

II. Workshop

Akvamarin – Energiatárolási
innováció a Magyar
Földgáztároló Zrt.-nél

MS TEAMS, 2021.10.01

MFGT

Powered by MVM



AKVAMARIN

PROJEKT

Erdélyi Lajos,
projektvezető

Mérő Tamás,
műszaki és innovációs projektmenedzser

Akvamarin – Energiatárolási innováció a Magyar Földgáztároló Zrt.-nél

II. WorkShop - 2021. október 01.

Akvamarin Projekt – Köszöntő

Kriston Ákos – elnök-vezérigazgató

Agenda

01 Köszöntő Kriston Ákos 13:00 – 13:10	02 Akvamarin Projekt – áttekintés és státusz Erdélyi Lajos, Mérő Tamás 13:10 – 13:30	03 Hidrogén-földgáz keverékek áramlástan Dr. Turzó Zoltán 13:30 – 13:45	04 Folyamatirányítási rendszer modellezése Bölkény Ildikó 13:45 - 14:00
05 Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira kutatási program Prof. Dr. Erdélyi Zoltán 14:00 – 14:15	06 LOHC tárolás kutatás és fejlesztési program Dr. Egedy Attila 14:15 – 14:30	07 Anyagtechnológiai kutatások Dr. Varbai Balázs 14:30 – 14:45	08 Q&A , zárás Mérő Tamás 14:45 – 15:00

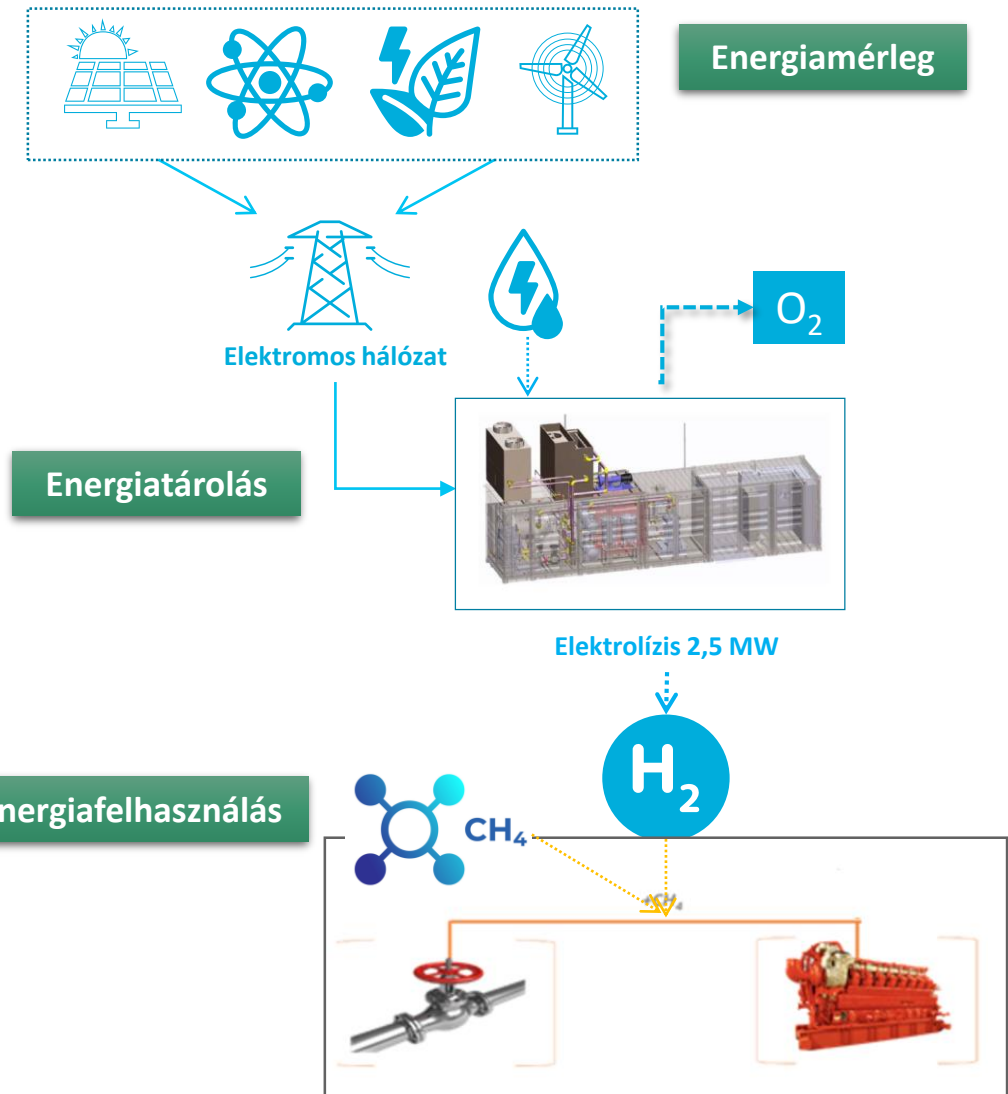
Akvamarin Projekt – áttekintés és státusz

Akvamarin - áttekintés

- Cél: hidrogén tolerancia vizsgálata a tárolói infrastruktúrán, pilot projekt keretében
- 2,5 MW teljesítményű elektrolizáló és kompresszor egység
- Projekt forrásigény: 2 896 MFt
- Projekt időtartama: 2021. február 01. - 2023. január 31.
- Elsősorban helyi infrastruktúra fejlesztés és kapcsolódó K+F programok

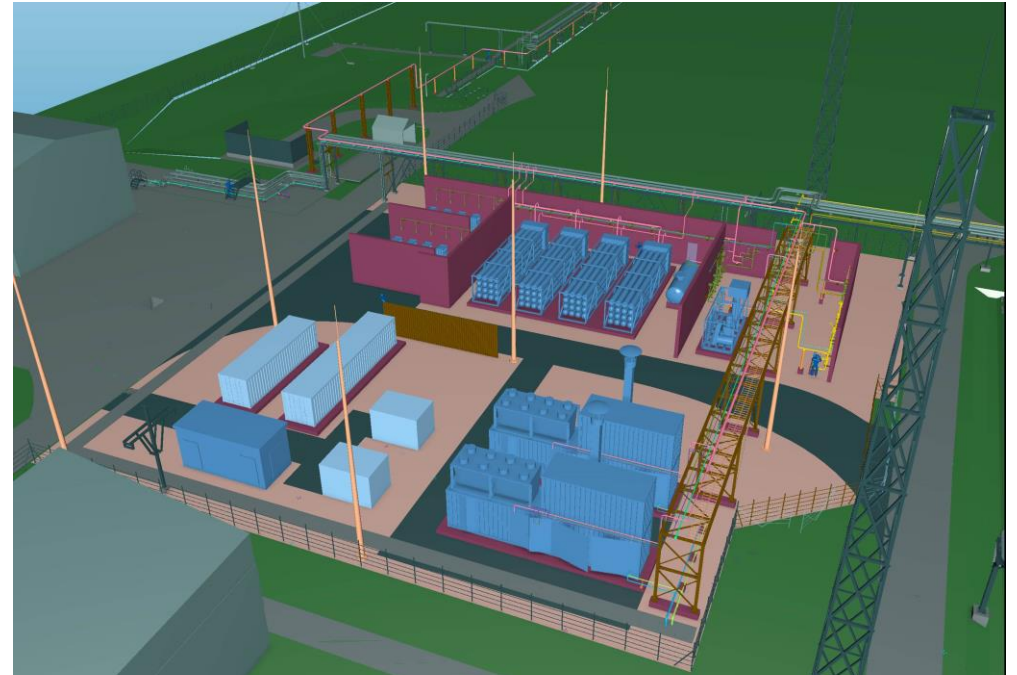


Kardoskúti FGT



Akvamarin – státusz I.

- **Általában:**
 - **Projekt adminisztráció** folyamatos
 - **1. mérföldkő:** hangsúly a beszerzési és K+F feladatokon
 - Folyamatos **külső és belső kommunikáció**
- **Beszerezés és Beruházás**
 - A fő berendezés és a helyre telepítés tervezése megrendelve
 - Hatósági engedélyezés folyamatban
 - Puffer tartályok és helyretelepítés pályáztatása a következő hetekben
- **Kutatás és Fejlesztés**
 - 4 egyetem (PE, BME, DE, ME) és egy kutató intézet (EIKI) bevonása
 - 1. mérföldköves K+F feladatok elvégzése
 - Jelentős tudásbázis részben beépítve a helyre telepítésbe, részben megerősítés a következő mérföldkövekben



Akvamarin – státusz II.

- **Szabályozás:**
 - ITM - Bányatörvény Vhr. módosítási kezdeményezés,
 - MEKH
 - FGSZ – MFGT munkacsoport elindítása és működtetése
 - Arculat, konferenciák, szakmai megbeszélések
 - Hatósági kapcsolatok: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat. Szo. Bányakapitányság, Katasztrófavédelem, Környezetvédelem;
 - Kardoskúti Önkormányzat: Lakossági fórum
- **Pénzügy, Kontrolling és HR**
 - Óriási támogatás a projekt beindításához (csapat, adminisztráció, kontrolling)
 - Folyamatos figyelem a pályázati elvárások teljesítéséhez
 - 1. mérföldköves elszámoló dokumentáció beadása 2021. augusztus 30.

Kitekintés - HyUsPre - projekt

- Hidrogén stratégia: „2030-ig a hazai tároló rétegek vizsgálata hidrogén tárolására”.
- A hazai gyakorlatban nincs lehetőség és tapasztalat tároló réteg hidrogén állóságának vizsgálatára.
- Európai Uniós pályázat - „Fuel Cell Hydrogen – Joint Undertaking” keretében - 2020,
- Meghívásos csatlakozási felkérés a konzorciumot vezető TNO projektirodától: 9 ipari szereplő, 4 kutatóintézet és 3 felsőoktatási intézmény
- Sikeres pályázat – 27 hónapos K +F program várhatóan 2021. október 1.-i kezdéssel
- A konzorcium célja: 9 ipari szereplő kimerült CH mezőit és aquifer tárolóit megvizsgálni egy hosszú távú K+F program keretében

CONFIDENTIAL

PROJECT CONSORTIUM

INDUSTRY

- › CENTRICA – UK (UGS operator)
- › EBN – NL (E&P asset owner)
- › Hungarian Gas Storage (UGS op.)
- › NAFTA – Slovakia (UGS operator)
- › RAG – Austria (UGS operator)
- › Shell – NL (E&P assets, UGS op.)
- › SNAM – Italy (TSO for gas)
- › EQUINOR – Norway (E&P)
- › NEPTUNE – UK/NL (E&P)

RESEARCH INSTITUTE

- › TNO – NL (coördinator)
- › Energy Institute Linz – Austria
- › Fondazione Bruno Kessler – Italy
- › FZ Jülich – Germany

ACADEMIA

- › University Of Edinburgh (UoE) – UK
- › Clausthal University – Germany
- › Wageningen University – NL



THE UNIVERSITY
of EDINBURGH



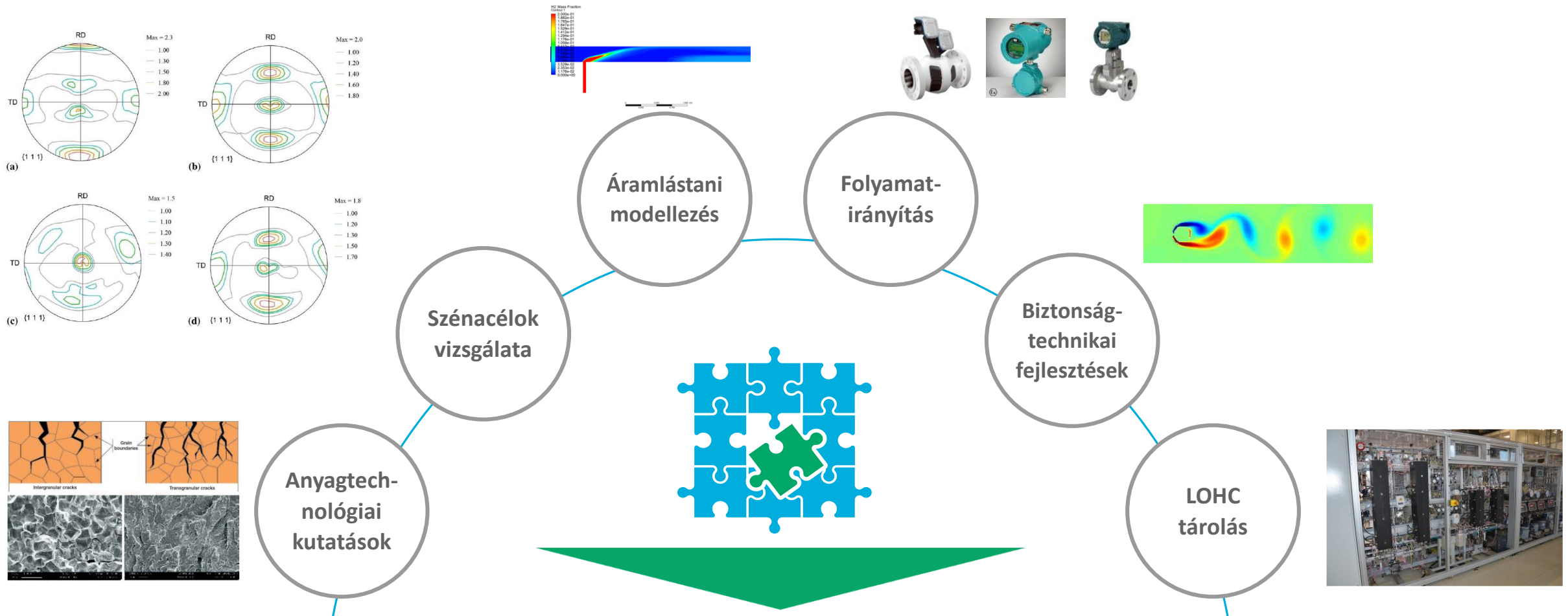
TU Clausthal



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Alkalmazott ipari kutatási programjaink



Cél: a meglévő infrastruktúra alkalmasságának vizsgálata hidrogénnel kevert földgázra

Agenda – K+F programok



1. Hidrogén-földgáz keverék áramlástanai folyamatainak modellezése dedikált földgáztárolói infrastruktúrán



Dr. Turzó Zoltán
Tibor
Intézetigazgató



Dr. Szunyog
István
Intézeti
Tanszékvezető



Tartalomjegyzék

Vezetői összefoglaló 4

1 A hidrogén, mint kémiai elem 10

2 A hidrogén értéklánc bemutatása 13

2.1 Hidrogéntárolás az EU technológiai útterve szerint 13

2.2 Hidrogénszállítás az EU technológiai útterve szerint 14

2.3 Hidrogénelosztás: töltőinfrastruktúra a járművek részére 15

3 Hidrogén előállítási módszerek 18

3.1 Hidrogén előállítása földgázból 19

3.1.1 Metán gőzreformálása – SMR 19

3.1.2 Hidrogén előállítása földgázból CO₂ reformálással 19

3.1.3 Részleges oxidáció – POX 20

3.1.4 Termikus bontás 20

3.1.5 Hidrogén előállítása szénből, olajból és alkoholokból 22

3.1.5.1 A hidrogén szénből történő előállításának különböző folyamatai 22

3.1.6 Hidrogén előállítása kőolajból 23

3.1.7 Hidrogén előállítás alkoholokból 24

3.1.8 Hidrogén előállítás biológiai módszerekkel 24

3.1.8.1 Hidrogén előállítás biomassza felhasználásával 24

3.1.8.2 Hidrogén előállítás biológiai folyamatai 25

3.1.9 Hidrogén előállítás vízből termeliszsel 26

3.1.10 A hidrogén előállítási módszerek összehasonlítása 26

3.1.11 Hidrogén előállítás elektrolízissel 28

3.1.11.1 Az elektrolízis alapelvei 28

3.1.11.2 Alkál elektrolízis 31

3.1.11.3 Jelenlegi piac és jövőbeni kutatások 32

3.1.12 Polimer Elektrolit Membrán-protoncserélő hidrogén előállítás jellemzői 34

3.1.12.1 PEM elektrolízis üzem koncepciója, erőmű mérete, a jelenlegi piac és a jövőbeni kutatások áttekintése 34

3.1.12.2 Elektrolízis technológiák összehasonlítása 37

3.2 Alternatív hidrogéntermelési módok összehasonlítása 40

3.2.1 A tisztább hidrogéntermelő alternatívák versenyképessége 43

3.2.2 A földgázból történő hidrogén előállítás költségei 43

3.2.3 Vízből és villamos energiából származó hidrogén előállítási költségei 44

3.2.4 A szénből történő hidrogén előállítás költségei 46

3.2.5 Költségsökkentési stratégiák 46

4 A hidrogén szállítása 48

4.1 Jelenleg működő hidrogén vezetékek 48

4.1.1 Vezetékes szállítási technológia előnyei 49

4.1.2 Vezetékes szállítási technológia hátrányai 49

4.2 Hidrogén keverése földgázhhoz 49

4.3 Földgázelosztó és végfelhasználó rendszerek, berendezések felkészítése a hidrogént is tartalmazó földgázra 51

4.3.1 A hazai földgázelosztó hálózat jellegzetességei 51

4.3.2 A hidrogén földgázhoz való betáplálásának hatásai telekhatáron belül 51

4.3.3 A hidrogén hatása a földgázelosztói infrastruktúra elemeire 52

4.4 Földgázszállító rendszer felkészítése a hidrogént is tartalmazó földgázra 53

4.4.1 Hidrogén toleráns (anyagú) vezetékek létesítése 54

5 A hidrogén felhasználási lehetőségei 55

5.1 A hidrogén hatása a földgázhoz tartozó gázminőségre 55

5.1.1 A hidrogén és a metán tüzeléstechnikai jellemzőinek összehasonlítása 55

5.1.2 A gázminőségi követelményeknek való megfeleltethetőség vizsgálata 57

5.1.2.1 A vízhatmárpont változása a hidrogéntartalom hatására 59

5.2 Földgázüzemelési berendezések hidrogén tűrése 62

5.2.1 Gázkészülék tanúsítási eljárás 62

5.2.2 A hidrogén hatása a lakossági gázkészülékek üzemére 65

5.2.3 Földgáz üzemű ipari berendezések 68

5.3 Hidrogén, mint üzemanyag a közlekedésben 71

5.3.1 Közúti teherszállítás 76

5.3.2 Vasúti közlekedés 77

5.3.3 Közúti közlekedés 78

5.3.4 Anyagmozgató járművek 82

5.3.5 Üzemanyagotöltő állomások 84

6 Nemzetközi projektek 88

6.1 NaturalHy 2004-2009 88

6.2 HIPS-NET 88

6.3 GRHYD 88

6.4 HyDeploy 89

6.5 H21 Projekt 90

6.6 Gasunie 90

6.7 H2HowI 91

7 Szegregációs és elegydesi vizsgálatok 92

7.1 A szétrétegződést befolyásoló tényezők 92

7.1.1 A gázkeverék alkotóinak sűrűség különbsége 92

7.1.2 A diffúzió 94

7.1.3 Az áramlás jellege 97

7.2 CFD szimulációs vizsgálatok 99

7.2.1 Hidrogén-földgáz keverék áramlástanai vizsgálatának matematikai modellje 99

7.2.1.1 A differenciálegyenletek 99

7.2.1.2 A differenciálegyenletek numerikus megoldása (CFD) 100

7.2.2 Ajánlott gyakorlat a H₂-koncentráció változásának CFD szimulációja során 101

7.2.3 A vizsgált esetek rövid összefoglalása 102

7.2.4 Tartályban lévő statikus gázkeverék vizsgálata 103

7.2.4.1 A CFD szimulációk során alkalmazott tartálygeometria és cellastruktúra 103

7.2.4.2 Szimulációs eredmények 105

7.2.4.2.1 Tökéletesen elkeveredett gázkeverék vizsgálata 105

7.2.4.2.2 Kezdetben elkülönült metán-hidrogén gázkeverékek vizsgálata 106

7.2.5 Hidrogén bekeveréses vizsgálatok 110

7.2.5.1 A vizsgált esetek geometriai jellemzői 110

7.2.5.2 Felső bekeveréses vizsgálatok 112

7.2.5.3 Alsó bekeveréses vizsgálatok, metán áramlási sebessége: 0,5 m/s 115

7.2.5.3.1 Nem-izotermikus, metán hőmérséklet: 5 °C 115

7.2.5.3.2 Nem-izotermikus, metán hőmérséklet: 10 °C 119

7.2.5.4 Alsó bekeveréses vizsgálatok, metán áramlási sebessége: 1,0 m/s 123

7.2.5.4.1 Nem-izotermikus, metán hőmérséklet: 5 °C 123

7.2.5.4.2 Nem-izotermikus, metán hőmérséklet: 10 °C 126

7.2.5.4.3 Izotermikus vizsgálatok 129

7.2.6 A CFD vizsgálatok eredményeinek összefoglalása 132

8 A hidrogéntartalom hatása a nyomásfokozásra 133

9 A hidrogéntartalom hatása a hőcserére 136

9.1 Hőcserélő szimulációja 137

Forrásjegyzék 140

Mellékletek 144



Hidrogén-földgáz keverék áramlástanai folyamatainak modellezése dedikált földgáztárolói infrastruktúrán

kutatási jelentés

mely készült

a Magyar Földgáztároló Zrt. megbízásából

a 2020-3.1.2-ZFR-KVG-2020-00001 azonosítójú, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által lebonyolított „Karbonmentes, többlet villamos energia innovatív technológia által gázenergiává (hidrogén, biometán) történő alakítását célzó fejlesztések megvalósítása” tárgyú

„AKVAMARIN Projekt – Hidrogén energiatárolási innováció a Magyar Földgáztároló Zrt-nél” projekt

K+F feladatok: Hidrogéntechnológiai kutatások – 2. rész: „Hidrogén-földgáz keverékek áramlástanai folyamatainak modellezése dedikált földgáztárolói infrastruktúrán” projekttelemének keretében a Miskolci Egyetemen

A tanulmány szerzői:

Dr. Turzó Zoltán Tibor, *okl. olajmérnök, PhD, intézetigazgató egyetemi docens*
 Dr. Szunyog István, *okl. olaj- és gázmérnök, PhD, intézeti tanszékvezető egyetemi docens* valamint
 Dr. Tihanyi László, *okl. bányamérnök, CSc, PhD, professor emeritus*
 Dr. Vadász Marianna, *okl. olaj- és gázmérnök, szakközgazdász, PhD, egyetemi docens*
 Kis László, *okl. olaj- és gázmérnök, doktorjelölt, tanársegéd*
 Szombati-Galyas Anna Bella, *okl. olaj- és gázmérnök, tanársegéd*
 Bánki Dániel, *okl. olajmérnök, tanársegéd*
 Szolyák Zsuzsanna, *okl. olaj- és gázmérnök, tudományos segédmunkatárs*

Miskolc
 2021. július 30.

