

Tüzelésmodellek értékelése ammónia esetén

Név: Gyöngyösi Márton

E-mail cím: gyongyosimarton78@gmail.com

Telefonszám: +36 30 787 4451

Intézmény neve: Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem

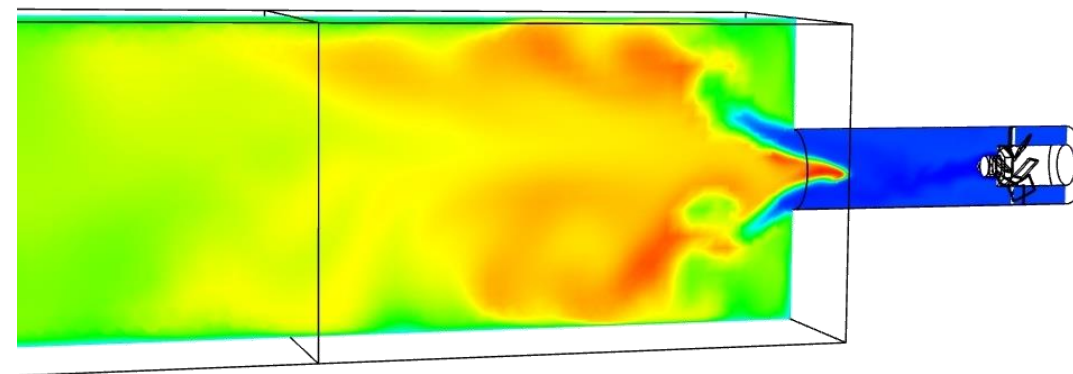
Tanszék: Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Konzulens neve: Füzesi Dániel

E-mail cím: fuzesi.daniel@gpk.bme.hu

Motiváció:

