BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

OPTIKAI ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKAI TANSZÉK

Térfogati égés optikai vizsgálata és mesterséges intelligencia alapú elemzése

Tudományos Diákköri Konferencia Budapest, 2020

Készítette:

Pitlik Marcell

mechatronikai mérnök BSc hallgató

Konzulens:

Dr. Józsa Viktor

adjunktus

Témavezető:

dr. Nagy Balázs Vince

egyetemi docens

NYILATKOZAT AZ ÖNÁLLÓ MUNKÁRÓL

Alulírott, Pitlik Marcell (ZUBYPT), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírásommal igazolom, hogy ezt a TDK dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a TDK dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2020. október 28

Pitlik Marcell

.

Tartalomjegyzék

Absztrakt 4
Abstract 6
Előszó 8
1. Motiváció a lángok spektrumának vizsgálatára 9
1.1. Stacionárius tüzelés fontossága 9
1.1.1. A Stacionárius tüzelés kihívásai 9
1.1.2. A valósidejű szabályozás előkészítése mesterséges intelligencia alapoan 10
1.1.3. Miért érdemes mesterséges intelligencia alapon is vizsgálni a jelenségeket? 10
2. A megvalósított mérés 12
2.1. A vizsgált rendszer 12
2.2. A megvizsgált tüzelési beállítások 16
2.3. Ellenőrző mérések 19
2.3.1. A hővédő kvarcüveg spektrális transzmissziója 19
2.3.2. Referencia fényforrások spektrális csúcsainak kimérése 20
3. A mérési adatok kiértékelése 22
3.1. Rendelkezésre álló adatok 22
3.1.1. Spektrométer_1 (200 - 1100) 22
3.1.2. Spektrométer_2 (nir) 22
3.1.3. Spektro-radiométer 22
3.1.4. Folyamat-szenzor-adatok 23
3.1.5. Akusztikus jelek 24
3.1.6. Füstgáz-emisszió 24
3.2. A mérési pontosság javításának lehetőségei 24
3.3. A spektrális adatok feldolgozása 25
3.4. Intenzitás csúcsok a 200 - 1100 nm-es tartományban 26
4. A mesterséges intelligencia alapú adatelemzés 28
4.1. Motiváció 28
4.2. A tüzeléstechnika analógiája a forgalomoptimalizálás 29
4.3. A Hasonlóságelemzés matematikája 29
4.3.1. COCO-STD (Standard) 30
4.3.2. COCO-Y0 30
4.3.3. COCO-MCM 31
4.3.4. Részletes példa a mellékletben 31
4.4. A jóság fogalma a tüzeléstechnikában 32

4.4.1. Szükséges adatrendezés 32
4.4.2. A jóság-index alakulása 32
4.5. Az ideális porlasztási levegő térfogatáram közelítése 36
4.6. Az égéslevegő motorfrekvencia és az jóságindex közötti összefüggés .. 37
5. A szimulátor építés folyamata 39
5.1. Termélési függvény 15 objektumra 39
5.2. A füstgáz oxigén tartalmának meghatározása a szenzor adatok alapján40
5.3. Időegységenkénti szimulátor építése 41
5.4. Az égés-rendszer genetikai potenciálja 42
5.5. Spektrális adatok termelési függvénye 43
6. Összefoglalás/Eredmények értékelése 44
6.1. Eredmények 44
6.2. Javaslatok/Következtetések/Tanulságok 44
Felhasznált források 47
7. Mellékletek 49
7.1. A COCO matematikájának részletes bemutatása 49
7.1.1. Példa a COCO-STD modellen keresztül 49

ABSZTRAKT

Előzmények: A dolgozat témáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának két Tanszék (a Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék - MOGI, ill. Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék - EGR) közötti kooperációja adta. Az EGR Tanszék már évek óta foglalkozik a stacionárius égés hőtani és optikai vizsgálatával. A kedvező károsanyag kibocsátást mutató térfogati égés kapcsán merült fel, hogy az általuk használt spektrométernél érzékenyebb műszerrel lenne érdemes vizsgálni ezt a lángtípust, mert a kedvező károsanyag kibocsátás együtt jár a kisebb intenzitású elektromágneses sugárzással, amit a korábban használt műszerrel már nem lehetett megmérni.

Kihívások: A tüzelőberendezések üzemeltetésére egyre szigorúbb rendeletek írnak elő főleg a károsanyag kibocsátás kapcsán. A kívánt károsanyag kibocsátást korábban különböző passzív szabályzó elemekkel próbálták meg elérni. Ilyen passzív szabályzó elem lehet a fúvóka átmérője, az alkalmazott diffúzor geometriája. Ezen passzív szabályzó elemek hatását pedig a füstgáz visszamérésével határozták meg. Viszont ismertek voltak már ekkor is a tüzelés egyéb paraméterei, mint a lángalak, különböző rendszernyomások (pl.: porlasztó-nyomás), égéslevegő hőmérséklete stb. Ezen időben mindenképp ingadozó paramétereket viszont már csak aktív szabályzókörrel lehet figyelembe venni. A legfontosabb paraméter a károsanyag-emisszió, hiszen erre vonatkoznak a törvényi előírások. Ha ezt továbbra is füstgázból szeretnénk visszamérni, akkor nem valósulhatna meg a kvázi valós idejű szabályzás, mivel itt ennek a mérésnek több tíz másodperces késleltetése van.

Feladatok: A kvázi valós idejű tüzelés szabályzáshoz kvázi valós idejű input adatokra van szükség. A láng fényének és hangjának vizsgálata lehetővé teszi, hogy kvázi valós időben működő szabályzó kerüljön meghatározásra az ipari tüzelőberendezések üzemeltetéséhez. A logikai láncban tehát először

bizonyítandó, hogy a füstgázösszetétel jelentős késleltetéssel rendelkezésre álló idealitása a kvázi azonnal rendelkezésre álló spektrális adatok alapján is modellezhető, vagyis a MI-alapú modellek képesek a spektrális adatok időnyerő hatását hermeneutikai rendszerükön keresztül garantálni a szabályozási folyamatokhoz. Az MI bevonása a mért adatok értelmezésébe azért szükséges, mert így lehet a legmagasabb minőségbiztosítási szinten a szabályozáshoz szükséges termelési függvényeket (Y=f(X1;…;Xn) automatizáltan előállítani.

Eredmények: A spektrális mérés adatai alapján a füstgázösszetétel optimalitását leíró mesterséges intelligencia-alapú fogalom-alkotás keretében levezetett index modellezhető volt mind a 752 objektumra valid módon. A legjobb kísérleti beállítás az idealitás-indexek alapján beállításonként (15) és idősávonként (752) is levezethető volt az elemző robotok segítségével valid módon. Az idealitás-index értékei és a folyamat fizikai paraméterei (hőmérséklet, nyomás stb.) között a termelési függvény 0,83 korrelációs értékkel felállítható volt minden objektumra (10 db) valid módon. Az idealitás-index értékei a spektrális adatok alapján is levezethetők voltak valid módon a 15 beállításra 0,87-es korreláció mellett. Hasonlóképpen a füstgázelegy egyes komponensei is levezethetők voltak a kísérleti paraméterek alapján (pl. O_2 - korreláció: 1 mind a 15 objektumra valid módon). Az égés, mint rendszer genetikai potenciálja (vagyis az ideális paraméter-kombináció) az MI-alapú termelési függvény alapján mérnöki szempontból is reálisan közelíthető (vö. ténymax = 1000918, genetikai potenciál = 1008774), így a legjobb kezelés beállításaihoz képest a várhatóan még jobb idealitás-indexhez vezető folyamatparaméterek változtatásának iránya és mértéke becsülhető. A modellek minőségbiztosítása magas szintű: az MI-alapú modellek ugyanis ismerik a nem-tudom-rendszerválaszt is – vagyis nem „fecsegnek” - s mivel itt egy fizikai rendszerről volt szó, a nem-tudom-rendszerválaszok hiánya ennek a determinisztikus keretnek az elismerése/visszaigazolása.

ABSTRACT

Background: The cooperation between two departments (the Department of Mechatronics, Optics, and Mechanical Engineering Informatics – MOGI and the Department of Energy Engineering - EGR) of the Budapest University of Technology and Economics motivated this study. EGR has a few years of background in the field of experimental thermal and optical diagnostics of steady combustion. Since the distributed combustion offers a low pollutant emission, therefore, investigating such a flame with another spectrometer having higher resolution became timely. The reduced chemiluminescent of distributed combustion emission causes a lower intensity, requiring a more sensitive instrument.

Challenges: Regulations for combustion chambers are continuously stringent, especially for pollutant emissions. The emission can be influenced through passive elements like advanced nozzle geometry and/or diverging nozzle/quarl. The effect of these passive elements can be evaluated from pollutant emission analysis data. Besides geometry, the flow field also largely influences emissions. The corresponding features include, e.g., flame shape, pressure, and temperature fields. Control of these parameters is usually realized by active systems. However, the reaction time of pollutant emission sensors is in the range of ten seconds, hence, an alternative solution is necessary for online control.

Tasks: Online combustion control needs real-time input about the features of combustion, such as chemiluminescent emission and pressure fluctuations. The former propagates with the speed of light, while the latter with the speed of sound – both of them are excellent for the desired purpose. Therefore, the index values were calculated firstly, based on the emitted gases derived from the chemiluminescent signal. Both the aggregated index values about the ideality of the emitted gases and the derivation of them based on spectral data are calculated through artificial intelligence (AI), ensuring the expected real-time

characteristics. The AI is necessary to ensure a high-levelled quality management during the automated derivation processes of production function like Y=f(X1;…;Xn).

Results: The ideality index values of the emitted gases (as the output of AI-based term-creation processes) could be modelled based on the spectral data. The best set of the combustion parameter-variants (the best treatment) could also be derived based both on the dynamics of the index values and on the aggregated views of the treatments in a validated way. The ideality index values could be derived based on the physical aspects of the combustions like temperatures, pressures, volumetric flow rates, etc. The correlation between the facts and estimations of the production function (in case of the homogenous treatments): 0.83. Parallel, the different gas concentrations could also be derived, not only their aggregated ideality values. Based on the relative robust production function, the genetic potential of the ideality could be modelled, and so, the fine-tuned parameters of an ideal treatment could be derived. The AI-based models could be produced using a high-level quality assurance system (the symmetry of the functions), and these models have therefore a reduced "gossip"-potential because these models know the none as system output too.

ELŐSZÓ

A dolgozat témáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának két Tanszék (MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK (MOGI), ENERGATIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK (EGR) közötti kooperációja adta. Az EGR Tanszék[1] már évek óta foglalkozik a stacionárius égés hőtani és optikai vizsgálatával. A kedvező károsanyag kibocsátást mutató térfogati égés [1] kapcsán merült fel, hogy az általuk használt spektrométernél érzékenyebb műszerrel lenne érdemes vizsgálni ezt a lángtípust, mert a kedvező károsanyag kibocsátás együtt jár a kisebb intenzitású elektromágneses sugárzással, amit a korábban használt műszerrel már nem lehetett megmérni.

[1] https://crg.energia.bme.hu/

1. MOTIVÁCIÓ A LÁNGOK SPEKTRUMÁNAK VIZSGÁLATÁRA

1.1. Stacionárius tüzelés fontossága

Kemencék, kazánok, olvasztók és hasonló tüzelőberendezések körében mindenhol különböző fosszilis tüzelőanyagok stacionárius égése révén felszabaduló hőt hasznosítják. A stacionárius égés egy kvázi állandósult folyamatot jelent (állandó térfogatárammal történik a tüzelőanyag elégetése), ahol ennek az állandósult állapotnak az optimális paramétereit igyekeznek a kutatók megtalálni, ill. előzetes lépésként megtalálni azokat az üzemelési paramétereket, ahol a stacionárius tüzelés egyáltalán megvalósítható.

1.1.1. A Stacionárius tüzelés kihívásai

A tüzelőberendezések üzemeltetésére egyre szigorúbb rendeletek[2] írnak elő főleg a károsanyag kibocsátás kapcsán, ahol a kívánt szintet korábban különböző passzív szabályzó elemekkel próbálták meg elérni. Ilyen passzív szabályzó elem lehet a fúvóka átmérője, az alkalmazott diffúzor geometriája. Ezen passzív szabályzó elemek hatását pedig a füstgáz visszamérésével határozták meg. Viszont ismertek voltak már ekkor is a tüzelés egyéb paraméterei, mint a lángalak, különböző rendszernyomások (pl.: porlasztó-nyomás), égéslevegő hőmérséklete stb. Ezen időben mindenképp ingadozó paramétereket viszont már csak aktív szabályzókörrel lehet figyelembe venni.

A legfontosabb paraméter a károsanyag-emisszió mérése, hiszen erre vonatkoznak a törvényi előírások. Ha ezt továbbra is füstgázból szeretnénk visszamérni, akkor nem valósulhatna meg a kvázi valós idejű szabályzás, mivel itt ennek a mérésnek több tíz [2] másodperces késleltetése van.

[2] https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1700053.FM

1.1.2. A VALÓSIDEJŰ SZABÁLYOZÁS ELŐKÉSZÍTÉSE MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALAPOAN

Az előző bekezdés konklúziója tehát az, hogy a kvázi valós idejű tüzelés szabályzáshoz kvázi valós idejű input adatokra van szükség. A láng fényének és hangjának vizsgálata lehetővé teszi, hogy kvázi valós időben működő szabályzó kerüljön meghatározásra az ipari tüzelőberendezések üzemeltetéséhez. A logikai láncban tehát először bizonyítandó, hogy a füstgázösszetétel jelentős késleltetéssel rendelkezésre álló idealitása a kvázi azonnal rendelkezésre álló spektrális adatok alapján is modellezhető, vagyis a MI-alapú (mesterséges intelligencia-alapú) modellek képesek a spektrális adatok időnyerő hatását hermeneutikai rendszerükön keresztül garantálni a szabályozási folyamatokhoz. Az MI bevonása a mért adatok értelmezésébe azért szükséges, mert így lehet a legmagasabb minőségbiztosítási szinten a szabályozáshoz szükséges termelési függvényeket (Y=f(X1;…;Xn) automatizáltan előállítani. Az ilyen MI-alapú megoldásokkal a szerző már korábban tapasztalatokat szerzett[3][4] [5] a MY-X kutatócsoport tagjaként.

A szakirodalomban több utalást is lehet találni, hogy mások is kutatják [13] [14] [15] [16] a tüzeléstechnika területén, hogyan alkalmazhatóak az MI-k. A jövőben szeretném ezen módszerek összehasonlítását is elvégezni.

