



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



Hidrogénnek kitett teljes méretű csőtávvezeték szakaszok vizsgálata

Prof. Dr. Lukács János – Nagy Nóra
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar,
Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézet

Linde Hegesztési Szimpózium
FLOW Hotel & Conference
Inárcs, 2024. október 1.



Tartalom



- ✓ **A hidrogén csőtávvezetékes szállítása**
- ✓ **Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája**
- ✓ **A vizsgáló rendszer**
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül**
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén**
- ✓ **Összegzés, következtetések**



Tartalom



- ✓ **A hidrogén csőtávvezetékes szállítása**
- ✓ **Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája**
- ✓ **A vizsgáló rendszer**
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül**
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén**
- ✓ **Összegzés, következtetések**



A hidrogén csőtávvezetékes szállítása

- ✓ **A jelenlegi földgázz szállító infrastruktúra és a hidrogén**
 - új hidrogén vezeték építése, preferáltan a meglévő és megmaradó földgázvezetékek mellett (**constructing**)
 - újrafelhasználás (**repurposing / retrofitting**), a földgázt szállító vezeték átállítása tiszta hidrogén szállítására
 - a hidrogén bekeverése (**blending**) a földgázba, a meglévő infrastruktúrával
 - ✓ átmeneti megoldás, tágabb értelemben átmeneti stratégia
 - ✓ lehet hosszabb távú megoldás is



A hidrogén csőtávvezetékes szállítása

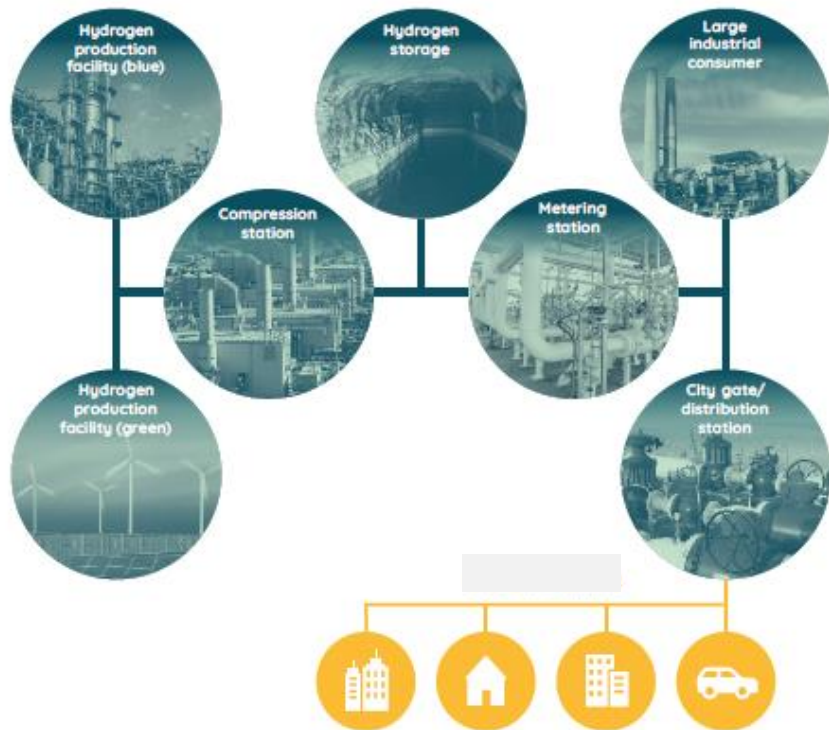
- ✓ **A jelenlegi földgázz szállító infrastruktúra és a hidrogén**
 - új hidrogén vezeték építése, preferáltan a meglévő és megmaradó földgázvezetékek mellett (**constructing**)
 - újrafelhasználás (**repurposing / retrofitting**), a földgázt szállító vezeték átállítása tiszta hidrogén szállítására
 - a hidrogén bekeverése (**blending**) a földgázba, a meglévő infrastruktúrával
 - ✓ átmeneti megoldás, tágabb értelemben átmeneti stratégia
 - ✓ lehet hosszabb távú megoldás is

100%

100%

? %

Az európai hidrogén gerinchálózat



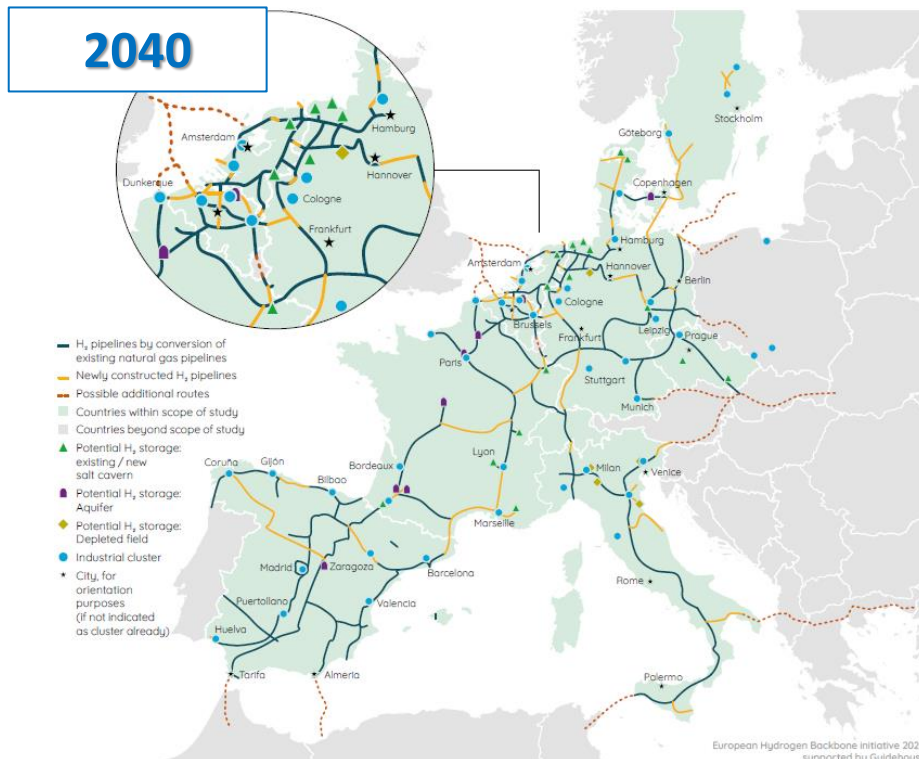
Távvezetési hálózat

- ✓ hidrogén előállítás
- ✓ kompresszor állomás
- ✓ hidrogén tárolás
- ✓ mérőállomás
- ✓ nagy ipari felhasználó
- ✓ elosztó állomás

Elosztó hálózat

Az európai hidrogén gerinchálózat

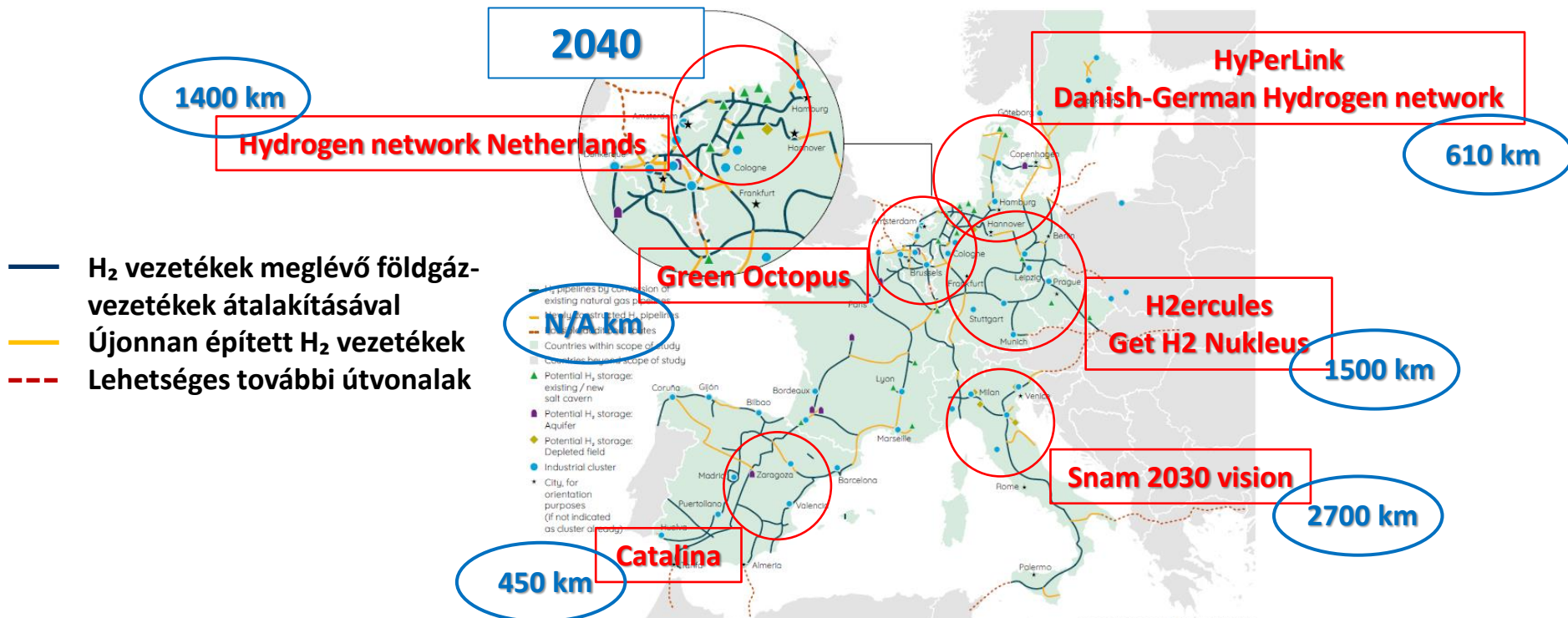
- H₂ vezetékek meglévő földgáz-vezetékek átalakításával
- Újonnan épített H₂ vezetékek
- - - Lehetséges további útvonalak