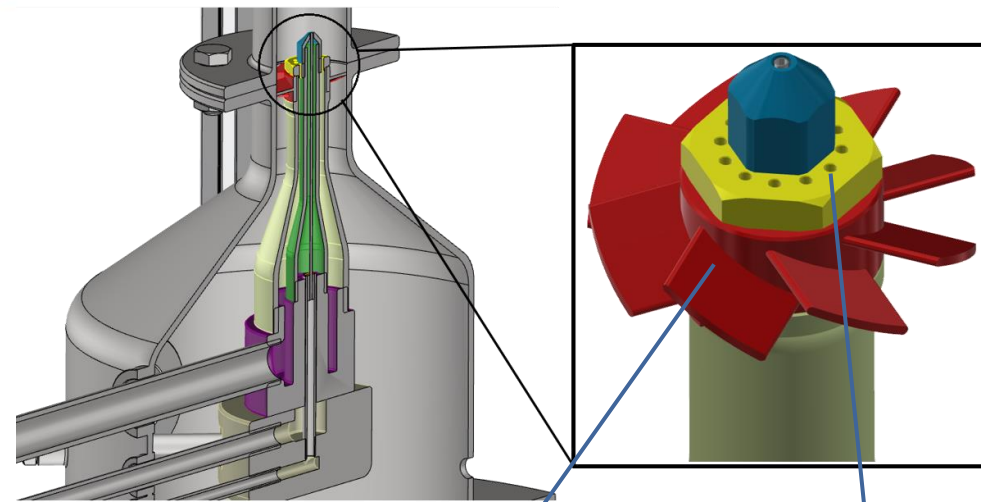
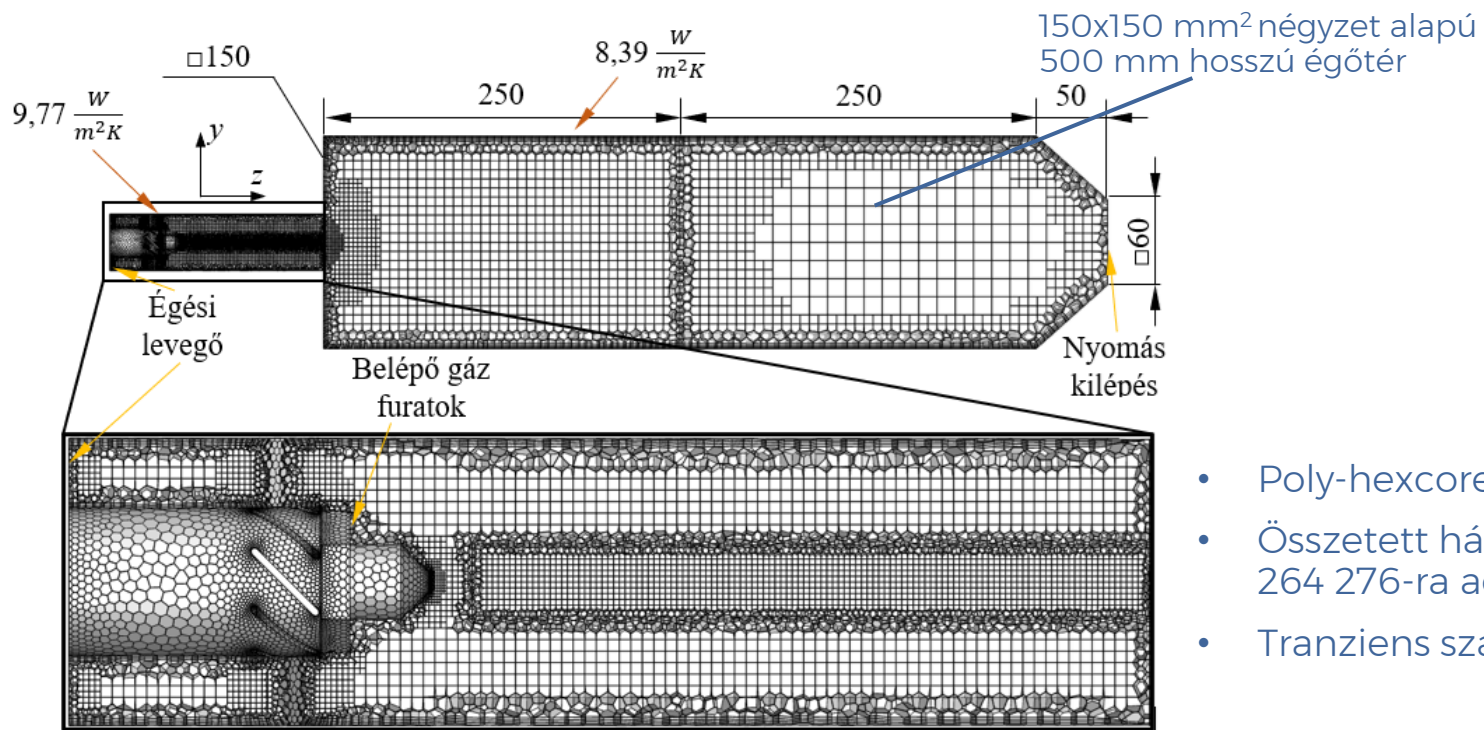
- Fenntartható, zöld energiatermelés
- Karbonsemleges ammónia potenciális helyettesítője lehet a hagyományos tüzelőanyagoknak.
- Tüzelésének szimulációja kevésbé fellelhető az irodalomban egyszerűsített modellekkel.
- A turbulens égésre vonatkozó egyszerűsített modellek korlátozottan használhatók, melyek nem ismertek sem specifikusan, sem általánosan.



Célkitűzések:

- Tüzelésmodellek összehasonlítása (PDF alapú egyszerű modell, Eddy Dissipation Concept, Flamelet Generated Manifold modellek) és vizsgálata tiszta ammónia tüzelésére fókuszálva egy szegényen előkevert perdületes kísérleti égőberendezésben.
- Ammónia oxidációra vonatkozó reakciómechanizmusok vizsgálata.
- 3D-s, robusztus numerikus modell felépítése → számítási kapacitás minimalizálása
- Modellvalidáció