1.1.3. MIÉRT ÉRDEMES MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALAPON IS VIZSGÁLNI A JELENSÉGEKET?

Mivel a rendelkezésre álló BIG DATA adatvagyonban feltárásra kerülhetnek, olyan összefüggések melyekre korábban nem is gondolt volna az ember. A

[3] http://www.gabordenes.hu/kepes-beszamolok/?fbclid=IwAR0gdvv80tpJMwcw798Zr2F_iz-nkPl6Zw5sSm-RfaPIO_Xa4YHXh7SpWmM

[4] http://miau.my-x.hu/miau/224/gdkop/1Jad4wiga3.pdf

Hasonlóságelemzés is úgy készült a KNUTHI-i elveknek megfelelően az emberi intuíció által megértett komplexitások kerültek át a robot számára is érthető forráskódba.

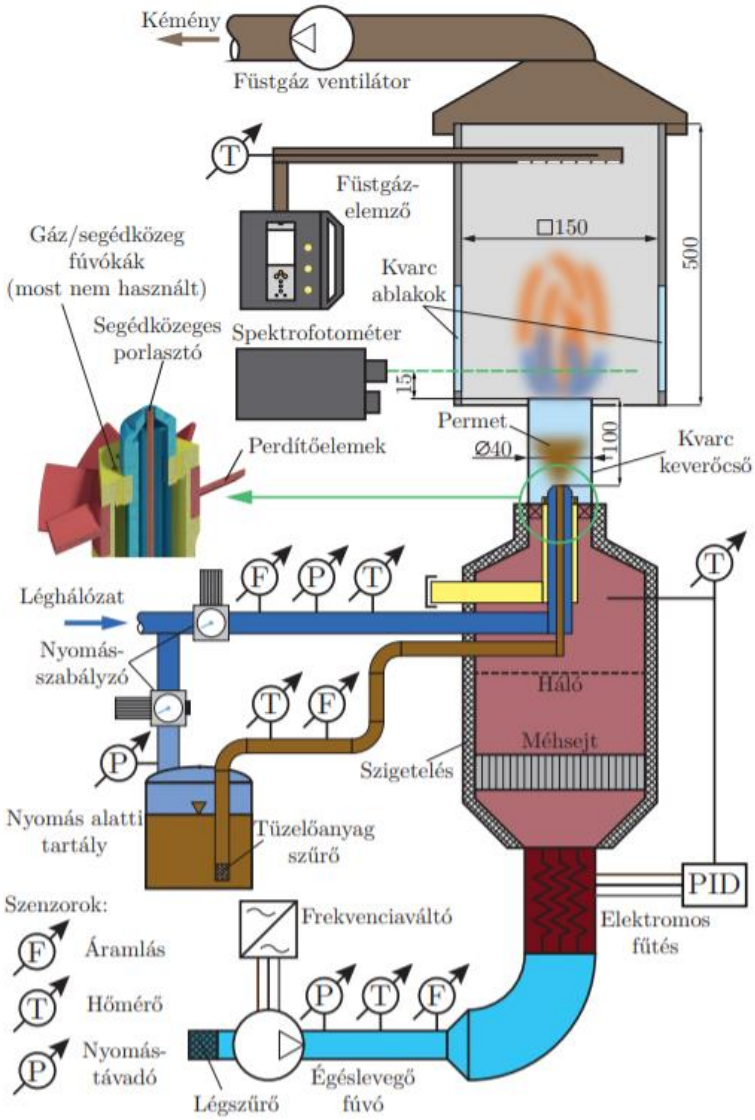
A dolgozatban bemutatásra kerülnek a jóság fogalmának univerzálisan definiálható módszerei, melyek segítségével komplex folyamatok esetén is levezethető a jelenségek közül az ideális/legjobb. Amennyiben még van lehetőség genetikai potenciál a rendszerben, akkor meghatározható, hogy a rendszer mely paramétereinek és milyen irányú állításával érhető el az eddig ismert legjobb megoldásnál még jobb.

A Hasonlóságelemzés különbözői módszereit egymásba láncolva érdemes használni, mivel ezzel érhető el a minél magasabb konzisztencia szint. A konzisztencia vizsgálatok 'melléktermé'e' a gyanú generálás, mint pl.: hibásan működő szenzor, vagy a vizsgált kombinatorikai térben nem illeszkedő elemek kiszűrése.

2. A MEGVALÓSÍTOTT MÉRÉS

2.1. A vizsgált rendszer

A vizsgált rendszer az egyetem DCs épületében található. Az alábbi képen bemutatott sematikus ábrán, jól látható, hogy a rendszer számos pontján szenzorok monitorozzák az égés a folyamatát. Ezen szenzor adatok mesterséges intelligencia alapú értelmezése alapján lehetséges a füstgáz-idealitás-index fogalmának megalkotása és levezetése.



2-1. ábra: A vizsgált rendszer sematikus ábrája[5] [6]A két tanszék kooperációjában folytatott méréskor az ábrán látható spektrométer az alábbi mérőeszközöket szimbolizálja:

- Spektrométer_1[6]
    - típus: AvaSpec-ULS2048CL-EVO (CMOS)
    - mérési tartomány: 187 (200) - 1100 nm
    - felbontás: 0,6 nm
    - gyári szám: 1903101U1
- Spektrométer_2[7]
    - típus: AvaSpec-ULS2048CL-EVO (CMOS)

[5] forrás: EGR Tanszék

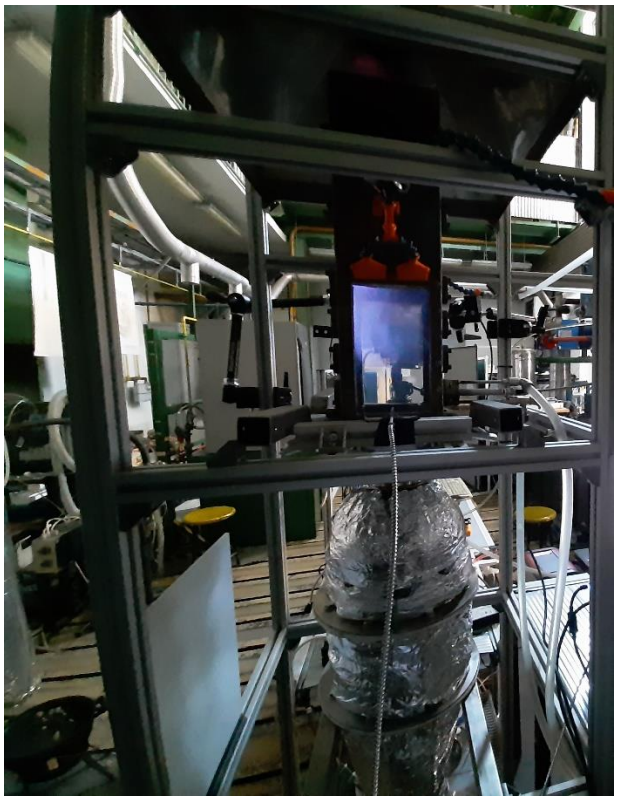
[6] https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/item/1035-avaspec-uls-2048clevo

[7] https://www.avantes.com/products/spectrometers/nirline/item/1022-avaspec-nir256-512-2-5-hsc

    - mérési tartomány: 966 (1000) - 2500 nm
    - felbontás: 3,22 nm
    - gyári szám: 1907084U1
- Spektro-radiométer:
    - típus: Konica Minolta CS-1000A
    - mérési tartomány: 380 - 780 nm
    - felbontás: 1 nm
    - gyári szám: 1501559

2-2. ábra: A mérés megvalósítása

2-3. ábra: A mérés megvalósítása



2-4. ábra: A mérés megvalósítása

Emellett egy Gobi 640 series[8] típusú hőkamerával is rögzítettük a tüzelés folyamatát, viszont a hővédő kvarcüvegen nem látott át a kamera, hiszen ebben a hullámhossz tartományban nem engedi át az elektromágneses sugárzást a nevéből adódóan.

A másik sikertelen adatfelvételi megközelítés a kvarcüveg hőmérséklet eloszlásának vizsgálata, ami szintén sikertelen volt az üveg előtti erőteljes léghűtés miatt, ami a rendszer üzembiztonsága miatt volt elengedhetetlen.

2.2. A megvizsgált tüzelési beállítások

	idő	tüza	Q_tüz	O_2	v porl	égésleveg	égéslevegő motor frekvencia	lángalak
id_kisérlet	óó:pp		kW	%	[l/min]	°C	Hz	...
0					0			
1	15:06	ng	13,3	4	0	0	10	v
2	15:34	d	13,3	4	25	200	8,2	e
3	15:39	d	13,3	8	24	200	11,5	v
4	15:47	d	13,3	8,4	31	200	11,5	t
5	16:04	d	13,3	9	31	200	12	t
6	16:11	d	13,3	7,5	31	200	10	t
7	16:16	d	13,3	6	31	200	8	t
8	16:20	d	13,3	3,4	31	200	6	t
9	16:24	d	13,3	3,4	36	200	5	t
10	16:31	d	13,3	4	41	200	3	t
11	16:35	d	13,3	5	41	200	5	t
12	16:39	d	13,3	6	41	200	6	t
13	16:45	d	13,3	7	41	200	7,5	t
14	16:50	d	13,3	8	41	200	9	t

2-1. táblázat: Mérési terv[9]

Magyarázat az ábrához:

1. oszlop: kísérlet id, a beállítások sorszáma
2. oszlop: időpecsét, hogy mikortól volt stabil a beállított égés
3. oszlop: a tüzelőanyag fajtája (vö. „tüza”)
4. oszlop: névleges teljesítmény (kvázi konstans – vö. „Q_tüz”)
5. oszlop: a füstgáz százalékos oxigéntartalma (vö. „O_2”), melyből számítható a légfelesleg tényező (λ)

[8] https://www.xenics.com/files/technical_resources/Gobi%20Series/xb-061_r018_gobi_640_lowres_5.pdf
[9] forrás: meresi_terv_2020_09_18_Sheet1 alapján saját ábrázolás

6. oszlop: a porlasztási levegő térfogatárama (vö. „v_porl”)
7. oszlop az előmelegített égéslevegő levegő hőmérséklete (konstans)
8. oszlop: égéslevegő motor frekvencia
9. oszlop: lángtípus: ’e’ mint egyenes, ’v’ mint V alakú, ’t’ mint térfogati

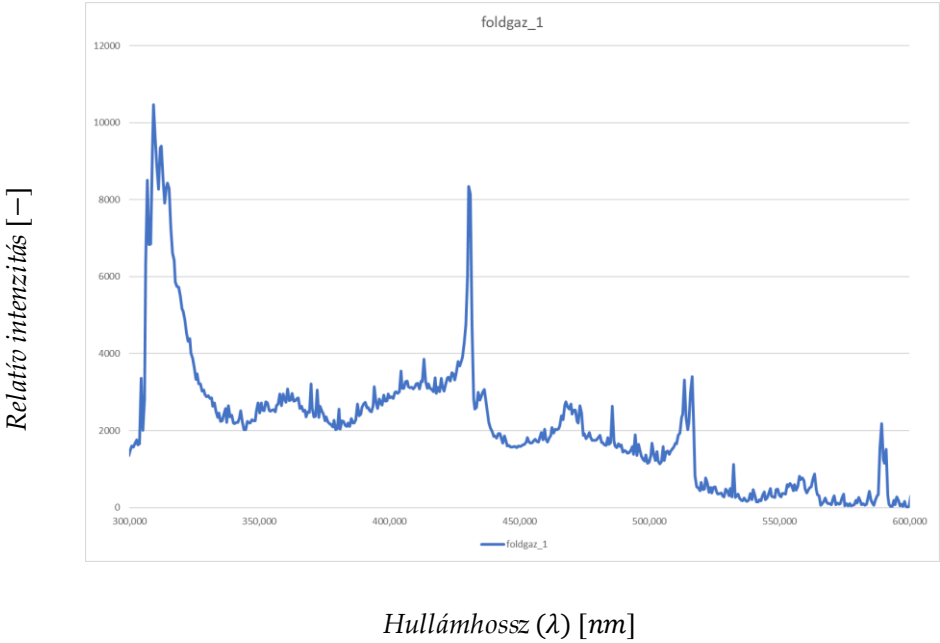
A dolgozat célja a térfogati égések vizsgálata, mivel a korábbi mérések alapján ez egy olyan beállítás, ahol a teljes égőtérben történik az égés halványkék lánggal kisebb [1] zajterheléssel, mint a másik két lángtípusnál és kedvezőbb károsanyagkibocsátás mellett.

Sorcímkék	Minimum / becslés	Maximum / becslés2	Átlag / becslés	Szórás / becslés3	Mennyiség / becslés
v	997812	1000647	999777	531	216
e	998819	999270	999036	111	30
t	997799	1000918	1000076	550	424
Végösszeg	**997799**	**1000918**	**999933**	**582**	**670**

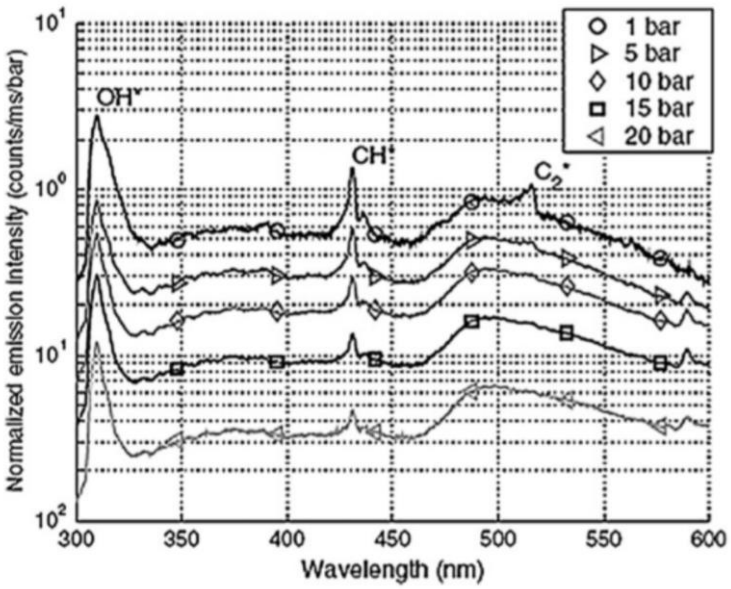
2-5. ábra Idealitás indexek statisztikai értékei a három mért lángtípusra

Az ábrán látható, hogy a térfogati égés átlagos jósága a legmagasabb, ami összehangban van az elvártakkal, hogy ennek a lángtípusnak kedvező emissziós mutatói vannak.

Az első kalibrációs mérést földgázon végeztük V-alakú lángalak mellett, mivel a földgáznak jól ismertek a spektrális emissziós csúcsai, így könnyű ellenőrizni, hogy a kívánt jelenséget mérjük-e, nem pedig pl. valami külső fényforrást/zajt.