- ✓ Enagás (E)
- ✓ Energinet (D)
- ✓ Fluxys Belgium (B)
- ✓ Gasunie (N)
- ✓ GRTgaz (F)
- ✓ NET4GAS (CZ)
- ✓ OGE (D)
- ✓ ONTRAS (D)
- ✓ Snam (I)
- ✓ Swedegas (S)
- ✓ Teréga (F)



Az európai hidrogén gerinchálózat és a tervezett újrafelhasználási (repurposing) projektek



European Hydrogen Backbone – How a dedicated infrastructure can pave the way to large-scale competitive hydrogen for the European market, July 2020.

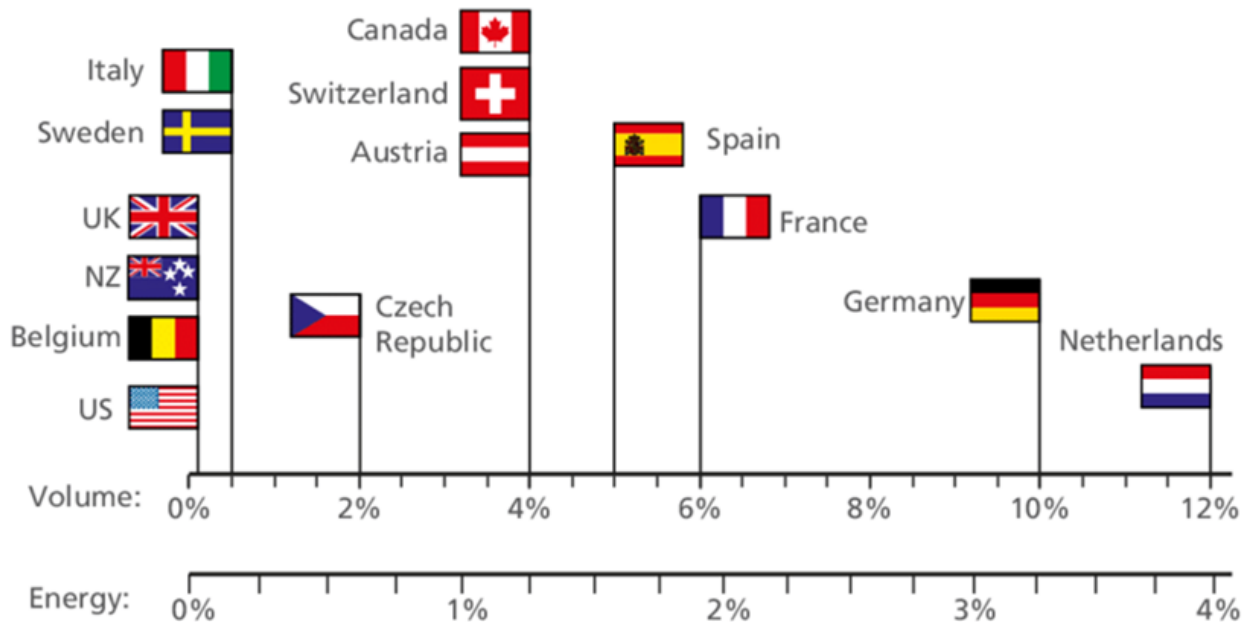
https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/; Global Hydrogen Review 2022. International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>

(2023.02.24.)



A hidrogén bekeverése a földgázz szállító hálózatba

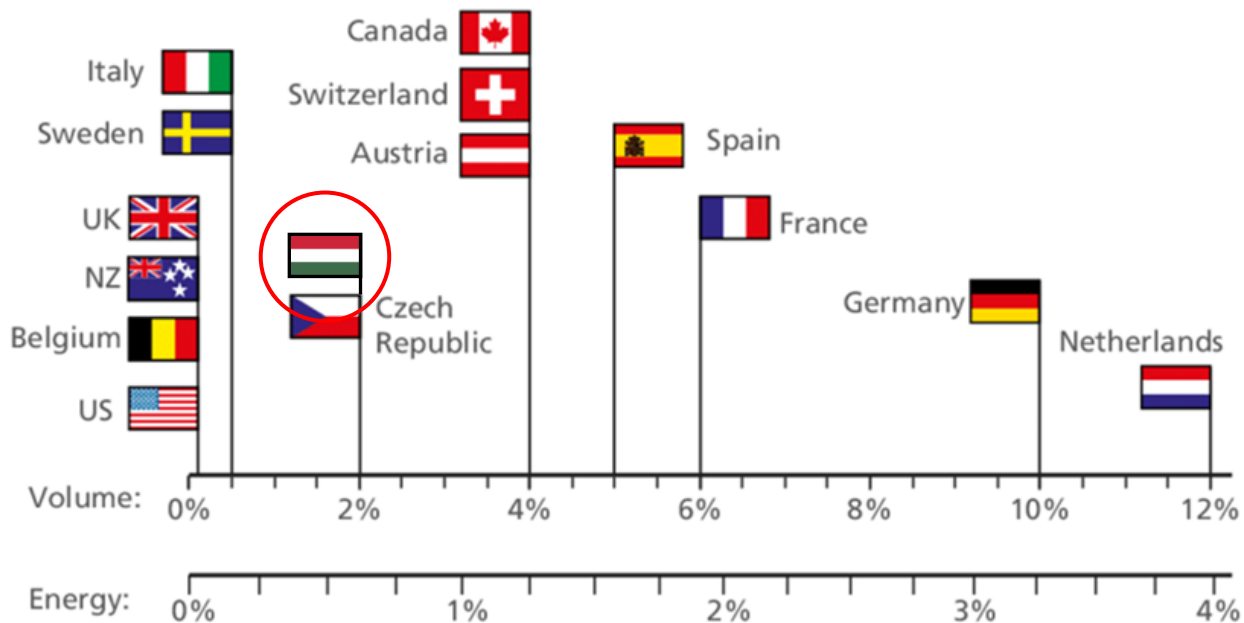
Nemzeti hálózatokba történő bekeverésére vonatkozó küszöbértékek





A hidrogén bekeverése a földgázz szállító hálózatba

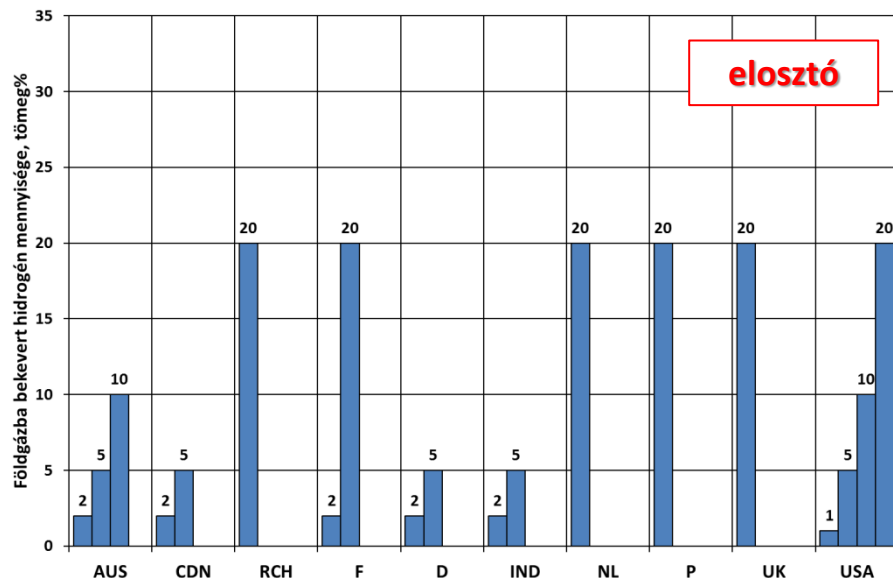
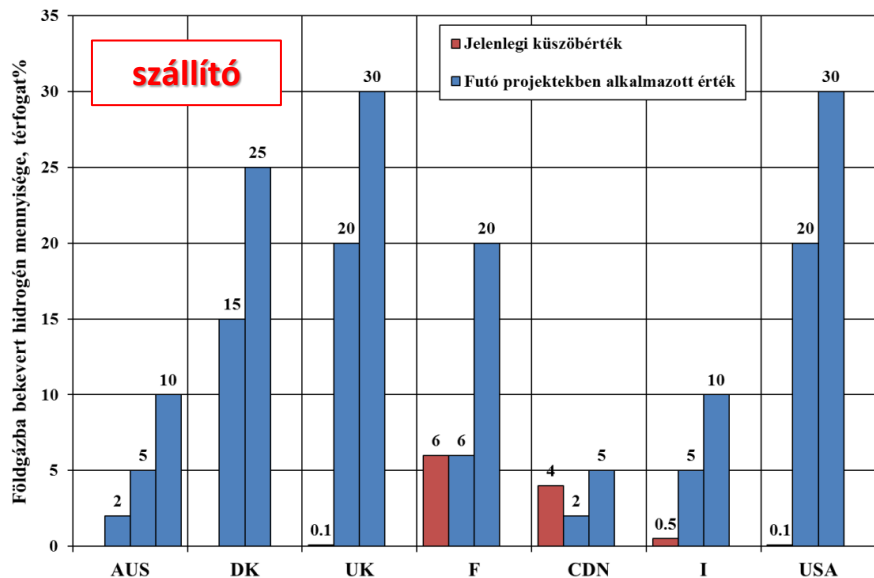
Nemzeti hálózatokba történő bekeverésére vonatkozó küszöbértékek