Geometria, numerikus modell felépítése

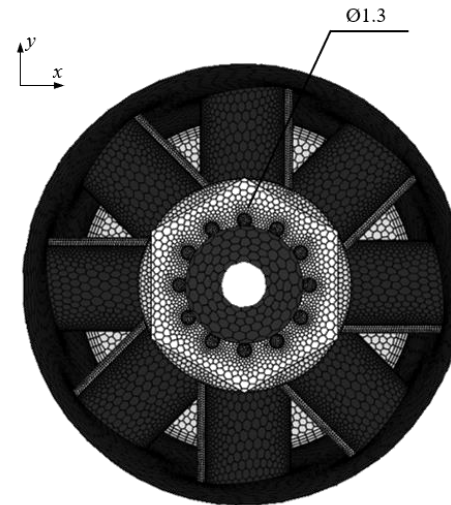


45° lapátszögű perditőelem,
40 mm külső, 21 mm agyátmérő

Gázfúvókák

- Falak: harmadfajú hőtani peremfeltételek
- Belépés: tömegáram
- Kilépés: Pressure outlet, környezeti nyomás (1 bar)
- Discrete Ordinates sugárzási modell, közeg sugárzásának figyelembe vétele a weighted-sum-of-gray-gases modell segítségével
- Hőmérsékletfüggő anyagjellemzők

- Poly-hexcore 3D háló
- Összetett hálófüggetlenségi vizsgálat alapján a végső cellaszám 264 276-ra adódott.
- Tranziens számítás → Courant szám < 1

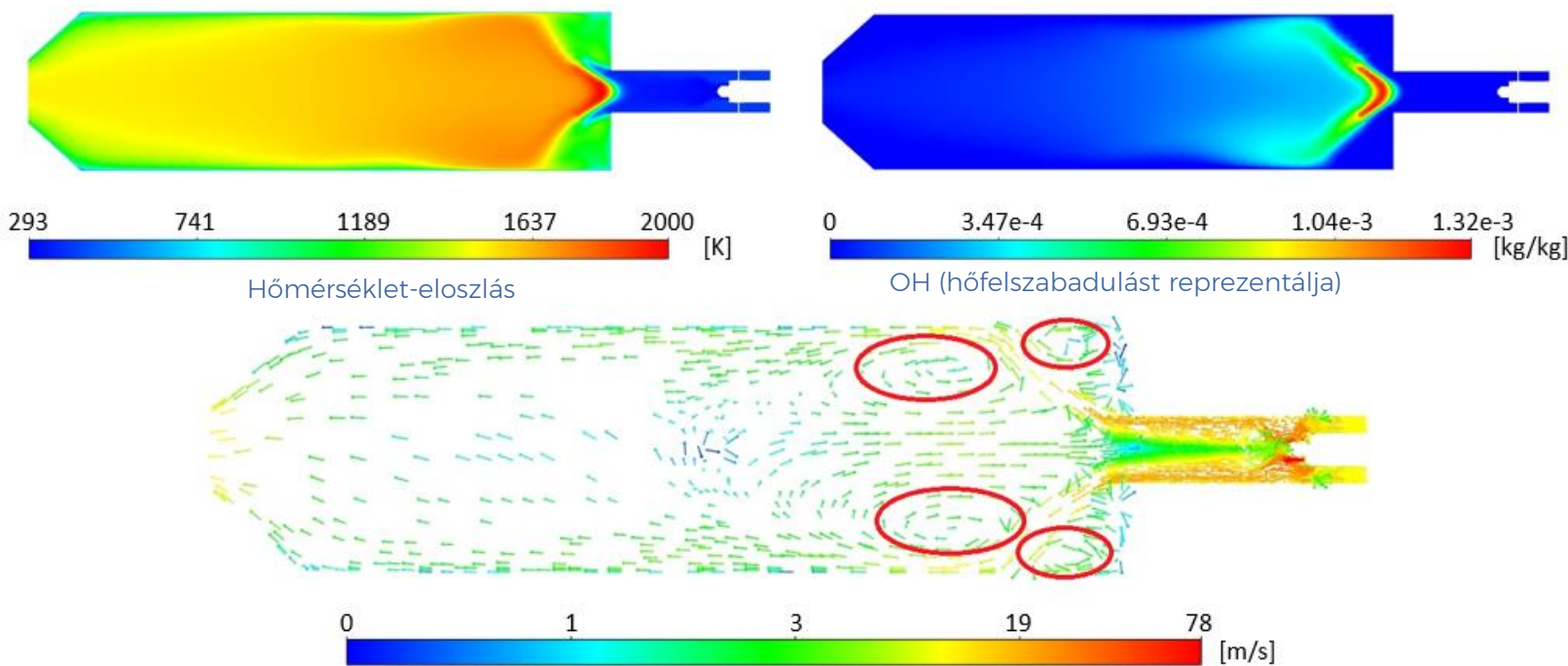


- Tüzelési teljesítmény:
 $\dot{Q} = 15 \text{ kW}$
 $\dot{m}_{\text{tüzelőanyag}} = 0,8065 \text{ g/s}$
- $\dot{m}_{\text{levegő}} = 6,98 \text{ g/s}$