2-6. ábra: A földgáz spektrális emissziója[10]



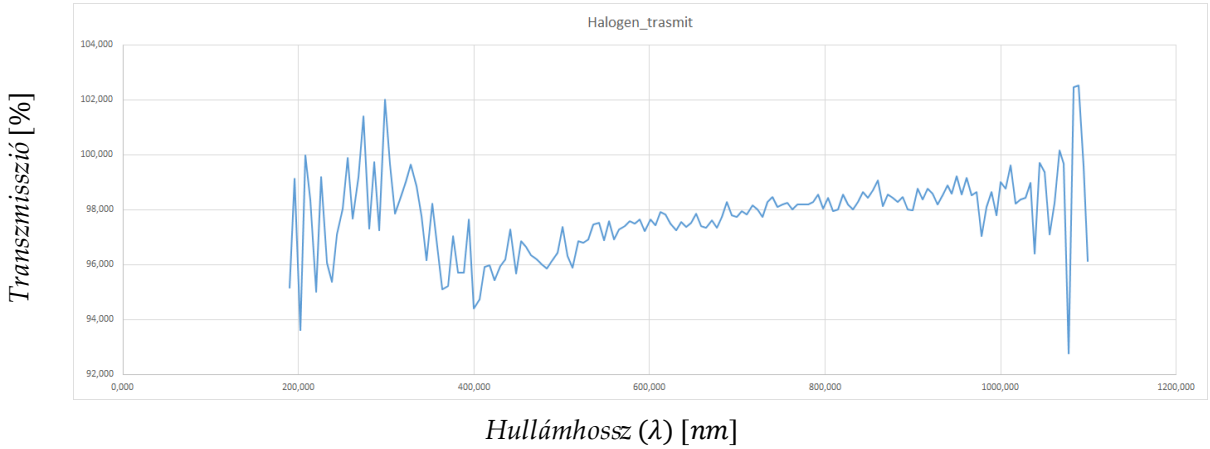
2-7. ábra: Metán láng spektruma $\lambda = 1$ légfeleslegtényező értéknél [3]

[10] forrás: saját ábrázolás

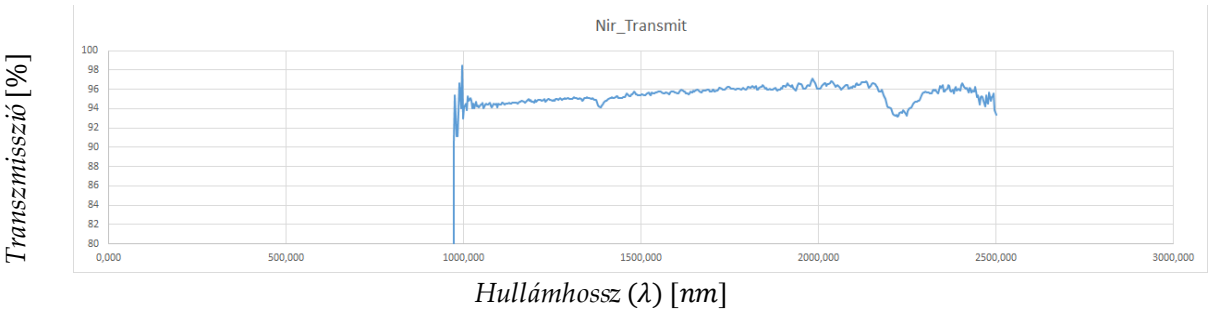
2.3. Ellenőrző mérések

2.3.1. A hővédő kvarcüveg spektrális transzmissziója

Ahhoz, hogy később a spektrométerrel meghatározott intenzitás csúcsokat össze lehessen egymással hasonlítani fontos tudni, hogy a hővédő kvarcüveg milyen transzmissziós görbével rendelkezik a hullámhossz függvényében. Az alábbi két ábrán látható, hogy mindkét hullámhossz tartományban 95+ %-os az átlagos transzmisszió.



2-8. ábra: A hővédő kvarc transzmissziója halogén lámpás megvilágítás mellett 200 – 1100 nm-es tartományban[11]



2-9. ábra: A hővédő kvarc transzmissziója halogén lámpás megvilágítás mellett NIR-ben[12]

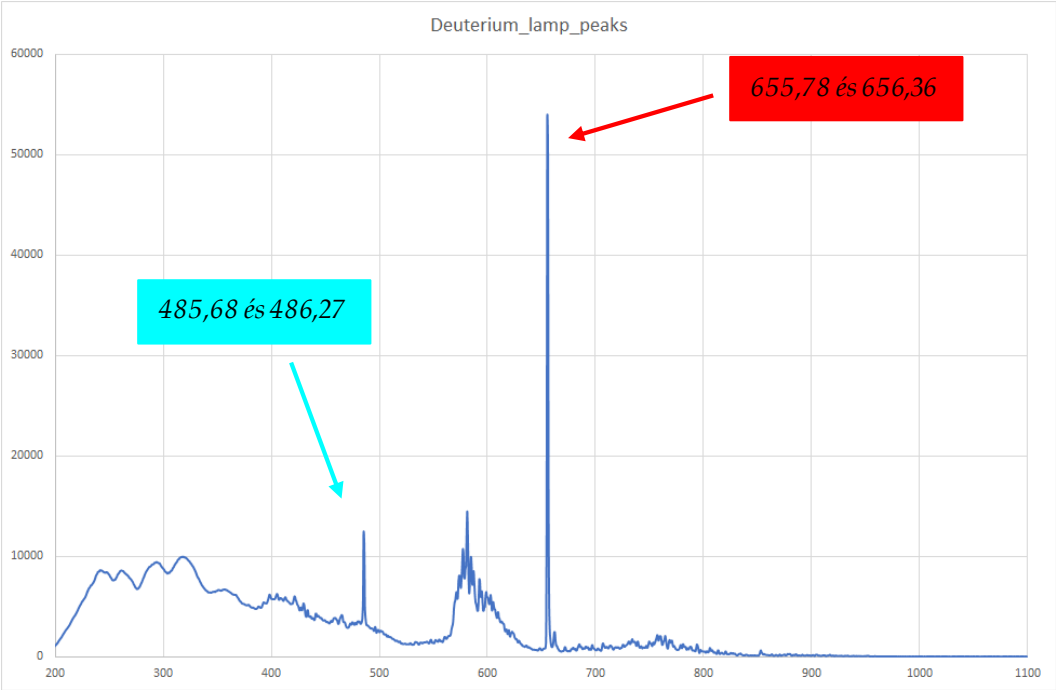
[11] forrás: saját ábrázolás
[12] forrás: saját ábrázolás

2.3.2. Referencia fényforrások spektrális csúcsainak kimérése

Erre azért volt szükség, mert a térfogati égések spektrális vizsgálatakor kiszűrt intenzitás csúcsokat nem mindet sikerült beazonosítani, így felmerült a gyanúja, hogy a spketrométer_1 hibája okozhatja az 1-2 nm-es intenzitáscsúcs-eltérést.

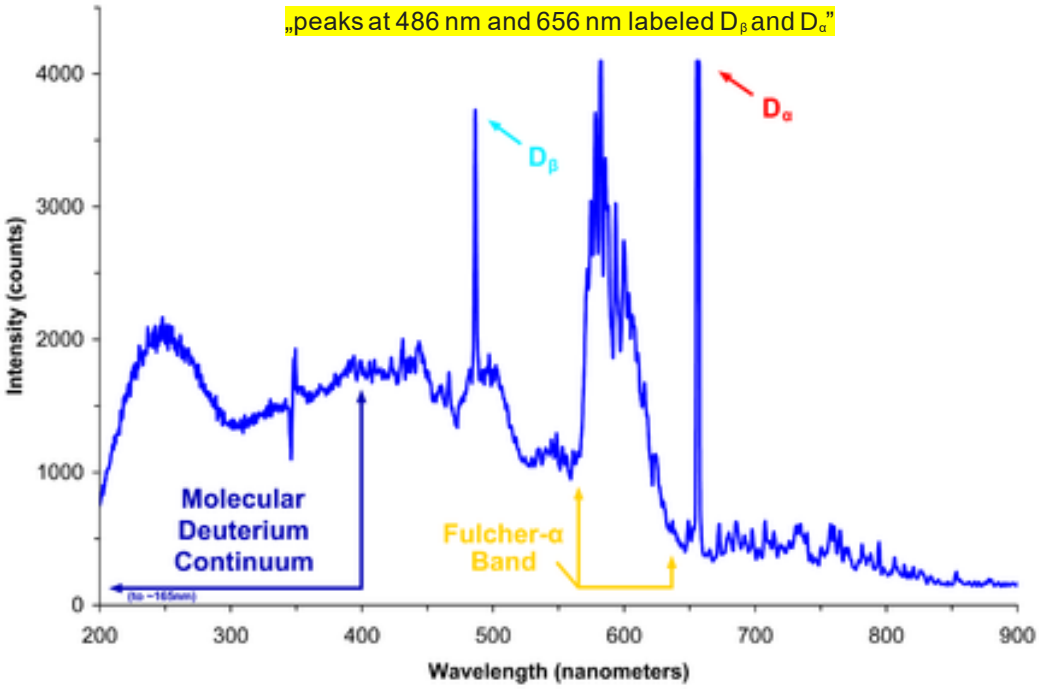
A referencia mérés alapján megállapítható, hogy a spektrométer mérési pontossága úm. „bőven" fél nm-en belüli, így a később bemutatásra kerülő térfogati égésre jellemző spektrális csúcsok meghatározásakor más oka lesz az eltérésnek a legközelebbi ismert anyag spektrumát illetően.

Az alábbi két ábrán jól látható, hogy mi a különbség a spektrométer és spetro-radiométer között. Az intenzitás csúcsok egymáshoz képesti arányát a spektrométer az összes beeső intenzitásból számolja, míg a spektro-radiométer egy referencia fényforráshoz képesti kalibráció után kvázi vissza kellene, hogy adja az alsó ábra jellegét.



Hullámhossz (λ) [*nm*]

2-10. ábra: Referencia mérés deutérium lámpával[13]



2-11. ábra: Deutérium lámpa spektrális emissziója[14]

[13] forrás: saját ábrázolás

[14] https://en.wikipedia.org/wiki/Deuterium_arc_lamp

3. A MÉRÉSI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

3.1. Rendelkezésre álló adatok

A fejezetben bemutatásra kerül, hogy az egyes mérőeszközöknél mennyi és milyen struktúrájú adat áll rendelkezésre.

3.1.1. SPEKTROMÉTER_1 (200 - 1100)

A 2.2-es pontban bemutatott tüzelési beállítások mindegyikére rendelkezésre áll legalább 1 db relatív intenzitás a hullámhossz függvényében, ahol a relatív intenzitás nem más, mint az összes beérkező intenzitás adott hullámhosszra eső része.

A térfogati égéseknél sorozatmérések készültek, ami alkalmassá teszi az adatvagyont a mért jel időbeni karakterisztikájának vizsgálatára.

3.1.2. SPEKTROMÉTER_2 (NIR)

A 2.2-es pontban bemutatott tüzelési beállítások mindegyikére rendelkezésre áll legalább 1 db relatív intenzitás a hullámhossz függvényében.

A térfogati égéseknél sorozatmérések készültek, ami alkalmassá teszi az adatvagyont a mért jel időbeni karakterisztikájának vizsgálatára.

3.1.3. SPEKTRO-RADIOMÉTER

A vizsgált láng nagyon kis intenzitású spektrális emissziója miatt itt minden beállításról csak egy felvétel készült az eszköz akár 1 percig tartó integrációs ideje miatt.

A Spektro-radiométer sajátossága, hogy nem relatív fénymennyiséget mér, hanem egy korábbi (ez esetben sok évvel ezelőtti) referencia fényforrással lett

kalibrálva, így abszolút fényintenzitást mér a látható tartományon. Feltételezve, hogy az eszköz kalibrálása még jó, az így mért adatok alkalmasak lehetnek az egyes beállítások paraméterei és az összes kibocsátott fénymennyiség közötti korreláció feltárására, ha ilyen van.

3.1.4. FOLYAMAT-SZENZOR-ADATOK

A 2.1-es pontban megemlített szenzorok a folyamat több pontján (vö. 2-1. ábra) mérnek nyomást, hőmérsékletet és térfogatáramot. Ezek az adatok idősorosan 5 mp-es felbontással állnak rendelkezésre.

Az alábbi táblázat mutatja, hogy pontosan mely paraméterei kerülnek rögzítésre a rendszernek:

P01	égéslevegő nyomás
P02	porlasztólevegő nyomás
P03	perdület beállító levegő nyomás
P04	gáz nyomás
P05	tartály_1 nyomás
P06	tartály_2 nyomás
P07	-
P08	-
P09	air main nyomás
F01	égéslevegő térfogatáram
F02	porlasztólevegő térfogatáram
F03	perdület beállító levegő térfogatáram
F04	gáz térfogatáram
F05	tartály_1 térfogatáram
F06	tartály_2 térfogatáram
TC1	égéslevegő előmelegítő fölötti hőmérséklet
TC2	égéslevegő előmelegítést szabályzóban a hőmérséklet
TC3	áramlásegyenletesítés utáni égéslevegő hőmérséklet
TC4	környezeti levegő hőmérséklet
TC5	füstgázhőmérséklet az égőtér tetején
TC6	füstgázhőmérséklet a füstgázventilátor előtt
Pt01	égéslevegő hőmérséklet
Pt02	porlasztólevegő hőmérséklet
Pt03	perdület beállító levegő hőmérséklet
Pt04	gáz hőmérséklet
Pt05	tartály_1 hőmérséklet
Pt06	tartály_2 hőmérséklet
Pt07	-
Pt08	-
Pt09	air main hőmérséklet
Pt10	-
Pt11	mikrofon
Pt12	mikrofon
Pt13	mikrofon

3-1. táblázat: Adatgyűjtő szenzorok listája[15]

[15] forrás: adagyujtok.xlsx alapján saját ábrázolás

3.1.5. AKUSZTIKUS JELEK

A dolgozat jelen állapotban még nem tartalmazza az akusztikai jelek feldolgozását és értelmezését. Ezen adatok értelmezése a kutatás következő fázisában lesz majd esedékes.

3.1.6. FÜSTGÁZ-EMISSZIÓ

2 mp-es felbontással állnak rendelkezésre a füstgázban található komponensek mennyiségei/arányai.

3.2. A mérési pontosság javításának lehetőségei

A spektrométerekbe üvegszálon keresztül jut be a mérendő jel. Az üvegszál előtti kollimátor gondoskodik arról, hogy a beérkező fény pontosan az üvegszál végére képződjön le. A kollimátor átmérője kisebb mint 1 cm, így a kb. 2 dm^2-es hőálló üveglapon kisugárzásra kerülő fény kevesebb mint 1%-a jut el a spektrométer érzékelőjére. Ez a kevés beeső fény nehezíti a sötét referencia rögzítését.