Tartalomjegyzék

01

A hidrogén, mint kémiai
elem

02

A hidrogén értéklánc
bemutatása

03

Hidrogén előállítási
módszerek

04

A hidrogén szállítása

05

A hidrogén felhasználási
lehetőségei

06

Nemzetközi projektek

07

Szegregációs és
elegyedési vizsgálatok

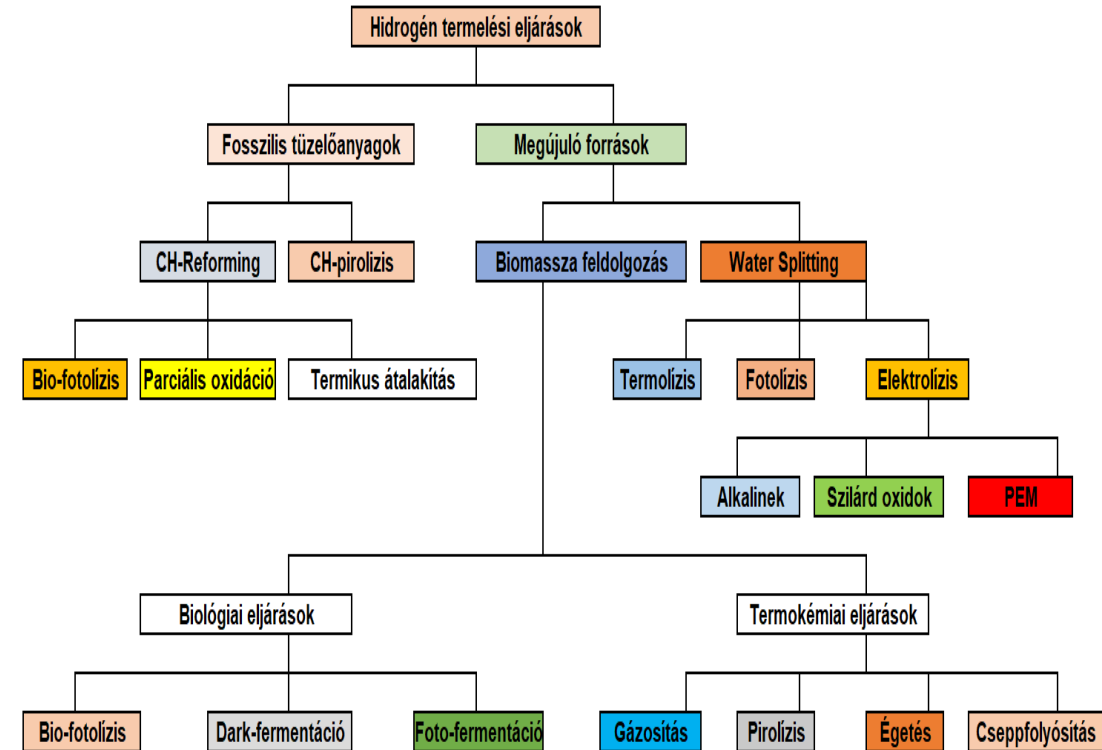
08-09

A hidrogéntartalom hatása
a nyomásfokozásra és a
hőcserére

EREDMÉNYEK

Hidrogéntermelés módszereinek összehasonlítása

Előállítási folyamat	Állapot	Hatékonyság [%]	Relatív költségek a metán gőzreformálásához viszonyítva
Metán gőzreformálás	kiforrott	70-80	1,0
Metán bontás	kiforrott	54	0,9
Szén gőzgázosítás	kiforrott	60	1,4-2,6
Szén krakkolás (HYDROCAB)	K+F	-	0,9
Szén gőz-vas	K+F	46	1,9
Víz elektrolízis	K+F, kiforrott	68	5-10
Nagy hőmérsékletű elektrolízis	K+F	48	2,2
Termo-kémiai ciklus	K+F	35-45	6,0
Biomassza konverzió	K+F	-	2,0-2,2
Fotolízis	K+F	<10	-



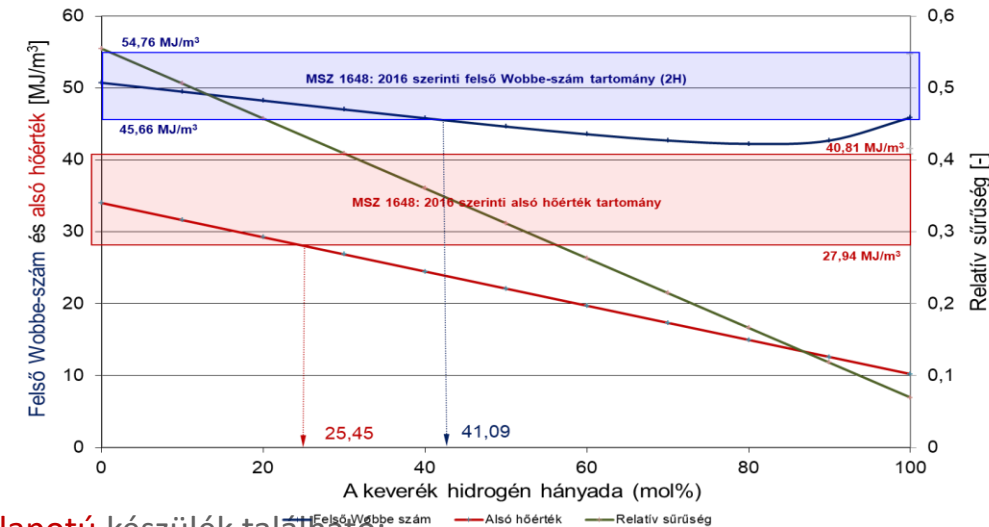
A földgázrendszerbe táplálható hidrogén részaránya

Két tényező határozza meg:

- Az egyes szerelemek hidrogéntűrő képessége
- A gázkészülékek hidrogén toleranciája

EN 437: 2021 Vizsgálógázok. Vizsgálónyomások. Készülékkategóriák

- Wobbe-szám módszer (gázcserélhetőség)
- elvi **max. 23 mol% hidrogén** H gázcsoportnál (visszagyulladás határgáza)
- A probléma ettől összetettebb
 - a lakossági szektorban **nagyszámú, inhomogén eloszlású, típusú, korú és műszaki állapotú** készülék található;
 - nem áll rendelkezésre hiteles információ a gázkészülékek karbantartásáról, tényleges állapotukról;
 - jelentős számban vannak olyan működő készülékek, melyek 1999 előtt kerültek forgalomba hozatalra;
 - a határgáz vizsgálat a készülék tényleges üzemidejéhez mérten elhanyagolható hosszúságú, így a magasabb hidrogén koncentrációnak nem ismerjük a hosszú távú hatását a készülék szerkezeti elemeire;
 - a hálózati földgáz **gépjármű üzemanyagként** is alkalmazható, mely minőségre más szabvány előírások vonatkoznak.



A földgázhálózatban maximálisan megengedhető hidrogén tartalomra vonatkozóan több európai tanulmány is készült, az ezek által megállapított határértékek **nem tükröznek egységes véleményt**, általánosságban **10-20 %-ra** tehető az általuk javasolt maximális betáplálási határ.

A földgázrendszerbe táplálható hidrogén részaránya

Gázkészülékekre vonatkozó kockázat alapvetően két tényezőtől függ:

- A primer levegő mennyiségétől
- A földgáz Wobbe-számától

A hidrogén bekeverésével módosul:

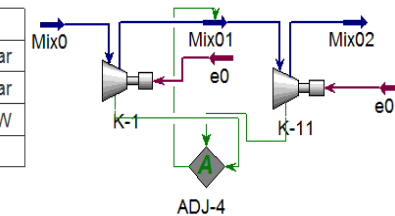
- Gyulladás koncentrációhatár
- Levegőszükséglet
- Lángterjedési sebesség
- Elméleti lánghőmérséklet

Mix0		
Temperature	10.00	C
Pressure	40.00	bar
Liq Vol Flow @Std Cond	5.00000000e+04	m3/h

Mix01		
Temperature	67.66	C
Pressure	74.83	bar

Mix02		
Temperature	132.1	C
Pressure	140.0	bar

K-1		
Feed Pressure	40.00	bar
Product Pressure	74.83	bar
Power	1146	kW
Polytropic Efficiency	76.740	



K-11		
Feed Pressure	74.83	bar
Product Pressure	140.0	bar
Power	1424	kW
Polytropic Efficiency	76.587	

Az eddigi nemzetközi vizsgálati eredmények alapján nem tehető általános érvényű megállapítás a maximálisan megengedhető hidrogéntartalomra vonatkozóan!

A projektek eredményei alapján várhatóan 15-20 % hidrogéntartalom bekeverése valósítható meg a földgázhálózat átalakítása nélkül.

70 bar nyomáson végzett **vízharmpont számítások** alapján kijelenthető, hogy **maximálisan +3 % eltérés jelentkező 20 V/V% H₂-tartalom jelenlétében**, a földgáz-előkészítési technológia módosítása ez esetben **nem indokolt**.

A hidrogénarány növekedésével csökken az azonos **kompresszorreljesítmény** esetén komprimálható maximális normál gázáram, valamint nő a kompresszorokból kilépő gáz hőmérséklete.

A hidrogéntartalom növekedésével a földgáz-hidrogén gázelegy fajhője, hővezetési képessége és sűrűsége is **jelentősen változik**, mely következtében a hőcsere hatásfoka nő, ugyanolyan **hőcserélőt** és hűtőközeget használva **jelentősebb lesz a gáz lehűlésének mértéke**

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

- Numerikus áramlástanai szimuláció (CFD) segítségével
- Hidrogén technológiai CFD szimulációk Ajánlott Gyakorlata (Nemzetközi)
 - Cellastruktúra
 - Megfelelő tartomány kiválasztása
 - Megfelelő turbulencia modell
 - Magasabb fokú numerikus sémák

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Vizsgált esetek

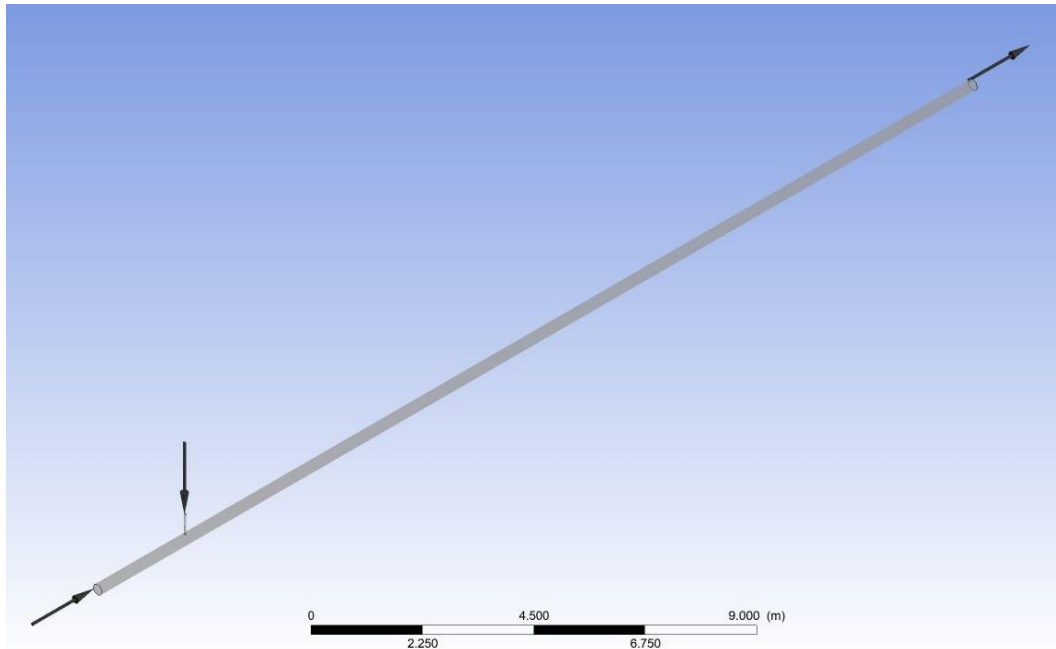
- Gáztartályban lévő statikus gázkeverék (CH_4 , H_2)
 - Nyomások: 1, 16, 40, 64, 100 és 160 bar.
 - Hőmérsékletek: -20, 0, 20 és 50 °C.
 - Összetételek: 2, 10 és 30 térfogat százalék hidrogént tartalmazó metán-hidrogén gázkeverék.

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

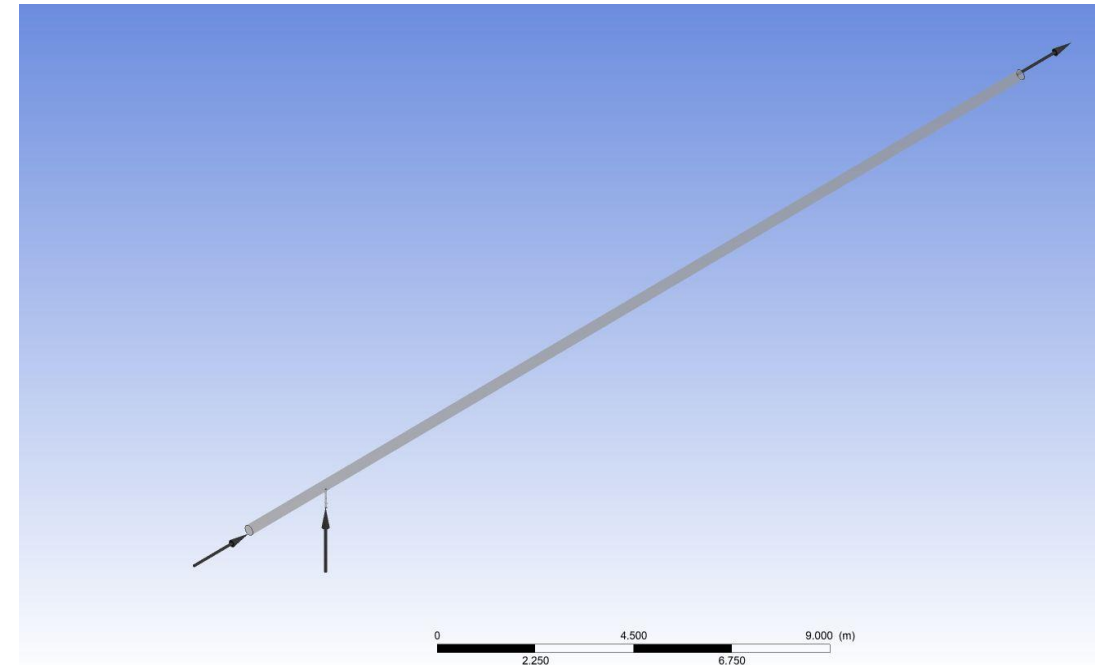
Vizsgált esetek

- Hidrogén bekeverése vezetéken áramló metánba

Felső adagolás



Alsó adagolás



Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

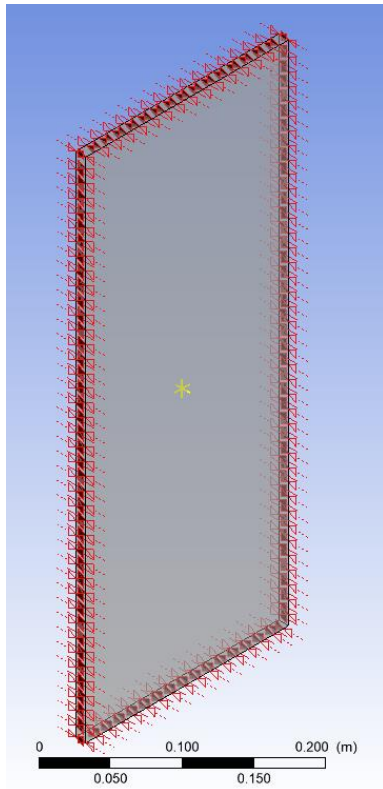
Vizsgált esetek

Izotermikus és nem-izotermikus

- Nyomások: 1, 2, 16, 40, 63, 100 és 160 bar.
- Hőmérsékletek:
 - izotermikus: -20, 0, 20 és 50 °C;
 - nem-izotermikus:
 - Metán: 5 és 10 °C,
 - Hidrogén: -20, 0, 20 és 50 °C.
- Sebességek:
 - metán: 0,5 és 1,0 m/s.
 - Hidrogén: a megkívánt hidrogén térfogat százaléknak megfelelően
- Összetétel: 10 tf% hidrogént tartalmazó metán-hidrogén gázkeverék.

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Statikus gázkeverék tartályban



Tartály modell

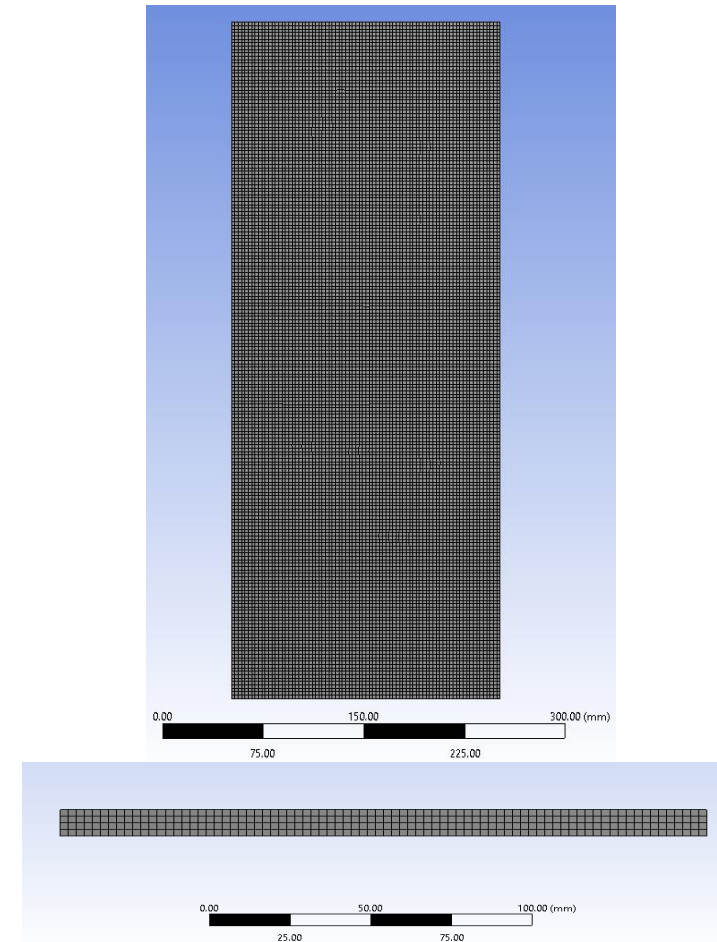
0,5 x 0,2 x 0,01 m

Két szimmetria sík

Hexahedrális cellák

64 000 cella

Cellaméret: 2,5x2,5x2,5 mm



Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Statikus gázkeverék tartályban

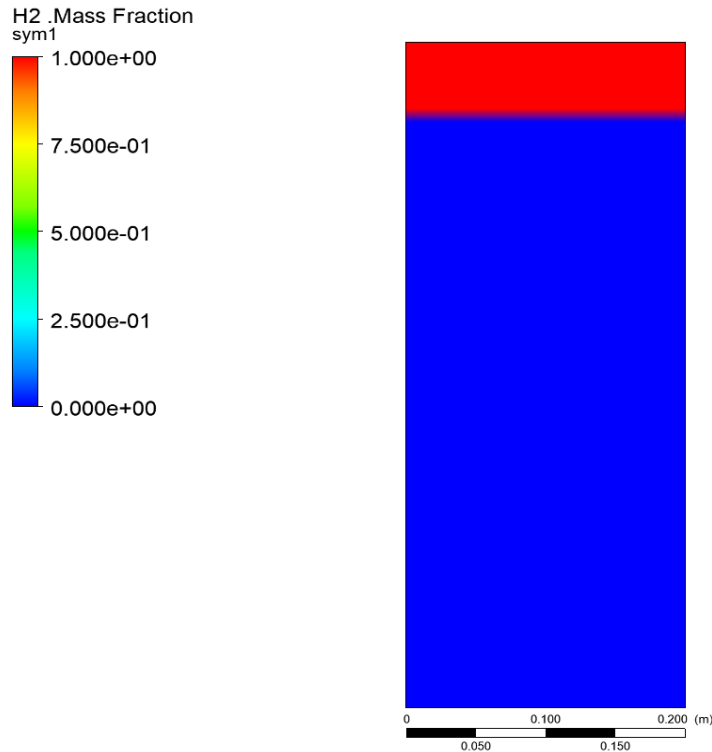
Tökéletesen elkeveredett gázkeverék

A szimulációs eredmények nem mutattak semmiféle koncentráció változást a gázkeverékben egyik paraméter kombináció esetén sem.