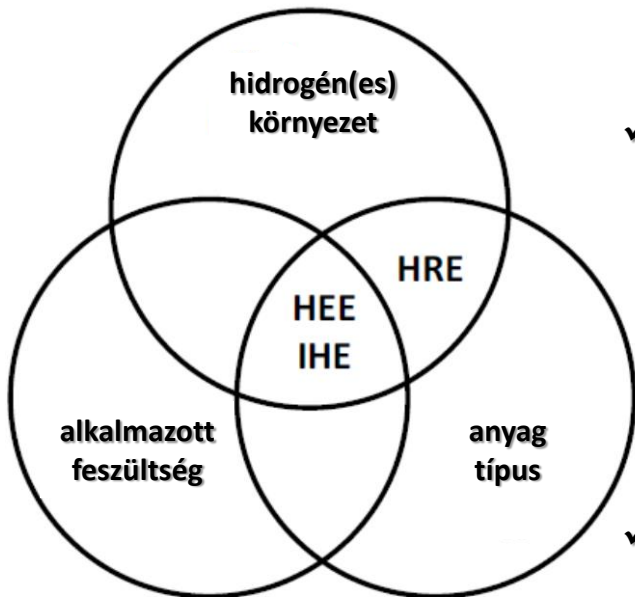
A hidrogén bekeverése (**blending**) a földgázz szállító és az elosztóvezetéki hálózatba

A jelenlegi küszöbértékek és a futó, illetve tervezett projektek adatai





A hidrogénes elridegedés (HE) osztályozása



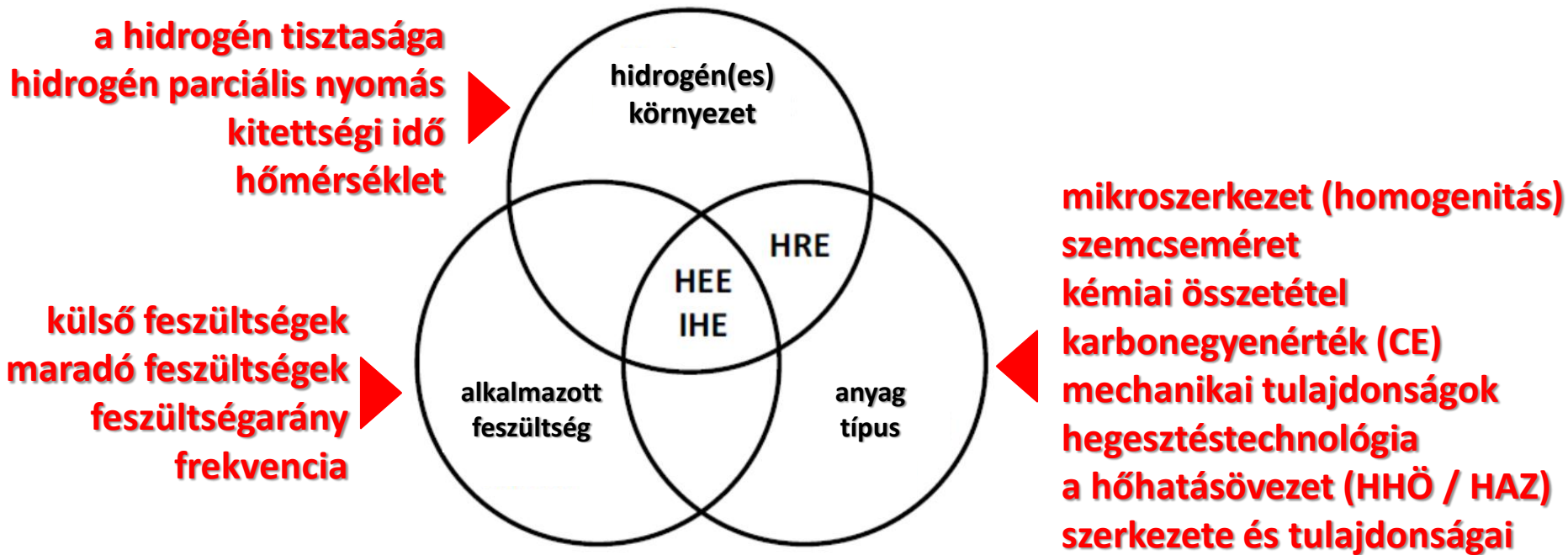
- ✓ **HEE (Hydrogen Environmental Embrittlement):** az anyagokat nagynyomású hidrogéngázos környezetnek teszik ki
- ✓ **IHE (Internal Hydrogen Embrittlement):** a hidrogén nem egy nagynyomású gáznemű rendszerből származik, hanem
 - a hidrogén elektrokémiai folyamatokból származik (pl. korrózió, katódos töltés)
 - a hidrogén nedvességből származik, és hegesztési, öntési, valamint kristályosodási folyamatok során kerül a fémekbe
- ✓ **HRE (Hydrogen Reaction Embrittlement):** irreverzibilis hidrogén okozta károsodás a hidrogénnel való kémiai reakció következtében

HEE és IHE esetében
külső feszültségre van
szükség a HE-hatás
létrejöttéhez

HRE károsodás külső
igénybevétel nélkül is
bekövetkezhet



A hidrogénes elridegedési (HE) hajlam tényezői





Tartalom



- ✓ A hidrogén csőtávvezetékes szállítása
- ✓ **Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája**
- ✓ A vizsgáló rendszer
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén
- ✓ Összegzés, következtetések



Támogató villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra



MAGYARORSZÁG ZÖLD ÚTON JÁR

MAGYARORSZÁG NEMZETI HIDROGÉNSTRATÉGIÁJA

STRATÉGIA A TISZTA HIDROGÉN
ÉS HIDROGÉntechnológiák hazai bevezetésére
ÉS A HIDROGÉNIPAR HÁTTÉRbázisának
MEGTEREMTÉSÉRE

2021. MÁJUS

A szektorintegrációs képesség – elsősorban szezonális energiatárolási képesség – kiépítése

- legalább 60 MW átlagos leszabályozási képesség megteremtése
- 2% térfogatarányos bekeverés lehetővé tétele a földgázrendszerben rövid távon, amelyet közép távon az addig elvégzett vizsgálatok függvényében emelni kell





Támogató villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra



MAGYARORSZÁG ZÖLD ÚTON JÁR

MAGYARORSZÁG NEMZETI HIDROGÉNSTRATÉGIÁJA

STRATÉGIA A TISZTA HIDROGÉN
ÉS HIDROGÉntechnológiák hazai bevezetésére
ÉS A HIDROGÉNIPAR HÁTTÉRbázisának
MEGTEREMTÉSÉRE

2021. MÁJUS

A szektorintegrációs képesség – elsősorban szezonális energiatárolási képesség – kiépítése

- legalább 60 MW átlagos leszállítási képesség megteremtése
- 2% térfogatarányos bekeverés lehetővé tétele a földgázrendszerben rövid távon, amelyet közép távon az addig elvégzett vizsgálatok függvényében emelni kell