(Például: Volt olyan mérés, amikor a sötét referenciához képest negatív értékeket mért az eszköz. Ennek számos oka lehet, de a jövőben mindenképp jobban meg kell tervezni a külső zavaró fények (napsütés, helység világítása) kitakarását, úgy, hogy figyelembe vesszük a tartósan 50 °C fok feletti környezeti hőmérsékletet a hőálló üveg külső oldalán.)

A kevés beeső fény miatt a térfogati égés esetén a spektrométer_1 integrálási ideje is több esetben meghaladta az 5 mp-et. Több beeső fény esetén ez az idő a ms-os nagyságrendig levihető.

A jövőben egy nyalábtágítóval lehetne javítani a kisugárzott és a megmért fény arányán.

A spektrométerhez tartozó gyári szoftver nem tartalmaz alapból kezdő timestamp-pel ellátott mérési adatrögzítési lehetőséget, pedig ez

nélkülözhetetlen lesz a valós idejű szabályzáskor. Erre egy áthidaló megoldást jelenthet például egy folyamatosan futó képernyőfelvétel, ahol visszakereshető a sorozatmérésnek az indítási pillanata.

3.3. A spektrális adatok feldolgozása

Az elsődleges feladatnak a térfogati égések esetén megjelenő spektrális csúcsok meghatározását tűztem ki célul. Ehhez először minden mérésre meghatároztam azokat a lokális maximumokat, ahol az adott relatív intenzitás érték a +- 10 hullámhossz egység (0,6 nm) -es a maximális érték és ebben a 21 elemű tartományban az adott érték a 21 elem átlagának legalább 1,1-szerese, vagy tapasztalati úton kikísérletezve az adott érték a 21 elem átlagánál 1000 egységgel nagyobb. (Az adott érték legyen mindig pozitív feltétel a negatív mérési eredmények miatt került be, hogy biztosan csak valós csúcsokat vizsgáljak.)

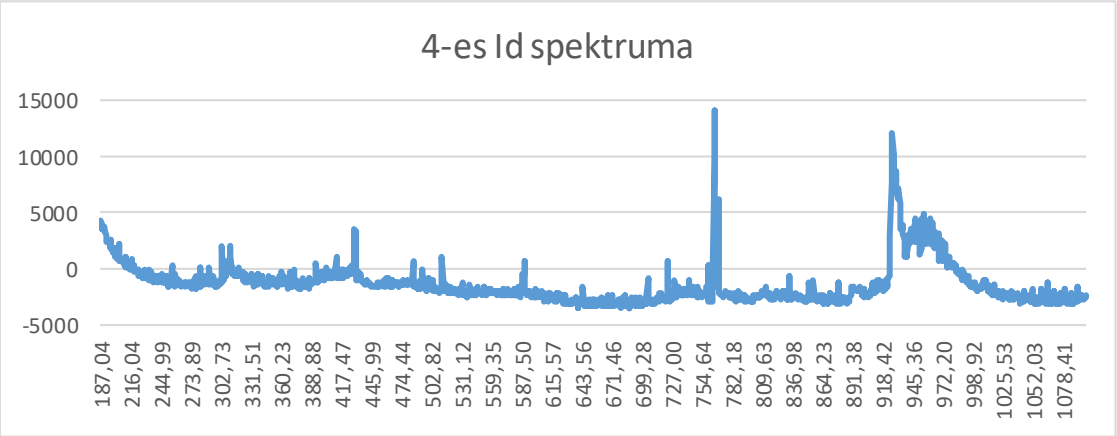
MS Excelben így néz ki ez a csúcsfeltáró függvény.

=HA(VAGY(ÉS(SORSZÁM(C15;C5:C25;0)=1;ÁTLAG(C5:C25)*1,1<C15;C15>0);ÉS(ÁTLAG(C5:C25)+1000<C15;C15>0));C15;""), ahol C5:C25 = a 21 elem tartománya, az értelmezési tartomány bal szélén (~200nm). És C15 = az aktuálisan vizsgált érték.

Ezt követően a sorozatmérések legalább 80%-ában ugyan azon a hullámhosszon maximumot mutató hullámhosszokra szűkítettem a táblázatot (a sorok a hullámhosszok, az oszlopok a sorozatmérés egyes elemei), ahol a 80 %-os küszöbérték jelentése: a gyakoriságra vonatkozik, pl.: 10 esetből legalább 8-szor essen az adott hullámhosszra az intenzitás maximum, ekkor értékeltem időben stabilnak az intenzitás maximumot. Majd az így kapott 9 résztáblát egymás alá másolva kimutatásvarázslóval megszámoltattam, hogy melyik hullámhossz hányszor szerepel. Ezek közül a 6 vagy annál több adta végül a 14 csúcsot/tartományt, ahol a térfogati égésnek maximuma van, ahol a 6-os

konstans jelentése: az a küszöbszám, amikor 15-nél kevesebb tovább feldolgozásra váró intenzitás csúcs/tartomány marad.

3.4. Intenzitás csúcsok a 200 - 1100 nm-es tartományban



3-1. ábra A 4-es Id-hoz tatrozó térfogati égés spektruma[16]

			nm	cm^{-1}					
ID	Sorcímkék	Me	λ	ν	I	v', v''	anyag	rendszer	
1	205,17	7	204,63	48853,00	vw	3,10	CO	Fourth positive	$A^1\Pi$-$X^1\Sigma$
2	255,84	7							
3	291,92	7	292,3	34197	s	1,11	O_2	Schumann-Runge	$B^3\Sigma^-_u$-$X^3\Sigma^-_g$
4	304,53	7	303,90	32892,00	m	1,12	O_2	Schumann-Runge	$B^3\Sigma^-_u$-$X^3\Sigma^-_g$
5	311,73	7	311,48	32095,00	vs	A_0	HCO	Vaidya's HC flame	
6	413,31	7							
7	430,55	9	431,42	23173,00	vs	Q0,0	CH	4315 Å	$A^2\Delta$-$X^2\Pi$
	431,15	7							
8	485,68	7	485,88	20576,00	vw	Q1,2	CH	4315 Å	$A^2\Delta$-$X^2\Pi$
9	513,44	7	512,94	194090,00	m	1,10	C2	Swan	$A^3\Pi_g$-$X^3\Pi_u$
10	591,02	6	590,02	16944	m		H_2O	Vibration-Rotation	
11	724,12	7	722,9	13697	m		H_2O	Vibration-Rotation	
12	766,12	9	768,38	13011,00	s	1,10	O_2	The atmospheric bands	$b^1\Sigma^+_g$-$X^3\Sigma^-_g$
	766,70	9							
	767,27	8							
	769,57	8							
	770,14	8							
13	927,42	7	927,70	10776,00	vs	201-000	H_2O	Vibration-Rotation	
	927,98	8							
	928,54	8							
	929,10	7							
	929,66	7							
	930,22	7							
	931,91	6							
14	956,56	6							

3-2. táblázat: Intenzitás csúcsok a 200 – 1100 nm-es tartományban[17]

[16] forrás: saját ábrázolás
[17] forrás: saját ábrázolás

A fenti táblázat mutatja a 3.3 pontban bemutatott szűrés eredményét. A továbbiakban az ábrán látható eredményeket fogom magyarázni és pontosítani.

A csúcsok beazonosítását a lángspektroszkópia szakirodalma [9] alapján került meghatározásra, ahol külön nem jelölöm meg a forrást.

- A 255 nm-nél található értéket nem sikerült beazonosítani.
- A 302-309 nm-es régióban a beazonosított csúcsok mellett dominánsan jelen van az OH emisszió. [10]
- 413 nm-nél a 410 nm-es C_2 van a legközelebb, ezért ez sem egy egyértelműen beazonosított csúcs.
- 766-770 nm-es tartományban atomos az atomos oxigén sugároz. [11]
- 927 nm-től az összes 'csúcs' a vízgőz emissziótartományához [12] kapcsolódik.

A további adatok feldolgozását a mesterséges intelligencia alapú elemzés témakörében ismertetem, mivel ezen számításokhoz kerültek felhasználásra.

4. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALAPÚ ADATELEMZÉS

4.1. Motiváció

Már 2015 óta[18] aktív tagja vagyok a MY-X kutatócsoportnak[19], ahol a legkülönbözőbb BIG DATA jellegű problémákra alkotunk megoldásokat a saját fejlesztésű mesterséges intelligenciánkkal, a Hasonlóságelemzéssel.

Egyetemi tanulmányaim során eddig még nem nyílt alkalom a kutatócsoportban megszerzett tudással az egyetemen felmerülő problémákra választ találni. Viszont amikor a fent ismertetett tüzeléstechnikai jelenséget alaposan megértettem és a mérés után rendelkezésemre állt sok-sok idősoros adat, úgy éreztem, hogy most már „hazai pályán" vagyok és reményeim szerint tudok olyat mutatni a tüzeléstechnikával és optikai méréssel foglalkozó szakembereknek, ami az ő munkájukat a jövőben hatékonyabbá teszi.

Szeretnék köszönetet mondani minden egyetemi oktatónak és doktoranduszsnak, akik segítettek megismerni a tüzeléstechnika világát és az ehhez kapcsolódó optikai mérések módszereit és elméleti hátterét.

Mindenképp szeretném leszögezni, hogy a következőkben bemutatásra kerülő módszer és eredmények az BIG-DATA-jellegű adatvagyon előkörös értelmezése, az eddig megértett részinformációkból. A további KNUTH-i[20] robotok fejlesztéséhez elengedhetetlen a két szemléletmód kooperációja.

[18] https://miau.my-x.hu/miau2009/index.php3?x=e0&string=Marcell
[19] https://miau.my-x.hu/miau/196/My-X%20Team_A5%20fuzet_HU_jav.pdf
[20] https://www.myzitate.de/donald-e-knuth/

4.2. A tüzeléstechnika analógiája a forgalomoptimalizálás

A korábban (egy GINOP projekt keretében) a forgalom optimalizálásról írt cikksorozat[21][7] [8] hermeneutikája egy az egyben alkalmazható a tüzeléstechnika esetében is.

A tüzeléstechnika esetében is keressük az ideális tüzelési beállítást, amikor a legkevesebb a szennyező anyag kibocsátás, a legkisebb a zajterhelés, stabil a lángalak, maximális a leadott hőteljesítmény stb. Mérnöki szakzsargonnal élve egy n dimenziós térben keressük a munkapontot. Emellett persze triviális elvárás, ha rendelkezésünkre álljon egy szimulációs környezet, ahol kipróbálhatjuk, hogy különböző módosításoknak milyen hatásai lesznek.

Ezekre és ehhez hasonló kihívásokra igyekszem megoldásokat adni a következőkben, miközben bemutatom, hogy lehet mindezeket a hasonlóságelemzés segítségével meghatározni.

4.3. A Hasonlóságelemzés matematikája

A Dobó Andor matematikus által kialakított hasonlóságok hasonlósága (JOKER)[22] [4] gondolatvilág és a mesterséges neurális hálók előnyeinek integrálásából született meg a hasonlóságelemzés online keretrendszere egy INNOCSEKK-projekt keretében: https://miau.my-x.hu/myx-free/ (php-alapú megoldás)

Az online rendszer neve: COCO[23] – component-based object comparison for objectivity. Alapvetően 3 modellje van a hasonlóságelemzésnek, mely időközben

---

[21] http://miau.my-x.hu/miau/233/kvant_monitoring_v5.docx
https://miau.my-x.hu/miau/253/traffic-simulations.docx

[22] https://www.antikvarium.hu/konyv/dobo-andor-a-hasonlosagelmelet-alkalmazasa-a-joker-rendszerben-732382

[23] COCO (component-based object comparison for objectivity / objektivitást támogató komponensalapú objektum-összehasonlítás): a hasonlóságelemzést végző online algoritmuscsalád angol elnevezése.

technológia oldalról több megoldást is kitermelt: Excel-alapú manuális megoldás, Excel-alapú macro-alapú megoldás, Javascript-alapú megoldás, php-alapú megoldás, Mathematica-alapú megoldás, sql-alapú megoldás (Seacon), ill. Google-spreadsheet-alapú megoldás, ahol a Mathematica-alapú megoldást én készítettem az Alkalmazott számítógépes analízis (BMETE927205) című tantárgy keretében. Minden megoldás támaszkodik valamilyen úm. külső optimalizáló (LP) motorra annak érdekében, hogy a tanulási folyamatnak nevezhető réteg előre tervezetten (optimum-közeli állapotban) önmagától terminálódjon.

4.3.1. COCO-STD (STANDARD)

A COCO-STD modelljében rejlő lehetőség, hogy valós Y-változót (pl. árat, terméseredmény, gázkoncentrációt, mesterséges intelligencia alapú fogalom-alkotás keretében előállt context free-jellegű index-értékeket, stb.) az X-változók lépcsős függvényeként közelítjük, vagyis minden X változóhoz meghatározunk egy-egy lépcsős függvényt pl. ár/érték-arány-elemzés érdekében, ahol az X-tömb csak pozitív egész számokat, azaz rangsor-számokat tartalmaz.

A COCO-STD modell esetében a lépcsőkre vonatkozó megkötése: a következő lépcső legyen kisebb egyenlő, mit az azt megelőző.

Az Y (oszlop) vektor az attribútumokat (O sor vektorok) leíró paraméterek közül az egyetlen kitüntetett (pl.: ár).

4.3.2. COCO-Y0

Az anti-diszkriminációs számítások-- más néven az ideálkereső, mesterséges fogalom-alkotó modell jelölése --, ahol minden X esetén az idealitás irányába ható irány megadása után optimalizálás keretében keressük az átlagtól leginkább eltérő objektumot úgy, hogy az optimalizálás célja mindvégig az objektumok azonosságának kikényszeríteni akarása (vö. lehet-e minden objektum másként

egyforma – azaz létezik-e az adott fogalom ábrázolási skálája: vö. gázelegy-összetétel idealitás-index).

Y0 modell esetén a lépcsők nagysága minimum 1 egység, vagyis a következő lépcső értéke legyen minimum 1 egységgel kisebb, mint az azt megelőző.

Az Y vektor ez esetben konstans pl.: 1000 egység. (Tapasztalati érték: Y értéke legyen min. 2 nagyságrenddel nagyobb, mint az objektumok száma – a jelenleg alkalmazott LP-motor specialitásait figyelembe véve.)

4.3.3. COCO-MCM

(Monte-Carlo Módszer logikáját közelítő lépcső-keresési eljárás): a COCO-alapú hasonlóságelemzés azon modulja, mely keretében nincs semmilyen korlátozó feltétel megadva az optimalizálás kapcsán, vagyis az attribútumok szintjei és az output szintek közötti tetszőleges alakzatú (polinomizálódó), legnagyobb magyarázó erejű összefüggés feltárása a cél (például azon kérdés esetén: hogyan hatnak a tápanyagok beltartalmi komponensei a várható életkorra?).

