

**Az ASTEC kód alkalmazása a súlyos baleseti
hidrogénkezelés számítására**

OAH-ABA-43/15-M

Kostka Pál

NUBIKI Nukleáris Biztonsági Kutatóintézet Kft.

**TSO Szeminárium
Budapest, 2015. június 7.**

- **Előzmények**

- Hidrogénkezelés NIS rekombinátorokkal a paksi erőműben
- ASTEC kód kiegészítése NIS rekombinátor modellel (CESAM projekt)

- **Cél**

- Az ASTEC kód alkalmazása a súlyos baleseti hidrogénkezelés számítására

- **Feladatok**

- az ASTEC kód NIS rekombinátor modelljének validálása az OECD THAI projektben végrehajtott HR15 kísérlet segítségével
- a NIS rekombinátor modell működésének ellenőrzése erőművi számítás során

Spherical aluminum-oxide pellets with diameters between 4 and 6 mm are coated with the catalytic material palladium and with a hydrophobic coating on top of it.



Kétfajta modell:

- Mechanisztikus modell (a rekombinátorban lejátszódó folyamatok részletes modellezése)
 - Lemezes rekombinátorokra alkalmazható (AREVA, AECL)
- Egyszerű PAR jelleggörbe (nem kell differenciálegyenletet megoldani)
 - Gázösszetétel változása és energiakeletkezés korrelációval
Rekombinálási sebesség a nyomás, gázösszetétel és hőmérséklet függvényében
 - AECL
 - GRS_DIFF
 - Siemens (Areva)
 - NIS
 - Korlát: rekombinátor belépés és kilépés ugyanabban a térrészben

- PAR jelleggörbe a NIS rekombinátorokra (ASTEC v2.1)

$$r = A \cdot c^{X1} \cdot \frac{p}{T} \cdot \text{CASNR} \cdot \text{CHIMNEY} \cdot f(\Delta t) + r_{bulk}$$

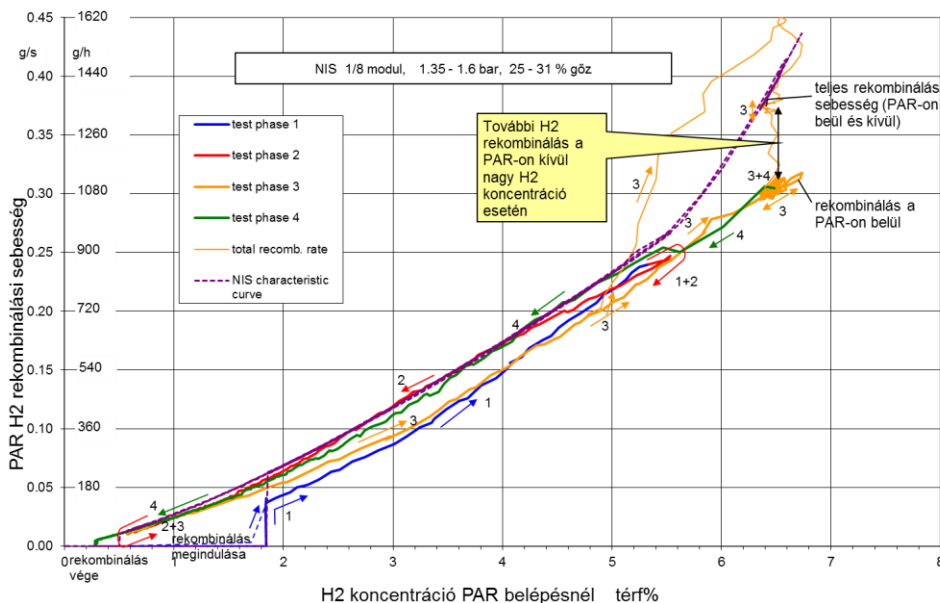
- r: rekombinálási sebesség (kg/h)
- c: $\text{MIN}(C_{H_2}, 2 / K1 * C_{O_2})$ (térf%); K1: oxigénhiány küszöbérték
- p: nyomás (bar)
- T: belépő hőmérséklet (K)
- CASNR: kazetták száma
- CHIMNEY: kéményhatás tényező
- $f(\Delta t) = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{t_0}}$ felfutás figyelembe vétele
 - Δt : a rekombinálás kezdetétől eltelt idő
 - t_0 : időállandó (s)
- $r_{bulk} = \frac{(c - CLS)^{X2}}{K2}$ térfogati rekombinálás
 - CLS: térfogati rekombinálás küszöbértéke (térf%)