Az FGSZ Zrt. nagynyomású földgázszállító vezetékei

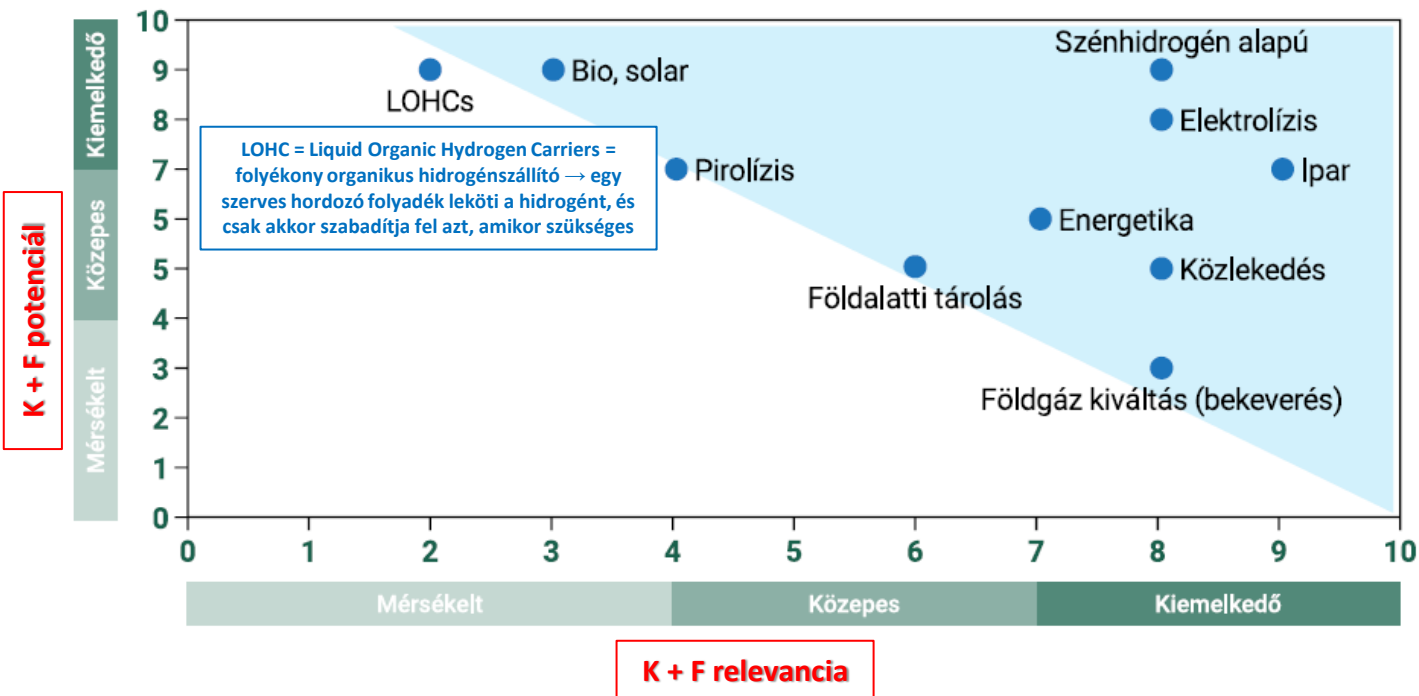
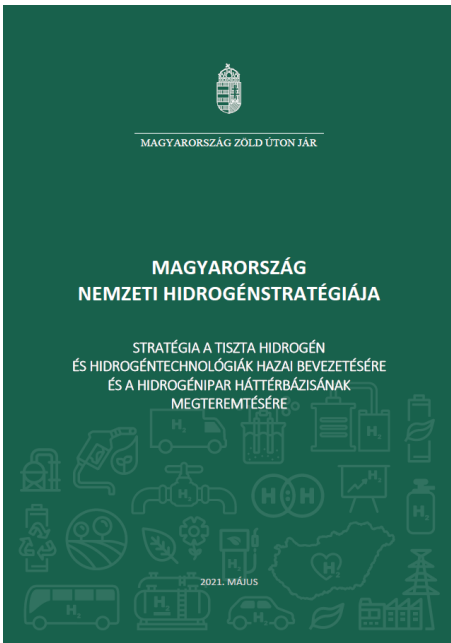


A MOL-CSOPORT TAGJA

- ✓ **Teljes vezetékhsz: 5889 km**
 - **görényezhető: 4800 km (81,5%)**
 - **nem görényezhető: 1089 km (18,5%)**
- ✓ **Körvarratok száma: kb. 540 000 darab**

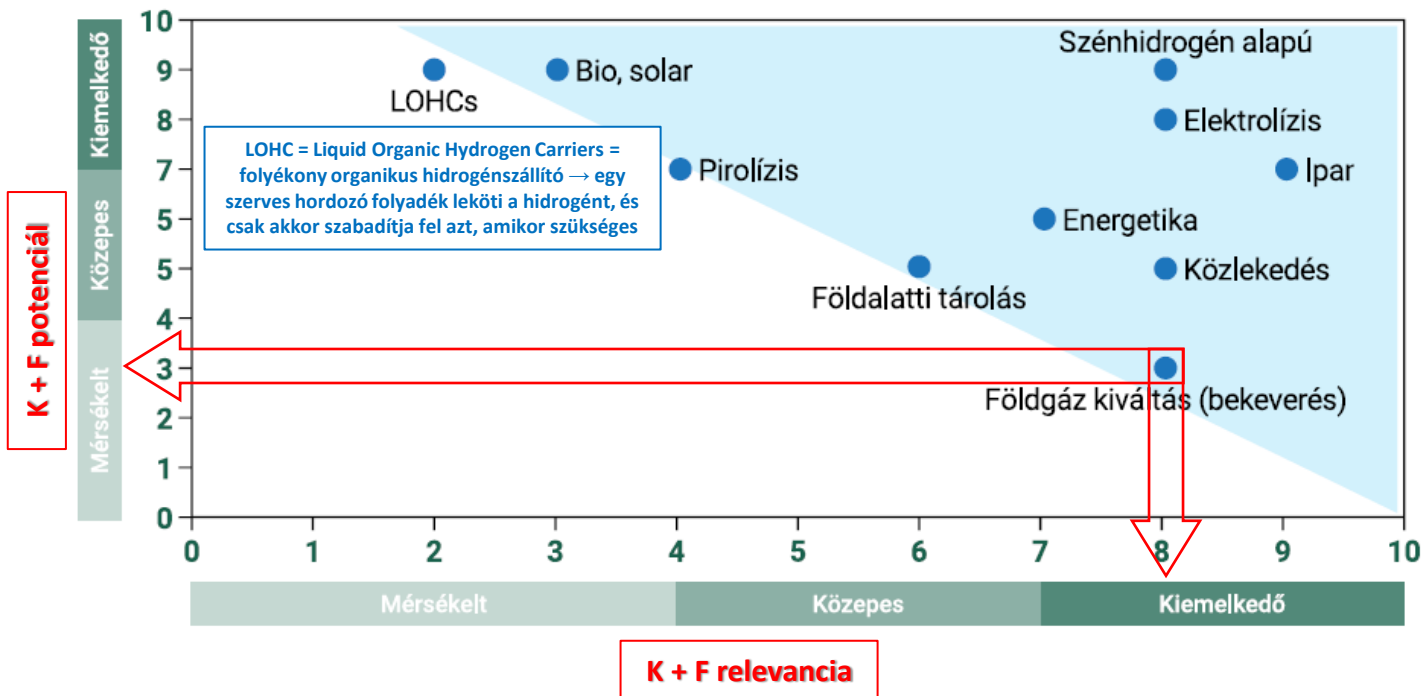
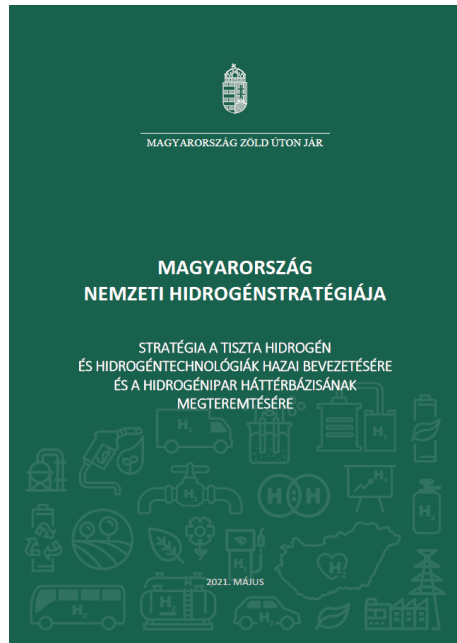