Ez esetben nincsenek lépcsők – csak lépcső-paraméter-helyek – melyek levezetéséhez nem kellene LP-motor, elegendő lenne kellően sok rnd-beállítás (vö. MCM).

Az Y vektor megegyezik a COCO-STD esetében leírttal.

4.3.4. Részletes példa a mellékletben

Azok az olvasók, akik szeretnék a COCO mögötti matematikát alaposabban megérteni, a mellékletben találnak egy részletesen kidolgozott tanító példát.

4.4. A jóság fogalma a tüzeléstechnikában

Mivel jogszabályi előírások még csak a károsanyagkibocsátásra vonatkoznak, így ezek alapján hoztam létre az egyes időegységek jóság indexét.

Egy COCO-Y0 modell keretében azt vettem figyelembe, hogy a füstgáz tartalom legyen minden komponensre minél kisebb annál jobb. És a modell segítségével próbáltam úgy szétosztani az 1 000 000 jóságpontot, hogy mindenki újra megkapja az 1000000 jóságpontot persze figyelembe véve, hogy a kisebb sorszámhoz legalább 1-gyel nagyobb lépcsősfüggvényérték tartozik. A modell megpróbálja teljesíteni, hogy lehet-e minden időpillanat másként egyforma, mivel ez nem sikerült, így létrejön egy sorrend.

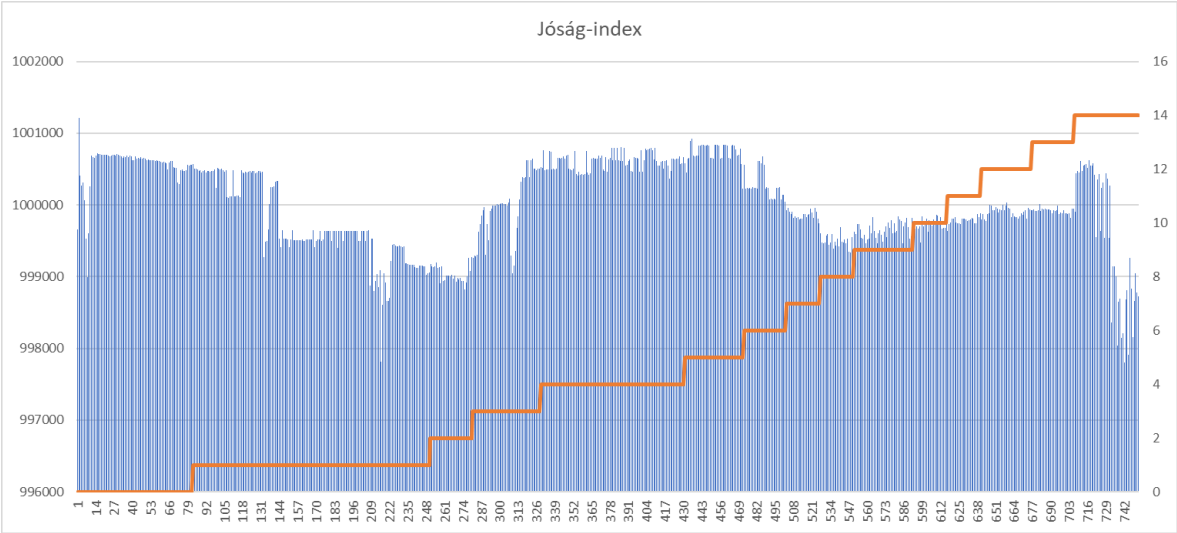
Az Y értéke 1 000 000.

4.4.1. Szükséges adatrendezés

A korábban bemutatott szenzor adatokat és az emissziós adatokat egy táblázatba másoltam, ahol a közös időegység a 10 mp lett. 14:52:25-től 16:57:35-ig állnak rendelkezésre az adatok, ez 752 időegység. Az időpecsét mellé rendeltem egy id-t is 0-tól 14-ig mivel 14 darab tüzelési beállítás volt. A 0. a rendszer beüzemelésekor keletkező log adatokat tartalmazza.

4.4.2. A jóság-index alakulása

Most, hogy a hasonlóságelemzés egy konkrét esettanulmánya nyomán (vö. melléklet) az Olvasóknak megfelelő részletgazdagságú képe alakulhatott ki a módszertan potenciálját és/vagy korlátait illetően, a következőkben bemutatásra kerül az égés során keletkező gázelegy-összetétel idősoros idealitás-indexének levezetése anti-diszkriminatív (Y0) modellekre támaszkodva:



4-1. ábra: A jóság-Index alakulása a 752 időegységre

A 4-1. ábra vízszintes tengelyén a 752 időegység lett ábrázolva a függőleges tengelyen pedig a jóságindex értéke (kék) az Y0 modell alapján, ill. jobb oldalt a beállításokhoz tartozó id (narancs). A kapott eredményből megmondható, hogy a 0-s mérés-id figyelmen kívül hagyva, mivel ekkor még nem üzemelt az égő, az 5. id-hoz tartozik a maximális jóság index-érték és tartomány, ahol a 752 időegység, mint objektum átfogja a teljes mérés időtartamát és egy időegység 10 másodpercet jelent (vö. mérési terv).

A 4-1. ábra mögötti OAM attribútumai a gázelegy komponenseinek koncentrációi, melyek mindegyike esetében az idealizált irány: minél kisebb, annál ideálisabb a gázelegy – vagyis extrém értelemben, ha nincs gázelegy, akkor nincs környezetszennyezés. A gázelegy komponensei: O_2, CO, CO_2, NO_x, NO, SO_2, ahol az NO_x és az NO értéke megegyezik.

A számítások során így kétszer lett figyelembe véve ugyan az a hatás, viszont az ellenőrző számítás, amikor csak az NO lett figyelembe véve 0.98-as korreláció mellett megegyezik az eddig bemutatott jóság indexel. Az eltérés kvázi csak numerikus hiba, egyetlen invaliditás sem lépett fel az ellenőrző számításkor. Az invaliditás ez esetben az ideálistól az az 1000000 jóság ponttól való eltérés irányát jelentené.

4.4.2.1. Beállításokhoz rendelt jóság index

A stacionárius tüzelés folyamata sosem lehet teljesen stacionárius, mivel mindig lesznek külső zavaró tényezők, mint nyomásváltozás vagy a tüzelőanyag inhomogenitása miatt. Ezért fontos meghatározni azt, melyik beállítás alatt üzemelt a legjobban a tüzelőberendezés.

Ehhez kimutatásvarázslóval létra kell hozni az előbb kiszámolt Y0 értékek id-khoz beállításokhoz rendelt minimumát, maximumát, átlagát és szórását, melyek az idealitás indexek időegységenkénti alakulásának tömörített leírásaként értelmezhetők. Ezek alapján egy újabb Y0 modellel, ahol az Y értéke 1000 és a sorszámozás iránya minél nagyobb annál jobb kivéve a szórásánál a következő eredményt adja. A 4. és 5. id holtversenyben a legjobb 1014.6-os jóság értékkel.

Sorcímkék	Minimum / becslés	Maximum / becslés2	Átlag / becslés	Szórás / becslés2	Mennyiség / becslés
0	998989	1001209	1000549	293	82
1	997812	1000567	999725	543	168
2	998819	999270	999036	111	30
3	999052	1000647	999962	443	48
4	1000367	1000802	1000605	114	102
5	1000229	1000918	1000738	132	42
6	1000049	1000677	1000264	184	30
7	999746	999957	999861	56	24
8	999316	999689	999485	89	24
9	999462	999844	999644	110	42
10	999481	999867	999725	86	24
11	999641	999885	999785	52	24
12	999772	1000028	999900	67	36
13	999818	1000010	999919	37	30
14	997799	1000621	999565	937	46
Végösszeg	**997798,9**	**1001208,8**	**1000000,222**	**589,9198171**	**752**
irány	0	0	0	1	

OAM	Minimum / becslés	Maximum / becslés2	Átlag / becslés	Szórás / becslés2	Y0	delta	inverz delt	becslés	inverz becs
0	12	1	3	12	1000	-8,2	8,20	1008,2	991,8
1	14	7	11	14	1000	17,8	-17,90	982,2	1017,9
2	13	15	15	8	1000	17,8	-17,90	982,2	1017,9
3	11	5	5	13	1000	4,3	-4,30	995,7	1004,3
4	1	3	2	9	1000	-14,6	14,70	1014,6	985,3
5	2	2	1	10	1000	-14,6	14,70	1014,6	985,3
6	3	4	4	11	1000	-7,7	7,70	1007,7	992,3
7	6	10	8	3	1000	-6,2	6,20	1006,2	993,8
8	10	14	14	6	1000	10,8	-10,90	989,2	1010,9
9	9	13	12	7	1000	7,8	-7,90	992,2	1007,9
10	8	12	10	5	1000	1,8	-1,80	998,2	1001,8
11	7	11	9	2	1000	-4,2	4,20	1004,2	995,8
12	5	8	7	4	1000	-11,1	11,20	1011,1	988,8
13	4	9	6	1	1000	-13,1	13,20	1013,1	986,8
14	15	6	13	15	1000	19,3	-19,40	980,7	1019,4

4-2. ábra: Idősoros idealitás-index nyers, rangsorolt OAM-ja és az anti-diszkriminatív futtások eredményei[24]

A fenti ábrán az automatikus színkódolás oszloponként külön-külön lett alkalmazva, ahol a minél zöldebb annál jobb elvet követtem – s értelemszerűen az idealitás-index értékeinek minél nagyobb értéke fejezi ki az idealitás nagyságát. A színkódolás segíti a gyors vizuális kiértékelést – különös tekintettel

[24] forrás: saját ábrázolás

a direkt és inverz modell-eredményekre, melyek a hasonlóságelemzés belső minőségbiztosításának első rétegét jelzik a függvény-szimmetria-elvárásokra támaszkodva: a hasonlóságelemzési modellek ugyanis önkorlátozók: nem adnak eredményt, ha az eredmény-rétegek konzisztenciája nem éri el a deklarált mértékét – jelen esetben, ha a direkt rangsor-input és az oszloponként inverz rangsor input a tagadás-tagadása elv mentén nem vezet az eredmény inverzitásához objektumonként.

4.4.2.1.1 Konzisztencia vizsgálat inverz modellel

Az utolsó oszlopban az 1014.6-os jóság értékek mellett 985.3-as értékek az alábbi módon jöttek.

Az előbb mondhatjuk úgy, hogy kerestük a „szépség" -verseny győztesét. Most pedig keressük a „csúnyaság" -verseny vesztesét fordított sorszámozással. Ha a két modell esetében akkor beszélünk konzisztens eredményről, ha a „szépség"-versenyen 1000 pont felett szerepelt versenyzők, a „csúnyaság"-versenyen 1000 pont alatt szerepelnek. Ez teljesült mind a 15 objektumra a gázelegy-idealitás-index mérésbeállításonként (objektumonként) vizsgált idősoros adataira támaszkodva.

4.4.2.2. Konzisztencia vizsgálat másik lehetséges módszere

A számítások konzisztenciájának további ellenőrzésére, ill. az esetlegesen emberi hiba kiszűrésére alkalmazható a műveleti sorrend analógiájára a következő módszer.

Még a nyers füstgáz adatok kerülnek a mérési id alapján kimutatás varázslásra (min, max, átlag, szórás), majd ezen 15 objektum sorszámozása és Y = 1000 paraméterek mellett kerül meghatározásra egy újabb Y0 modell keretében, az ideális beállítás.

Ezen ellenőrzési módszert elegendő rutinos felhasználóként az elsőkörös feltáró elemzés esetén csak akkor megvalósítani, ha a kapott eredmény nem egyezik az

előzetesen elvárttal (vö. tagadás tagadása elv, azaz függvény-szimmetria-alapon létrehozott alternatív szignifikancia-vizsgálat).

Tehát az 5. és 6. id-hoz tartozó beállítás validan (vö. inverz modell eredménye) ideális. A későbbiekben további konzisztencia növelés érdekében érdemes lesz klasszikus szignifikancia vizsgálatot végezni (vö. jövőkép-fejezet), hogy biztosak legyünk benne, hogy a Hasonlóságelemzéssel feltárt fizikai (determinisztikus) rendszer más szempontból is függvényszerű kapcsolatokkal jellemezhető (vö. modell-konzisztencia-maximalizálás elvárása), nem pedig csak a véletlen eredménye az ismertetett eredmények együttállása.

4.5. Az ideális porlasztási levegő térfogatáram közelítése

A 15 vizsgált tüzelési beállítás egyik leíró paramétere a porlasztási levegő térfogatárama. Az korábban bemutatott beállítási id-hoz való (min, max, átlag, szórás) kimutatása alapján meghatározható, hogy a mérési beállítások közül melyik porlasztási levegőáram érték mellett mutatja a rendszer a legnagyobb aggregált jóság indexet.