C-egyenleten alapuló tüzelésmodell

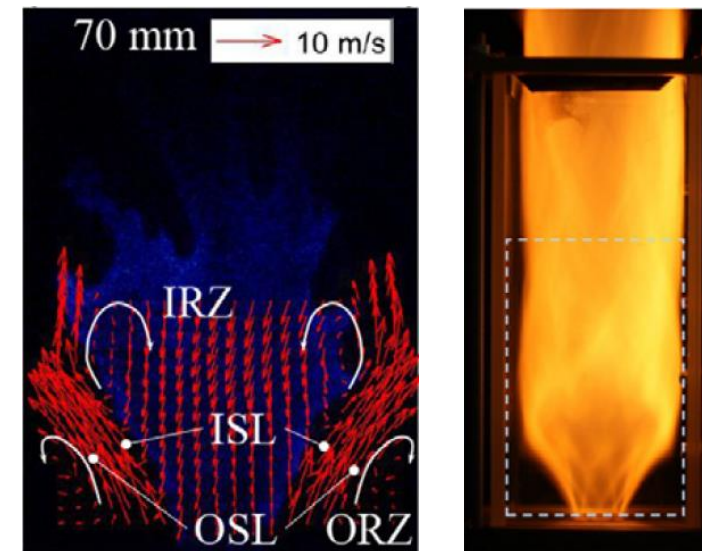
- Számítások elvégzése Ansys Fluent szoftverkörnyezetben
- Legegyszerűbb modell: Partially Premixed PDF alapú modellje
- Kis számítási kapacitásigény

Eredmények, időátlagolt eloszlások a középsíkon:



Sebességvektorok a sebesség amplitúdó szerint színezve. A jelölt zónák a külső (ORZ), illetve belső recirkulációs zónák (IRZ) kialakulásának helyei megegyeznek a mérésnél tapasztalt zónákkal.

Validáció: ugyanazon bemeneti paramétereket tartalmazó, hasonló geometriájú, irodalmi mérések [1] alapján.