Támogató villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra





Támogató villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra





Tartalom

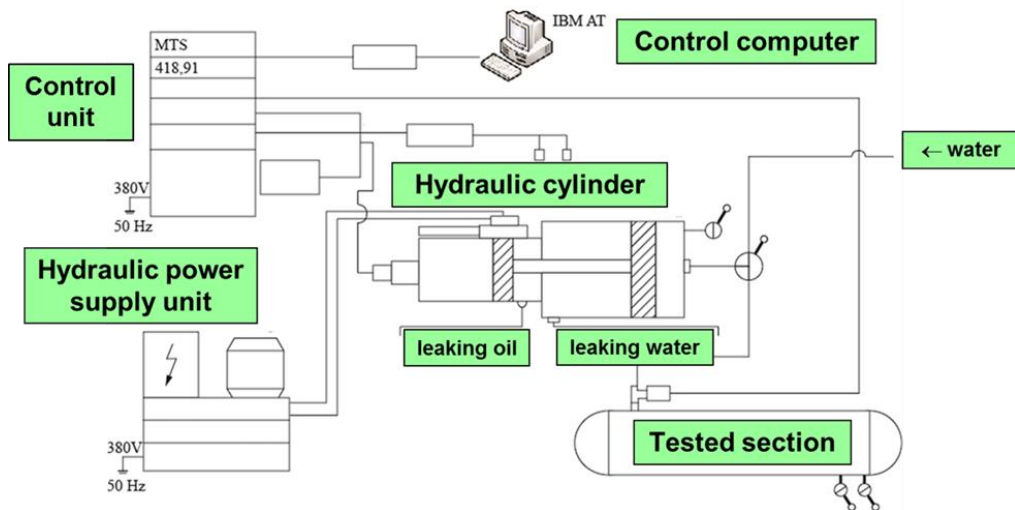


- ✓ A hidrogén csőtávvezetékes szállítása
- ✓ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája
- ✓ **A vizsgáló rendszer**
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén
- ✓ Összegzés, következtetések

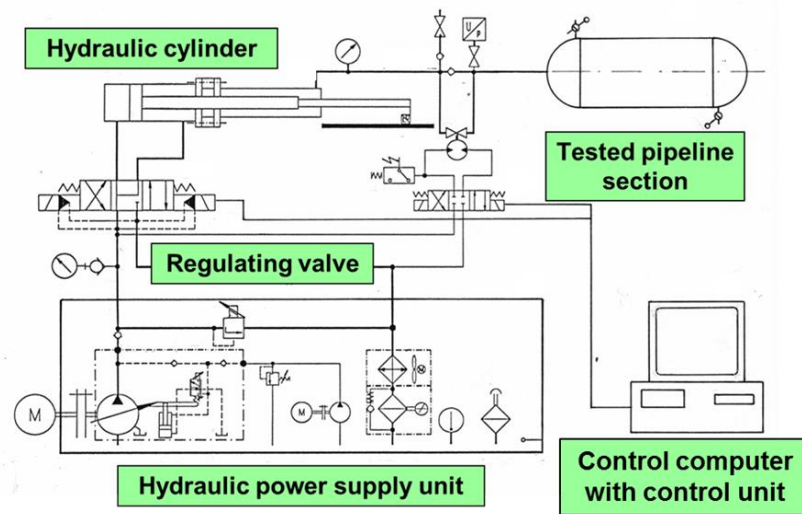


A vizsgáló rendszer alapja

Maximális nyomás: 100 bar
Fő feladat: fárasztóvizsgálatok
(ismétlődő igénybevétel)



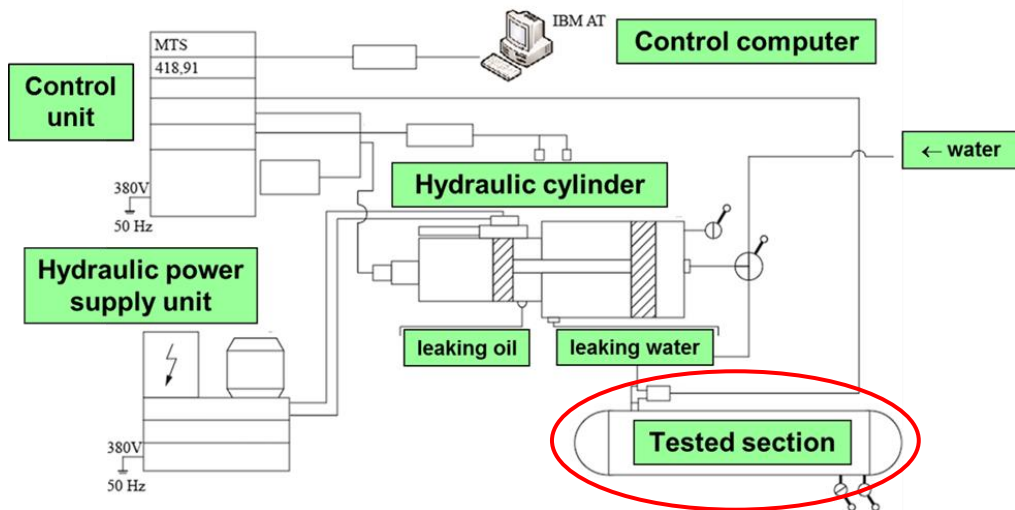
Maximális nyomás: 700 bar
Fő feladat: repesztővizsgálatok
(kvázistatikus igénybevétel)



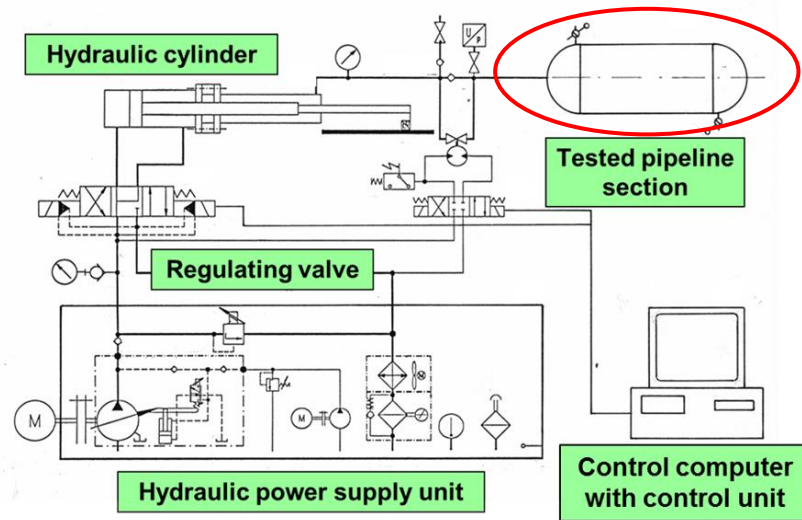


A vizsgáló rendszer alapja

Maximális nyomás: 100 bar
Fő feladat: fárasztóvizsgálatok
(ismétlődő igénybevétel)



Maximális nyomás: 700 bar
Fő feladat: repesztővizsgálatok
(kvázisztatikus igénybevétel)