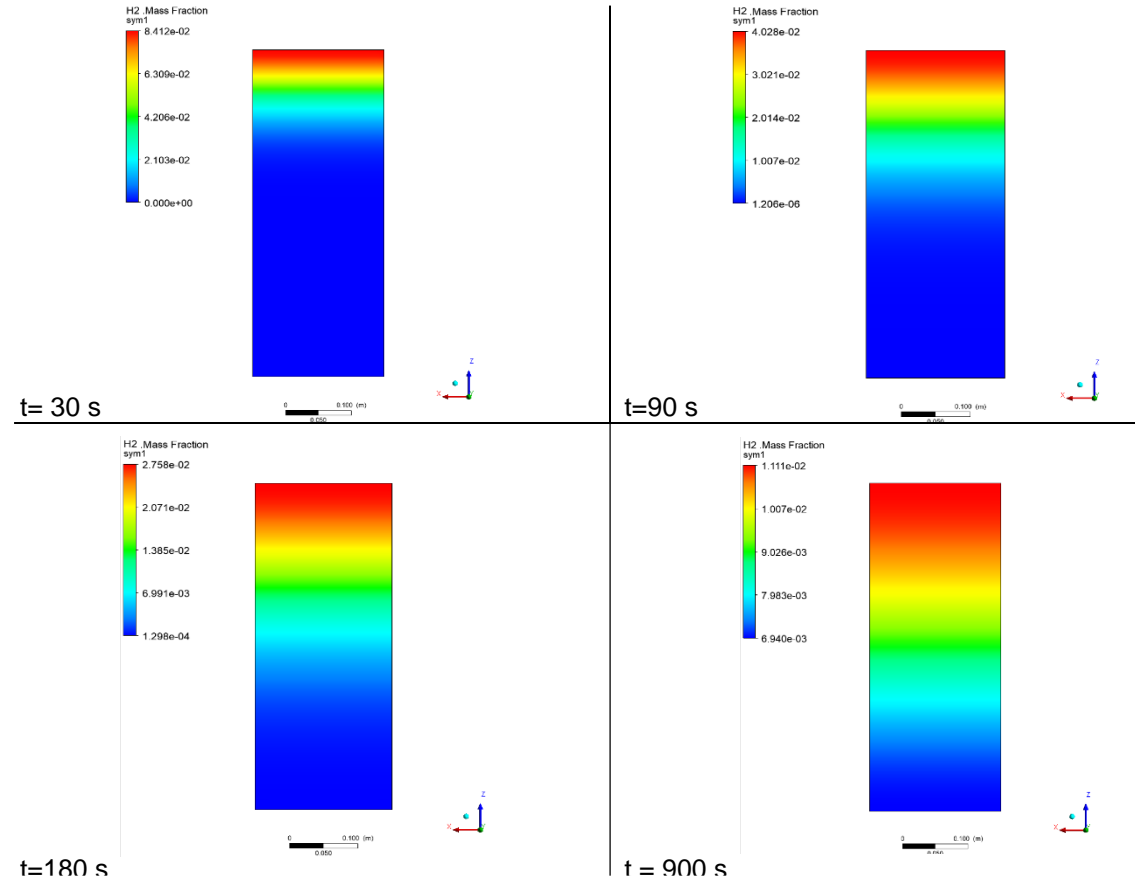
Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Statikus gázkeverék tartályban

Kezdetben elkülönülő gázkeverék

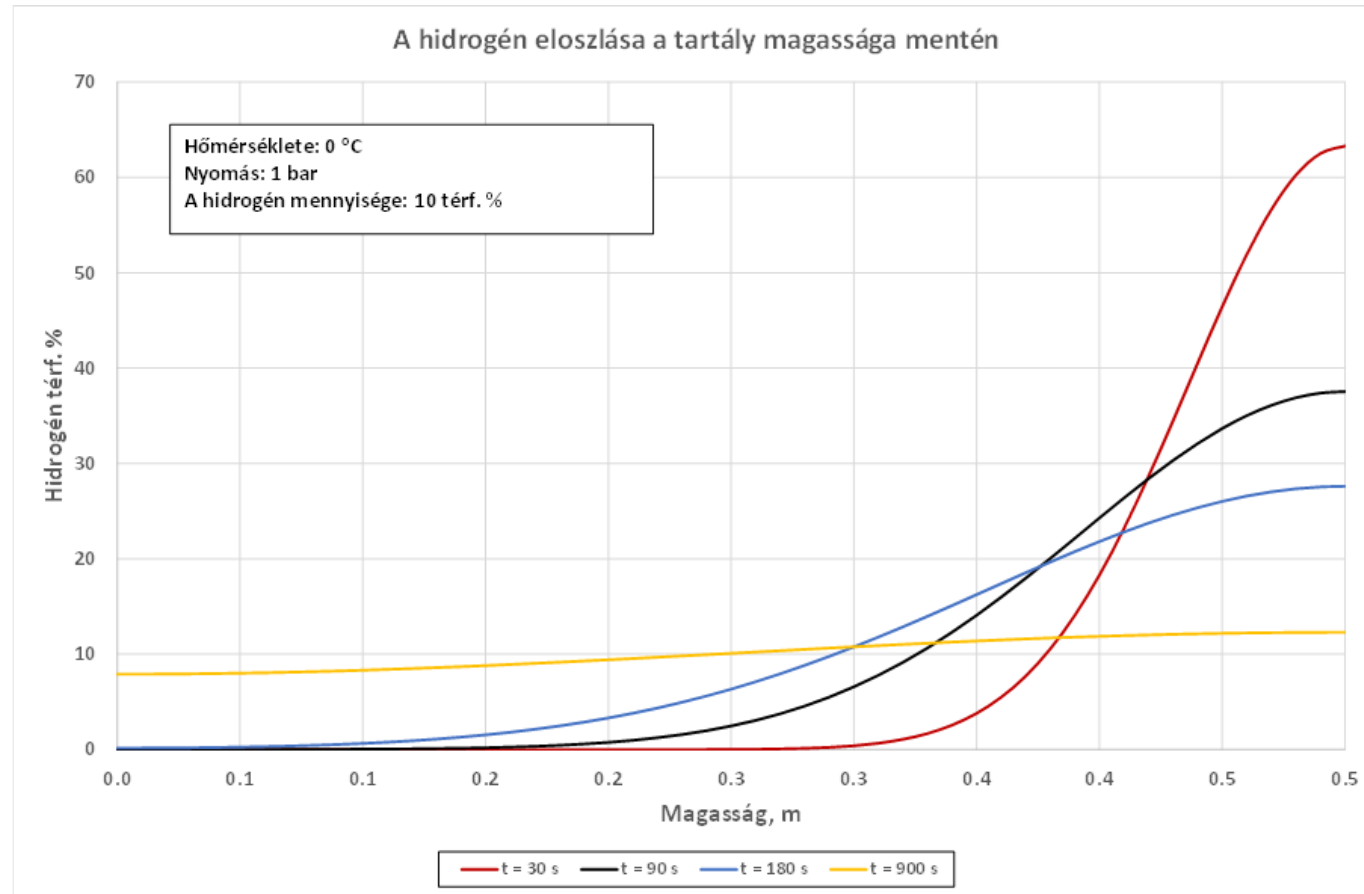


A hidrogén koncentrációja a $t=0$ s időpillanatban, 10 tf% hidrogén esetén.



A hidrogén tömeg törtjének változása az idővel

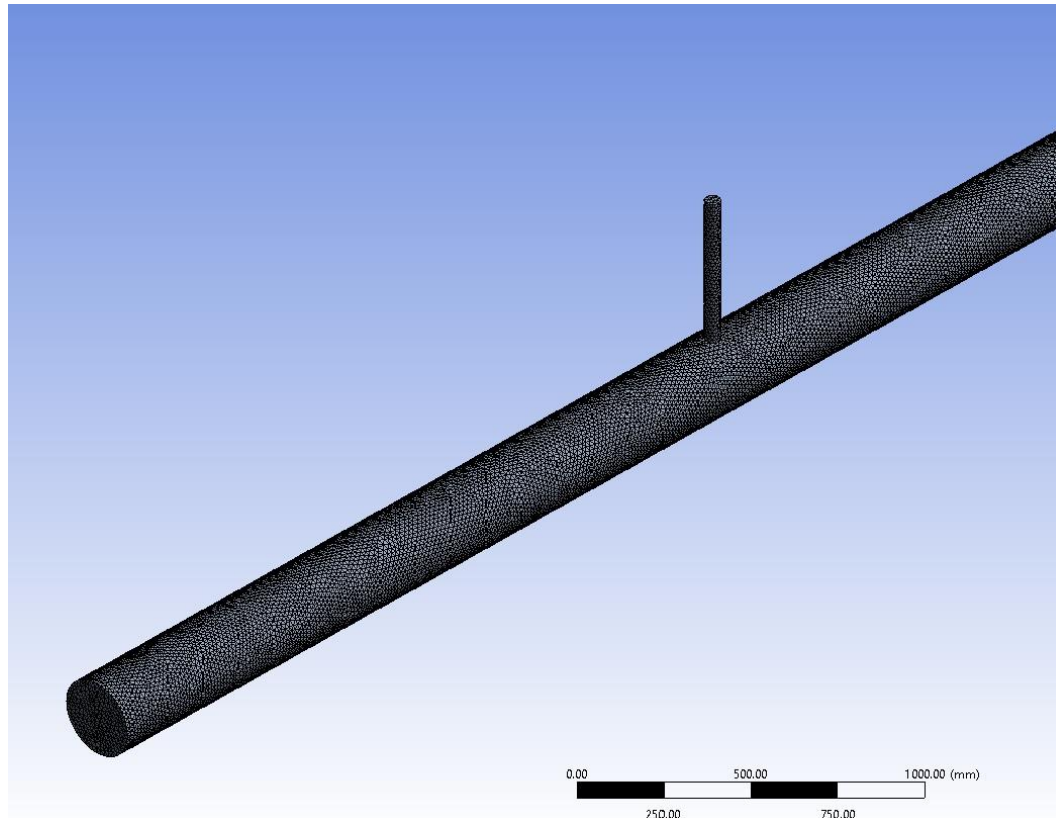
Szegregációs és elegyedési vizsgálatok



A hidrogén koncentrációjának változása a tartály magasság függvényében, különböző időpontokban

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok



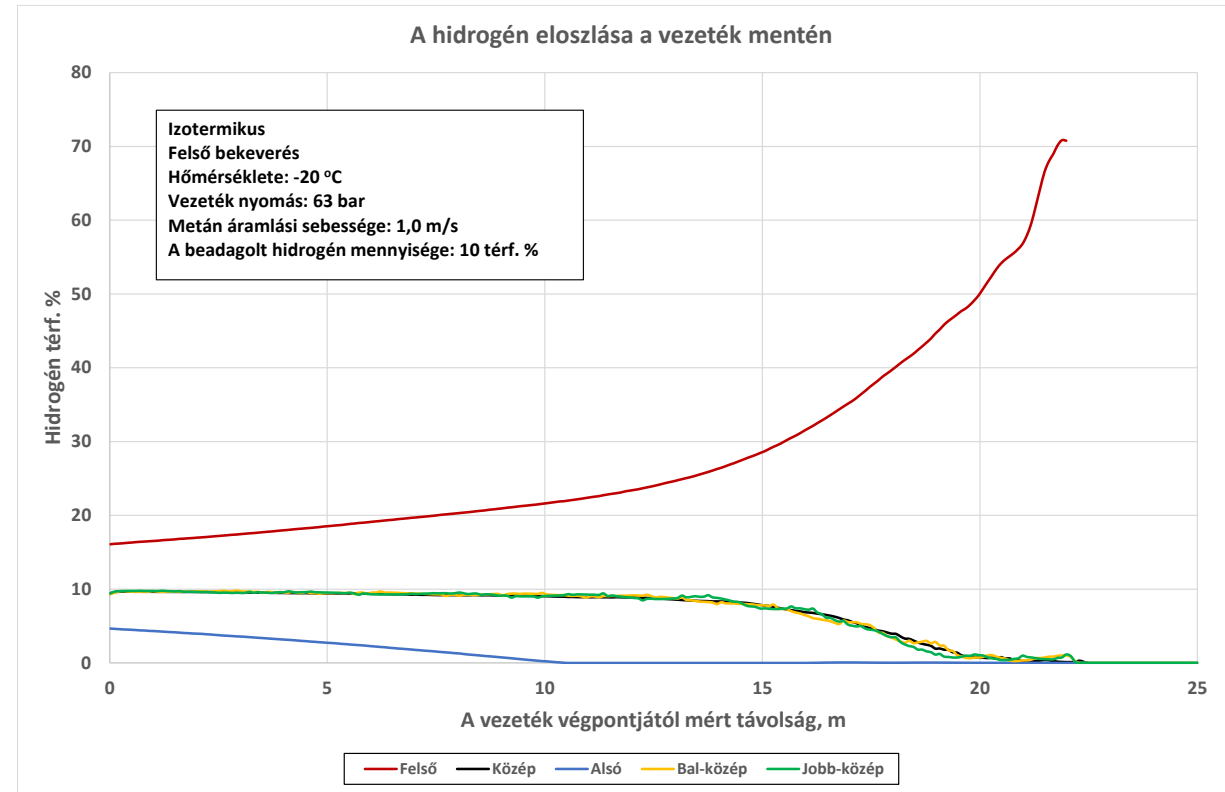
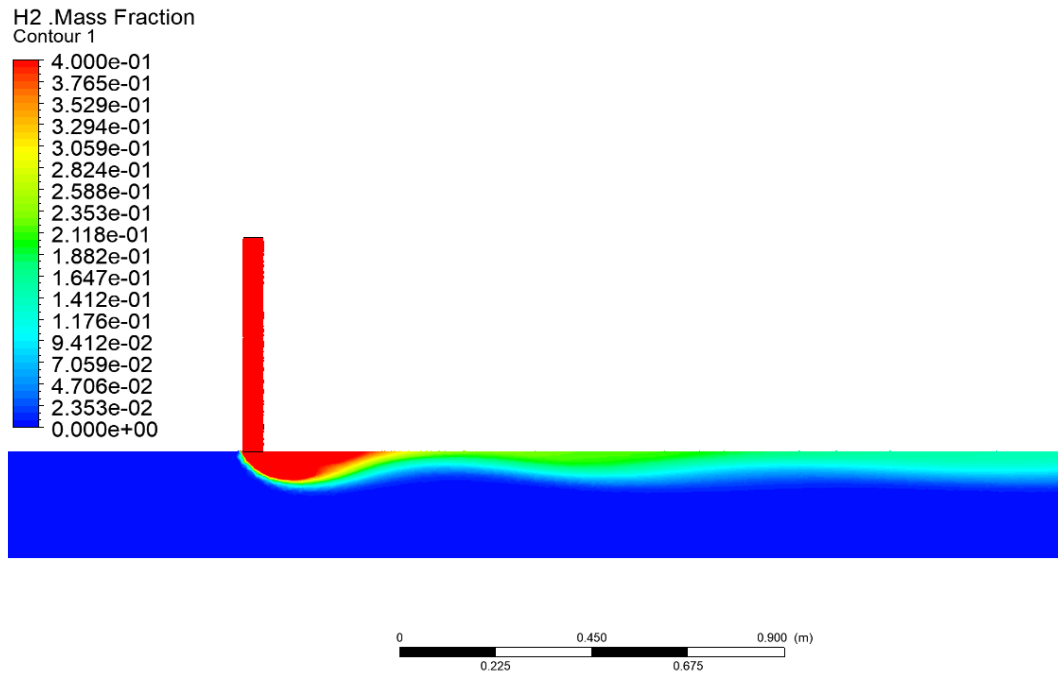
A felső adagolású bekeverés cella struktúrája

Modell:

Metán vezeték:	D = 0,25 m
Hidrogén vezeték:	D = 0,05 m
Bevezető szakaszok:	10D
Fővezeték teljes hossz:	25,0 m
Tetraedrális cellák	
Cellaszám:	3 163 526

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok – Felső bekeverés



A hidrogén koncentrációja a beadagolási pont közelében, felső adagolás, $p = 16$ bar, $T = -20$ °C

A hidrogén koncentráció eloszlása a vezeték mentén, felső bekeverés, nyomás 63 bar, hőmérséklet -20 °C)

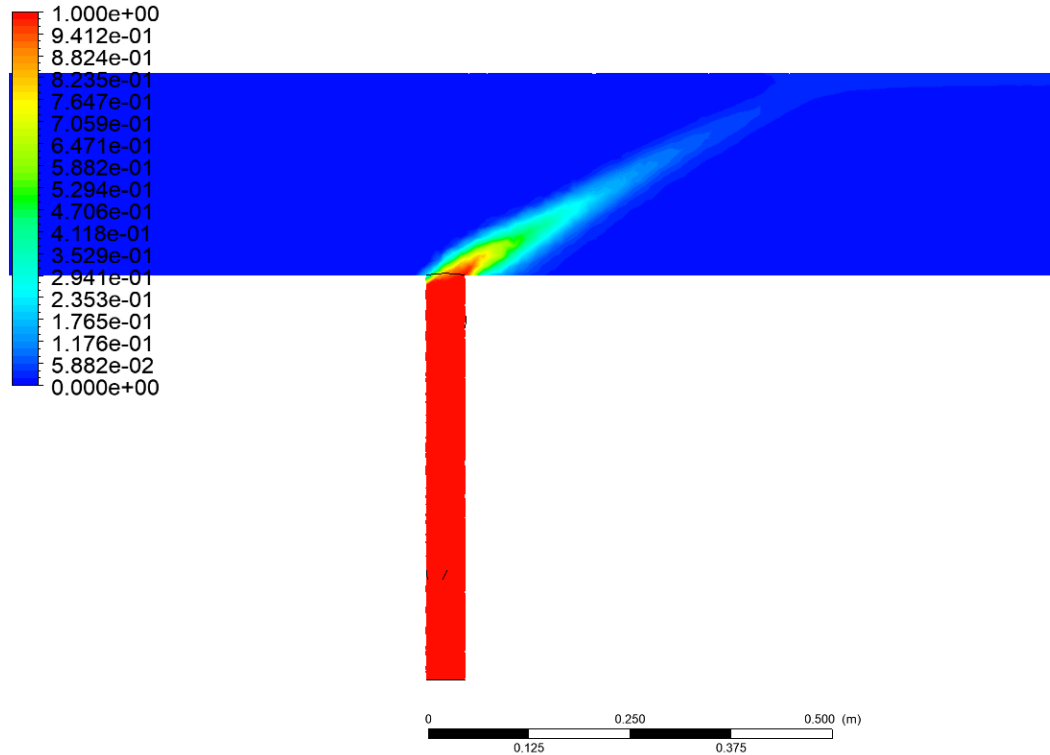
A keveredés nem megfelelő! Nem javasoljuk a hidrogén bekeverésnek ezt a módját!

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

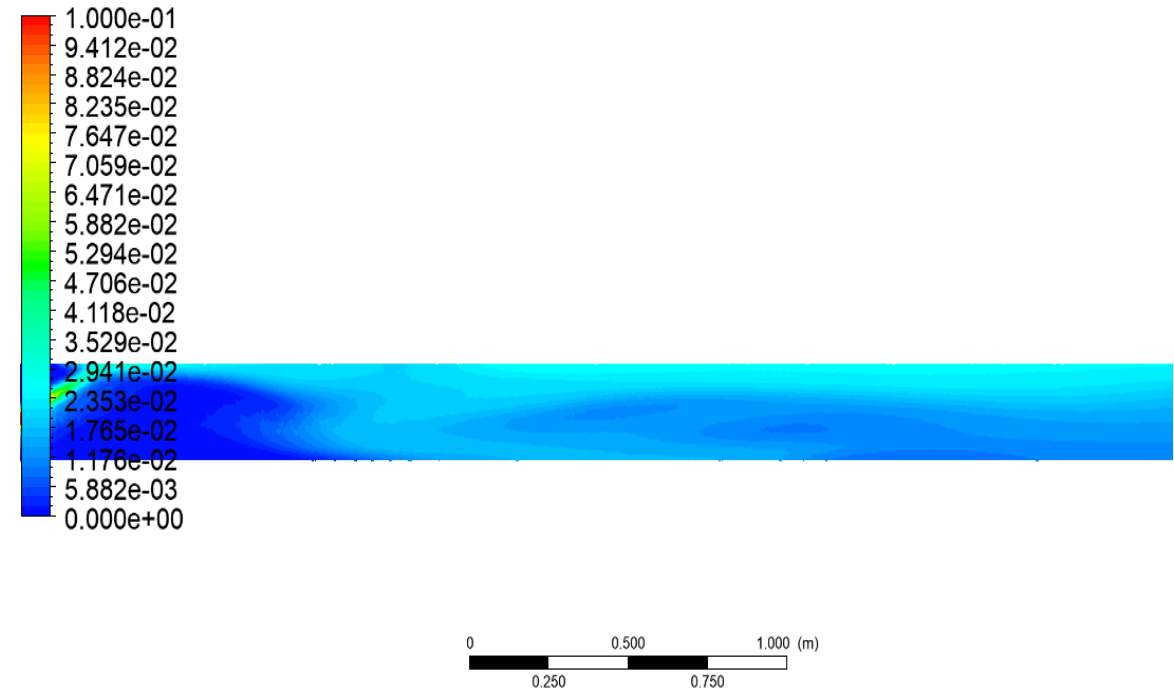
Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