OH eloszlás

Lángkép

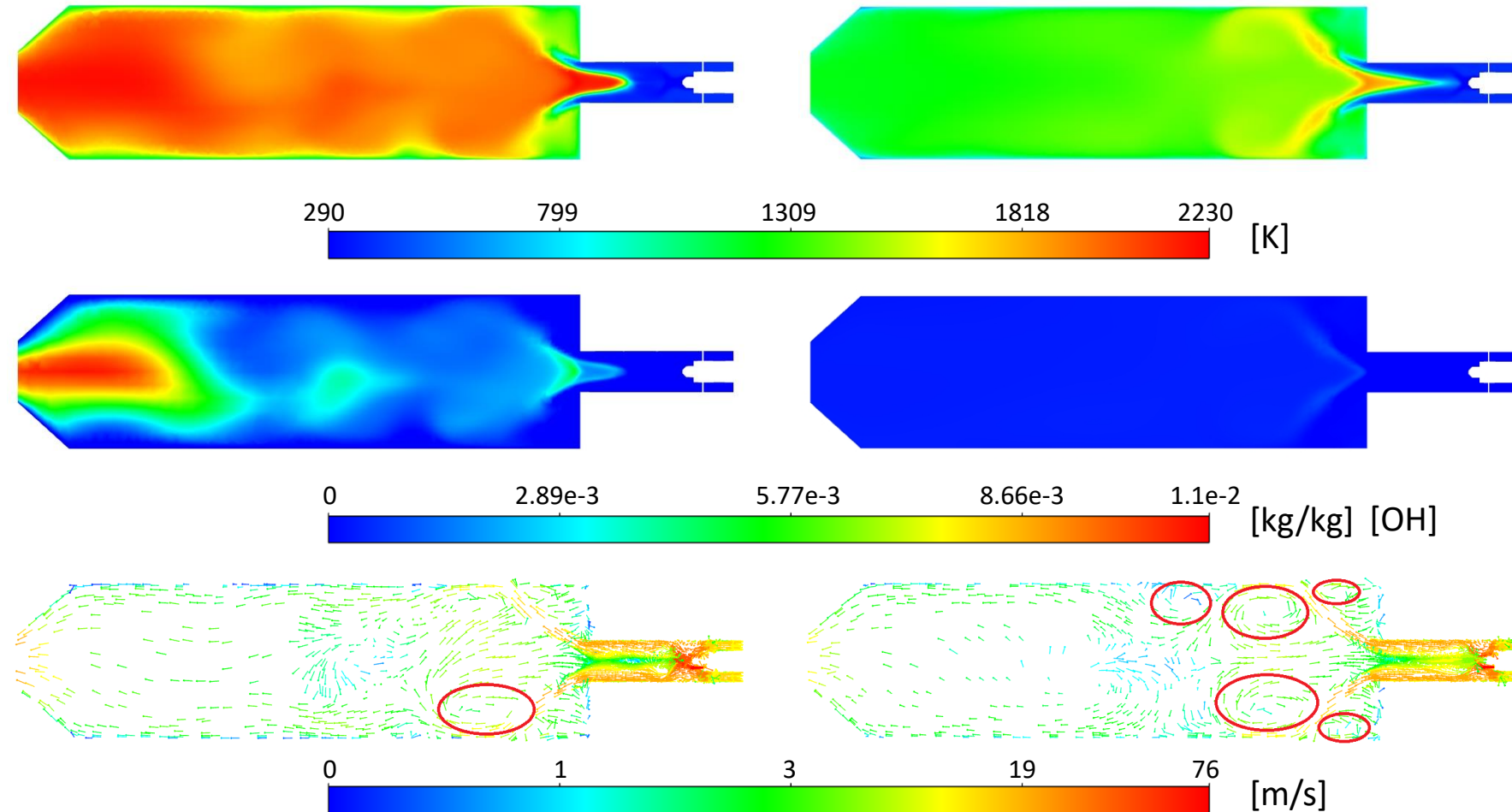
Következtetések:

- A hőmérséklet értékeket túlbecsli a modell, ugyanakkor a hőfelszabadulás lokációja pontos
- Az NO_x kibocsátása nem szimulálható a modellel.
- Lamináris lángsebesség ismerete szükséges, mely ammónia-metán keveréke esetén problémás

EDCM és FGM modell tranziens eredményeinek összehasonlítása Glarborg reakciómechanizmusa esetén