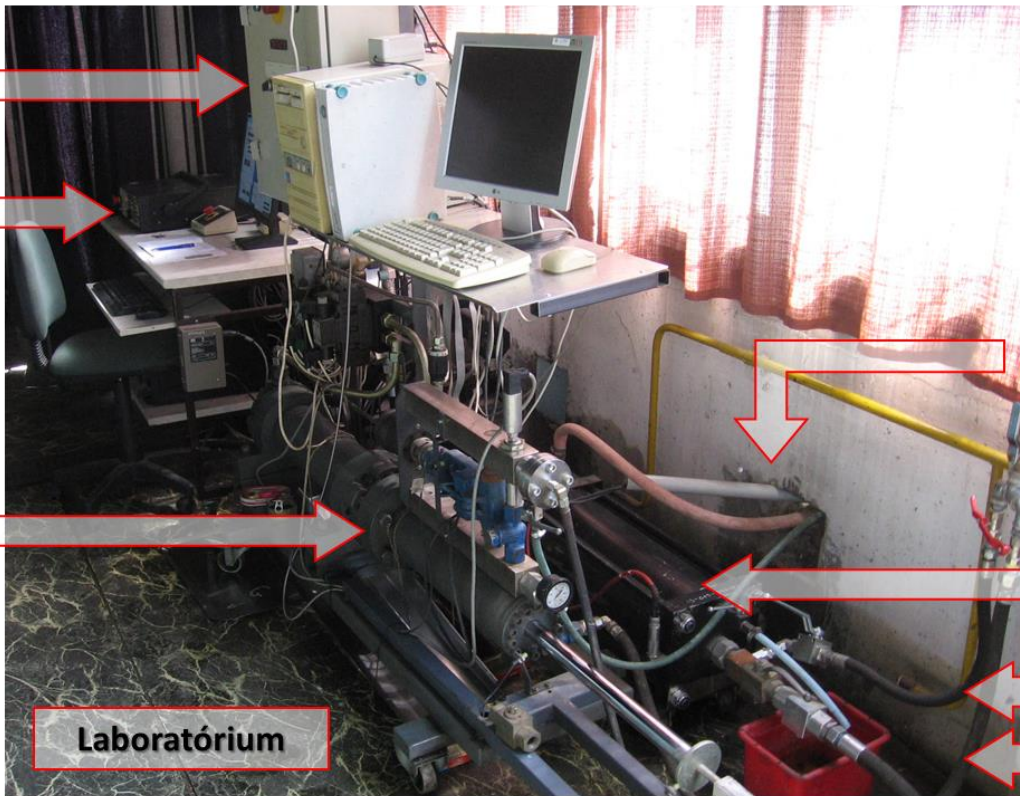
A vizsgáló rendszer alapja

A 700 bar-os
rendszer
vezérlő egysége

A 100 bar-os
rendszer
vezérlő egysége

A 700 bar-os
rendszer
hidraulikus
munkahengere

Laboratórium



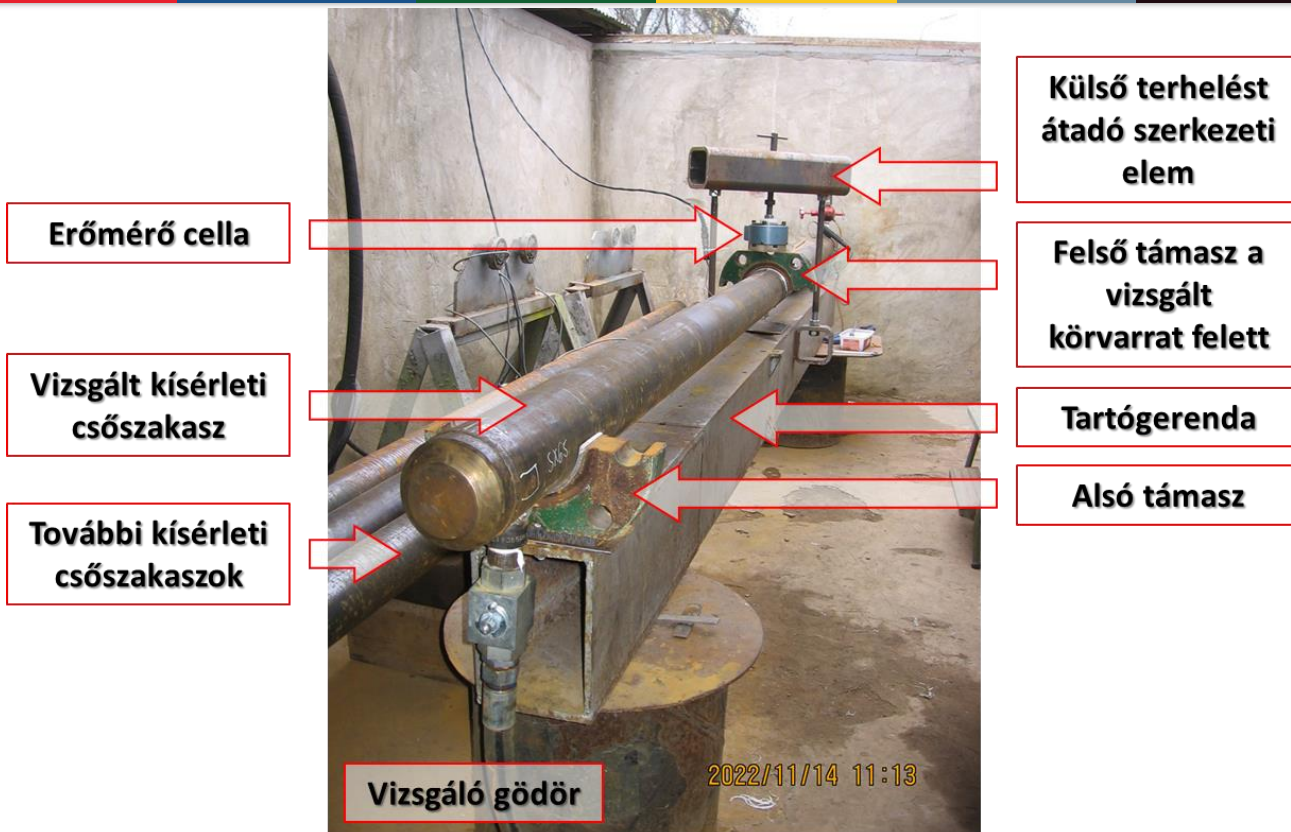
Kapcsolat
(fal átvágás) a
laboratórium és
a vizsgáló gödör
között