Piros paraméterek: ASTEC input változók

Rekombinálási jelleggörbe a THAI HR kísérletekhez

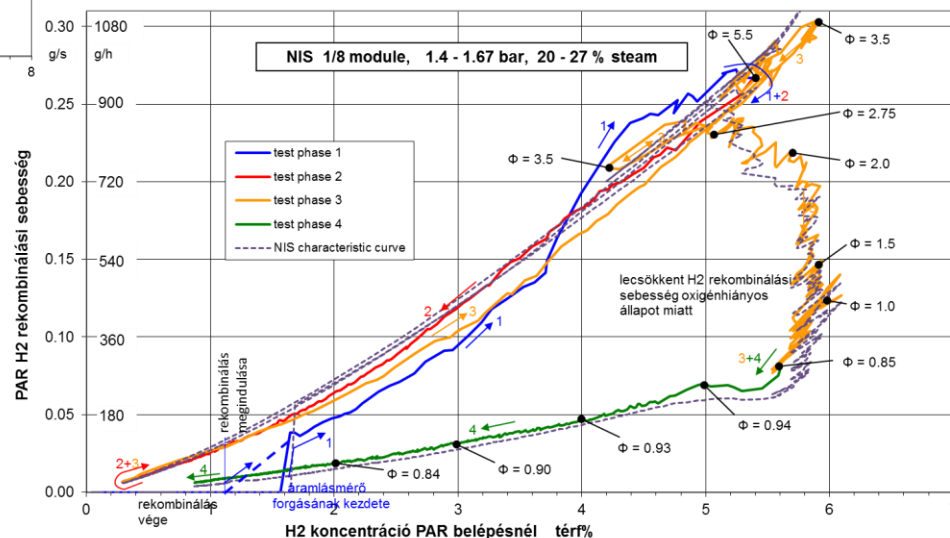
$$\bullet \quad r_{PAR} = 724 \cdot c^{1.307} \cdot \frac{p}{T} \cdot 11 \cdot 1.35 \cdot (1 - e^{-\frac{\Delta t}{290}}) \quad (\text{kg/h})$$