EDCM

FGM

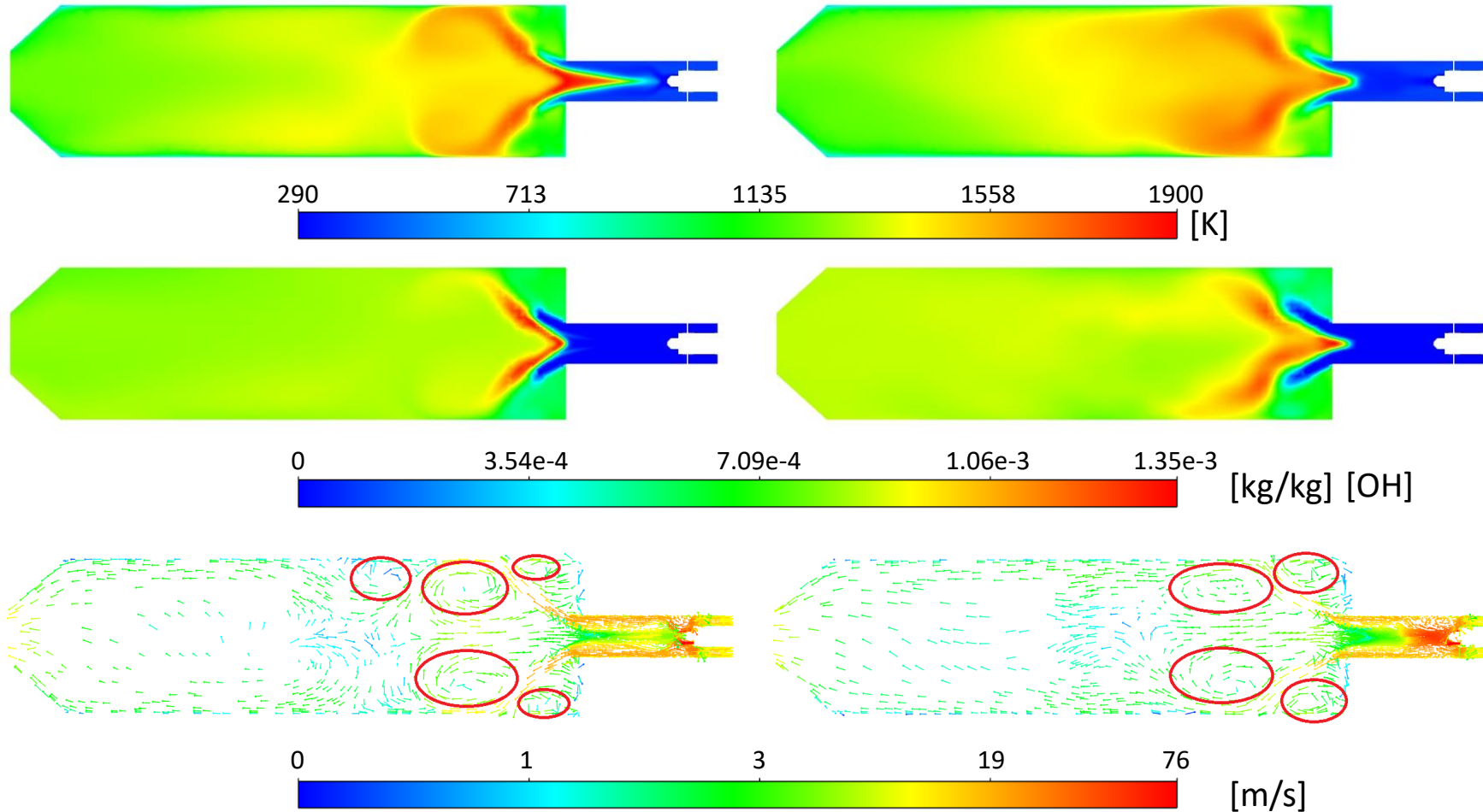


- EDCM modell: minden egyes komponensre transzport egyenleteket old meg
- FGM modell: reakciómechanizmus alapján PDF-et hoz létre, így gyorsabb mint az EDCM.
- EDCM modell esetén a keverék az égőtér végén újra gyullad, ami helytelen. Továbbá csak 1 recirkulációs zóna alakul ki.
- FGM modell esetén a gyulladás kezdőpontja nem ugyanoda tehető OH és hőmérséklet-eloszlás alapján, egy extra recirkulációs zóna is jelen van.
- Összeségében az FGM modell pontosabb, összevetve a mért értékekkel. Ezen felül az eredmények is gyorsabban adódnak. Így a reakciómechanizmusok vizsgálata a következő feladat.

Reakciómechanizmusok összevetése FGM modell esetében

Glarborg

Okafor



- A Glarborg reakciómechanizmus mellett az Okafor reakciómechanizmust vizsgáltam. OH és hőmérséklet-eloszlás alapján ugyanoda tehető a gyulladás kezdőpontja.
- A két-két belső és külső recirkulációs zóna jól egyezik az irodalmi adatokkal.
- Összességében az Okafor mechanizmus pontosabban írja le az ammónia égését, mint Glarborg-é.