A 100 bar-os
rendszer
hidraulikus
munkahengere

Csatlakozások
az ivóvíz
hálózatra

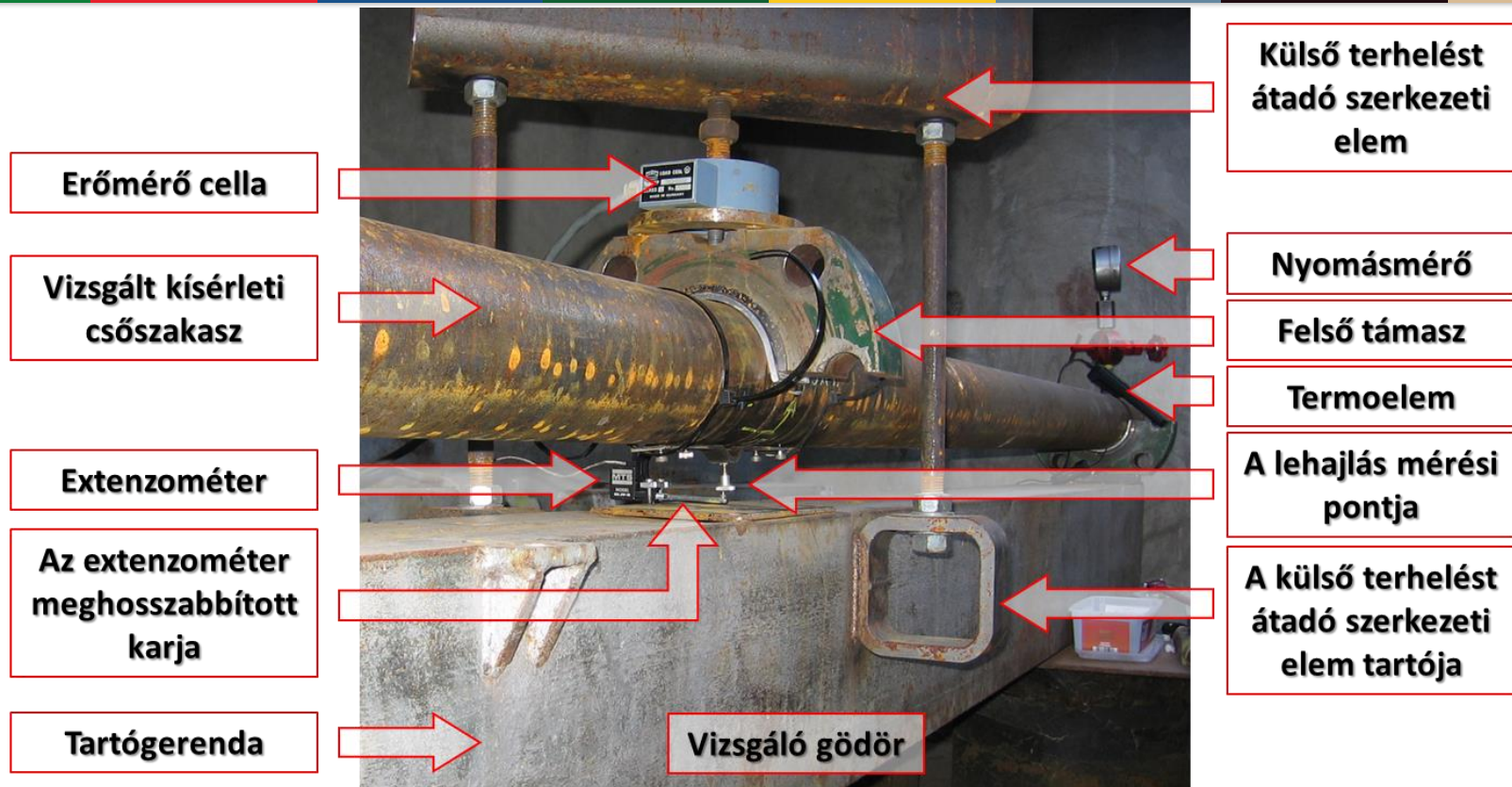


A vizsgáló rendszer fejlesztése





A vizsgáló rendszer fejlesztése





A vizsgáló rendszer fejlesztése

Vizsgált kísérleti csőszakasz

Vizsgált körvarrat

A külső terhelést átadó szerkezet rúdja

Extenzométer

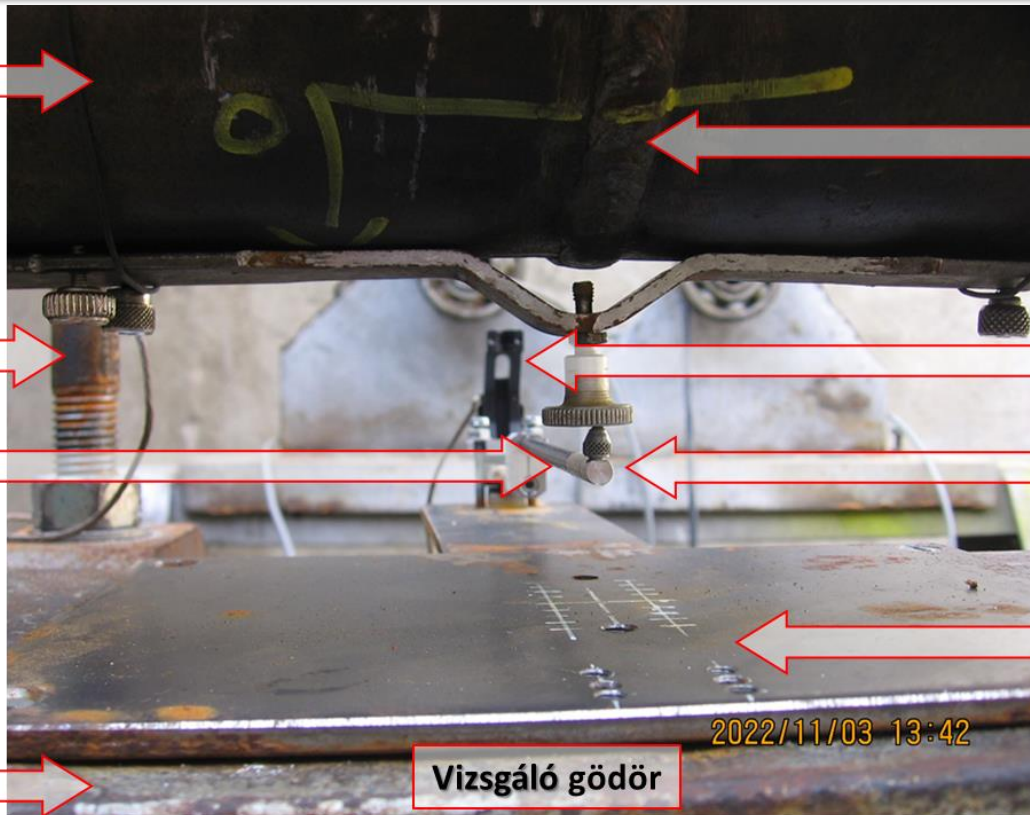
Az extenzométer meghosszabbított karja

A lehajlás mérési pontja

Tartógerenda

Vizsgáló gödör

Pozicionáló lemez furatokkal és skálákkal





Tartalom

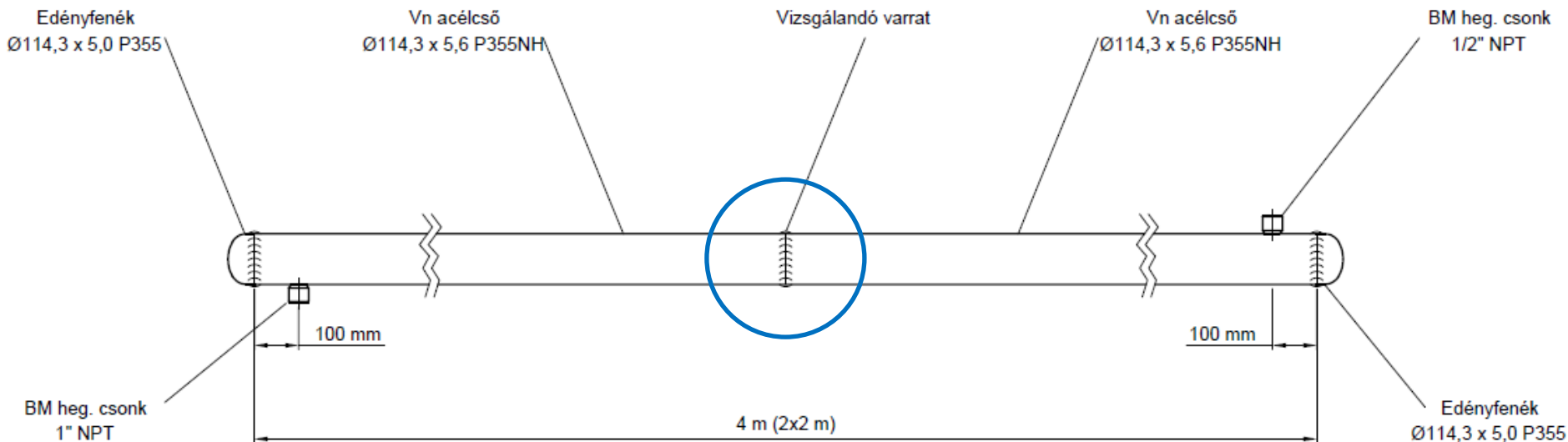


- ✓ A hidrogén csőtávvezetékes szállítása
- ✓ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája
- ✓ A vizsgáló rendszer
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül**
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén
- ✓ Összegzés, következtetések



A kísérleti csőszakaszok

A(z eredeti) kísérleti csőszakaszok kialakítása





Többlét terhelésnek kitett körvarratok vizsgálata

Jel	Belső nyomás fárasztáskor	Fárasztási ciklusszám	Külső terhelés	A bemetszés helye (névleges mélysége)	A bemetszés névleges hossza [mm]
Y3	(0,6-1) * MAOP	N/A	N/A	N/A	N/A
Y1	(0,6-1) * MAOP	100 000	N/A	N/A	N/A
Y2	(0,6-1) * MAOP	100 000	N/A	N/A	N/A
Y4	(0,6-1) * MAOP	100 000	2 * σ_a	N/A	N/A
Y5	(0,6-1) * MAOP	100 000	2 * σ_a	N/A	N/A
Y6	(0,6-1) * MAOP	100 000	4 * σ_a	N/A	N/A
Y7	(0,6-1) * MAOP	100 000	4 * σ_a	körvarrat HHÖ (0,37 * t)	29
Y8	(0,6-1) * MAOP	100 000	4 * σ_a	körvarratra merőleges (0,50 * t)	41
Y9	(0,6-1) * MAOP	100 000	4 * σ_a	körvarrat HHÖ (0,67 * t)	40
Y10	(0,6-1) * MAOP	100 000	6 * σ_a	körvarrat HHÖ (0,50 * t)	30
Y11	(0,6-1) * MAOP	100 000	6 * σ_a	körvarratra merőleges (0,67 * t)	40
Y12	(0,6-1) * MAOP	100 000	8 * σ_a	körvarrat HHÖ (0,50 * t)	40

Külső terhelésből származó hajlítófeszültség a húzott szálban
 σ_a = belső nyomásból származó axiális feszültség