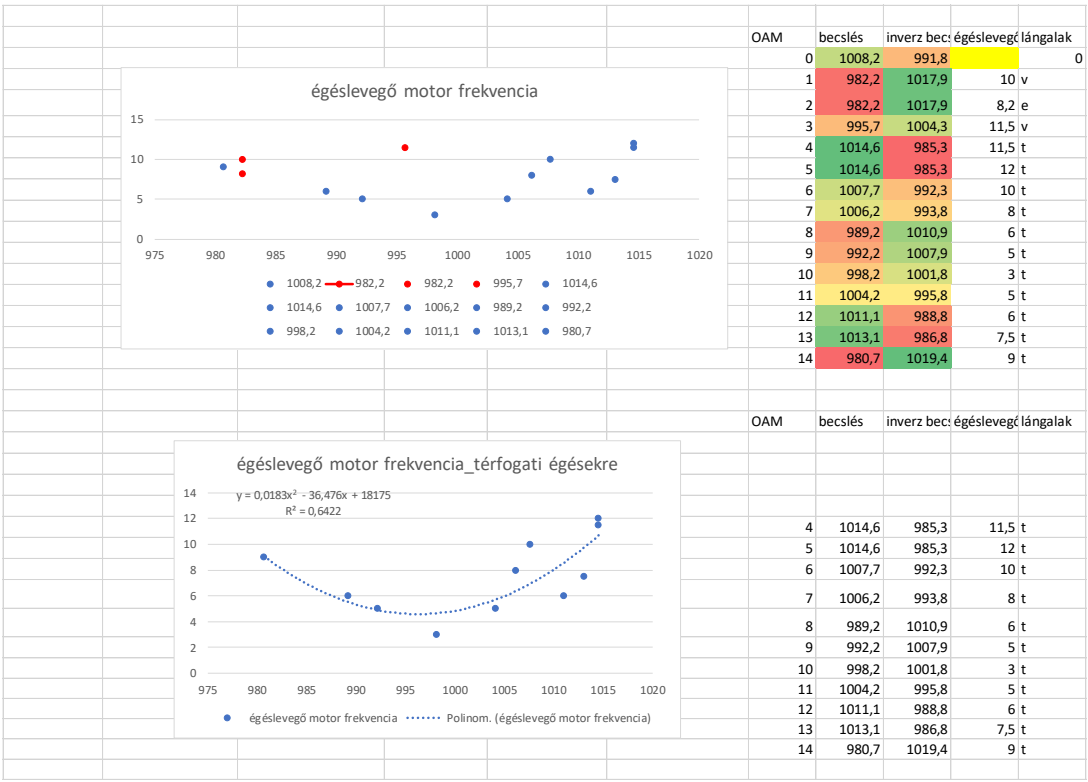
Sorcímkék	Minimum / becslés	Maximum / becslés2	Átlag / becslés3	Szórás / becslés4	Mennyiség / becslés	
0	997812	1001209	999995	613	250	
24	999052	1000647	999962	443	48	
25	998819	999270	999036	111	30	
31	999316	1000918	1000383	425	222	
36	999462	999844	999644	110	42	
41	997799	1000621	999764	521	160	
Végösszeg	**997799**	**1001209**	**1000000**	**590**	**752**	
irány	0	0	0	1		
OAM	Minimum / becslés	Maximum / becslés2	Átlag / becslés3	Szórás / becslés4	Y0	becslés
0	5	1	2	6	1000	999,9
24	3	3	3	4	1000	1000,4
25	4	6	6	2	1000	996,9
31	2	2	1	3	1000	1005,4
36	1	5	5	1	1000	1002,9
41	6	4	4	5	1000	994,4

4-3. ábra: Az ideális porlasztási levegő térfogatáram meghatározása[25]

[25] forrás: saját ábrázolás

A 4-3. ábra jobb szélén a szokásos színkóddal és 1005,4 es jóság indexel a 31 l/perc érték a vizsgált beállítások közül az ideális. A legjobbnak kikiáltott 5. és 6. id-hez is a 31 l/perc értékkel volt a tüzelés beállítva. Ez a vizualizáció a szakértői ráérzés (hövelykujj-szabály-felismerés) robot általi közelítésének egy példája.

4.6. Az égéslevegő motorfrekvencia és az jóságindex közötti összefüggés



OAM	becslés	inverz becs	égéslevegő	lángalak
0	1008,2	991,8		0
1	982,2	1017,9	10	v
2	982,2	1017,9	8,2	e
3	995,7	1004,3	11,5	v
4	1014,6	985,3	11,5	t
5	1014,6	985,3	12	t
6	1007,7	992,3	10	t
7	1006,2	993,8	8	t
8	989,2	1010,9	6	t
9	992,2	1007,9	5	t
10	998,2	1001,8	3	t
11	1004,2	995,8	5	t
12	1011,1	988,8	6	t
13	1013,1	986,8	7,5	t
14	980,7	1019,4	9	t

OAM	becslés	inverz becs	égéslevegő	lángalak
4	1014,6	985,3	11,5	t
5	1014,6	985,3	12	t
6	1007,7	992,3	10	t
7	1006,2	993,8	8	t
8	989,2	1010,9	6	t
9	992,2	1007,9	5	t
10	998,2	1001,8	3	t
11	1004,2	995,8	5	t
12	1011,1	988,8	6	t
13	1013,1	986,8	7,5	t
14	980,7	1019,4	9	t

4-4. ábra: Az égéslevegő motor frekvenciája és a jóságindex közötti parabolikus összefüggés[26]

A fenti ábrán bemutatott két grafikon vízszintes tengelyén a beállítás id-khoz tartozó jóságindexeket, a függőleges tengelyen pedig az égéslevő motorfrekvenciáját ábrázoltam.

A felső ábrán piros pontokkal jelöltem azokat az eseteket, melyek nem térfogati égést jelölnek. A Hasonlóságelemzés outputja alkalmas tehát a következő gyanú generálására: vagyis, hogy a vizsgált értékek valóban térfogati égést vagy más

[26] forrás: saját ábrázolás

jellegű égést szimbolizálnak-e vagy sem. A gyanút magát a függvény-illesztés hívja elő adat-vizualizációs impulzusok formájában[27] (vö. Rosling-animációk). Vagyis itt is fontos utalni rá, hogy a modell-eredményekhez kapcsolódó hermeneutikai alrendszer önálló fejlesztést igénylő kihívás, melyben a klasszikus és az újabb módszertanok hibridizálása történik meg.

Az alsó grafikon a csak térfogati égések jelölő pontokat ábrázoltam, melyek között a másodfokú polinom R^2 = 0.64 kapcsolatot mutat. Érdekesség, hogy a parabola jobb oldalán az ábrázolt pontoknál észrevehető egy kettéválás. Ennek a fizikai magyarázatát még keresem. Természetesen elképzelhető, hogy a véletlen (ill. mérési pontatlanság) eredménye a relatíve kis számú beállítás miatt.

[27] https://miau.my-x.hu/miau2009/index.php3?x=e0&string=rosling

5. A SZIMULÁTOR ÉPÍTÉS FOLYAMATA

Az előző fejezetben tehát levezetésre került a füstgáz adatokból 752 időegységre a jóságindex. Majd ezen jóság indexek aggregációjaként meghatározható volt a beállítások közül melyik az ideális/legjobb.

Ebben a fejezetben a korábban már említett a rendszert monitorozó 19 szenzor adataival először átlagolt nézetben (752 helyett a 15 beállítás) kerül magyarázásra COCO STD modellel

5.1. Termélési függvény 15 objektumra

Sorcímkék	Átlag / F01	Átlag / F02	Átlag / F05	Átlag / P01	Átlag / P02	Átlag / P04	Átlag / P05	Átlag / PT1	Átlag / PT2	Átlag / PT3	Átlag / PT4	Átlag / PT5	Átlag / PT6	Átlag / PT9	Átlag / TC01	Átlag / TC02	Átlag / TC03	Átlag / TC05	Átlag / TC06	Átlag / becslés	becslés
0	52	44	41	42	39	45	47	24	24	25	27	34	35	25	0	24	24	595	60	1000548,533	1008,2
1	51	63	47	42	45	41	46	27	25	25	27	33	36	25	-8	190	123	446	51	999724,603	982,2
2	50	79	60	42	51	39	47	28	25	25	25	28	35	25	-12	298	200	684	68	999036,3567	982,2
3	53	83	60	42	54	38	47	29	25	26	25	28	35	25	-12	258	207	645	72	999961,8583	995,7
4	53	89	60	42	59	38	46	29	25	26	25	28	35	26	-11	228	208	682	77	1000604,967	1014,6
5	53	89	60	42	59	38	46	29	25	26	25	28	35	26	-10	201	208	669	77	1000737,71	1014,6
6	51	90	60	41	59	38	46	29	25	26	25	28	34	25	-10	211	196	673	74	1000264,447	1007,7
7	49	90	61	41	59	38	47	29	25	26	25	28	35	26	-10	246	193	674	73	999861,0333	1006,2
8	48	91	60	40	60	38	47	29	25	26	25	28	35	26	-11	279	194	666	70	999485,2375	989,2
9	47	100	60	40	67	38	47	29	25	26	25	29	35	26	-11	284	199	653	70	999644,1405	992,2
10	47	105	60	39	72	37	47	29	25	26	25	29	35	26	-11	285	201	653	70	999725,05	998,2
11	48	106	60	40	72	37	47	29	25	26	25	29	35	26	-11	281	200	650	72	999784,9375	1004,2
12	49	105	60	40	72	37	47	30	25	26	25	29	35	26	-11	276	201	648	74	999900,025	1011,1
13	50	105	61	40	72	37	47	30	25	26	26	29	36	26	-11	267	203	656	77	999919,3367	1013,1
14	51	94	56	41	64	38	47	30	25	26	26	29	36	26	-11	256	205	605	71	999564,8978	980,7
Végösszeg	**51**	**81**	**55**	**41**	**56**	**39**	**47**	**28**	**25**	**25**	**26**	**30**	**35**	**25**	**-9**	**214**	**166**	**605**	**67**	1000000,222	

irány 0																					
OAM	Átlag / F01	Átlag / F02	Átlag / F05	Átlag / P01	Átlag / P02	Átlag / P04	Átlag / P05	Átlag / PT1	Átlag / PT2	Átlag / PT3	Átlag / PT4	Átlag / PT5	Átlag / PT6	Átlag / PT9	Átlag / TC01	Átlag / TC02	Átlag / TC03	Átlag / TC05	Átlag / TC06	Y_átlag	Becslés
0	4	15	15	6	15	1	2	15	15	15	2	1	7	15	1	15	15	14	14	1000548	1000550
1	6	14	14	4	14	2	13	14	10	14	1	2	1	14	2	14	14	15	15	999724	999724
2	8	13	3	2	13	3	1	13	6	13	7	9	5	13	15	1	8	1	13	999036	999036
3	2	12	4	1	12	5	7	12	8	12	9	15	11	12	14	8	3	12	8	999961	999961
4	3	11	10	5	11	9	15	10	7	11	12	14	8	10	6	11	1	2	3	1000604	1000606
5	1	10	8	3	9	10	14	7	9	7	11	11	12	8	4	13	2	5	1	1000737	1000736
6	5	9	11	7	10	7	12	8	13	9	14	13	15	11	3	12	11	4	5	1000264	1000264
7	10	8	1	9	8	4	3	11	14	10	15	12	14	6	5	10	13	3	6	999861	999861
8	13	7	5	10	7	6	4	9	12	8	13	10	13	7	7	5	12	6	12	999485	999485
9	14	5	9	13	5	11	10	6	11	6	10	8	10	4	13	3	10	9	11	999644	999644
10	15	4	12	15	4	12	11	5	5	5	8	7	6	9	12	2	6	8	10	999725	999725
11	12	1	7	14	1	13	9	4	3	4	6	6	4	1	11	4	9	10	7	999784	999784
12	11	2	6	12	2	14	6	3	4	3	5	5	9	2	10	6	7	11	4	999900	999900
13	9	3	2	11	3	15	5	2	2	2	4	4	3	3	9	7	5	7	2	999919	999919
14	7	6	13	8	6	8	8	1	1	1	3	3	2	5	8	9	4	13	9	999564	999564
hatás	7%	0,03%	7%	7%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	33%	7%	0%	0,001%	100%	
kód	F01	F02	F05	P01	P02	P04	P05	Pt01	Pt02	Pt03	Pt04	Pt05	Pt06	Pt09	TC1	TC2	TC3	TC5	TC6		1,00000
név	égéslevegő térfogatáram	porlasztólevegő térfogatáram	tartály_1 térfogatáram	égéslevegő nyomás	porlasztólevegő nyomás	gáz nyomás	tartály_1 nyomás	égéslevegő hőmérséklet	porlasztólevegő hőmérséklet	perdület beállító levegő hőmérséklet	gáz hőmérséklet	tartály_1 hőmérséklet	tartály_2 hőmérséklet	air main hőmérséklet	égéslevegő előmelegítő fölötti hőmérséklet	égéslevegő előmelegítés szabályzóban a hőmérséklet	áramlásegyenletesítés utáni égéslevegő hőmérséklet	füstgázhőmérséklet az égitér tetején	füstgázhőmérséklet a füstgázventilátor előtt		

5-1. ábra: A termelési függvény 15 objektum esetén[28]

A COCO-STD modell objektumai es esetben a 15 beállítás (kezelés), az attribútumai pedig a 19 szenzoradat beállításonkénti átlaga. A Y-vektor az 1M pontos jóságindex, de az 1000 pontos skálán levezetett aggregált/holtverseny-feloldó index-halmaz is használható lenne a konzisztencia növelésére ellenőrző számításként.

A STD modell eredménye 1-es korrelációban van az Y_átlag vektorral, ami azt jelenti, hogy az átlagos szenzor adatokkal maximálisan lehet magyarázni az

[28] forrás: saját ábrázolás

átlagos emissziós eredményeket, amik most a jóság indexben vannak aggregáltan figyelembe véve. Az 1-es korreláció szinte elvárt ez esetben hiszen fizikai rendszerről van szó.

Az ábra alján lévő színes sor az egyes szenzorok hatását fejezik ki %-os értékben az Y_átlag 1M pontos összegéhez képest. Fontos megjegyezni, hogy a Hasonlóságelemzésnek, ugyan úgy, mint más numerikusan dolgozó számításnak lesznek alternatív eredményei. Így a nagy hatással szereplő szenzor adatok, mint pl.: TC2 égéslevegőt szabályzó rendszer belső hőmérséklete nem feltétlenül kell, hogy legyen valós fizikai kapcsolatban a rendszerrel. Viszont a másik két nagy hatással szereplő szenzor PT01 és TC1 már valós fizikai kapcsolatban áll az emissziós adatokkal. A futás-támogató Y-érzékenyítés (vö. 1M) kiváltja ugyanis a paraméter-oldal puffer-zónáinak kialakulását, melyet mindenkor utólag redukálni kell és lehet a valós hatásmértékek becslése érdekében.

5.2. A füstgáz oxigén tartalmának meghatározása a szenzor adatok alapján

Most, hogy már látható, hogy a szenzoradatokból is levezethető a jóságindex, A következő kérdés, hogy a jóságindexet alkotó egyes gázok mennyisége/koncentrációja milyen korrelációval vezethető le ugyanazon input-mátrixból?

Kimutatás varázslással létrehoztam példaként a beállításonkénti átlagos oxigén tartalmat, majd ennek az 1 milliószorosa lett az új Y vektor – elemzéstechnikai okokból. A 19 szenzor adat átlaga továbbra is változatlan.

