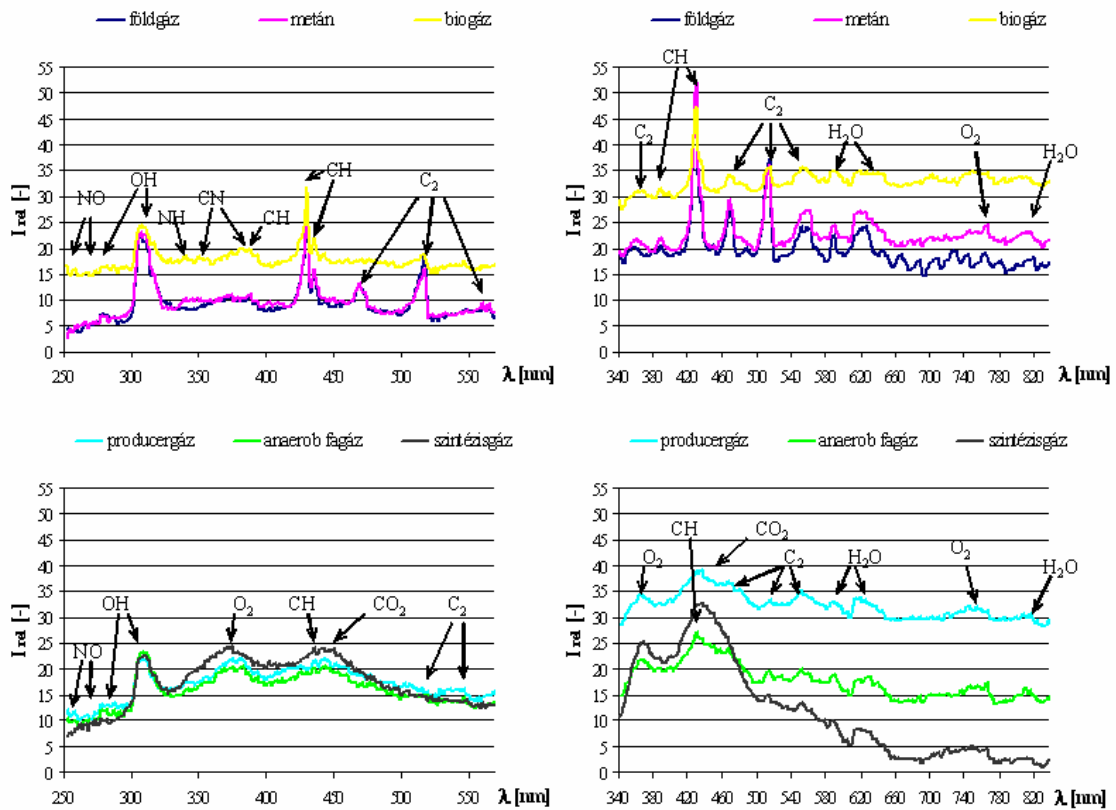
A berendezés felépítése a 8. ábrán látható.



8. ábra. Spektrofotométer elvi felépítése

A spektrofotométer egy célzó rendszerből és egy mérő optikai rendszerből áll. A mérő kvarc optika és a forgatható leképző optika együttesen alkotja a kamera objektívet, amely 0,5 méter távolságból a láng 5 mm átmérőjű felületét képezi le a kvarc száloptika 0,5 mm átmérőjű bemenő felületére. A száloptika másik vége úgy van kialakítva, hogy az egy vonalba rendezett 50 μm átmérőjű szálak egyúttal a polikromátor belépő részét képezik. A holografikus konkáv lencse képezi le az 50 μm széles rést a 25,4 mm hosszúságú 1024 pixeles NMOS diódasorra. Az alkalmazható rácsok: 270-570 nm és 340-840 nm. A diódasor analóg jelét kondicionálás után 16 bites AD átalakító digitalizálja. A mérési adatok átmeneti tárolás után USB-n keresztül továbbíthatók a PC-be.

A méréseket változtatható résszélességű réségőn 0,9 x 100 mm-es résméretnél végeztük. A mért kísérleti gázkeverékek összetétele megegyezett az elméleti számításoknál vizsgáltakkal. A spektrumok felvételét különböző beállításoknál végeztük. Az előkevert lángok spektrumait 250-570 nm – UV-VIS, illetve 340-840 nm – VIS-IR tartományokban vettük fel (9. ábra). Minden egyes gázkeverékkel 10 spektrumot regisztráltunk.



9. ábra. 250-570 nm-e, illetve 340-840 nm-es ráccsal felvett előkevert lángok spektrumai, illetve a detektálható gyökök

A kutatási projekt alapvető célkitűzésének megfelelően elkészítettük az összes vizsgált gázra vonatkozó, különböző légfeszültség tényezők mellett mért mind UV-VIS, mind VIS-IR spektrumot. A mérések eredményei megtalálhatók a következő honlapokon:

<http://www.energia.bme.hu/uvvis.html>

<http://www.energia.bme.hu/visir.html>

A vizsgálati eredményekről számos publikáció készült [9, 10, 12, 28].

5. További vizsgálatok, eredmények

A kutatási tervben szereplő zárt tüztér elkészült, de a célkitűzésben szereplő Schlieren és kemilumineszcens berendezés illesztése nem volt megoldható. A Schlieren berendezés felhasználásához két optikailag kiegyenlített planparalel kvarcüveg felhasználásával nyílt volna lehetőség, de ezek beszerzése és az állító rendszer kialakítása nem volt megoldható, továbbá a kemilumineszcens berendezéssel végzett vizsgálatokhoz az intenzitás növeléséhez

réségön végeztük a méréseket, így ennél a vizsgálatnál az elkészült hengeres tüztér sem volt megfelelő. Ezért a zárt tüztéren méréseket elvégezni nem tudtunk.

A kutatási tervben szereplő gázmotoros vizsgálatokat egy aerob gáz töltetű tartály köteg (bundel) beszerzésével oldottuk meg. A mérések során az aerob- és földgáz keverékek égési tulajdonságait vizsgáljuk gázmotoros felhasználás során. A vizsgálatoknál mérjük a különböző keverési arányok és légfeszesség tényezők mellett a gázmotor teljesítményét, károsanyag kibocsátást, valamint indikálás segítségével meghatározzuk az égéslefutást a motor égésterében. Segítségével itt is megfigyelhető az aerob gáz bekeverésének hatása az égési sebességre, így a lángoknál szerzett tapasztalatok tovább fejleszthetők nagynyomású égésterekre is. A mérési eredményeket 2008-ban publikáljuk. A kutatás utolsó évében kialakításra került egy nagyobb teljesítményű levegő ellátó rendszer korszerű frekvenciaváltós szabályzással. A kialakított mérőrendszer annyira megbízható és jól hasznosítható, hogy az oktatásba is bevontuk, így biztosítva a folyamatos működést:

(<http://www.energia.bme.hu/docs/notes/bsc/Schlieren-langcso-v7.pdf>) .

Budapest, 2008. január.