THAI HR-15: PAR rekombinálás

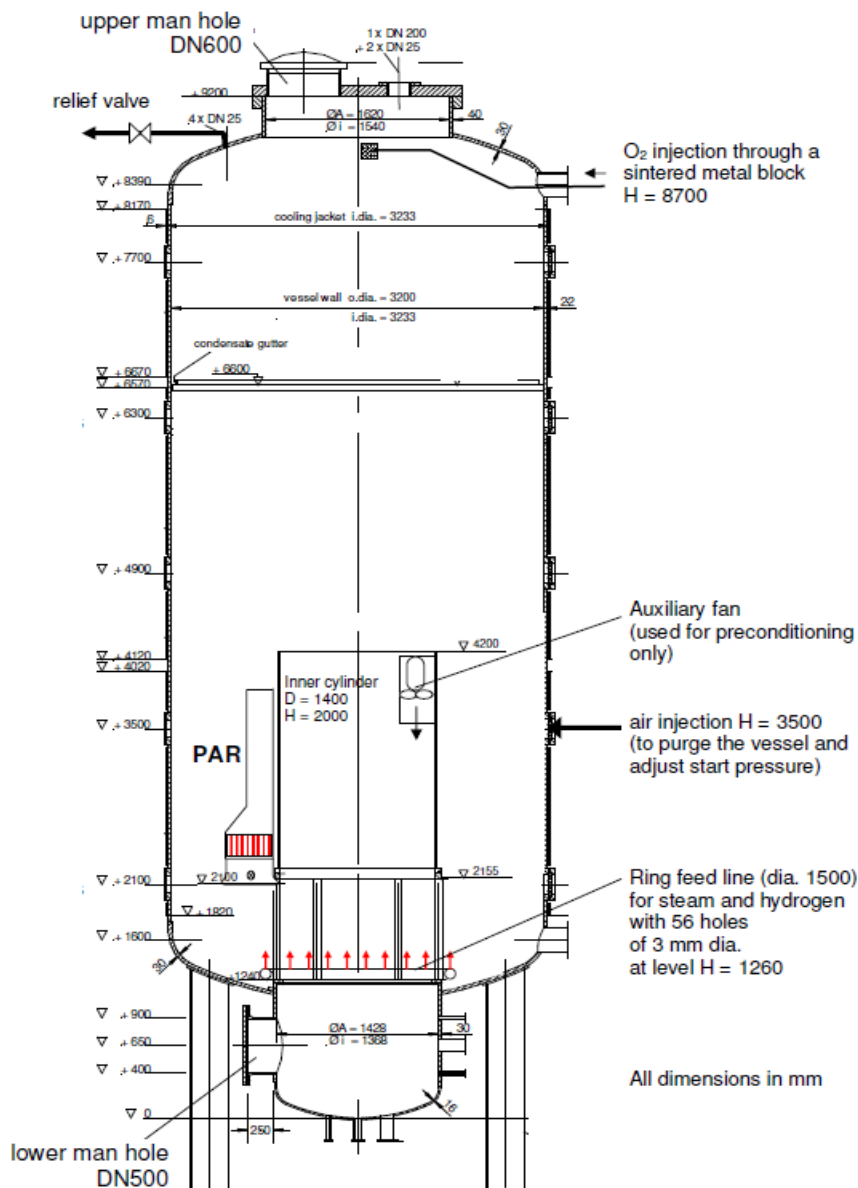


$$\bullet \quad r_{\text{bulk}} = \frac{(c-5.5)^{1.5}}{15} \quad (\text{g/s})$$

THAI HR-14: PAR teljesítmény



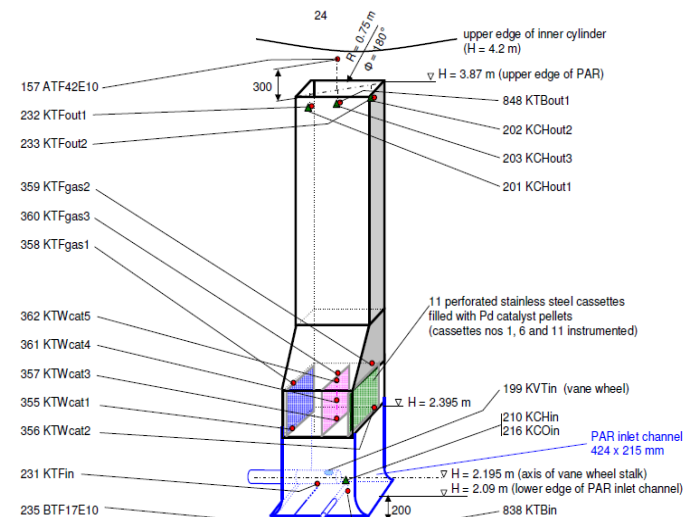
- Oxigénhiány küszöbértéke:
K1=2.75



Rozsdamentes acél tartály
V=60m³, H=9.2 m

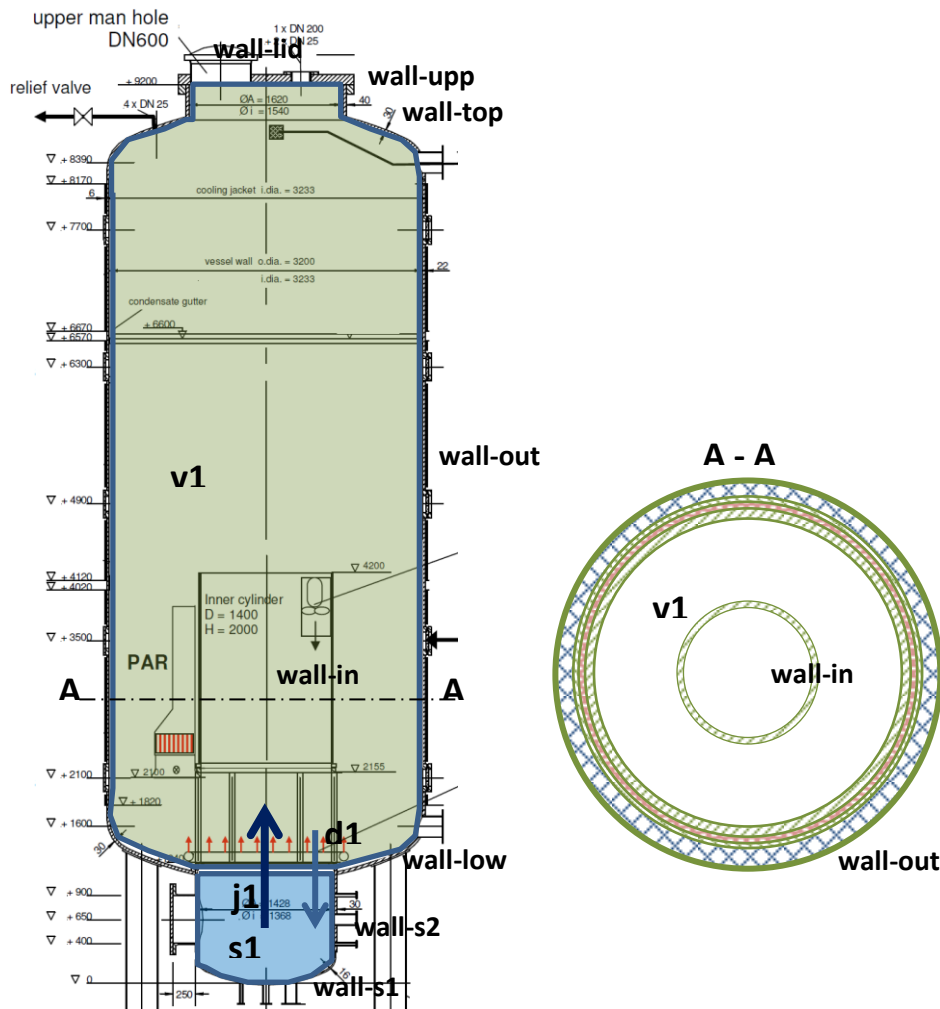
Kettős falú, olajjal
fűthető/hűthető tartályfal
(D=3,156 m, L≈8 m)

NIS PAR (1/8) modul
11 kazetta 1 m-es kémény



- Kezdeti állapot beállítása (nyomás, hőmérséklet, gőzkoncentráció).
- H₂ befecskendezés kis tömegárammal a rekombinátor indulásáig
 - katalizátor hőmérséklet emelkedése, áramlásmérő elindulása
- H₂ befecskendezés teljes tömegárammal, amíg a H₂ koncentráció eléri a kb. 5.5 térf% szintet.
 - H₂ koncentráció és rekombinálási sebesség növekedése
- H₂ befecskendezés megszakítása (még a gyújtási határ előtt)
 - H₂ koncentráció csökkenése, rekombinálás folytatódik
- O₂ pótlása
- H₂ befecskendezés újraindítása.
 - H₂ koncentráció nő, gyújtási határig
- H₂ befecskendezés leállítása
 - H₂ fokozatos eltávolítása a rekombinátorral
 - Rekombinálás vége, amikor az áramlásmérő megáll
- Kísérlet vége