Sorcímkék	- Átlag / % O2	adatgyűjtőkről	int Y
0	5,149	0	5148780
1	12,216	4	12215535
2	4,888	4	4888333
3	8,012	8	8012083
4	8,241	8,4	8240784
5	8,715	9	8715476
6	7,311	7,5	7311000
7	5,431	6	5430833
8	3,416	3,4	3415833
9	3,794	3,4	3793571
10	3,897	4	3896666
11	5,204	5	5204166
12	6,050	6	6050000
13	7,128	7	7128000
14	11,447	8	11446956
Végösszeg	7,951928191		

OAM	Átlag / F01	Átlag / F02	Átlag / F05	Átlag / P01	Átlag / P02	Átlag / P04	Átlag / P05	Átlag / PT1	Átlag / PT2	Átlag / PT3	Átlag / PT4	Átlag / PT5	Átlag / PT6	Átlag / PT9	Átlag / TC01	Átlag / TC02	Átlag / TC03	Átlag / TC05	Átlag / TC06	% O2	Becslés
0	4	15	15	6	15	1	2	15	15	15	2	1	7	15	1	15	15	14	14	5148780	5148780,2
1	6	14	14	4	14	2	13	14	10	14	1	2	1	14	2	14	14	15	15	12215535	12215540,4
2	8	13	3	2	13	3	1	13	6	13	7	9	5	13	15	1	8	1	13	4888333	4888330,1
3	2	12	4	1	12	5	7	12	8	12	9	15	11	12	14	8	3	12	8	8012083	8012080,2
4	3	11	10	5	11	9	15	10	7	11	12	14	8	10	6	11	1	2	3	8240784	8240780,2
5	1	10	8	3	9	10	14	7	9	7	11	11	12	8	4	13	2	5	1	8715476	8715478,3
6	5	9	11	7	10	7	12	8	13	9	14	13	15	11	3	12	11	4	5	7311000	7311000,2
7	10	8	1	9	8	4	3	11	14	10	15	12	14	6	5	10	13	3	6	5430833	5430833,2
8	13	7	5	10	7	6	4	9	12	8	13	10	13	7	7	5	12	6	12	3415833	3415833,1
9	14	5	9	13	5	11	10	6	11	6	10	8	10	4	13	3	10	9	11	3793571	3793572,1
10	15	4	12	15	4	12	11	5	5	5	8	7	6	9	12	2	6	8	10	3896666	3896664,1
11	12	1	7	14	1	13	9	4	3	4	6	6	4	1	11	4	9	10	7	5204166	5204168,2
12	11	2	6	12	2	14	6	3	4	3	5	5	9	2	10	6	7	11	4	6050000	6049998,2
13	9	3	2	11	3	15	5	2	2	2	4	4	3	3	9	7	5	7	2	7128000	7127999,2
14	7	6	13	8	6	8	8	1	1	1	3	3	2	5	8	9	4	13	9	11446956	11446958,3
hatás 1A	8%	6%	5%	7%	0%	7%	0%	22%	0%	0%	7%	0%	0%	4%	12%	10%	7%	6%	0%	1	0
hatás_2	7%	0%	7%	7%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	33%	7%	0%	0%		
hatás 1B	5,8%	1,8%	1,7%	5,5%	13,0%	2,0%	1,4%	4,3%	5,8%	4,0%	2,2%	8,2%	8,7%	2,1%	7,9%	3,5%	1,9%	11,4%	8,5%	1	1
1A_2	0,715787358																				

5-2. ábra: A füstgáz oxigén tartalmának meghatározása a szenzor adatok alapján[29]

Eredményként azt kaptuk, hogy az átlagos oxigén szint szintén (vagyis a jóságindex-átlagokhoz hasonlóan) 1-es korrelációval meghatározható. Emellett az előző ábrán bemutatott hatás_2 és az itt kiszámolt hatás között is 0,71-es a korreláció, ami hasonló hatásmechanizmusokra mutat rá.

5.3. Időegységenkénti szimulátor építése

Ez a feladat már informatikai kihívásokat is felvetett, mivel az online megoldás[30] nem adott eredményt a mátrix túl nagy mérete (752 x 19) és az online rendszer önvédelmi szempontból kialakított méretkorlátos jellege miatt. Ahogy már említettem egy korábbi tárgy keretében létrehoztam Wolfram Mathemetica-ban a COCO-STD modell-t, ami most nagy segítségemre volt.

Szemléltetésként az első Y0 modell (752 x 6) 18 mp alatt futott le a szerveren. Míg a saját laptopomon a (759 x 19)-es mátrix ~ 200-200[31] mp-ig futott. A mátrixok méretével exponenciálisan nő a futási idő.

[29] forrás: saját ábrázolás

[30] https://miau.my-x.hu/myx-free/coco/

[31] az alulról és felülről történő közelítés futási ideje (vö. Melléklet)

Eredményként azt kaptam, hogy 0.53-es korreláció van a tény és a becslés között, ha a teljes időintervallumot nézem. Viszont csak a térfogati égésre a korreláció 0.83, amit azt jelenti, hogy nagy pontossággal lehet becsülni minden időegységre a jóságindexet és várhatóan a füstgáz összetételt is a nagy mintát mutató térfogati égésre – akkor is, ha a teljes (nem csak térfogati égést leíró) objektum-halmaz zavaró hatásai is feldolgozásra kerülnek. (Ezt a számítást még mindenképp el fogom végezni a továbbiakban – vö. jövőkép-fejezet további terv-pozíciói a lényegében végtelen modell-lánc-alapú kombinatorikai térben a modell-konzisztencia zavarainak feltárását támogatandó).

5.4. Az égés-rendszer genetikai potenciálja

Az előző pontban kiszámolt STD-modell ahhoz is szükséges, hogy meghatározható legyen a rendszer genetikai potenciálja, amit akkor érhet el a rendszer, ha az eddigi legnagyobb jóságindex-el rendelkező objektumra igaz, hogy nem minden attribútumának sorszáma 1.

Számszerűsítve az eddigi legnagyobb jóságindex 1000918, míg most a lépcsős függvények maximumának összege (S1) 1008774. Tehát lenne még javulási lehetősége a legjobbnak. A genetikai potenciál akkor is becsülhető, ha az eddigi legjobb outputtal rendelkező objektum minden attribútumát illetően a többi objektumhoz képest az 1. helyeken áll, de a becslés értéke a valós Y-nál magasabb értéket mutat (vö. melléklet: a legdrágább eszköz is lehet kedvező ár/teljesítmény-arányú és a legolcsóbb is lehet rel. drága).

Mérnöki szempontból: a felismert ceteris paribus alakzatok Xi és Y között, ill. a genetikai potenciál által kijelölt preferált attribútum-irányok mentén való lépésről lépésre történő elmozdulás adja meg az utat a rendszer-optimum elméleti és valós-idejű közelítéséhez, ahol a jövőkép kapcsán leírt konzisztencia-alakzatok segítenek feltárni a mindenkori lépések (paraméter-változások) értelmezési kockázatait.

5.5. Spektrális adatok termelési függvénye

A spektrális emisszió 100 nm-es felbontásban vett átlagok alapján a 15 beállításra létrehozott termelési függvény 0,87-es korrelációval adja vissza az átlagos jóság indexet.

id_kisérlet	23	34	45	56	67	78	89	910	1011	1011	1112	1213	1314	1415	1516	1617	1718	1819	1920	2021	2122	2223	2324	2425	tény	
0																									1000549	
1	569	3332	2429	605	-486	1180	2070	16960	1317	-1542	-1816	-1473	2403	6217	1637	-346	11821	37528	37864	21644	4944	2315	2524	12186	999725	
2	218	380	1326	4850	9001	13165	8030	4652	1090	43	375	779	2553	4357	3304	2844	6795	15205	15527	11226	4266	2156	2140	4841	999036	
3	261	1463	966	330	-60	820	4	1018	-50	-609	-653	-538	1888	4001	1185	210	7623	24327	25773	16316	4454	2866	2414	8857	999962	
4	25	-399	-480	-1446	-2350	-1361	-2015	959	-2239	105	148	143	1413	2404	1039	1032	5433	16857	18488	10409	4202	3159	3225	6967	1000605	
5	2	629	527	-860	-1739	-838	-1641	755	-1666	104	152	141	1667	2856	1146	1007	6112	19355	21050	11767	4261	3090	3239	7824	1000738	
6	44	662	677	312	145	525	154	285	175	-303	-289	-219	1169	2212	915	948	5709	17825	19685	11474	4911	3671	3499	7123	1000264	
7	42	374	435	245	104	824	254	1008	195	-59	5	34	2491	4530	1948	1617	9637	29559	31776	19308	7095	4931	4906	11396	999861	
8	-5	-150	-227	-424	-635	100	-292	1371	-348	633	744	649	2510	4148	2042	1870	7959	23697	25567	15199	5818	4301	4428	9633	999485	
9	-153	-916	-1160	-1438	-1809	-950	-1226	1599	-1246	472	568	501	2528	4230	1969	1810	8527	26091	28230	16377	6113	4434	4579	10404	999644	
10	-317	-1515	-1991	-2806	-3579	-2753	-2914	944	-2827	310	375	340	1961	3290	1559	1565	7091	21732	23713	13587	5525	4169	4190	8854	999725	
11	-490	-2305	-3120	-4691	-6128	-5003	-5518	-79	-5303	322	383	343	1597	2625	1299	1368	5732	17464	19108	10923	4723	3692	3695	7325	999785	
12	-949	-3484	-4555	-6882	-8914	-8018	-8756	-3823	-8290	-891	-836	-711	588	1232	227	363	4879	16665	18369	9919	4444	3331	3107	6635	999900	
13	-2130	-8478	-10277	-12717	-15579	-15322	-16123	-12723	-15057	-492	-388	-185	752	908	377	495	3183	10265	11298	6226	2997	2553	2581	4435	999919	
14																									999565	
																									korell	0,8705935
	23	34	45	56	67	78	89	910	1011	1011	1112	1213	1314	1415	1516	1617	1718	1819	1920	2021	2122	2223	2324	2425	tény	becslés
1	1	1	1	2	5	2	2	1	1	13	13	13	5	1	5	13	1	1	1	1	5	12	11	1	999725	999739,3
2	3	5	2	1	1	1	1	2	2	7	5	1	1	3	1	1	7	12	12	9	10	13	13	12	999036	999050,3
3	2	2	3	3	4	4	5	5	5	11	11	11	7	6	8	12	5	4	4	4	8	10	12	5	999962	999976,3
4	6	8	8	9	9	9	9	7	9	5	7	6	10	10	10	7	11	10	10	11	12	8	8	10	1000605	1000484,3
5	7	4	5	7	7	7	8	9	8	6	6	7	8	8	9	8	8	7	7	7	11	9	7	7	1000738	1000752,3
6	4	3	4	4	2	5	4	10	4	9	9	10	11	11	11	9	10	8	8	8	6	6	6	9	1000264	1000505,8
7	5	6	6	5	3	3	3	6	3	8	8	8	4	2	4	4	2	2	2	2	1	1	1	2	999861	1000247,3
8	8	7	7	6	6	6	6	4	6	1	1	2	3	5	2	2	4	5	5	5	3	3	3	4	999485	999716,3
9	9	9	9	8	8	8	7	3	7	2	2	3	2	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	999644	999795,8
10	10	10	10	10	10	10	10	8	10	4	4	5	6	7	6	5	6	6	6	6	4	4	4	6	999725	999716,3
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	3	3	4	9	9	7	6	9	9	9	10	7	5	5	8	999785	999716,3
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	12	13	11	12	11	11	12	9	7	9	11	999900	999469,8
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	10	10	9	12	13	12	10	13	13	13	13	13	11	10	13	999919	999479,3

5-3. ábra: A spektrális adatok termelési függvénye[32]

[32] forrás: saját ábrázolás

6. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

6.1. Eredmények

1. a robot képes idealitás indexet számolni
2. a robot képes beállítások idealitását rangsorolni, azaz mesterséges intelligencia alapú fogalomalkotásokat létrehozni vö. idealitás, rangsorolás
3. a robot képes egyedi jelenségek (v_porl) hatásmechanizmusát letapogatni
4. a robot képes gyanúgenerálásra vö. térfogati égés igen/nem
5. a robotszakértő képes optimum függvények meghatározására (további gyanúk vélelmezésére)
6. a robot képes hibátlan modell keretében hatásmértékeket levezetni
7. a robot képes hibátlan termelési függvényeket létrehozni a gázelegyre és komponenseire külön - külön
8. a termelési függvények hatásmechanizmusai az elvárásoknak megfelelően nagyon hasonlóak
9. a robot képes szimulátort építeni a szenzoradatokból (hőmérséklet, nyomás, térfogatáram)

ebből a gázösszetételt meghatározni, azaz nem kell füstgáz analízis

10. alapvetően determinisztikusnak tűnik a rendszer az elvárásoknak megfelelően, ami tehát gyanúként merül fel az lehet mérési hiba, inhomogén összehasonlítás
11. a robot képes jelezni, hogy a rendszer genetikai potenciálját még nem érte el

6.2. Javaslatok/Következtetések/Tanulságok

A feladat elkészítése során levont tanulságok összefoglalása. Javaslattétel, továbbfejlesztési lehetősége bemutatása, előretekintés a jövőbe.

Amennyiben a spektrális adatok hasonló időpecsétek (folytonosság) mentén kerülnek majd mérésre, mint ahogy a gázkoncentrációk és/vagy hőmérsékleti, nyomás, stb. jelenségek adatai, akkor nem csak a gázelegy-koncentrációk minimalizálása kapcsán lehet majd idealitás-indexet számolni, hanem spektrális adatok alapján is, mely két közelítés kapcsán éppúgy erős korreláció várható el (vö. konzisztencia-orientált hasonlóságelemzési modell-láncok), mint ami már jelenleg is adott az idealitás-indexek átlagértékeit beállításonként becslő spektrális inputok sávonkénti átlagai esetében.

A konzisztencia-alapúság nem csak a párhuzamos idealitás-index-értelmezésekben jelenik meg majd a jövőben, hanem ott is: hogy a gázelegy koncentrációkat gázfajtánként lehet becsülni a hőmérsékleti, nyomás, stb. adatok alapján, s hasonlóképpen önálló modellekkel a spektrális adatok alapján is, ami immár további két idealitás-index-számítást tesz lehetővé – ismét csak magas korrelációkat elvárva mind a 4 index-modell értékei között – mint egymást fizikai jelenségek esetén erősíteni kényszerülő kaleidoszkóp-nézetek esetén.

A klasszikus modellezésben, ahol általában véve nincs nem-tudom-rendszerválasz, s alapvetően csak egy modell készül a főkérdés kapcsán, a hasonlóságelemzés-alapú modell-láncok eleve függvény-szimmetria-alapon context free minőségbiztosításon esnek át, s emellett kontextus függően a rész-egész kapcsolatok mentén további egymást erősítő logikai érvek vezethetők le a modell-lánc egységes, konzisztens értelmezését illetően. A konzisztencia-alakzatokban felismerhető anomáliák is vezethetnek a rendszerszintű nem-tudom-válaszhoz, ami egyben arra a kérdésre, hogy adott mérési adatok kellően minőségien lettek-e meghatározva is választ ad: ha egy fizikai jelenség kapcsán a rendelkezésre álló jelenségek (n) közül 1-et kiragadva és ezt az (n-1) jelenség alapján modellezve nem kapunk kvázi minden esetben kvázi tetszőlegesen pontos ellenmodelleket, akkor ott a nyers adatok vélhetően nem kellően robosztusok – feltételezve, hogy a legtöbb ilyen kombinatorikailag létezhető

modellréteg robosztus, azaz a jelenség alapvető összefüggéseit a robot képes volt jól közelíteni.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

[1] Józsa, Viktor; Hidegh, Gyöngyvér; Kun-Balog, Attila; Ng, Jo-Han; Chong, Cheng Tung, Ultra-low emission combustion of diesel-coconut biodiesel fuels by a mixture temperature-controlled combustion mode, ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT 214 p. 112908 Paper: 112908 (2020)

[2] Gy. Hidegh, "Diffúzorok alkalmazásának hatása előkeveréses égők károsanyag kibocsátására," in Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tudományos Diákköri Konferencia, 2016

[3] J. Ballester és T. García-Armingol, "Diagnostic techniques for the monitoring and control of practical flames," Prog. Energy Combust. Sci., vol. 36, pp. 375–411, 2010.