H2 .Mass Fraction
Contour 1



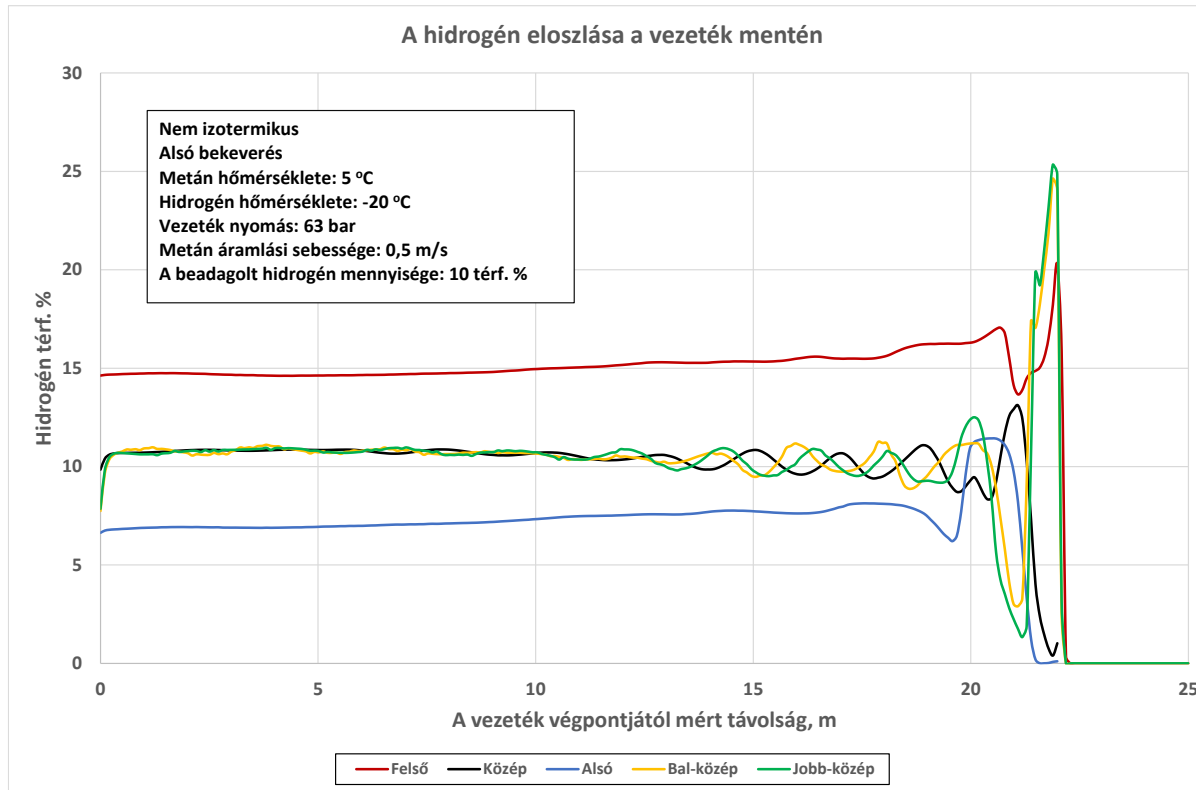
H2 .Mass Fraction
Contour 1



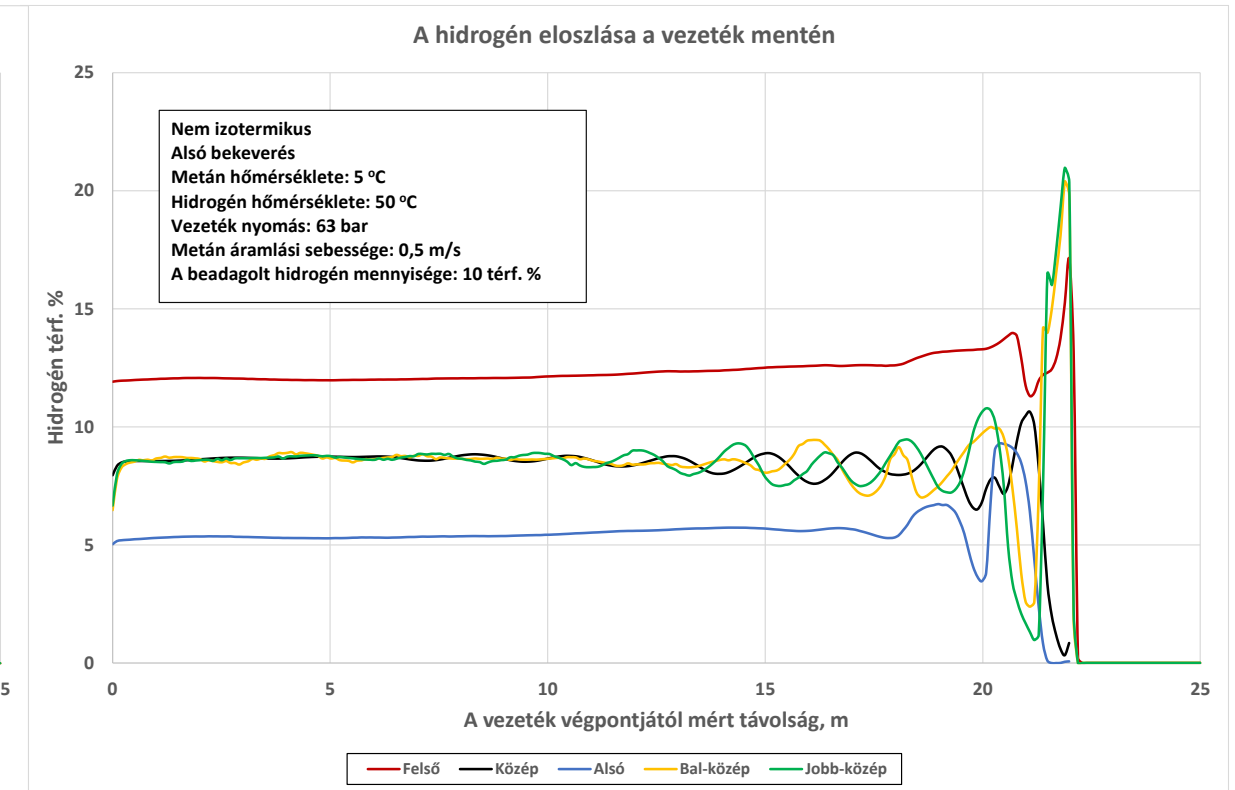
Metán sebesség 0,5 m/s, metán hőmérséklet 5 °C, nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet -20 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



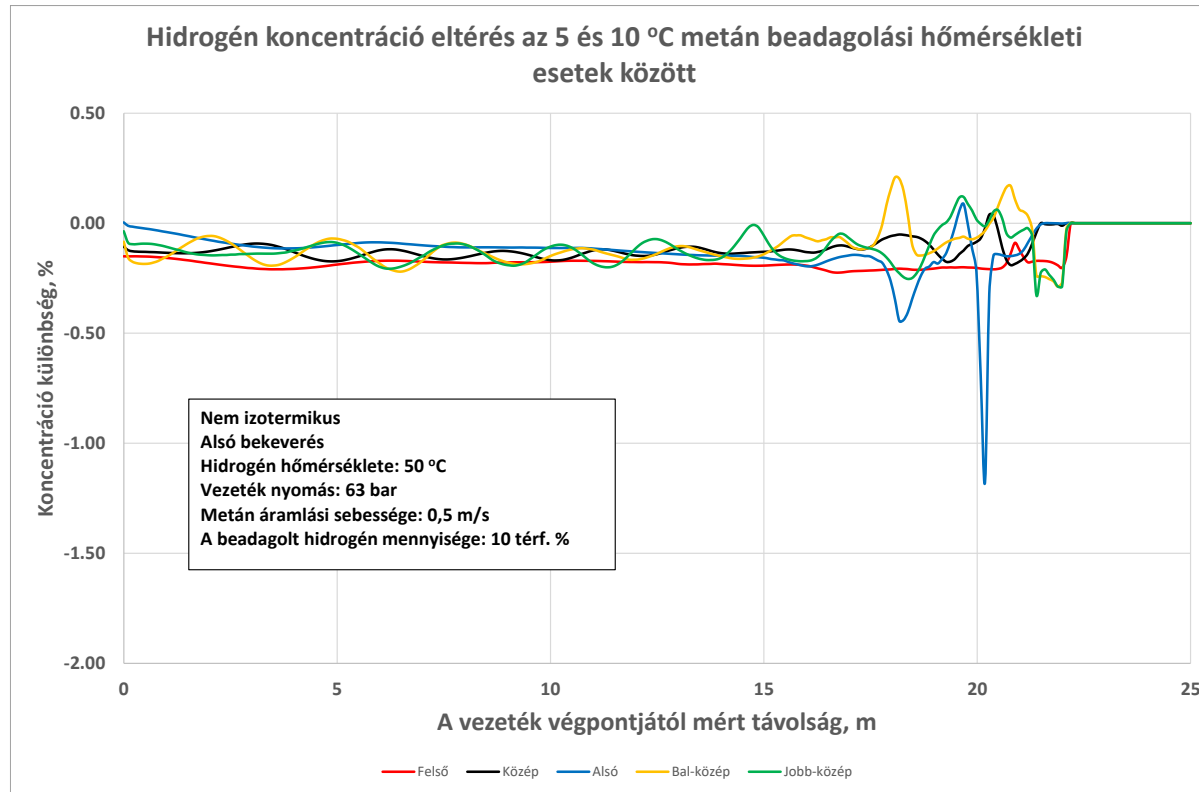
Metán sebesség 0,5 m/s, metán hőmérséklet 5 °C,
nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet -20 °C



Metán sebesség 0,5 m/s, metán hőmérséklet 5 °C,
nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet 50 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

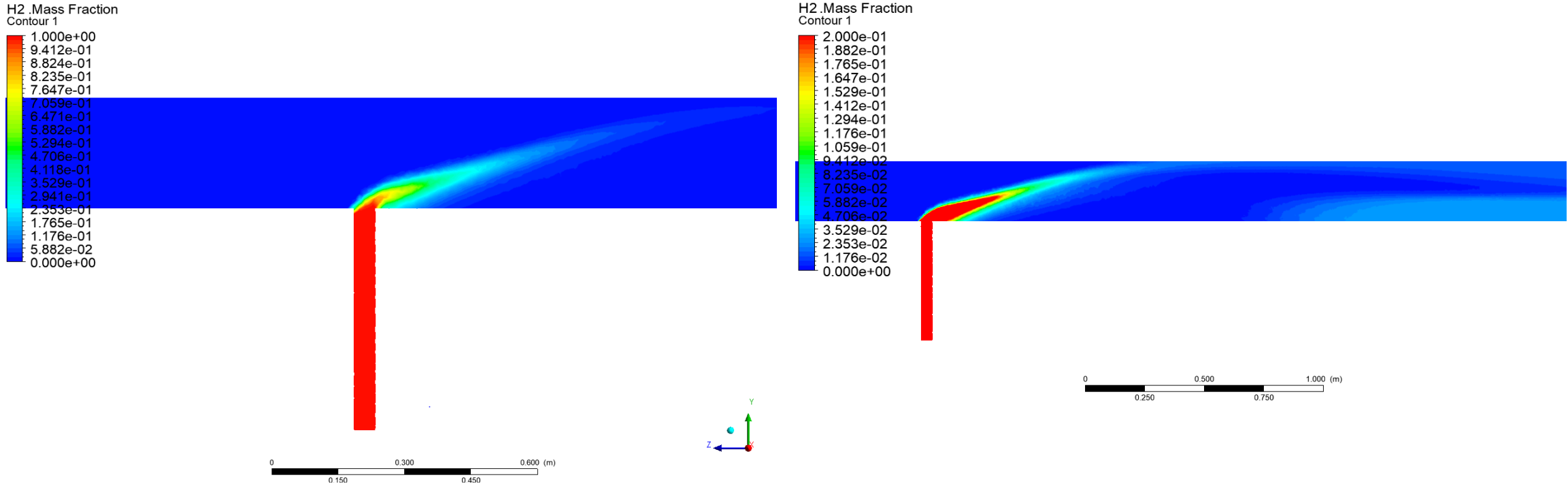
Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



A számított koncentrációk eltérése a 10 és 5 °C metán hőmérsékletű esetek között, metán áramlási sebesség 0,5 m/s, nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet 50 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

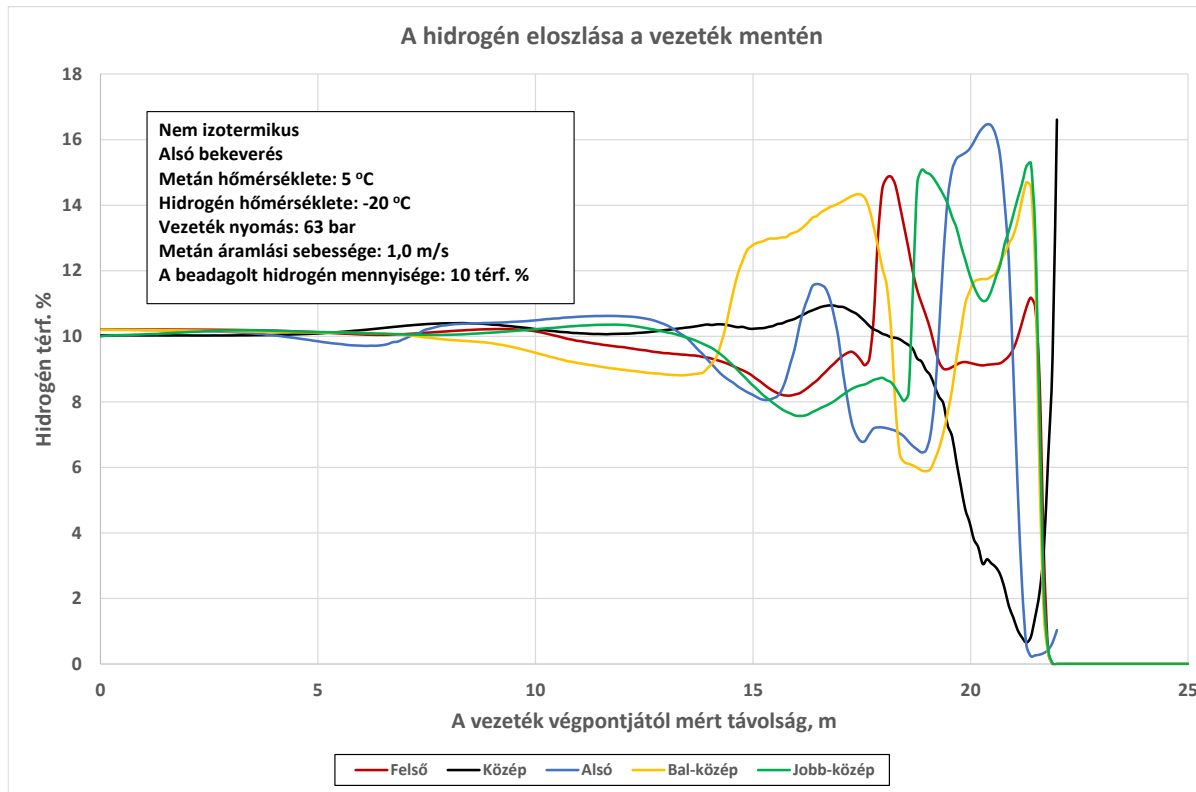
Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



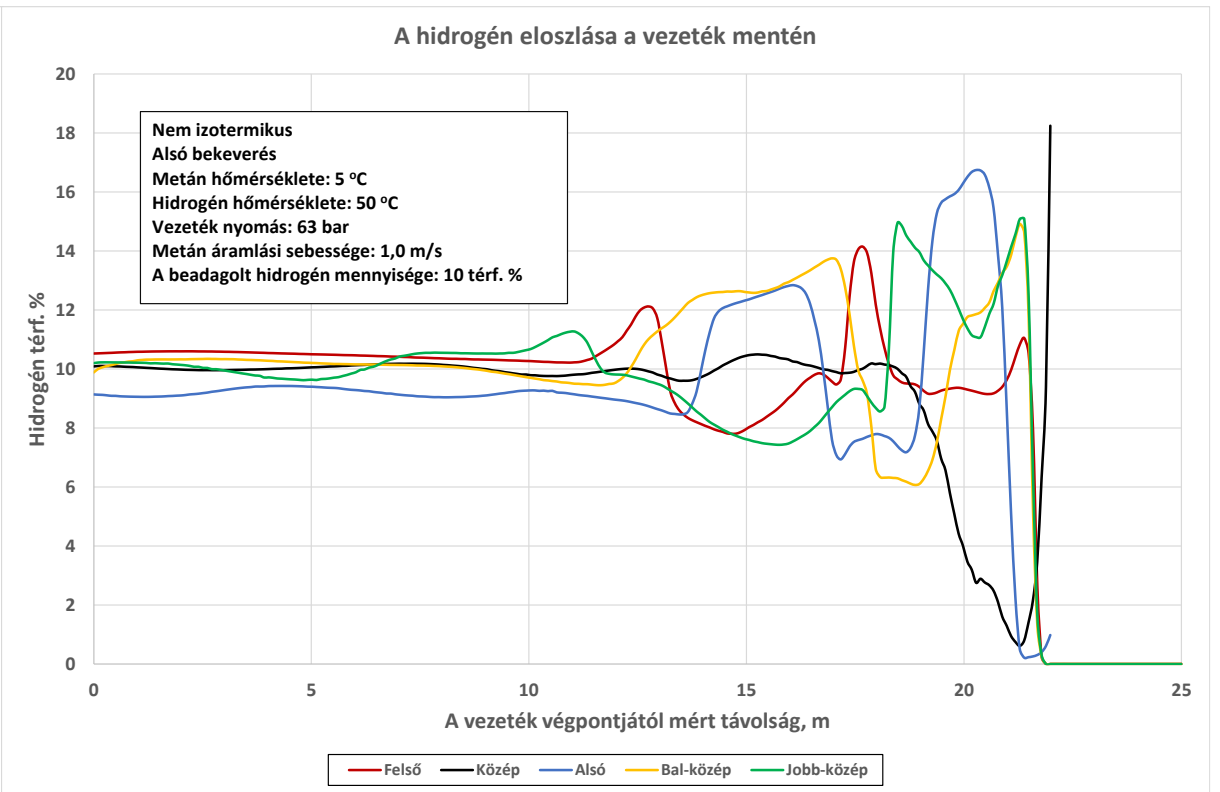
Metán sebesség 1,0 m/s, metán hőmérséklet 5 °C, nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet -20 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



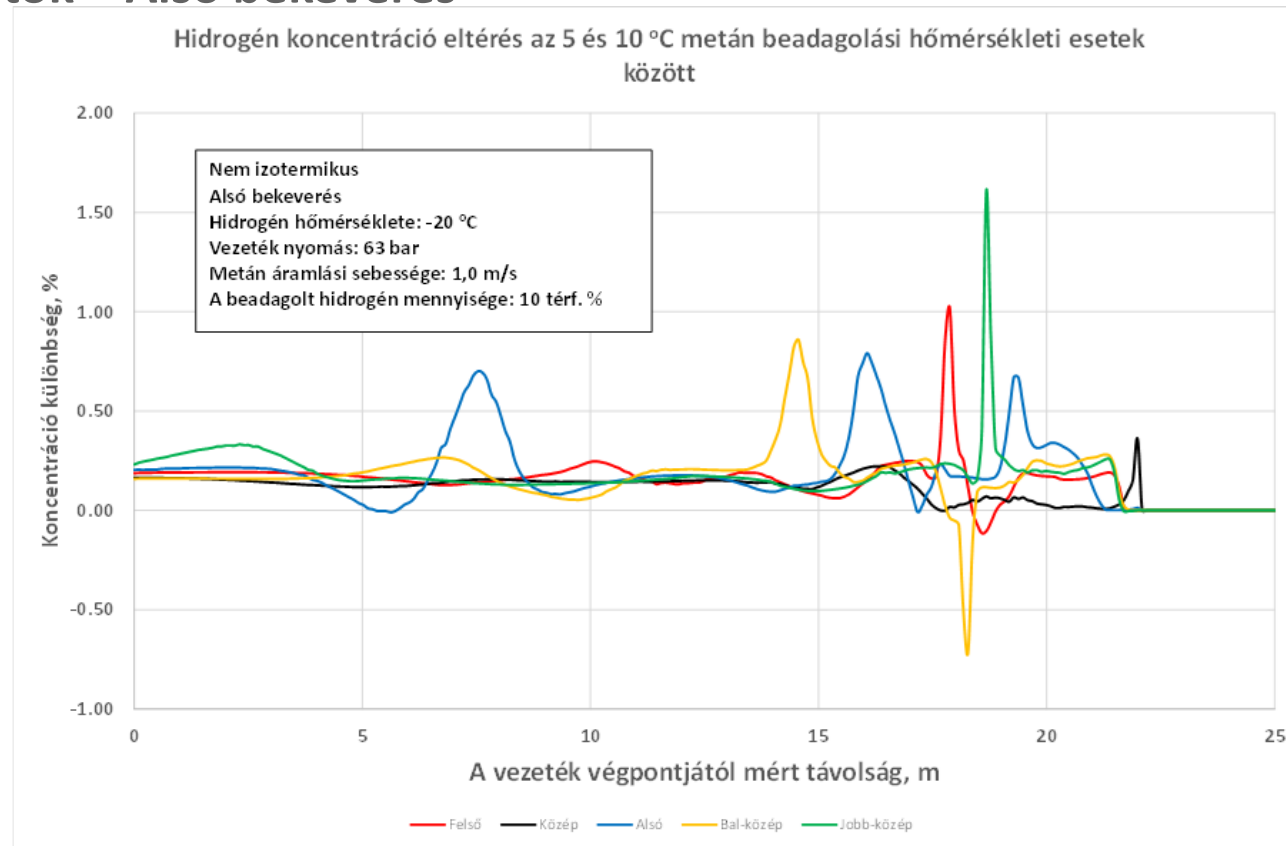
Metán sebesség 1,0 m/s, metán hőmérséklet 5 °C,
 nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet -20 °C



Metán sebesség 1,0 m/s, metán hőmérséklet 5 °C,
 nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet 50 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok – Alsó bekeverés



A számított koncentrációk eltérése a 10 és 5 °C metán hőmérsékletű esetek között, metán áramlási sebesség 1,0 m/s, nyomás 63 bar, hidrogén hőmérséklet 50 °C

Szegregációs és elegyedési vizsgálatok

Bekeveréses vizsgálatok – Összegzés

- **A felső beadagolási mód esetén a metán és hidrogén nem keveredik el megfelelően.**
- **Az alsó bekeverési mód esetén a gázkeveredés a 0,5 m/s metán sebesség mellett bár lényegesen jobb, mint a felső bekeverésnél tapasztalt, mégsem kielégítő. A vezeték felső és alsó részén a célkoncentrációtól számottevően eltér a keverék összetétele.**
- **Alsó bekeverési mód esetén, ha a metán sebessége 1 m/s, a gázkeveredés megfelelő, a célkoncentrációtól való eltérés, a vezeték teljes keresztmetszete mentén, a bekeverési ponttól mintegy 7,5 – 12,0 m távolságra már nem számottevő.**
- **Az eltérés a nyomás növekedésével némileg csökken, a hőmérséklet növekedés hatására némileg nő.**
- **A szimulációs eredményeket csak akkor lehet fenntartások nélkül elfogadni amennyiben az eredmények mérésekkel történő ellenőrzése is megtörtént.**

KÖSZÖNJÜK A FIGYELMET!