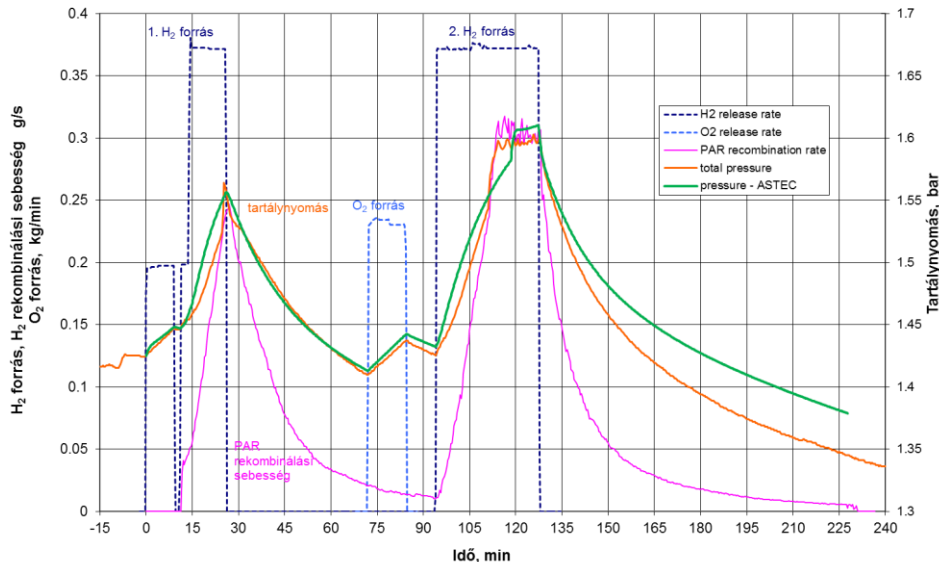
A THAI berendezés ASTEC modellje



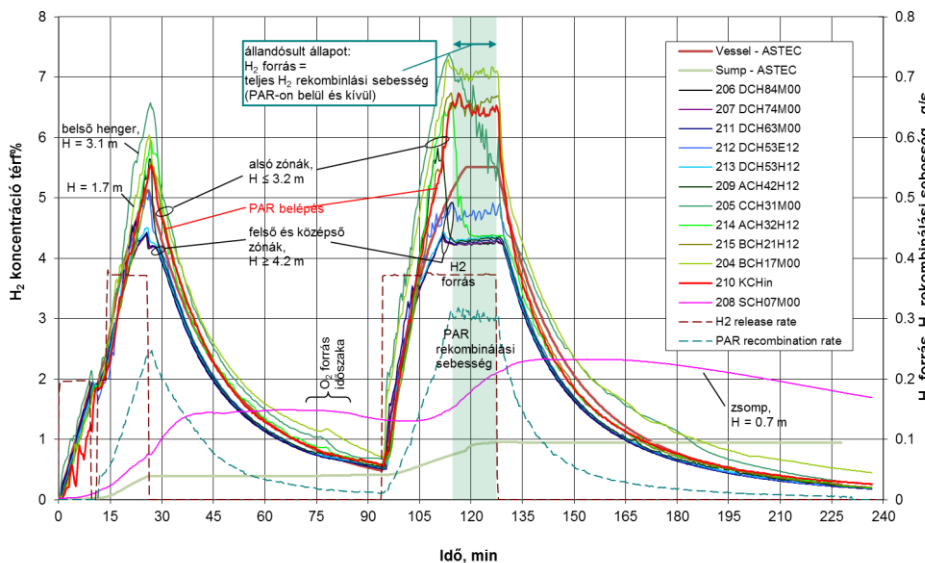
- Egyszerű, 2 térrészes modell (tartály és zsomp)
PAR modell korlátai nem engedik a részletesebb nodalizációt
- Többrétegű fal: belső acél fal, olajréteg, külső acél fal, hőszigetelés
- PAR: NIS jelleggörbe

HR15 - eredmények

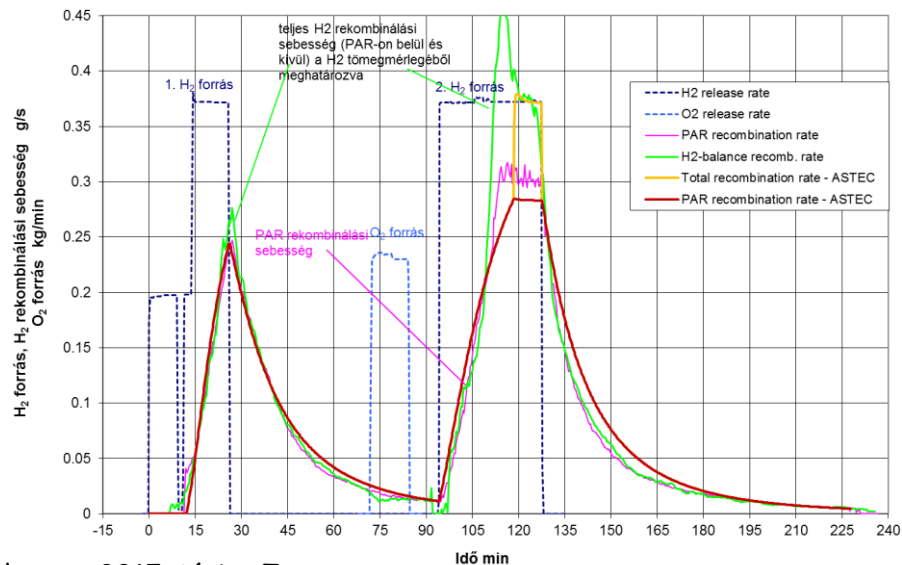
THAI HR-15: Hidrogénforrás, tartálynyomás