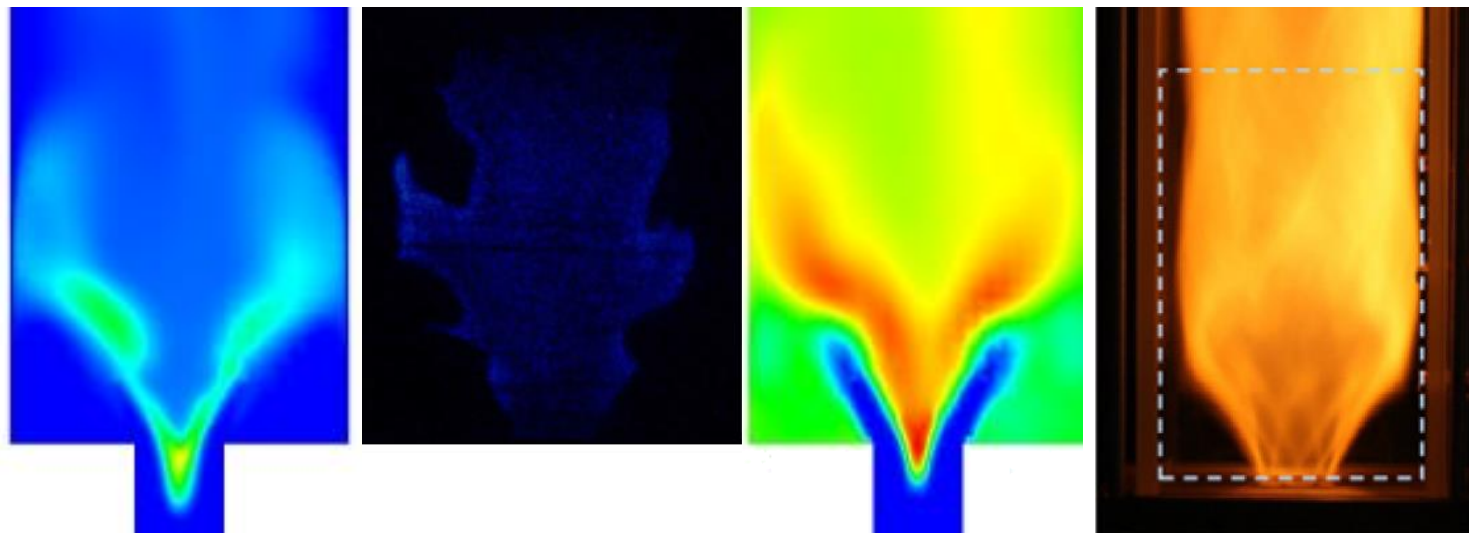
Validáció – Lángalakok összehasonlítása, hőmérséklet, NO_x kibocsátás vizsgálata