2. Folyamatirányítási rendszer modellezése létesülő hidrogén-földgáz hálózaton

Miskolci Egyetem

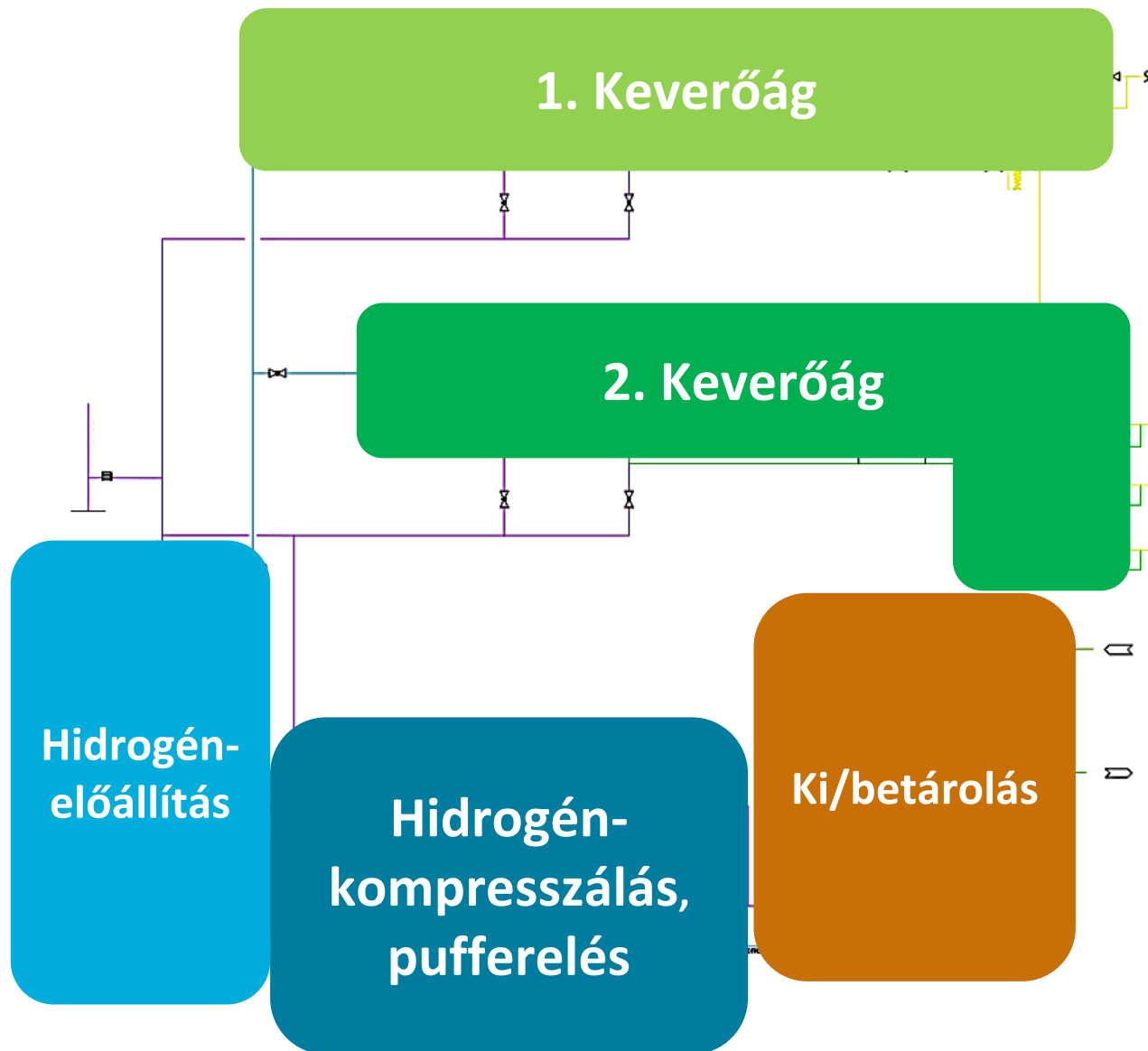
Elektronikai és Informatikai Kutatóintézet (EIKI)



Dr. Bölkény Ildikó
Kutatási program
vezető



Híd az ipar és az egyetem között



Mérőeszköz-csoport kialakítása és folyamatirányítási rendszer modellezése

Eszközök:

- Nyomástávadó: 16 db
- Hőmérséklettávadó: 8 db
- Nyomásszabályozó: 4 db
- Koncentráció távadó: 6 db
- Hozamtávadó: 7 db
- Szelep: 78 db

Közeg:

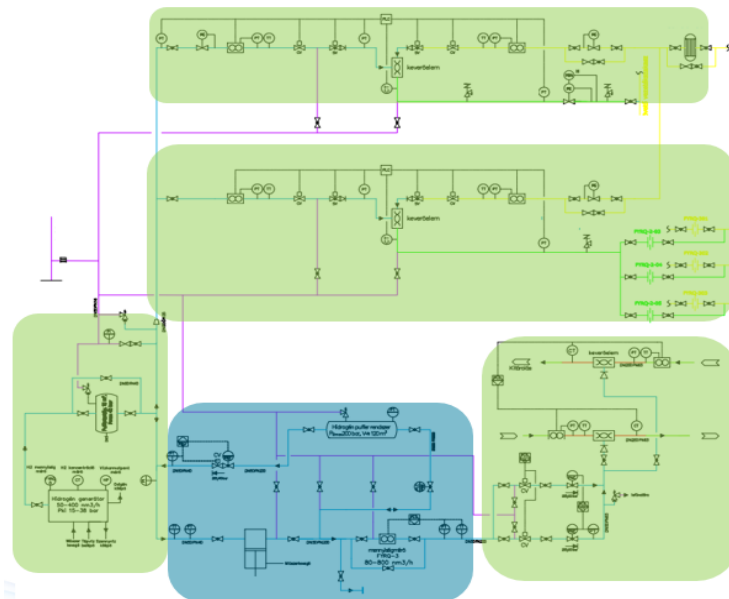
- 100% földgáz
- 100% hidrogén
- Hidrogén-földgáz elegy

- Hidrogén
- Hidrogén előfordulása az iparban
- Földalatti gáztárolók műszerezése
 - Áramlásmérési módszerek, mennyiségmérők
 - Nyomásmérés, nyomástávaók
 - Hőmérsékletmérés, hőmérséklet távadók
 - Szintmérés, szint távadók
- Távadókkal kapcsolatos problémák, megoldások
 - Anyagminőség
 - Membránnal kapcsolatos problémák
 - Nagynyomású hidrogén hatása
 - Hidrogénnel használható O-gyűrűk
- Hidrogén szenzorok
 - Katalitikus
 - Hővezetés
 - Elektrokémia
 - Ellenálláson alapuló
 - Kilépési munkán alapuló
 - Mechanikus
 - Optikai
 - Akusztikus
- Hidrogén mérése földgázban
- Szivárgó hidrogén mérése

Ajánlati mátrix létrehozása

- **Paraméterek:**

- Üzemi hőmérséklet: -20 és +50 °C
- ATEX: II 2G IIC Gb T3
- Kommunikáció: 4-20mA, HART
- Közeg: 100% H₂, 100% földgáz, elegy (2-20% H₂ tartalom)
- Max nyomás: 60 vagy 220 bar
- Karbantartási igény
- Ár
- Pontosság
- Mérési ciklusidő (H₂ mérésnél)



- **Eszközlista:**

- nyomástávadó
- hőmérséklettávadó
- hidrogén koncentráció mérő, távadó
- szerelvények
- mennyiségmérő



Miskolci Egyetem
Elektronikai és Informatikai Kutatóintézet



Hőmérséklet távadó



ABB SensyTemp TSP111, TSP121, TSP131
Temperature sensors

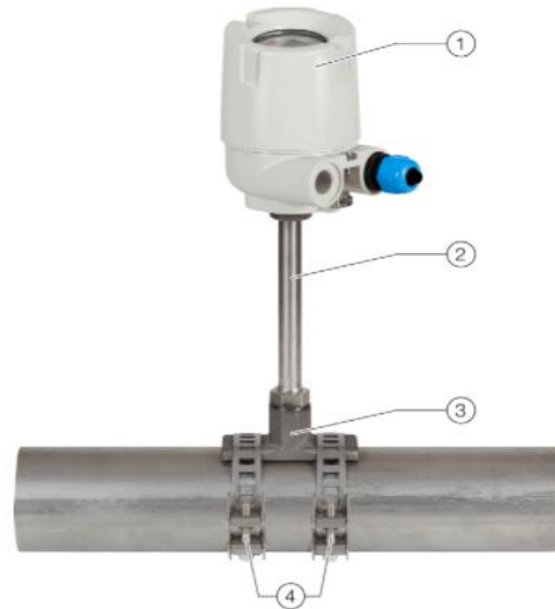


ABB TSP341-N Sensor for non-invasive
temperature measurement

Nyomástávadó



SE Advanced Performance Pressure Transmitters



Nivelco Pressure Transmitters



ABB 266HSH

Mennyiségmérő

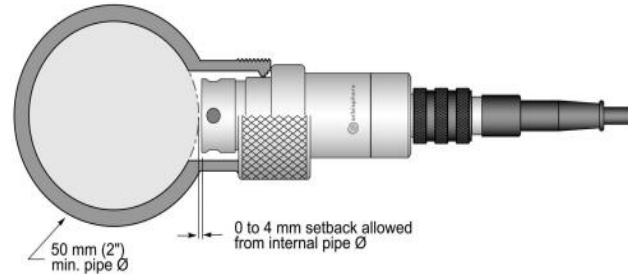


Schneider Electric I/A Series Intelligent Vortex
Flowmeter, Flanged

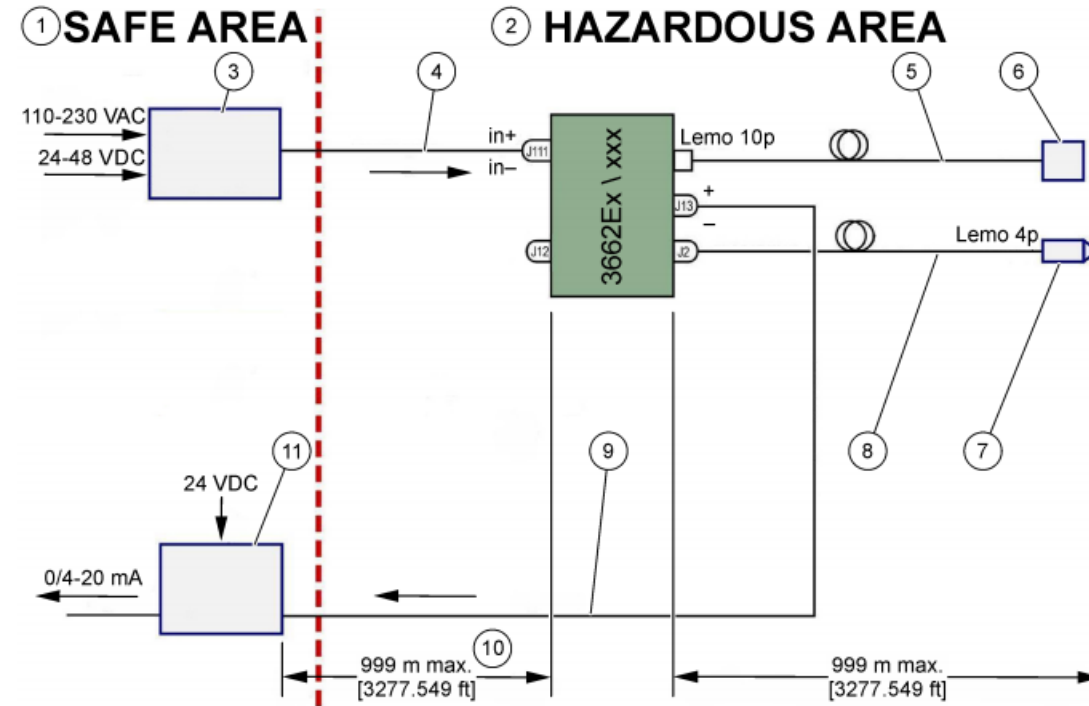


ABB FAM541

Hidrogénmérő



Hach Orbisphere adatgyűjtő és elektrokémiai szenzor



Számítómű

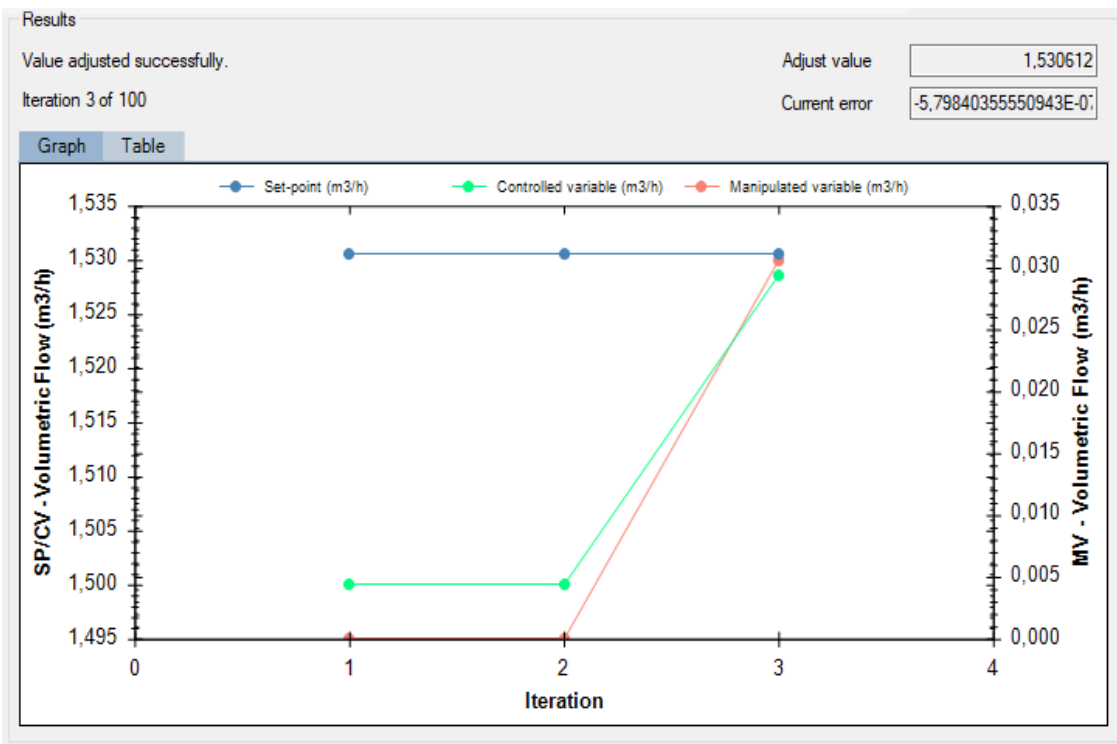


Uniflow-200 MFC számítómű
hozamszámításhoz

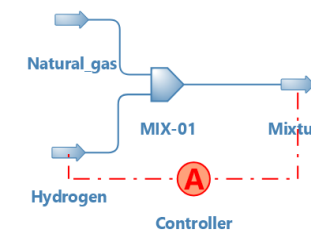
Szimuláció - DWSIM

- Hidrogén koncentrációk:**

- Minimális 2%
- Közepes 10%
- Maximális 20%



PROPERTIES TABLE			
Natural_gas	Pressure	35	bar
Natural_gas	Volumetric Flow	1,5	m3/h
Natural_gas	Mass Flow	35,7198	kg/h



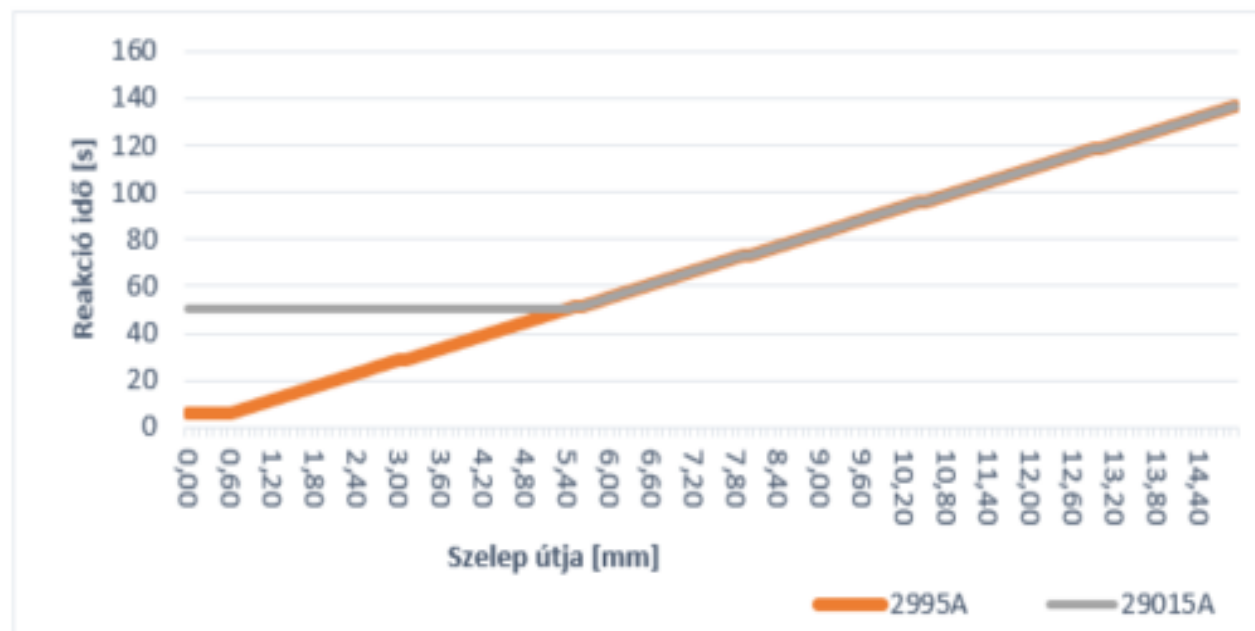
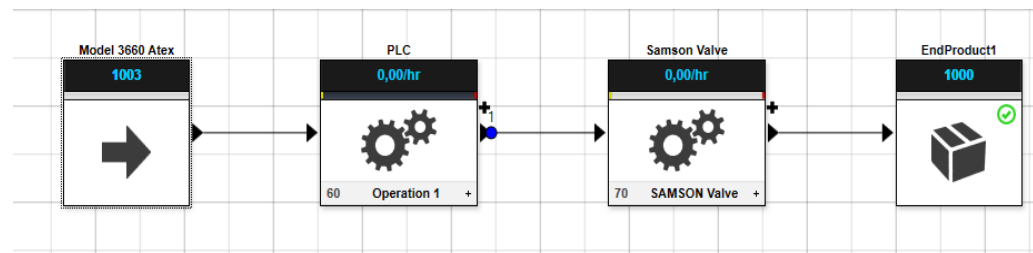
PROPERTIES TABLE			
Mixture	Pressure	35	bar
Mixture	Volumetric Flow	1,52852	m3/h
Mixture	Mass Flow	35,8069	kg/h

PROPERTIES TABLE			
Hydrogen	Pressure	35	bar
Hydrogen	Volumetric Flow	0,030612	m3/h
Hydrogen	Mass Flow	0,0871325	kg/h

Szimuláció - Autodesk Process Analysis

- Hidrogén szenzorok:**

- 2995A (6s)
- 29015A (50s)



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

3. Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira kutatási program

Debreceni Egyetem
Szilárdtest Fizikai Tanszék

Erdélyi Zoltán
Tanszékvezető egyetemi tanár

Budapest, 2021. október 01.

Department of SOLID STATE PHYSICS



Cserhádi Csaba



Erdélyi Zoltán



Langer Gábor



Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

A kutatási program célja

- hogy meghatározzuk azokat a várható hatásokat, amelyek a hidrogén okozhat a meglévő földgáz infrastruktúra rendszerekben
- egy gázpermeációs mérőrendszer tervezése és költségének becslése
 - Lehetővé teszi a ténylegesen használatban lévő anyagok vizsgálatát
 - A gázpermeációs adatok információt adhatnak a használatban lévő anyagok „állapotáról”
 - Gázveszteség becslése

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

A hidrogén acélra gyakorolt káros hatása már több, mint 140 éve ismert.

- Ennél fogva a terület szakirodalma elképesztően széles.

Tanulmány

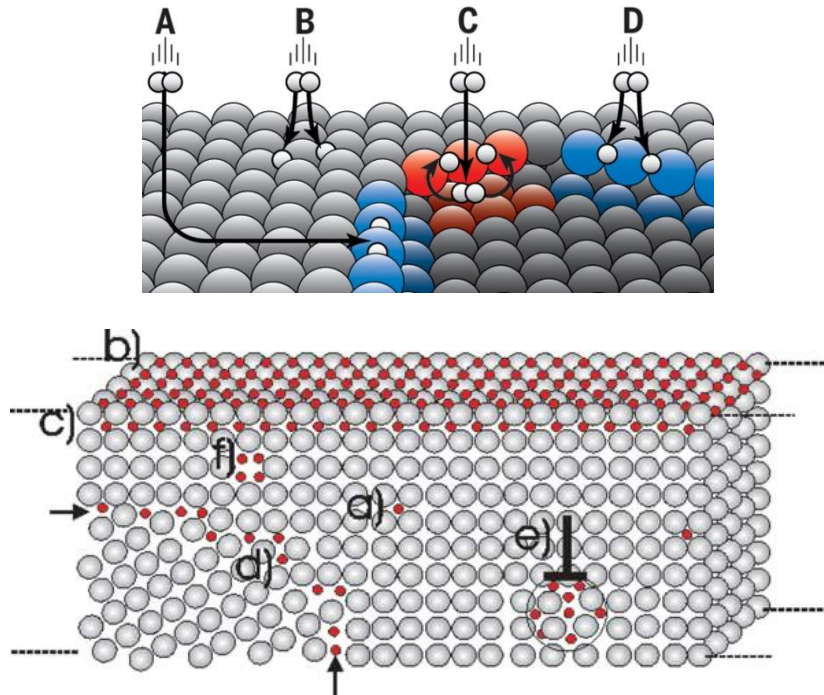
- 12 fejezet: ~ 160 oldal
- Melléklet: ~ 40 oldal

Összesen: ~ 200 oldal terjedelmű

Alapja

- több száz tudományos közlemény
- több mint 5000 oldalnyi terjedelmben

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira



- A hidrogén bejut az acélba
 - Adszorpció
 - Fiziszorpció
 - Disszociatív kemisorpció
 - Rekombinatív deszorpció
 - Oldódás
 - Oldékonyság
 - Diffúzió
 - Csapdázódás
 - Atomos H
 - H₂ molekula

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

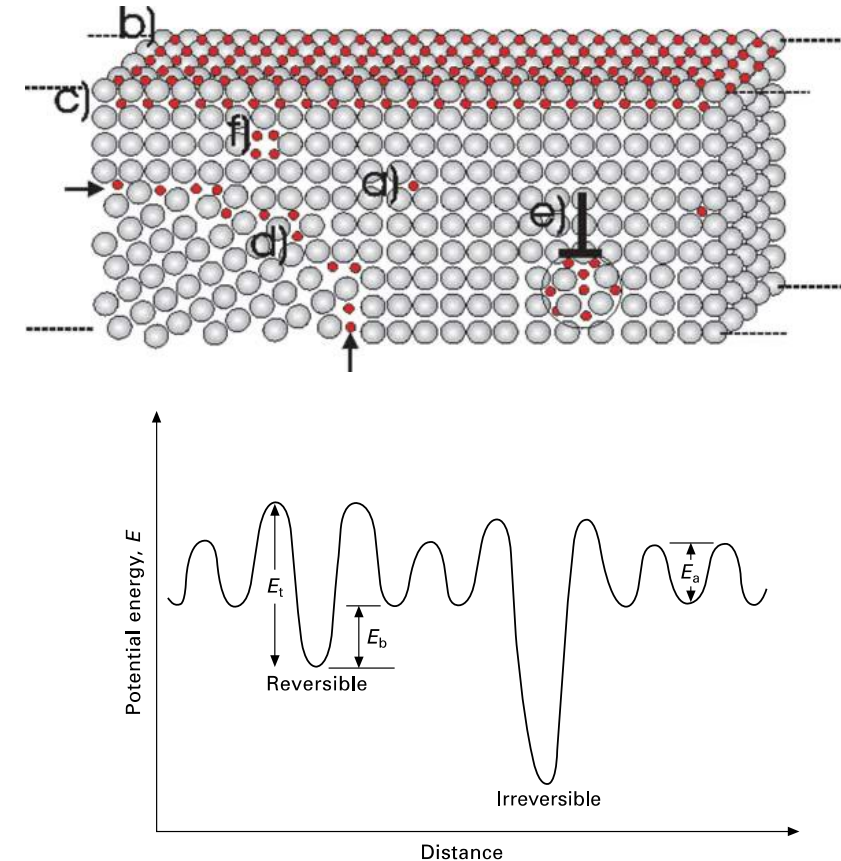
A bejutást az acél felületének minősége és szennyezettsége nagymértékben befolyásolja

- Az **acél felületén lévő filmréteg, oxidréteg** hatékonyan csökkentheti a hidrogénfelvételt.
- Az **aktív korróziós helyek**en azonban a hidrogén diffúziója növekedhet, ráadásul egyes korróziós folyamatok hidrogénfejlődéssel járnak, ami felgyorsítja az anyagok romlását. Az anyagban már meglévő kis repedések mentén a hidrogén diffúziója felgyorsul, ami repedésnövekedéshez vezethet.
- A **felületi szennyezés** további hidrogénforrásként is működhet – pl. olaj szétesése mechanikai igénybevétel esetén (pl. kompresszorokban) –, vagy megkönnyítheti a hidrogénfelvételt.