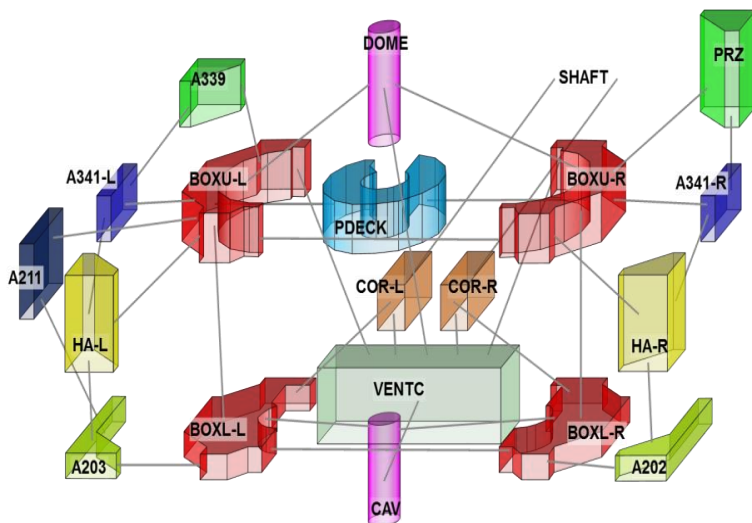
THAI HR-15: Hidrogén koncentráció



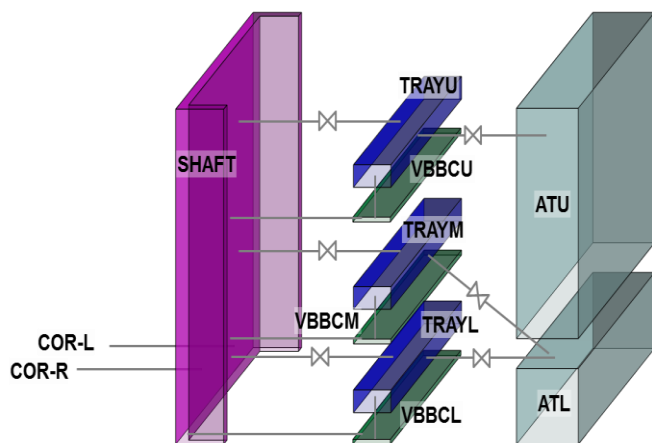
THAI HR-15: Hidrogén rekombinálás



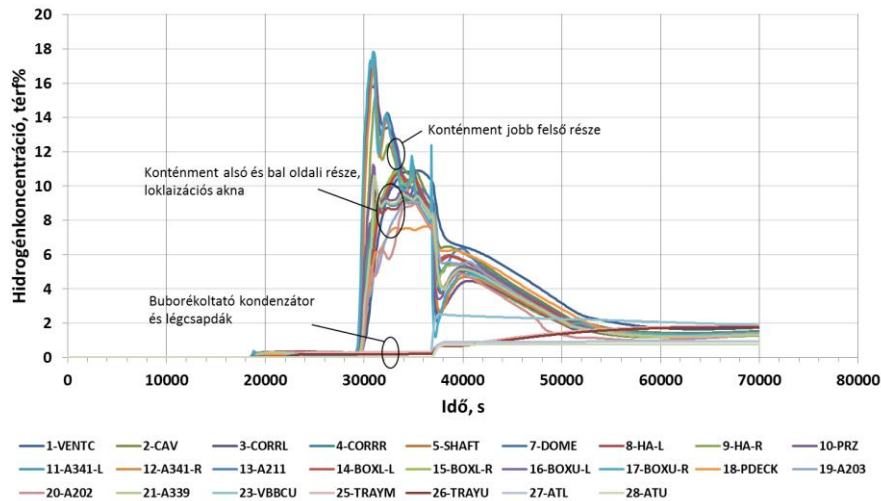
- Jó egyezés az első fázisban
- Második fázis: rétegződés nem modellezhető -> kisebb belépő h₂ koncentráció -> kisebb rekombinációs sebesség
- Térfogati rekombinálás modellezve van, de később kezdődik, mert a küszöbértéket később éri el
- A késői fázisban több h₂ -> nagyobb rekombinációs sebesség -> lassabb nyomáscsökkenés