C-egyenlet

OH-PLIF

Okafor FGM

Mérési kép

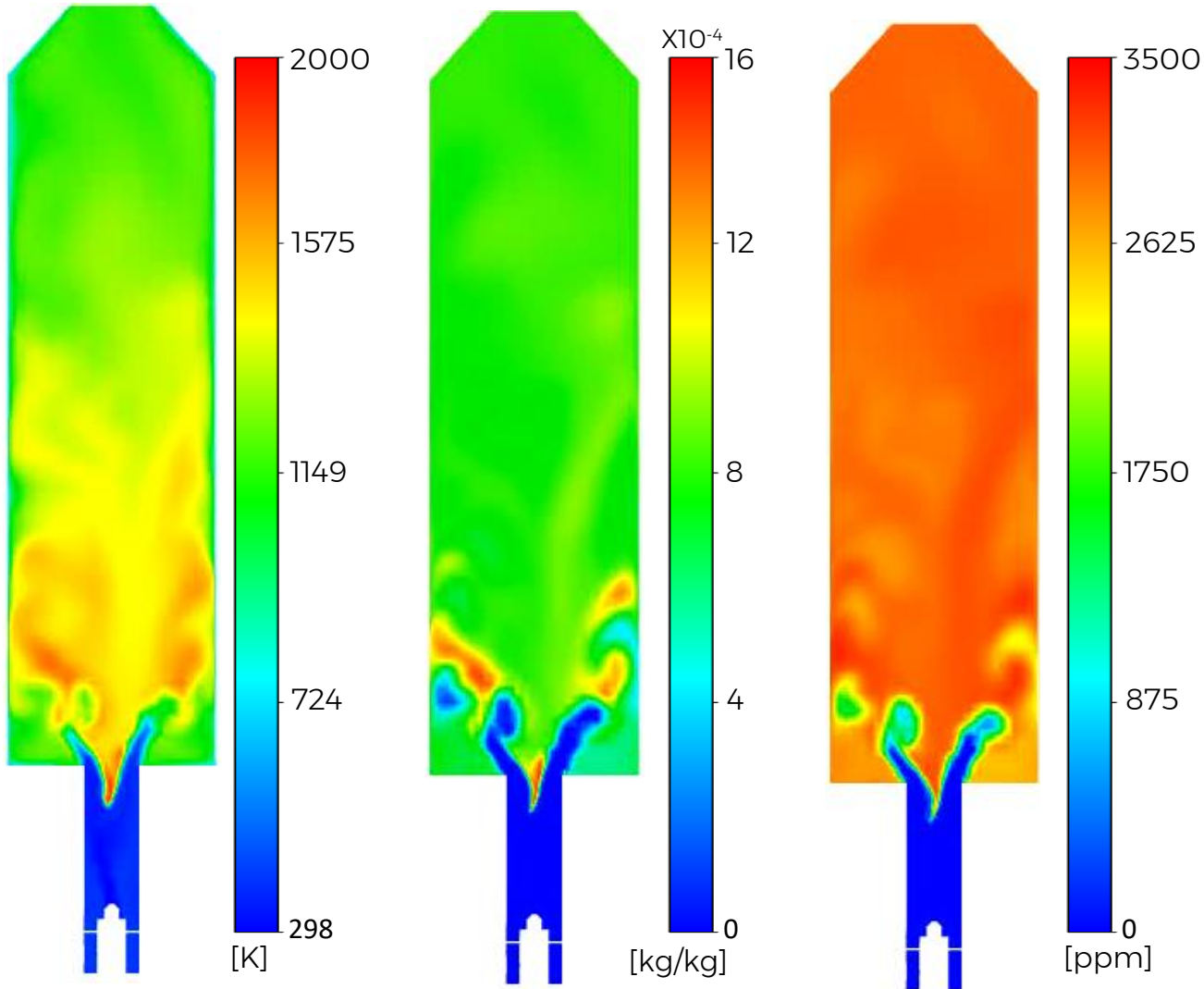


- Az irodalmi értékeket az OH eloszlással vettem össze. Az OH képződés az égőtér egészében koncentrálnodik, ezzel jól korrelál az Okafor FGM modell.
- A számítás maximális hőmérséklet értékeit irodalmi adiabatikus láng hőmérséklettel és az analitikusan meghatározott értékkel vettem össze. Legnagyobb mértékben az Okafor FGM modell közelítette ezen értékeket.

- A két modell közül csak az Okafor FGM modell képes a NO_x kibocsátás becslésére, melyet nagyságrendileg helyesen közelít. Irodalmakban 3000-4000 ppm között mozog, míg a szimuláció esetén 3128 ppm adódott.

	Analitikus	Irodalmi érték	C-egyenlet	Glarborg FGM	Okafor FGM
Maximális hőmérséklet [K]	1677	1725	1943	1896	1756

Időbeli evolúció, összefoglalás



Hőmérséklet-eloszlás

2024. 04. 08.

OH eloszlás

NO_x eloszlás

www.econengineering.com

- A folyamatos gyulladást 0,1 másodpercnyi hosszön rögzítettem. Így mind a hőmérséklet, mind az OH eloszlás alapján megfigyelhető a perdületes tüzelésre jellemző tranziens, periodikus jelleg. A maximális hőmérséklet nem haladja meg az 1700 K-t, ezzel jó egyezést mutat a modell az analitikus adiabatikus láng hőmérséklet értékkel. Továbbá hőmérséklet, és a hőfelszabadulás eloszlása a várt V alakot adja vissza a külső, illetve belső recirkulációs zónákkal, melyek a folyamatos visszakeverést biztosítják. Az eloszlások megfelelnek az irodalmi adatoknak.
- A magas NO_x koncentráció az ammónia tüzelőanyagban található nitrogén tartalomból adódik. Ebből kifolyólag az ammóniát érdemes metánnal vagy hidrogénnel tüzelni. Ennek optimalizálására további vizsgálatok szükségesek.
- Az ammónia égésének tranziens jellegét sikerült jól leírni, a legalkalmasabb modell az Okafor FGM. A validáció alapján a modell jól közelíti a valóságot. A modell alkalmas NH₃/CH₄ és NH₃/H₂ keverékek leírására a kibocsátás csökkentésének vizsgálata céljából. Az Okafor FGM modell tízszer gyorsabban szolgáltat eredményt az EDCM modellhez képest.