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Hidrogén diffúzió és csapdázódás fémekben

- Az acélban nem egyenletesen oszlik el
 - **Hibák**: üregek, diszlokációk, zárványok stb. → **csapdák**
- Csapdák típusai
 - Reverzibilis, irreverzibilis
 - Telíthető, nem telíthető



Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

- A csapdahelyek szerepe döntő fontosságú a hidrogén okozta károsodások szempontjából.
 - a mikroszerkezet és a mechanikai feszültségek szerepe is meghatározó
- Így a **csapdahelyek** eloszlásának, típusának, **telítettségének ismerete kulcsfontosságú** a hidrogén okozta károsodások előrejelzése szempontjából.
 - A jelenlegi vezetékrendszer anyagának hidrogéntelítettsége önmagában előre jelezheti, hogy a hidrogén földgázhoz keverése esetében várható-e a meghibásodások gyakoriságának növekedése

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Ugyanis:

- Ha a használatban levő, de eddig hidrogén szállítására nem használt csőrendszer vizsgálata azt mutatja, hogy a minták **telítve vannak hidrogénnel** vagy közel vannak a telítéshez (gyártás során bekerülő H_2 , katódvédelem, korrózió, hegesztés miatt) a **hidrogén rendszerbe eresztésével nem várható a mechanikai stabilitás lényeges romlása**.
 - Külön megfontolást igényelhetnek az olyan esetek, amikor **nem az anyag térfogatába beoldódott hidrogén okoz** a mechanikai tulajdonságokban **változást**, hanem pl. a repedésekbe jutó hidrogén hoz létre korróziós folyamatokat, pl. feszültségkorrózió esetében.

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

- Amennyiben a mintákban kevés hidrogén van és így messze vannak a telítettségi állapottól a hidrogén csőrendszerbe juttatása **nagy valószínűséggel növelni fogja a törések előfordulását.**
- Más – pl. mechanikai, elektrokémiai – vizsgálatok a már akár több 10 éve használatban lévő anyagok esetében erre nem alkalmasak!

Termodeszorpciós tömegspektrométeres (TDS) méréseket javaslunk!

Egy TDS alapú mérőrendszerre költségbecslét adtunk –
árjajánlatok alapján.

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Gázösszetétel szerepe

- **A metán nem növeli a hidrogén károsító hatását**, sőt a legtöbb publikáció szerint kis mértékben csökkenti azt.
- Néhány gáz – O_2 , CO , N_2O és CO_2 – már alacsony koncentrációban is (100 ppm) jelentősen csökkenti az acélok hidrogén okozta károsodását.
- A H_2S egyértelműen káros hatású.
- Egyéb komponensek hidrogénnel való együttes hatása nem ismert.

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Gáznyomás szerepe

- Nagyon ritka a több száz vagy ezer atmoszférán végzett vizsgálat.
 - **A hidrogénhez kapcsolható, különböző fizikai és mechanikai jellemzők növekvő nyomással összefüggő változása telítettséget mutat**, azaz 100 atmoszféra felett ezek a paraméterek alig változnak.

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

- Ezek alapján az várható, hogy az **acél a földgáz-hidrogén elegy** hatására úgy fog viselkedni, mint az olyan nyomású tiszta hidrogén hatására melynek nyomása megegyezik a földgáz-hidrogén elegyében a **hidrogén parciális nyomásával**.
 - Tehát ha a nyomás a csőben 69 atmoszféra és a hidrogén tartalom 2%, akkor annak hatása a cső anyagának mechanikai tulajdonságára lényegében ugyanaz, mintha a csőben 1,38 atmoszféra nyomású tiszta hidrogéngáz lenne.
 - Éppen ezért joggal **feltételezhető, hogy a néhány százaléknyi hidrogént tartalmazó nagynyomású földgáz-hidrogén elegy helyett a vizsgálatok során használható lényegesen kisebb nyomású – atmoszférikus nyomást nem, vagy alig meghaladó – tiszta hidrogén.**

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

- **Ha** a metánon kívül a földgázban lévő **egyéb komponensek hidrogénnel való együttes hatását is vizsgálni kívánjuk**, akkor azok a tiszta hidrogénhez keverhetők.
 - Minthogy ezek parciális nyomása a földgázban nagyon kicsi, így a tesztgáz nyomását lényegesen nem növelik
 - Még ebben az **esetben is elkerülhető a nagynyomású berendezések használata.**

A méréseket max. néhány 10 atmoszféra nyomáson javasolt elvégezni

- **Biztonságosabb**
- **Költséghatékonyabb**

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Gázfázisú permeációs méréseket is javasolunk

- Nem csak fémrendszerekre hanem bármilyen szerkezeti anyagra kiterjeszthetjük
 - **tömítések** hidrogénnel szembeni ellenállóképessége
 - dekompressziós felhólyagosodás vagy felhasadás
 - ráadásul ezek jelenleg szinte biztosan nem tartalmaznak hidrogént → nem kizárható, hogy **a megjelenő hidrogéngázzal való érintkezésre reagálni fognak**
 - membránok esetében például a földgáz hidrogén elegyből történő hidrogén szeparáció hatásfoka
 - gáztömörség vizsgálata
 - gázveszteségi becslések

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Tehát két mérési eljárást javasolunk:

- termodeszorpciós tömegspektrométeres méréseken alapuló hidrogéntartalom mérést
- gázfázisú hidrogénpermeációs méréseket

Ezek kombinációjával nagyon jól megbecsülhetjük a földgázba kevert hidrogén hatását a rendszer egyes elemeire, illetve egészére nézve.

Megjegyzés:

- Kockázatok és a költségek arányát figyelembe véve, már az egyik is értékes információt adhat
- Jövőbeni fejlesztési terveket is támogatni tudják

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Összefoglalás

Az irodalmi adatokra támaszkodva, véleményünk szerint:

- Meg kell határozni a jelenleg használatban lévő rendszer elemeinek hidrogéntartalmát. Ennek mérésére termodeszorpciós tömegspektrométeres (TDS) vizsgálatot javasolunk.

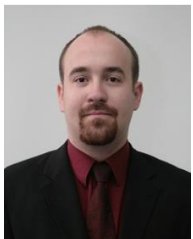
Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

Közel telítve vannak hidrogénnel	Nincsenek telítve hidrogénnel
nem várható a mechanikai stabilitás lényeges romlása a hidrogén csőrendszerbe juttatásával	a hidrogén csőrendszerbe juttatása a nagy valószínűséggel növelni fogja a törések előfordulását
Javasolt mérések	
Gázfázisú permeációs mérés: <ul style="list-style-type: none">• Tömítések, egyéb szerkezeti elemek vizsgálata• Pontosabb gázveszteség becsülhető• Membránok (gázszeptáció) vizsgálata• Új anyagok vizsgálati lehetősége	TDS mérés: <ul style="list-style-type: none">• Telíthetőség mérése• Csapdák feltérképezése Javasolunk gázfázisú permeációs mérést: <ul style="list-style-type: none">• Tömítések, egyéb szerkezeti elemek vizsgálata• Pontosabb gázveszteség becsülhető• Membránok (gázszeptáció) vizsgálata• Új anyagok vizsgálati lehetősége Mikroszerkezeti vizsgálatok (SEM, TEM, FIB, XRD) Mechanikai vizsgálatok

Különböző hidrogén-földgáz elegyek hatása a szénacélok fizikai tulajdonságaira

- Olyan esetekben, amikor feltételezhető, hogy **nem az anyag térfogatába beoldódott hidrogén okoz** mechanikai tulajdonságokban **változást**, hanem pl. a repedésekbe jutó hidrogén hoz létre korróziós folyamatokat – pl. feszültségkorrózió esetében –, a **mikroszerkezeti és mechanikai vizsgálatok a hidrogénnel közel telített anyagok esetében is javasolt.**
- Javasolt a földgáz-hidrogén elegyhez történő azon gázok adalékolása, melyek jelentősen csökkentik az acélok hidrogén okozta károsodását (pl. O_2 , CO_2) – a szabványok adta kereteken belül. A metán elhanyagolható mértékben befolyásolja a hidrogén károsító hatását.
- Elegendő az elegyben lévő hidrogén parciális nyomásával megegyező nyomású tiszta hidrogénben végezni a vizsgálatokat; esetleg hidrogén-egyéb komponens elegyben.
- **114 mm külső átmérőjű, 7,3 mm falvastagságú csövön keresztüli hidrogén gázvesztesség 25 °C-on 1 liter naponta és kilométerenként, ha a nyomás a csőben 69 atmoszféra és a hidrogén tartalom 2%. Ugyanez az érték 200 °C-on 220 liter.**

Köszönöm a figyelmet!



Előadó :
Dr. Egedy Attila –
kutatási program
vezető

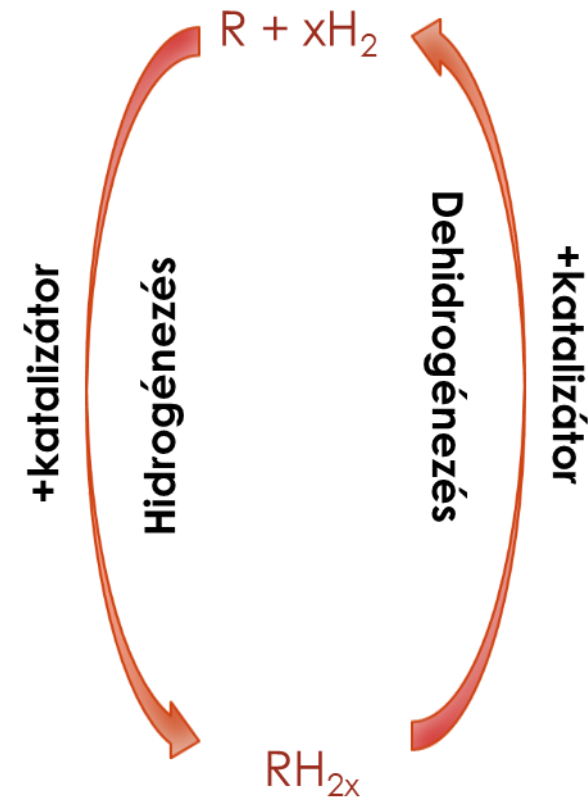


4. LOHC tárolási technológia K+F



1. Részfeladat - tanulmány

- A hidrogén, mint kémiai elem általános ismertetése, fizikai-kémiai tulajdonságainak jellemzésével
- Hidrogénipar helyzete, kormányzati direktívák, EU-s direktívák
- Hidrogén tárolás lehetőségei
- LOHC technológiák, energetikai és érzékenységvizsgálat
- Eljárások, katalizátorok
- Jellemző berendezések, méretnövelés
- Az érintett technológiákban a megvalósuló vagy tervezés alatt álló nemzetközi példák és esettanulmányok bemutatása
- Értékelés, javaslattétel, kitekintés



A katalitikus LOHC ciklus.

Előállítás, tárolás



Termokémiai eljárások

- Földgáz reformálás
- Szén elgázosítás
- Biomassza elgázosítás
- STCH (Solar thermochemical hydrogen)
- Biomassza alapú folyékony energiahordozók reformálása

Elektrolízis

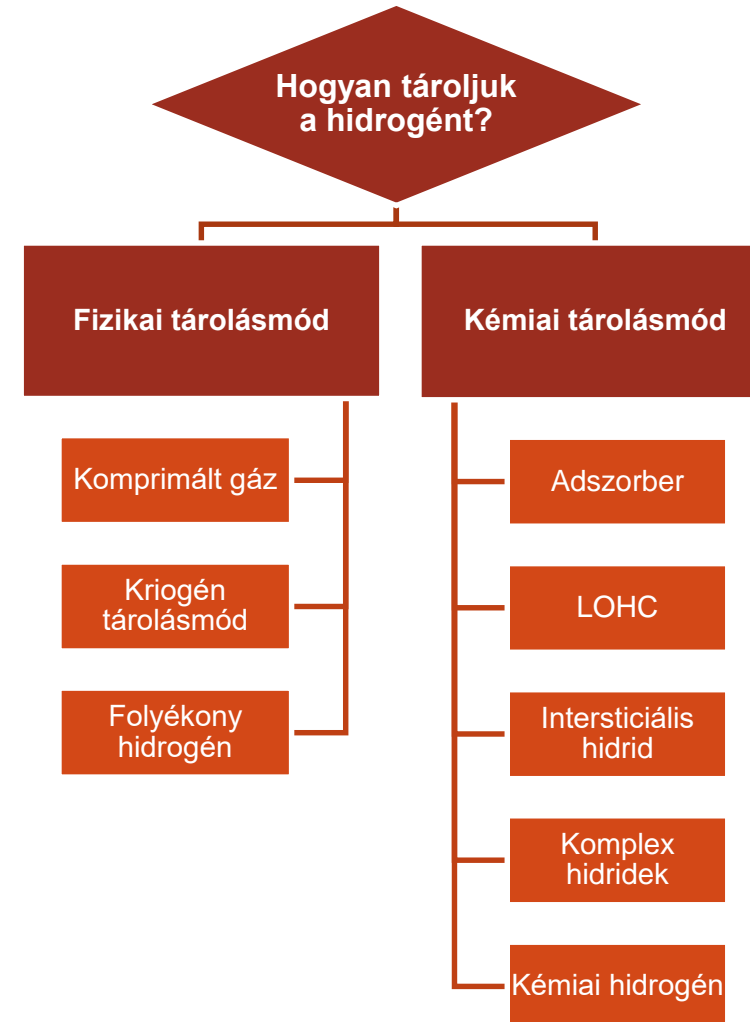
- Vízbontás

Fotoelektromos eljárások

- Fotoelektrokémiai eljárások (PEC)
- Fotobiológiai eljárások

Biológiai eljárások

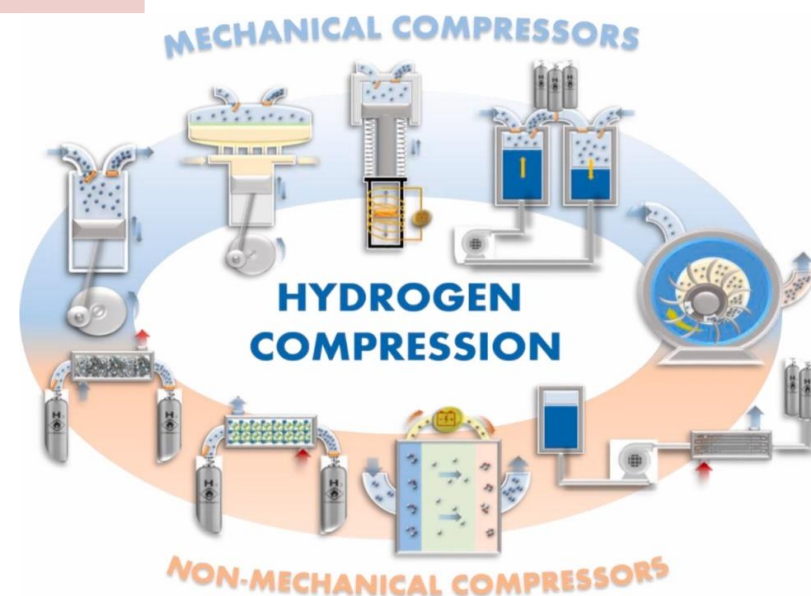
- Mikrobiális biomassza-átalakítás
- Fotobiológiai eljárások



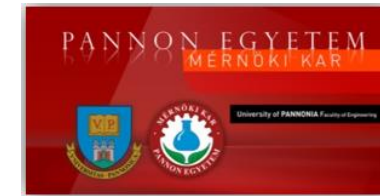
Komprimált tárolás



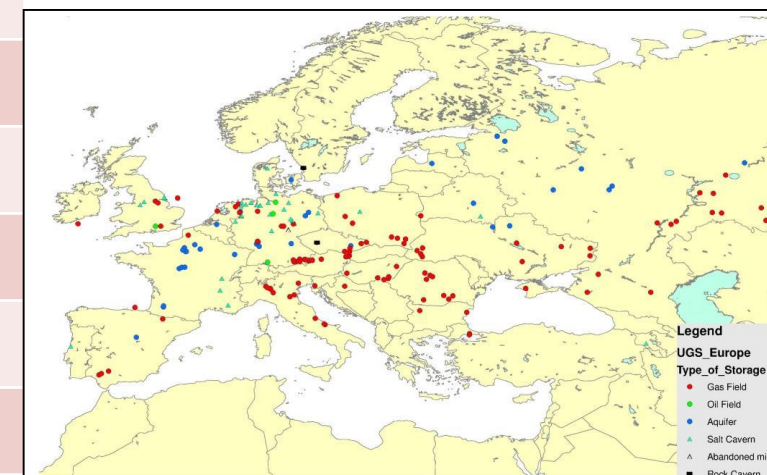
Típus	Tartály anyaga	Max. nyomás (bar)
1	fém	200
2	fém + szén-szál kompozit	200
3	fém (alumínium) + szén-szál kompozit	350
4	polimer + szén-szál kompozit	700
5	szén-szál kompozit (bélés nélkül)	fejlesztés alatt



Földalatti tárolás

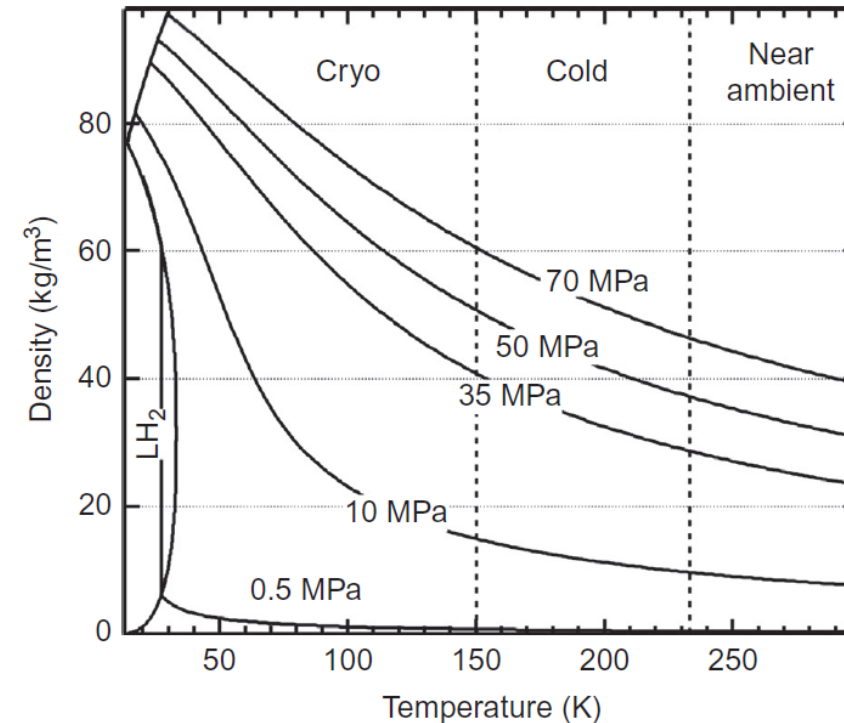


Hely	Típus	H ₂ (%)	Működési tartomány	Mélység (m)	Térfogat (m ³)	Állapot
Teesside (UK)	sókaverna	95	45 bar	365	210000	működik
Clemens (USA)	sókaverna	95	70–137 bar	1,000	580000	működik
Moss Bluff (USA)	sókaverna		55–152 bar	1,200	566000	működik
Spindletop (USA)	sókaverna	95	68–202 bar	1,340	906000	működik
Kiel (Germany)	sókaverna	60	80–100 bar		32000	lezárva
Ketzin (Germany)	aquifer	62	nem ismert	200–250	nem ismert	földgázzal működik
Beynes (France)	aquifer	50	nem ismert	430	3,3 × 10 ⁸	földgázzal működik
Lobodice (Czech Republic)	akvifer	50	90 bar/34 °C	430	nem ismert	működik
Diadema (Argentina)	kimerült gázmező	10	10 bar/50 °C	600	nem ismert	nem ismert
Underground Sun Storage (Austria)	kimerült gázmező	10	78 bar/40 °C	1000	6,8 × 10 ⁶	működik



Kriogén tárolás

- Különböző hőmérséklet és nyomás szintekhez különböző hűtőközegek alkalmazása, pl. propános hűtőkör alkalmazása,
- Helium-neon hűtőkör alkalmazása,
- Helium-neon alkalmazása a fordított Joule-Brayton körfolyamatban,
- Párolgási veszteségek csökkentése a tárolás és a szállítás során,
- A hidrogén technológiák követelményeinek megfelelő szigetelő anyagok továbbfejlesztése, a cseppfolyós hidrogén szállítási lehetőségei országon belül, kívül és kontinensek között, megújuló energiaforrások becsatornázása a technológiákba.