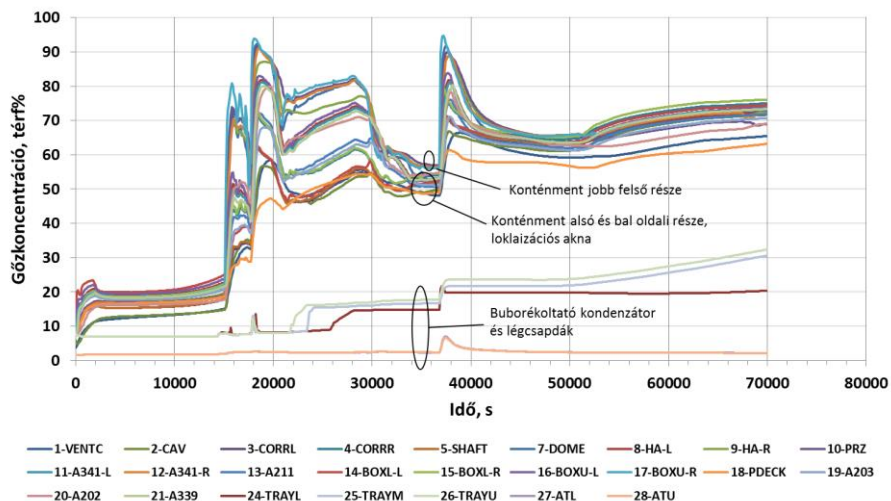
- 28 térrészes modell (helyiségek többsége külön térrész)
- 60 db NIS88 és NIS92 rekombinátor (3. blokk)
- Tálcavíz leeresztés modellezése
- Tartály külső hűtés figyelembe vétele gőzforrásként
- PAR: NIS jellegörbe
- PDS_5C kiscsőtörés feszültségkieséssel
 - Primerkörüi kifolyás, hidrogén forrás tömeg és energiaforrásként (MAAP)