[4] Dobó Andor, 'A hasonlóságelmélet alkalmazása a Joker rendszerben', Prodinform, 62 oldal, 1992

[5] Pitlik Marcell (2017) MIAÚ ID_24041 Internet: http://miau.my-x.hu/miau/224/gdkop/1Jad4wiga3.pdf , Utoljára letöltve: 2020.10.27.

[6] Józsa, Viktor, Bemutatkoznak az ÚNKP ösztöndíjasok | Dr. Józsa Viktor | GPK, https://youtu.be/PAKoc_onuhQ?t=828 , Utoljára letöltve: 2020.10.27.

[7] Pitlik László, Pitlik Marcell, Pitlik László (jun), Pitlik Mátyás (2018) MIAÚ ID_24142 Internet: http://miau.my-x.hu/miau/233/kvant_monitoring_v5.docx , Utoljára letöltve: 2020.10.27.

[8] Pitlik László, Pitlik Marcell, Pitlik László (jun), Pitlik Mátyás (2019) MIAÚ ID_24280 Internet: https://miau.my-x.hu/miau/253/traffic-simulations.docx , Utoljára letöltve: 2020.10.27.

[9] A. G. Gaydon D.Sc., F.R.S. (auth.) - The Spectroscopy of Flames-Springer Netherlands (1974)

[10] Ayush Jain, Yejun Wang, Waruna D. Kulatilaka, Simultaneous imaging of H and OH in flames using a single broadband femtosecond laser source, Proceedings of the Combustion Institute, 2020,

[11] Galley, David & Pilla, Guillaume & Lacoste, Deanna & Pai, David & Ducruix, Sébastien & Lacas, F. & Veynante, Denis & Laux, Christophe, Plasma-Enhanced Combustion of a Lean Premixed Air-Propane Turbulent Flame using a Nanosecond Repetitively Pulsed Plasma. 10.2514/6.2005-1193., (2005)

[12] S.L. Sheehe and S.I. Jackson. "Identification of species from visible and near-infrared spectral emission of a nitromethane-air diffusion flame." Journal of Molecular Spectroscopy, Vol. 364, pp. 1111 85, 2019.

[13] S. Tronci, R. Baratti, A. Servida, Monitoring pollutant emissions in a 4.8MW power plant through neural network, Neurocomputing, Volume Issues 1–4, 2002

[14] Xiaobin Hu, Peifeng Niu, Jianmei Wang, Xinxin Zhang, Multi-objective prediction of coal-fired boiler with a deep hybrid neural networks, Atmospheric Pollution Research, Volume 11, Issue 7, 2020

[15] Guotian Yang, Yingnan Wang, Xinli Li, Prediction of the NOx emissions from thermal power plant using long-short term memory neural network, Energy, Volume 192, 2020

[16] G. Ronquillo-Lomeli, Carlos E. Romero, Zheng Yao, Fengqi Si, R. Coria-Silva, F. Hernandez-Rosales, José L. Sanchez-Gaytan, A. Trejo-Morales, On-line flame signal time series analysis for oil-fired burner optimization, Fuel, Volume 158, 2015

7. MELLÉKLETEK

7.1. A COCO matematikájának részletes bemutatása

A COCO részletes bemutatását itt a mellékletben a korábbi publikációs tapasztalatok alapján tűnik hasznosnak felvállalni annak érdekében, hogy a módszertan iránti mélyebb érdeklődés információ-igényeit is le lehessen fedni. Az alábbi dokumentáció adja az alapját a saját fejlesztésű Wolfram Mathematica alkalmazásnak.

7.1.1. PÉLDA A COCO-STD MODELLEN KERESZTÜL

Az alábbiakban bemutatásra kerül a leggyakrabban oktatási célra használt modell-demonstráció annak érdekében, hogy a hasonlóságelemzés, mint olyan a mérnöki kihívások kapcsán azonnal részévé válhasson az Olvasó értelmezési intervallumának:

7.1.1.1. A cél:

A következőkben egy Excelben készült mintát mutatok be részletesen a COCO-STD modellre.

Szeretnénk pl. egy közbeszerzés keretében hűtőgépeket vásárolni, ahol fontos, hogy a közösség pénzét megfelelően költsük el. Vagyis a lehető legjobb ár/érték-arányú hűtőt válasszuk ki.

Egy előzetes szűrés után, ami a következőket tartalmazhatja:

- befoglaló méret, hogy elférjen a tervezett helyen,
- hűtőkapacitás nagyságrendje: 170–210 liter között,
- stb.

A példában 10 hűtőt választottunk ki, melyek funkciójukban már mind megfelelnek, és ezek között keressük a legjobb ár/érték-arányú hűtőt.

A hűtők paraméterei a következő linken érhetők el:

https://www.arukereso.hu/hutoszekreny-fagyaszto-c3168/fn:termekek-osszehasonlitasa:zanussi-zrb33103wa-p272930431,gorenje-rk4172anx-p408880113,beko-rcsa-330k31-w-p359309879,gorenje-rk4172anw-p408615135,indesit-lr7s2w-p341919636,indesit-lr6-s2-x-p347571984,indesit-lr6-s2-w-p347571982,beko-csa270m30w-p383036065,candy-cm-3354-x-p421328934,candy-cm-3354-w-p421328928/

A hűtők paraméterei közül az alábbi hetet (6+1) választottuk ki a példaszámításhoz (első sor).

Név	Éves energiafogyasztás (kWh/év)	Fagyasztó rekeszek száma (db)	Hűtő polcok száma (db)	Nettó hűtőtér (liter)	Nettó fagyasztótér (liter)	Fagyasztó teljesítmény (liter/óra)	Ár (Ft)
Zanussi ZRB33103WA	231	3	3	198	111	4	99900
Gorenje RK4172ANX	248	3	4	208	74	3	87900
Beko RCSA-330K31 W	229	3	3	197	95	5	94990
Gorenje RK4172ANW	248	3	3	208	74	3	83900
Indesit LR7S2W	232	3	4	196	111	5	87989
Indesit LR6 S2 X	209	2	3	196	75	4	87900
Indesit LR6 S2 W	209	2	4	196	75	4	84900
Beko CSA270M30W	219	3	3	175	87	3.5	79990
Candy CM 3354 W	204	3	4	188	74	5	89900
Candy CM 3354 X	190	3	4	188	64	3	84890

7-1. ábra: A vizsgált hűtők valós paraméterei

7.1.1.2. Általános adatstruktúra

	X1	X2	.	.	.	XM	Y
O1							Y1
O2							Y2
.							.
.							.
.							.
ON							YN

7-2. ábra: Az általános adatstruktúra

Az általános adatstruktúrában a hűtők nevét helyettesítjük O_1 - O_n (sorvektor) névvel, ahol az O az objektumra utal.

Az objektumok attribútumait pedig $X_1 - X_m$ (oszlopvektor) jelöljük. Az X_i oszlopvektorok együttesen értelmezhetőek egy n*m es mátrixként.

Az Y vektor tartalmazza minden esetben az X_i vektorok „összegét”.

7.1.1.3. Általános adatstruktúra feltöltése

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
O1	231	3	3	198	111	4	99900
O2	248	3	4	208	74	3	87900
O3	229	3	3	197	95	5	94990
O4	248	3	3	208	74	3	83900
O5	232	3	4	196	111	5	87989
O6	209	2	3	196	75	4	87900
O7	209	2	4	196	75	4	84900
O8	219	3	3	175	87	3.5	79990
O9	204	3	4	188	74	5	89900
O10	190	3	4	188	64	3	84890

7-3. ábra: Az általános adatstruktúra feltöltése a vizsgált jelenség adataival

Az Objektumok és Attribútumok neve került helyettesítésre.

7.1.1.4. Rangsorolás

A célunk, hogy az Y_i értékeket minél pontosabban közelítsük a most bevezetésre kerülő változók összegeként.

A 3. ábra oszlopai még különböző mértékegységűek, így nem lehet velük műveletet végezni. Hiszen esetünkben az összegük nem adna Ft mértékegységet. Ezért szükség van egy fajta normálásra. Ez lesz a sorszámozás/rangsorolás.

7.1.1.5. A rangsorértékek meghatározása

A rangsorértékeket úgy határozzuk meg, hogy attribútumonként (oszloponként) figyelembe vesszük a versengő objektumok közötti relatív előnyöket. Pl.: minél kisebb a hűtő éves fogyasztása, annál jobb, vagy minél nagyobb a nettó hűtőtér, annál jobb. Vagyis minden oszlop esetében 1-től m-ig rangsokoat osztunk ki, ahol az 1. helyezést a számunkra legjobb érték jelenti.

Így pl.: Az $O_{10}X_1$ cella 190-es értéke kapja a 1-es rangsorszámot a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** alapján.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
O1	7	1	6	3	1	4	99900
O2	9	1	1	1	7	8	87900
O3	6	1	6	4	3	1	94990
O4	9	1	6	1	7	8	83900
O5	8	1	1	5	1	1	87989
O6	3	9	6	5	5	4	87900
O7	3	9	1	5	5	4	84900
O8	5	1	6	10	4	7	79990
O9	2	1	1	8	7	1	89900
O10	1	1	1	8	10	8	84890

7-4. ábra: A rangsorszámozás eredménye

7.1.1.6. Súlyok/változók bevezetése

Az előző lépésben létrehoztunk n*m db rangsorszámot. Most ezek felhasználásával nevezünk el n*m db változót/súlyt, amiknek az értékét később határozzuk meg úgy, hogy soronként a súlyok összege minél közelebb legyen Y_i-hez, az egyes Objektumok árához.

A súlyok neve az attribútum és rangsor alapján kerül kialakításra. Pl.: $O_{10}X_1$ érték változójának neve X1S1 lesz, hiszen 1-es rangsorszámot kapott.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
O1	X1S7	X2S1	X3S6	X4S3	X5S1	X6S4	Y1
O2	X1S9	X2S1	X3S1	X4S1	X5S7	X6S8	Y2
O3	X1S6	X2S1	X3S6	X4S4	X5S3	X6S1	Y3
O4	X1S9	X2S1	X3S6	X4S1	X5S7	X6S8	Y4
O5	X1S8	X2S1	X3S1	X4S5	X5S1	X6S1	Y5
O6	X1S3	X2S9	X3S6	X4S5	X5S5	X6S4	Y6
O7	X1S3	X2S9	X3S1	X4S5	X5S5	X6S4	Y7
O8	X1S5	X2S1	X3S6	X4S10	X5S4	X6S7	Y8
O9	X1S2	X2S1	X3S1	X4S8	X5S7	X6S1	Y9
O10	X1S1	X2S1	X3S1	X4S8	X5S10	X6S8	Y10

7-5. ábra: A súlyok elnevezése a sorszámozás alapján

7.1.1.7. Célfüggvényképzés

Soronként úgy keressük a súlyok értékét, hogy azok összegével becsülve az az objektumok árát, azok minél kisebb mértékben térjenek az eredeti ártól, vagyis vesszük a tény és a becslés négyzetes hibaösszegét, és ezt minimalizáljuk.

A célfüggvény a következő:

$$min \sum_{i=1}^{n} \left(\left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) - Y_i \right)^2$$

ahol l_j a j-edik attribútumhoz tartozó lépcsős függvény, aminek az O_i helyen felvett értékét vesszük.

7.1.1.7.1 A minimalizálást a következő korlátozó feltétel mellett végezzük

A rangsorolásnál figyelembe vett relatív versenyelőnyöket ezen a ponton vesszük figyelembe, vagyis attribútumomként, minden súlyra/változóra teljesülnie kell annak, hogy kisebb sorszámhoz nagyobb egyenlő súlyt rendelünk, mint egy nagyobb sorszámhoz. Pl.: egy kevesebbet fogyasztó hűtő fogyasztásra vonatkozó becsült értéke nem lehet kevesebb, mint egy nála többet fogyasztó hűtő, hiszen ezt a technikát, hogy jobb a hatásfoka meg kell fizetnie.

$$K_j S_n \geq K_j S_{n+1}$$

Illetve, mivel pozitív számot keresünk, így kikötjük, hogy minden súly értéke legyen pozitív vagy 0.

7.1.1.8. Eredmény

$$\Delta Y_{\boldsymbol{i}} = Y_i - \sum_{j=1}^{m} l_j(O_i)$$

A minimalizálás eredménye egy n*m-es mátrix lesz, ahol minden súly/változónak meglesz az értéke. Számunkra viszont az ezen értékekből az eredeti árhoz (Y vektorhoz) képesti különbség jelenti a végső eredményt, hogy melyik az a hűtő, amelyiket olcsóbban adnak ahhoz képest, hogy mit tartalmaz.

7.1.1.9. Online verzió

A jelenleg online elérhető megvalósítás mögött egy olyan LP motor fut, ami nem ismeri a szorzás műveletet ebből következően a hatványozást sem, ezért szükség volt a négyzetes hiba definiálása helyett egy másik megoldásra, ami

hasonló/ugyan azon eredményre jut, mint ha négyzetes hibával számoltunk volna.

A módszer alapgondolata, hogy egyszer felülről, egyszer alulról közelítjük a súlyok értékét, majd a kapott két eredményt átlagoljuk.

7.1.1.9.1 MINIMUM (alulról közelítés)

A célfüggvény ez esetben:

$$min \sum_{i=1}^{n} \left(\left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) - Y_i \right)$$

Az eddigi korlátozó feltételek mellet lesz még egy új.

A soronkénti eltérésre adunk korlátozást:

$$\left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) - Y_i \geq 0$$

$$Y_{i,becs} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) - Y_i \geq 0$$

Vagyis a becsült $Y_{i,becs}$-nek nagyobb egyenlőnek kell lennie, mint az Y_i és így minimalizálom a két Y vektor közötti eltérést.

7.1.1.9.2 MAXIMUM (felülről közelítés)

A célfüggvény ez esetben:

$$min \sum_{i=1}^{n} \left(Y_i - \left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) \right)$$

Az eddigi korlátozó feltételek mellet lesz még egy új.

A soronkénti eltérésre adunk korlátozást:

$$Y_i - \left(\sum_{j=1}^{m} l_j(O_i) \right) \geq 0$$

Vagyis a becsült $Y_{i,becs}$-nek kisebb egyenlőnek kell lennie, mint az Y_i és így minimalizálom a két Y vektor közötti eltérést.