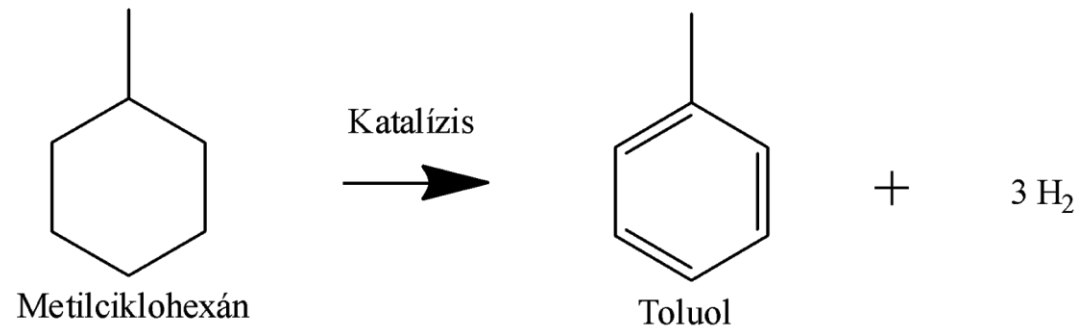
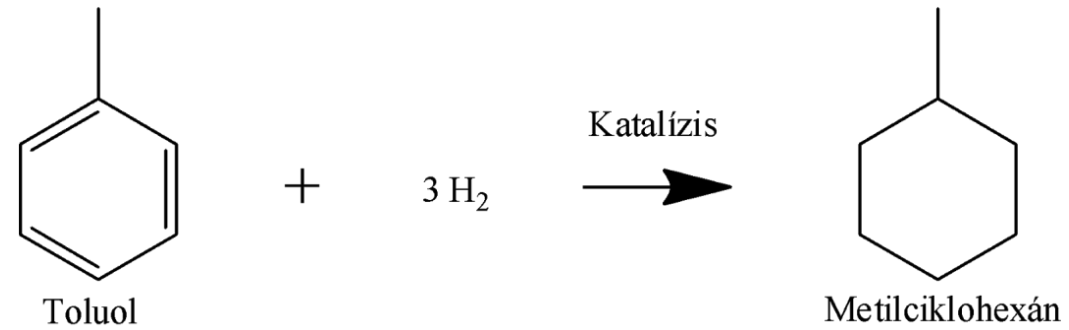


Adszorbensek, hidridek



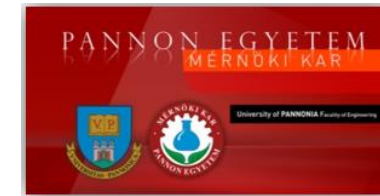
Adszorbens	Kapacitás (w/w%)
Aktív szén	2
Aktív szén	5,5 (77 K, alacsony nyomás)
Aktív szén	2,4 (77 K, 10 bar)
Grafit nanoszál	0,5
Grafit nanoszál-Pd	17 (300 K, 81 bar)
Aktív szén-Pd	5,5 (298 K, 80 bar)
Aktív szén-Pt	2,3
Grafit-Fe	3,9
Grafit-Ni	0,92
Grafit-Cu	0,97
Grafit-Co	1,8
Pórusos grafit-Ni	4,48 (298 K, 100 bar)
Tömb grafit-Al	3,48 (300 K, 1000 bar)
Grafit-Li (szimuláció)	6,5 (298 K, 20 bar)
Többfalú nanocső	1,97
Többfalú nanocső	3 (290 K, 100 bar)
Nanocső	1
Nanocső	4,2 (298 K, 120 bar)

Toluol, mint LOHC hordozó



- 2,4 kWh/L, 6,12 w/w%

Jellemző körülmények



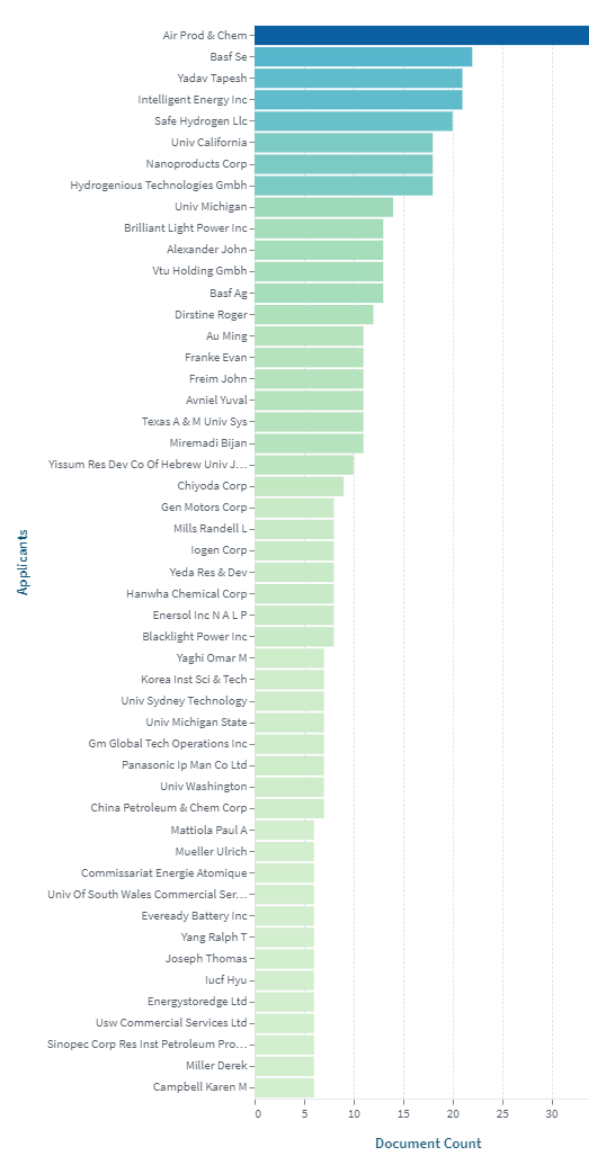
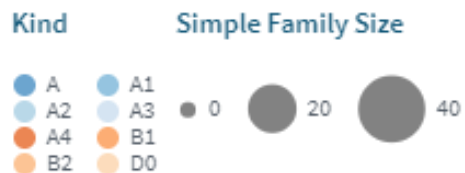
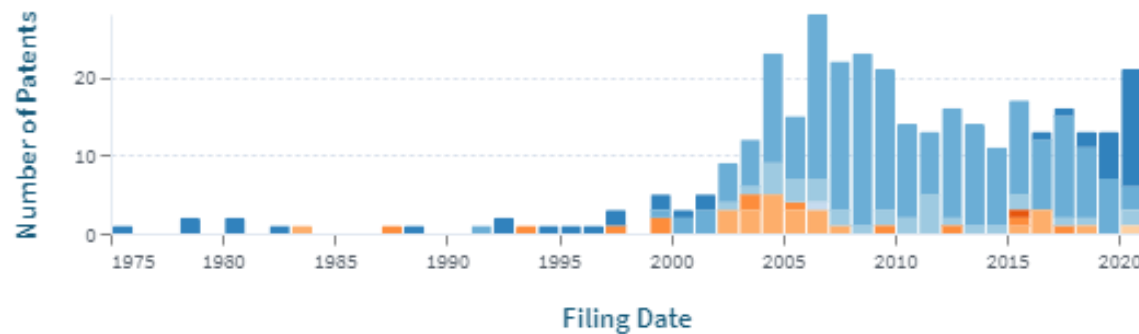
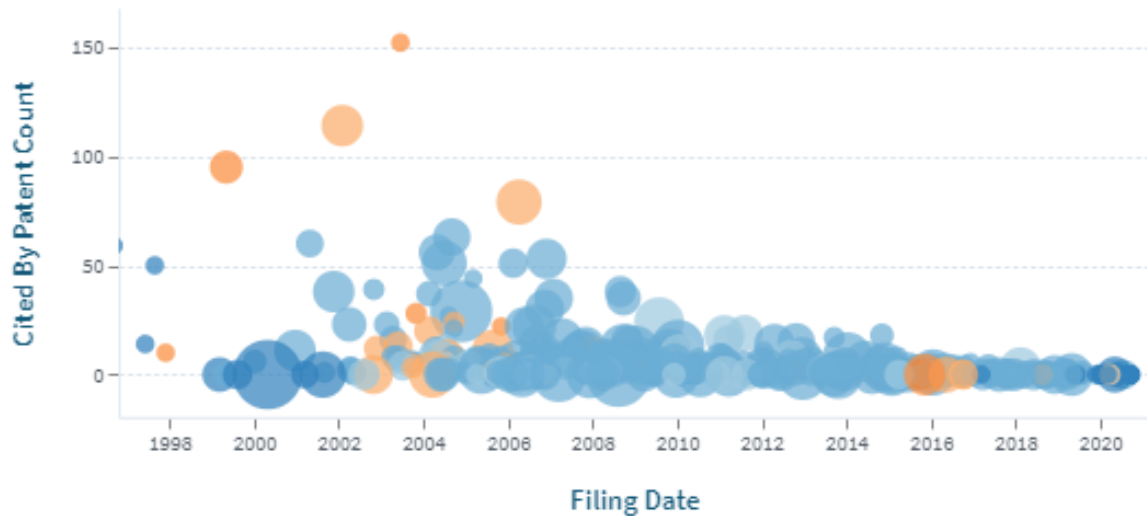
Hidrogénezés			
Katalizátor	Pt/Al ₂ O ₃	Ru/Al ₂ O ₃	Pt/Al ₂ O ₃
Nyomás (bar)	20	50	40
Hőmérséklet (°C)	150-300	150	270-320
Konverzió	100%	99%	100%
Tartózkodási idő		1.5	30

- Hidrogénezés:
 - 20-50 bar,
 - 80-180 °C,
 - 100% konverzió

Dehidrogénezés				
Katalizátor	Pt/Al ₂ O ₃	Pt/C	Pt/Al ₂ O ₃	Pt/Al ₂ O ₃
Nyomás (bar)	1	1	2	2
Hőmérséklet (°C)	250	270	320	320
Konverzió		97%		81,3%
Tartózkodási idő		3,5		0,5-5

- Dehidrogénezés:
 - 1-5 bar,
 - 290-310 °C,
 - 90-100% konverzió

Szabadalmi térkép



Ipari alkalmazások



Tulajdonság		Dibenzil-toluol/ Perhidro-dibenzil- toluol	N-etilkarbazol/ Dodekahidro-N- etilkarbazol	Toluol/ Metil- ciklohexán
Tárolási energiasűrűség (MWh/Nm ³)		2,5	2,01	1,58
Olvadáspont (°C)/ forráspont (°C)	Nem-hidrogénezett		- / 280	-127 / 101
	Hidrogénezett	-39 / 390	69,1 / 348	-95 / 111
Hidrogénezés	Nyomás (bar)	30-50	70	10-50
	Hőmérséklet (°C)	150	150	50-100
	Reakcióhő (kJ/mol H ₂)	-65	-53	-68,3
Dehidrogénezés	Nyomás (bar)	1	1	3
	Hőmérséklet (°C)	320	220	350
	Reakcióhő (kJ/mol H ₂)	65	53	68,3
Toxikusság		-	irritáló	irritáló, rákkeltő
Gyúlékonyság		alacsony	alacsony	magas
Ár (€/kg)		< 4	> 40	< 1



Ipari példák

Toluol

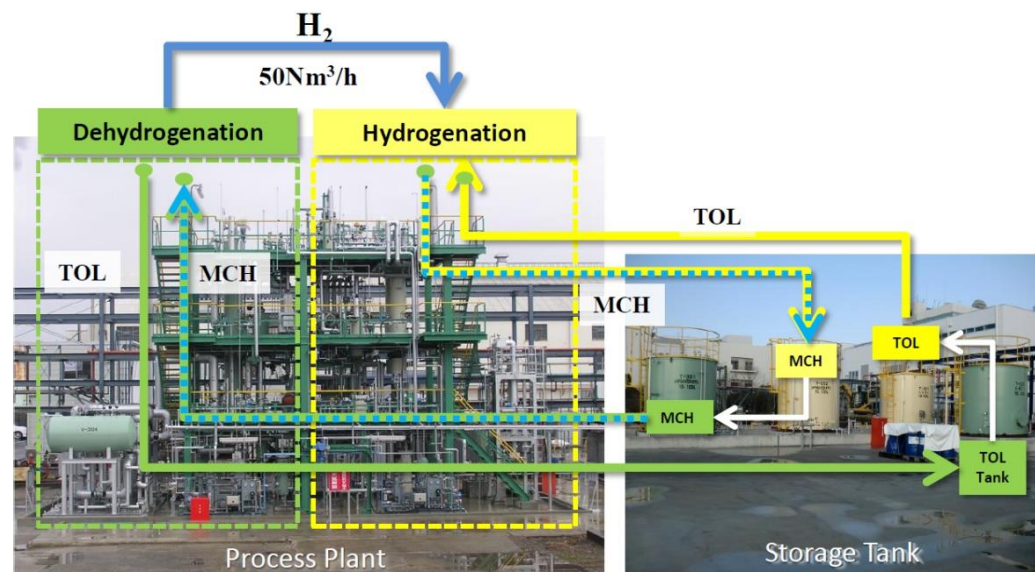
- Chiyoda Corp (JP)

Dibenzil-toluol

- Hydrogenious (DE)
- H2-Industries (CH)
- [HySA (SA)]

Egyéb/nem publikált

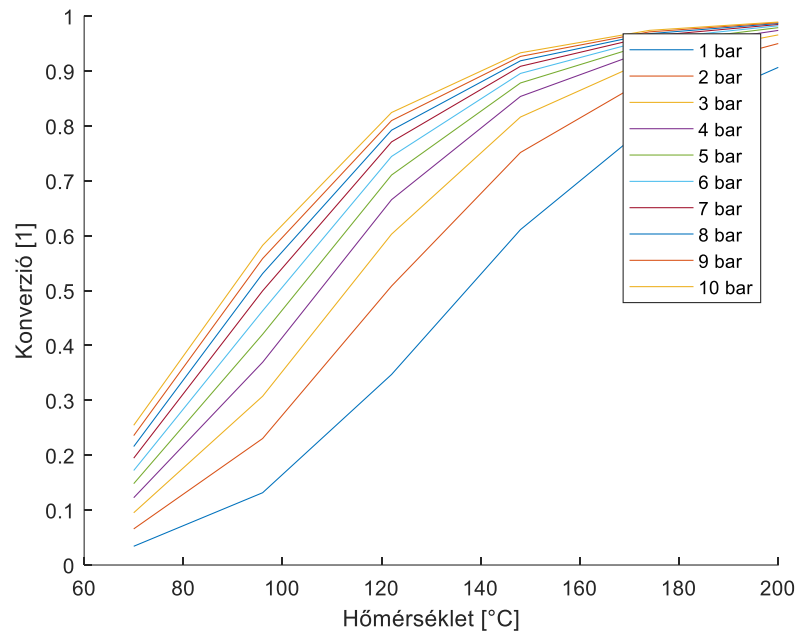
- Air Products
- Kontak LLC
- Hynertech (Wuhan)



Szimulációs vizsgálat – toluol-MCH

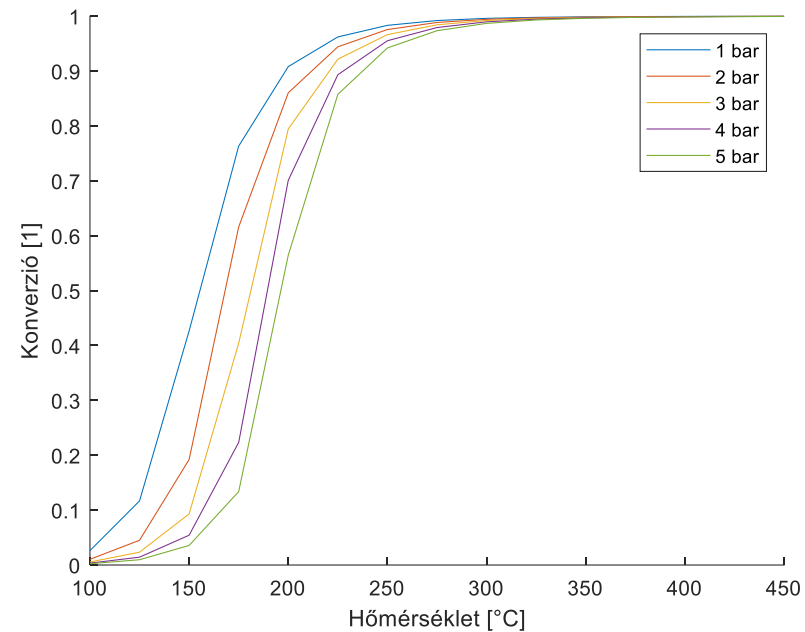


Hidrogénezés



Nyomás: 10 bar
Hőmérséklet: 200 °C

Dehidrogénezés



Nyomás: 1 bar
Hőmérséklet: 300 °C

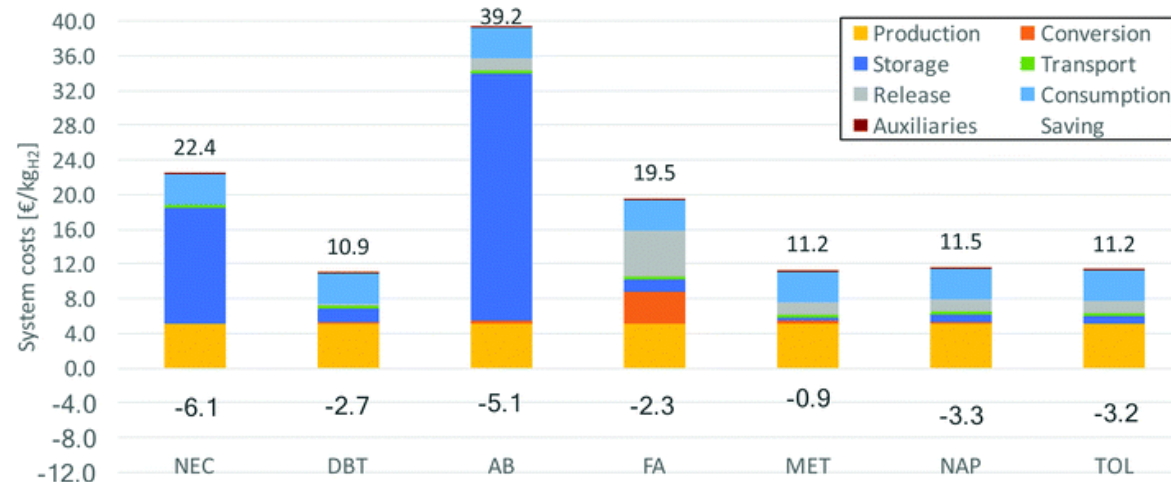
Értékelés

- Az aromás gyűrűt tartalmazó vegyületek ígéretesek LOHC szempontból. A naftalin esetében mindig kell oldószer, így ennek az alkalmazását elvetjük. Toluol és dibenzil-toluol rendszerek esetében már léteznek alkalmazások, ezek közül célszerű választani.



- A toluol előnyei

- legolcsóbb
- kevés mellékreakcióra képes (nagy szelektivitás)
- könnyen szivattyúzható
- ...



2. Részfeladat - Kutatási infrastruktúra és program megtervezése



- Rendelkezésre álló reaktorok felmérése
 - Szakaszos reaktor
 - Nagynyomású folyamatos reaktor (PIGNAT)
 - Nagynyomású folyamatos reaktor (új – ILS)

- Rendelkezésre álló analitika
 - GC szénhidrogén összetétel
 - HPLC aromástartalom
 - ...

PIGNAT nagynyomású ikerreaktorrendszer



Analitikai módszerek



További módszerek:

MSZ EN ISO 12185:1998	Sűrűség meghatározása oszcillátorcellás készülékkel
MSZ EN ISO 3405:2011	Engler-desztillációs görbe meghatározása
MSZ 19954:1971	Energiatartalom meghatározása (égésmeleg, fűtőérték)
MSZ EN ISO 3104:1996	Kinematikai viszkozitás meghatározása 40°C-on
MSZ EN ISO 2719:2003	Zárttéri lobbanáspont meghatározása
ASTM D 5772-17	Zavarosodási pont meghatározása

Előkészületek



- Szükséges anyagok beszerzése
 - Kísérleti alapanyagok
- Reaktorok, analitika karbantartása
 - Reaktor alkatrészek, karbantartási munkák
- Előzetes terv
 - Felderítő kísérletek a kiválasztott rendszerekkel
 - Differenciál kísérletek (alacsony konverzió)
 - Integrál kísérletek (magas konverzió)
- Termodinamikai limitek előzetes becslése!

Kísérletek tervezése



- Felderítő kísérletek
 - Hidrogénezés: nyomás alatt felfűtés, nyomásesés figyelése
 - Dehidrogénezés: nyomás nélküli felfűtés, hidrogén fejlődés figyelése
- Alacsony konverziójú kísérletek (<10%)
 - Cél az elemi reakciók kinetikai paramétereinek becsléséhez adatok generálása
 - Hidrogénezés: termékösszetétel mérés több nyomásszinten, több térsébségen és több hőmérsékleten
 - Dehidrogénezés: termékösszetétel mérés több térsébségen és hőmérsékleten
 - Mérések a képződő termékek kinetikai hatásainak vizsgálatára: toluol-MCH keverékek betáplálása

Sszám	Hőmér- séklet	Térsébs- ség
1	T-	v-
2	T-	v0
3	T-	v+
4	T0	v-
5	T0	v0
6	T0	v+
7	T+	v-
8	T+	v0
9	T+	v+

Köszönöm a figyelmet!

5. Anyagtechnológiai Kutatások

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem



Varbai Balázs
Kutatási
program
vezető



I. Előzetes szakértői tanulmány elkészítése a gáziparban alkalmazott és beépített acél anyagok, csővezetékek hidrogénes károsodásáról, elkerülési lehetőségeiről.

a. A hidrogénes károsodás elmélete

b. Haza és nemzetközi szabványok, ajánlások, legjobb gyakorlatok áttekintése

Cél: a vizsgálati program végrehajtása szempontjából a lehető legtöbb információt adó anyagminőségek kiválasztása, az anyagvizsgálati program meghatározása.