Hidrogén koncentráció a konténmentben
PDS_5C

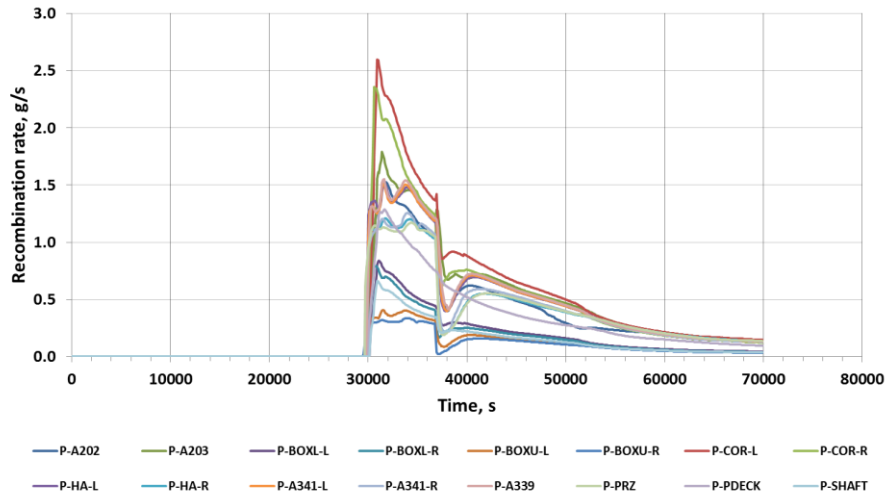


Gőzkoncentráció a konténmentben
PDS_5C

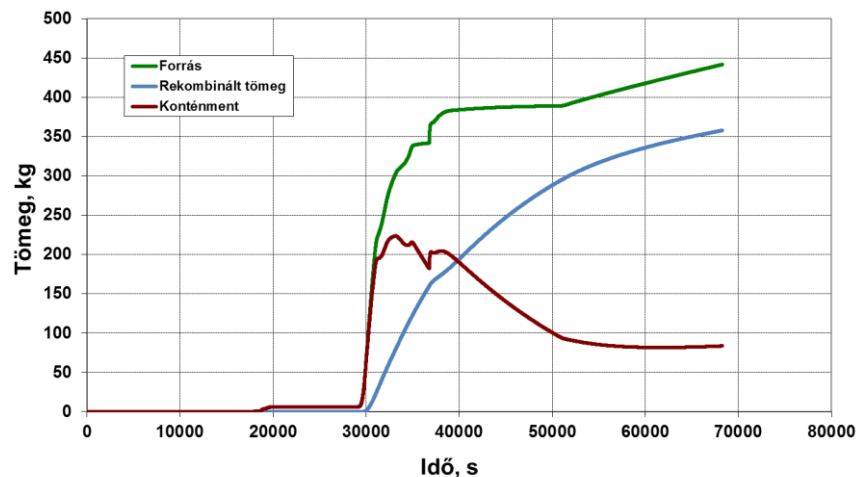


- Az intenzív hidrogénfejlődés kezdetekor a hidrogén koncentrációja gyorsan nő, mivel a rekombinátorok eltávolító kapacitása kisebb, mint a keletkezési sebesség.
- A legnagyobb hidrogénkoncentráció a forrás helyiségében és a szomszédos helyiségekben (a konténment jobboldali felső része) meghaladja a 16%-ot, de a keverék nem éghető, mert a gőzkoncentráció az 55%-os inertálási küszöb felett van
- A konténment tulsó és alsó részén a hidrogén koncentrációja 10% vagy az alatt marad.
- A buborékoltató tálcákon és a légsapdákban a hidrogén koncentrációja nem jelentős
- A hidrogénforrás elapadásával a hidrogén koncentrációja csökken, mivel a rekombinátorok eltávolítják a hidrogént. A számítás végére a hidrogénkoncentráció 2% alá csökken.

Recombiner performance
SBLOCA



Hidrogéntömeg a konténmentben
PDS_5C



- A rekombinátorok rekombinálási sebessége a működésbe lépés után gyorsan nő
- A hidrogénnel párhuzamosan a konténmentbe érkező nagy mennyiségű gőz miatt oxigénhiányos állapot lép fel, ami visszafogja a rekombinátorok teljesítményét.
- Az egyes rekombinátorok eltérő teljesítménnyel dolgoznak a helyi hidrogén, gőz és oxigénkoncentrációktól függően.
- A legtöbb hidrogén (223 kg) az intenzív hidrogénfejlődés végén ($t=32000$ s) van a konténmentben.
- A hidrogén koncentráció csökkenésével a rekombinátorok teljesítménye tovább csökken. Ennek ellenére a forrásból származó 442 kg hidrogénből 357 kg-ot eltávolítanak a számítás végére.

- Az ASTEC kód NIS rekombinátor modellje megfelelően működik
- A hidrogénkeletkezés kezdeti, intenzív szakaszában a rekombinátorok teljesítménye nem képes lépést tartani a keletkező mennyiséggel, ezért egyes térrészekben időlegesen magas hidrogénkoncentrációk alakulnak ki
- Ezzel párhuzamosan a gőzkoncentráció is meghaladja az inertálási küszöbértéket.
- A hidrogénforrás csökkenésével a rekombinátorok sikeresen távolítják el a konténmentbe jutó hidrogén nagy részét.
- Ezek az eredmények összhangban vannak a korábban elvégzett, részletesebb koncentráció eloszlások meghatározását lehetővé tevő 3D-s GASFLOW számításaink eredményeivel.

Köszönet az OECD THAI projekt résztvevőinek és támogatóinak,
akik lehetővé tették a THAI HR kísérletek végrehajtását.

Köszönöm a figyelmet