II. Anyagvizsgálati próbatestek hidrogénezésére szolgáló, nagynyomású, hidrogénatmoszférás kemence tervezése, gyártása és beüzemelése. Szabványos próbatestek kimunkálása.

a) Tervezési nyomás 300 bar, üzemelési nyomás 200 bar

b) Tervezési hőmérséklet 400 °C, üzemelési hőmérséklet 200 °C

c) Atmoszféra 0 – 100 H₂ gáz

Cél: a szakértői tanulmányban kijelölt anyagminőségekből kimunkált szabványos anyagvizsgálati próbatestek hidrogénezése.



Az acélok hidrogén okozta károsodásai

Szakértői tanulmány a Magyar Földgáztároló Zrt. részére, a gáziparban alkalmazott és beépített acélok, csővezetékek hidrogénes károsodásáról és ennek elkerülési lehetőségeiről

Készült az

„AKVAMARIN Projekt – Hidrogén energiatárolási innováció
a Magyar Földgáztároló Zrt.-nél”
című pályázati program keretében

A tanulmány szerzői:

dr. Varbai Balázs, egyetemi adjunktus
BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

dr. Katula Levente, egyetemi docens
BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Dobránszky János, tudományos tanácsadó
Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Fodor Olivér, ügyvezető igazgató
ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft.

2021. július 21.

rev. 0.

HUNGARIAN GAS STORAGE LTD
H-1138 Budapest, Váci street 144-150. • telephone: +36 13547050 • fax: +36 1354 7045
www.mfgt.hu/en • company registration number: 0110 045043

Támogató:



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI
MINISZTERIUM

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
Bevezetés: a tanulmány előzménye, tárgya és célkitűzése	3
1. fejezet – A fémes szerkezeti anyagok hidrogén okozta károsodási folyamataihoz kapcsolódó, a magyar és/vagy nemzetközi szabványokban meghatározott szakkifejezések	6
2. fejezet – Az angol nyelvű korróziós károsodási szakirodalom gyakran használt jelöléseinek jegyzéke	32
3. fejezet – Az acélok hidrogénes károsodásának témaköréhez kapcsolódó szabványok felsorolása	34
3.1. Az acélok hidrogénes károsodásához kapcsolódó szabványok felsorolása	34
3.1.1. A témakörhöz tartozó, magyar alapszabványok	34
3.1.2. A témakörhöz tartozó magyar, a korrózió és a hidrogénes károsodások vizsgálatához kapcsolódó szabványok	35
3.1.3. Amerikai és más, nem európai szervezetek feszültségi korróziós vizsgálati szabványai	37
4. fejezet – A tanulmány célkitűzése szempontjából lényeges vizsgálati szabványok rövid ismertetése (annotációja) és értékelése a tervezett anyagvizsgálati program szempontjából	39
5. fejezet – Áttekintés az ötvöztelen acélok hidrogén okozta károsodásairól	78
5.1. A hidrogén bekerülése és oldódása az acélban	79
5.2. A martenzit szerepe a hidrogén által előidézett repedési folyamatokban	83
5.3. Az előmelegítés szerepe a hidrogén által előidézett repedés elhárításában	87
6. fejezet – A hidrogén szerepe a feszültségi korróziós folyamatokban	96
6.1. Feszültségi korróziós repedés és hidrogénes elridegedés: különbségek és hasonlóságok	96
6.2. A hidrogén által segített törés HAF-modellje	97
6.3. A terhelési sebesség hatása a 4340 és a 3,5NiCrMoV acél feszültségi korróziós repedésére katódos hidrogénfeltöltés körülményei között	98
6.4. Nukleáris anyagok korróziója és megváltozása	100
6.4.1. A feszültségi korróziós repedés mint folyamat (SCC)	101
6.4.2. Vizsgálati eszközök a feszültségi korróziós repedések vizsgálatához	103
6.4.3. A feszültségi korróziós repedésképződés vizsgálata	103
6.4.4. A feszültségi korróziós repedésterjedés vizsgálati módszerei	105
6.4.5. Az akusztikus emissziós vizsgálat alkalmazása az SCC-vizsgálatokban	108
6.4.6. A repedések megfigyelése potenciáleséses mérésrel	108
6.4.7. A hidrogén hatásának vizsgálata a repedésterjedésre	109
6.4.8. A hidegalakítás hatása a rozsdamentes acél feszültségi korróziójára	113
7. fejezet – A földgáziparban használt acélminőségek értékelése a hidrogén okozta károsodások szempontjából	114
7.1. A földgáziparban használt acélok hidrogén okozta károsodási hajlamának értékelése a Graville-diagram alapján	114
7.2. A földgáziparban használt acélok hidrogén okozta károsodási hajlamának értékelése az általános anyagtulajdonságok és az üzemeltetési feltételek figyelembevételével	115
8. fejezet – Szemelvénygyűjtemény az acélok hidrogénes károsodásának nemzetközi szakirodalmából	116
8.1. Szemelvények a hidrogénes károsodásokkal foglalkozó szakkönyvekből	116

1. fejezet – Szakkifejezések

2. fejezet – Az angol nyelvű korróziós károsodási szakirodalom gyakran használt jelöléseinek jegyzéke

3. fejezet – Az acélok hidrogénes károsodásának témaköréhez kapcsolódó szabványok felsorolása

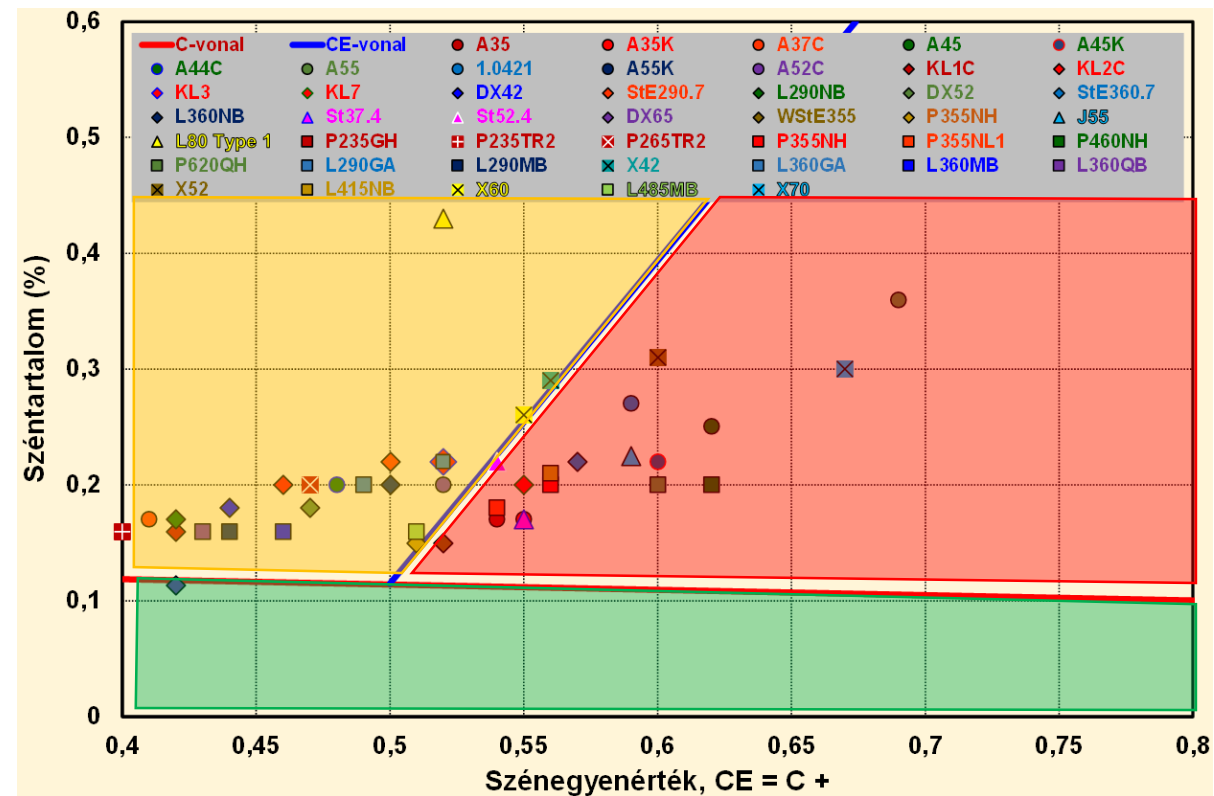
4. fejezet – A tanulmány célkitűzése szempontjából lényeges vizsgálati szabványok rövid ismertetése (annotációja) és értékelése a tervezett anyagvizsgálati program szempontjából

5. fejezet – Áttekintés az ötvözetlen acélok hidrogén okozta károsodásairól

6. fejezet – A hidrogén szerepe a feszültségi korróziós folyamatokban

7. fejezet – A főlágiparban használt acélminőségek értékelése a hidrogén okozta károsodások szempontjából

8. fejezet – Szemelvénygyűjtemény az acélok hidrogénes károsodásának nemzetközi szakirodalmából



Hidrogénező kemence tervezése

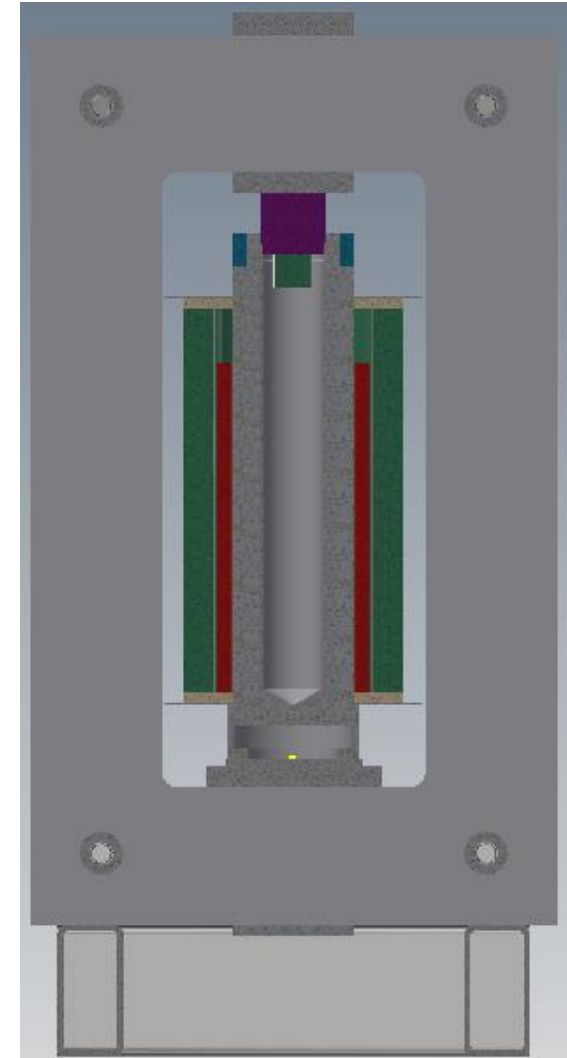
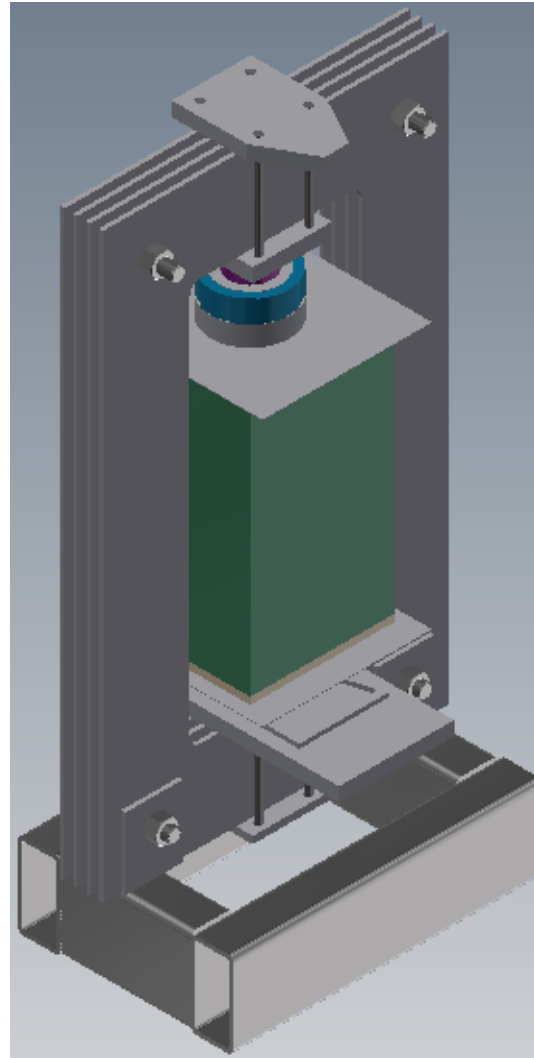
Tervezési munka
Prof. Blücher József

Gyártás

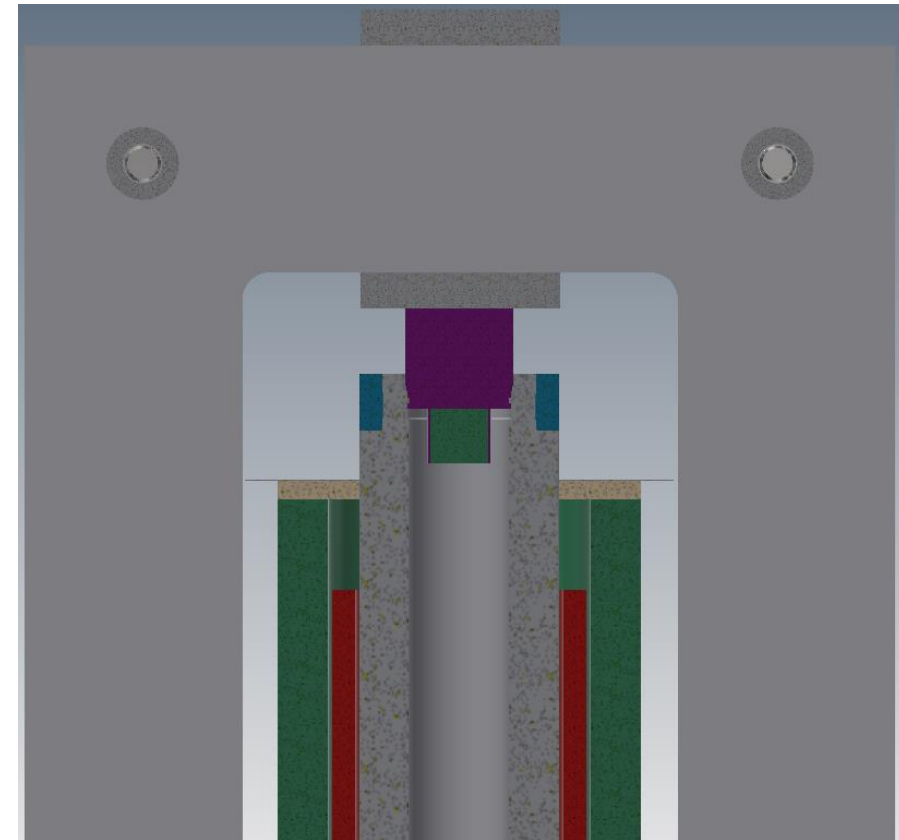
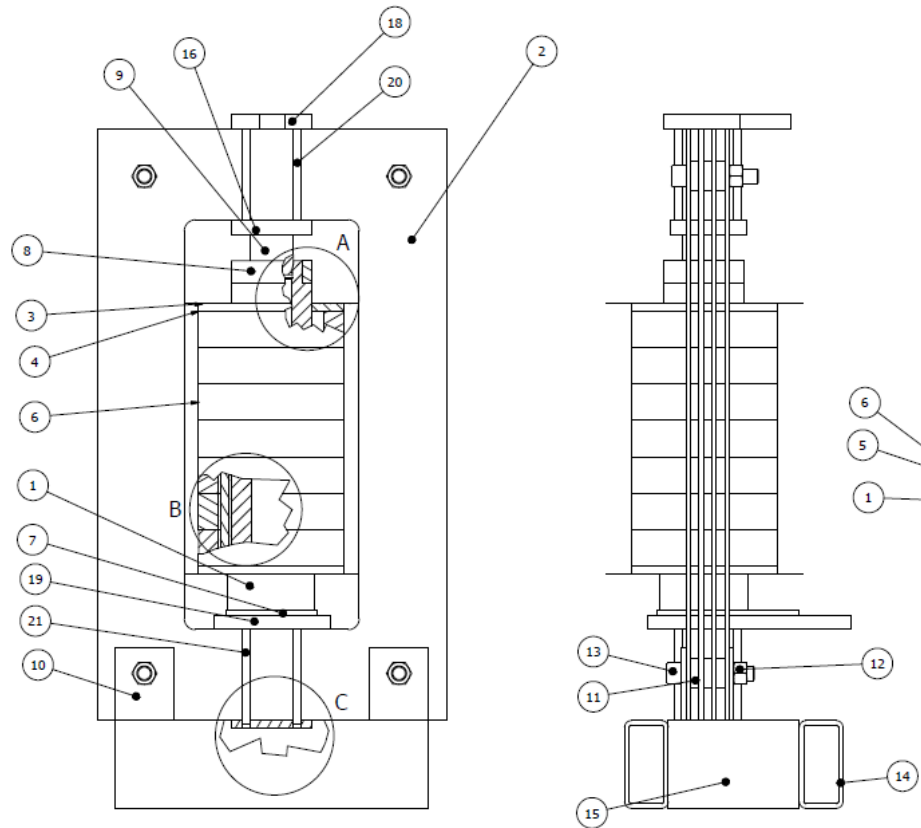
Tervezési adatok

$p_{\text{terv}} = 300 \text{ bar (200 bar)}$

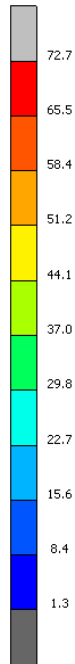
$T_{\text{terv}} = 400 \text{ °C (200 °C)}$



Egyedi mérnöki megoldások

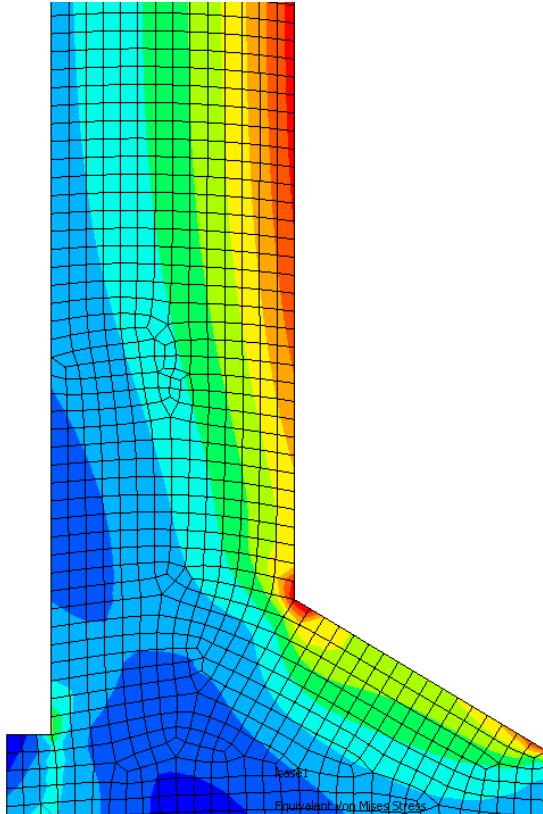


Inc: 10
Time: 1.000e+00



Max: 72.7 @Node 321

Min: 1.3 @Node 542



Kiindulási adatok

A cső belső átmérője: $d_b = 56 \text{ mm}$

A cső külső átmérője: $d_k = 107 \text{ mm}$

A belső nyomás: $p_b = 300 \text{ bar}$

Tangenciális feszültség a cső belső felületén

$$\sigma_t = p_b \frac{r_b^2}{r_k^2 - r_b^2} \left(\frac{r_k^2}{r_b^2} + 1 \right) = 52,6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Radiális feszültség a cső belső felületén

Axiális feszültség a cső belső felületén

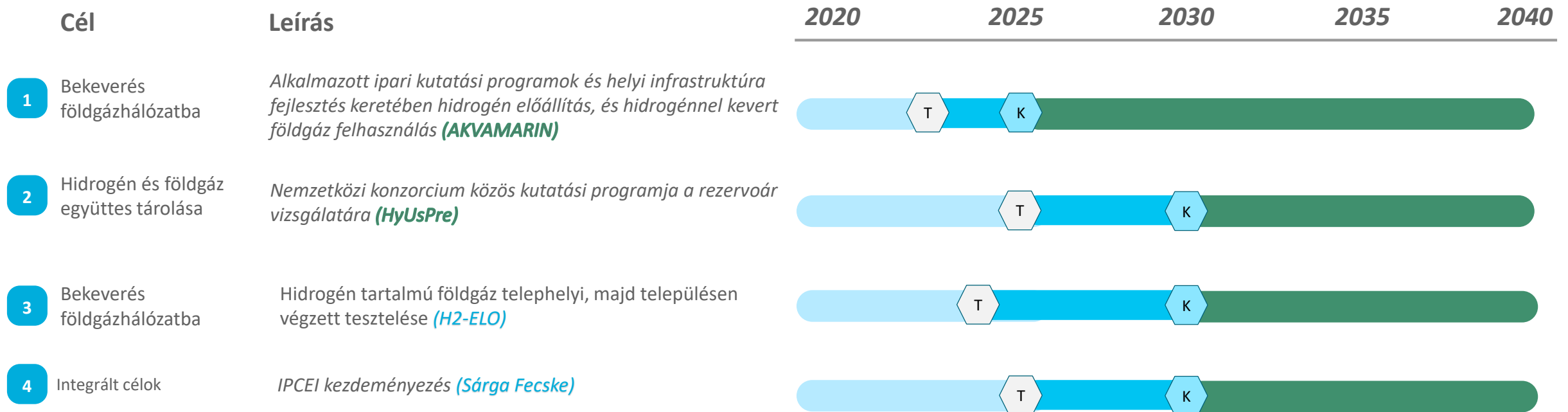
$$\sigma_a = \frac{p_b r_b^2}{r_k^2 - r_b^2} = 11,3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Összehasonlító feszültség a cső belső felületén

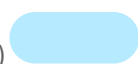
$$\sigma_{\text{egyenértékű}} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 + \sigma_a^2 - \sigma_t \sigma_r - \sigma_t \sigma_a - \sigma_r \sigma_a} = 71,6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

**Köszönöm a megtisztelő
figyelmet!**

Futó kezdeményezések



Előkészítés (megalapozó K+F)



Teszt üzem indul



Tapasztalatok



Kiterjesztés indul



Piaci kiterjesztés



Futó MFGT kezdeményezés

Futó MVM kezdeményezés

Q & A