Többszörös terhelésnek kitett körvarratok vizsgálata

Bemetszések (mesterséges hibák) a kísérleti csőszakaszokon

Kerület menti

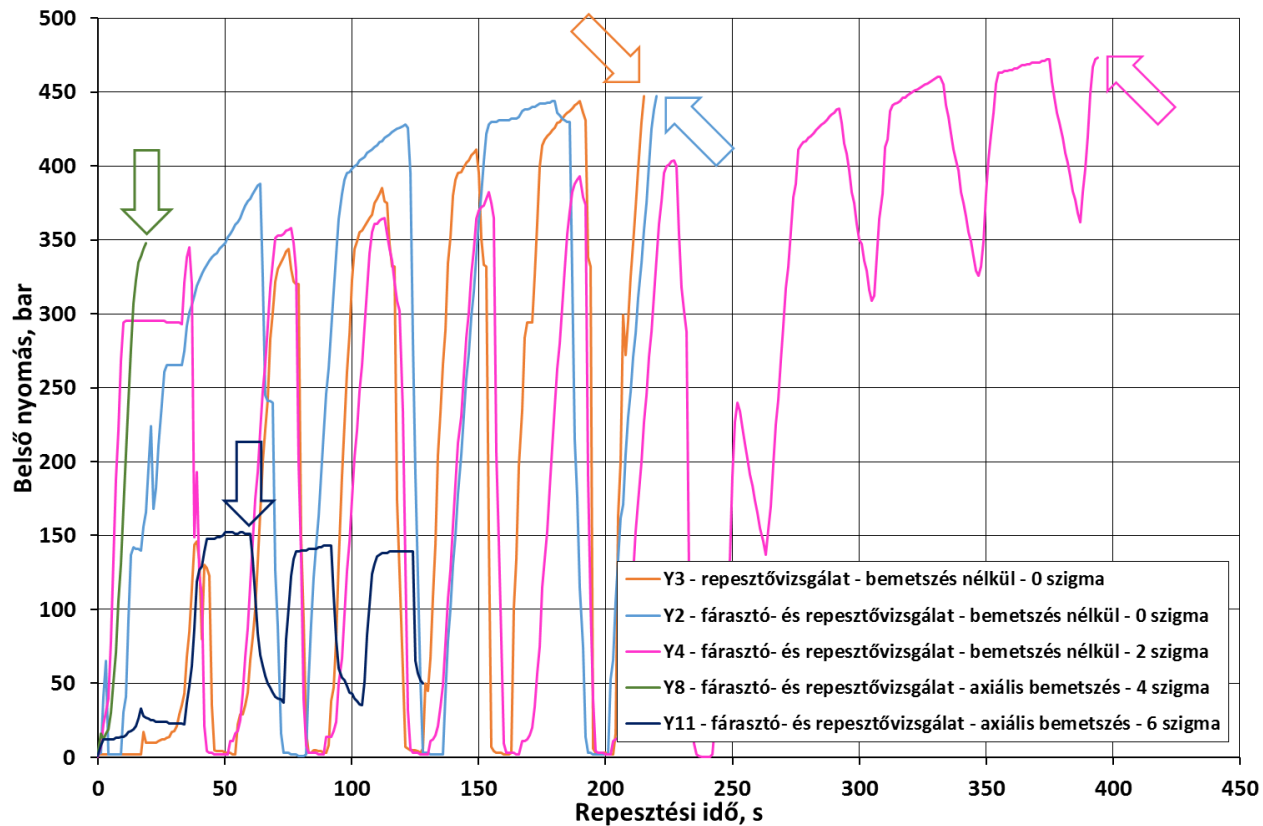


Hosszirányú, körvarraton átmenő



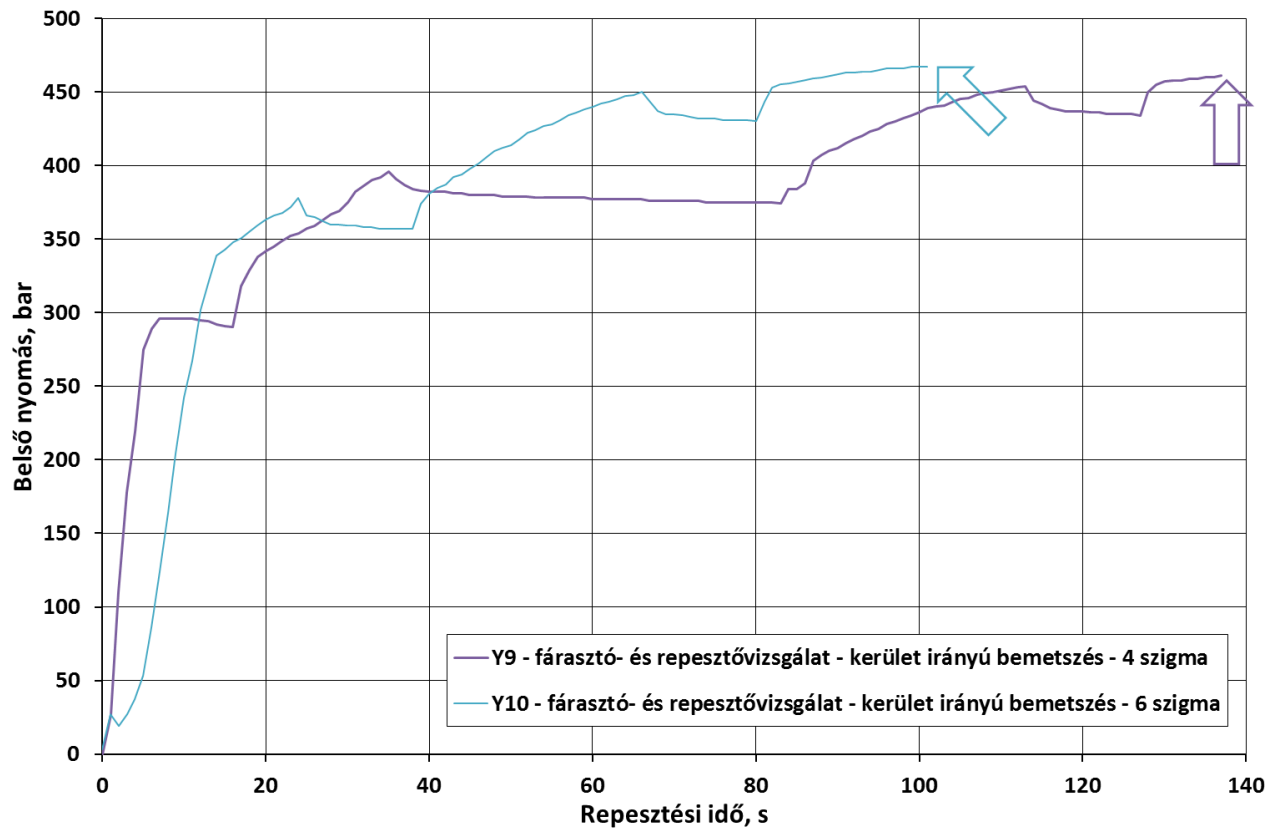


Nyomás – idő függvények: nincs hidrogén kitettség





Nyomás – idő függvények: nincs hidrogén kitettség





Az Y3 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	Y3
Fárasztás (ciklus)	N/A
Külső hajlító terhelés	N/A (0S)
A bemetszés helye	N/A
A bemetszés iránya	N/A
A bemetszés névleges mélysége	N/A
A bemetszés névleges hossza (mm)	N/A
A tönkremenetel helye	palást
Tönkremeneteli nyomás (bar)	447

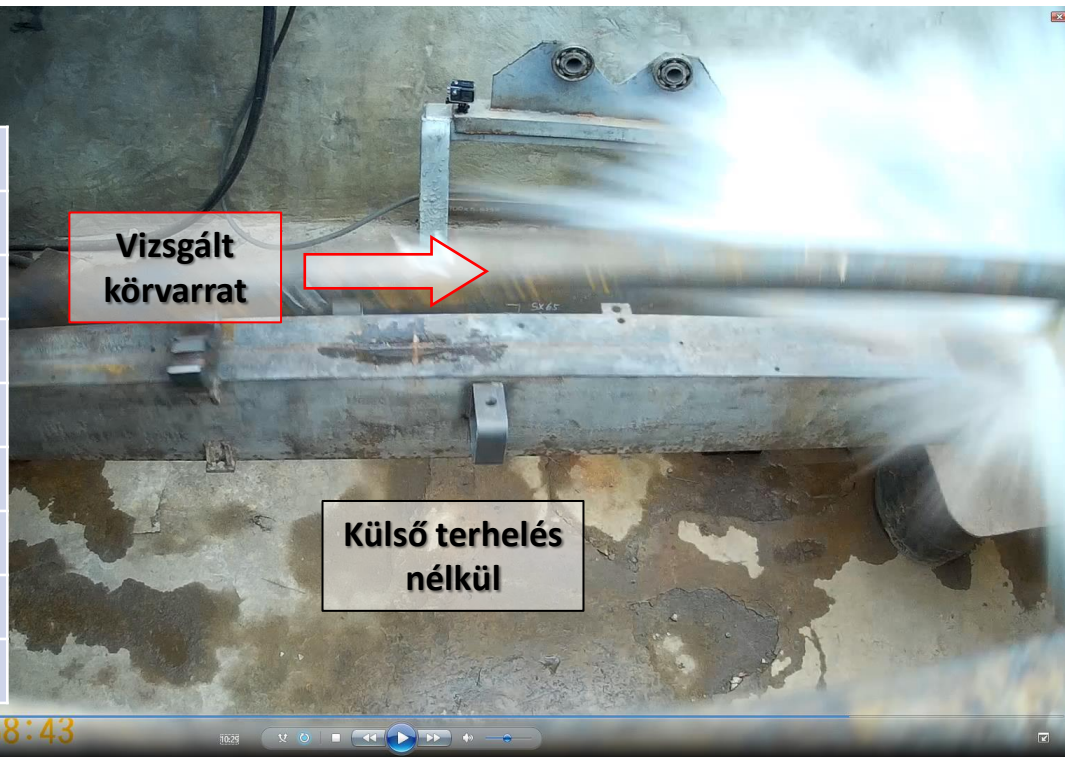
2022/09/01 10:48:06

06:27 52 11 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



Az Y2 jelű csőszakasz tönkremenetele

A csőszakasz jele	Y2
Fárasztás (ciklus)	100 000
Külső hajlító terhelés	N/A (0S)
A bemetszés helye	N/A
A bemetszés iránya	N/A
A bemetszés névleges mélysége	N/A
A bemetszés névleges hossza (mm)	N/A
A tönkremenetel helye	palást
Tönkremeneteli nyomás (bar)	447





Az Y4 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	Y4
Fárasztás (ciklus)	100 000
Külső hajlító terhelés	$2 * \sigma_a (2S)$
A bemetszés helye	N/A
A bemetszés iránya	N/A
A bemetszés névleges mélysége	N/A
A bemetszés névleges hossza (mm)	N/A
A tönkremenetel helye	palást
Tönkremeneteli nyomás (bar)	473

2022/10/12 09:04:53

07:33

12

◀▶

▶▶

⏪

⏩

⏴

⏵

🗨



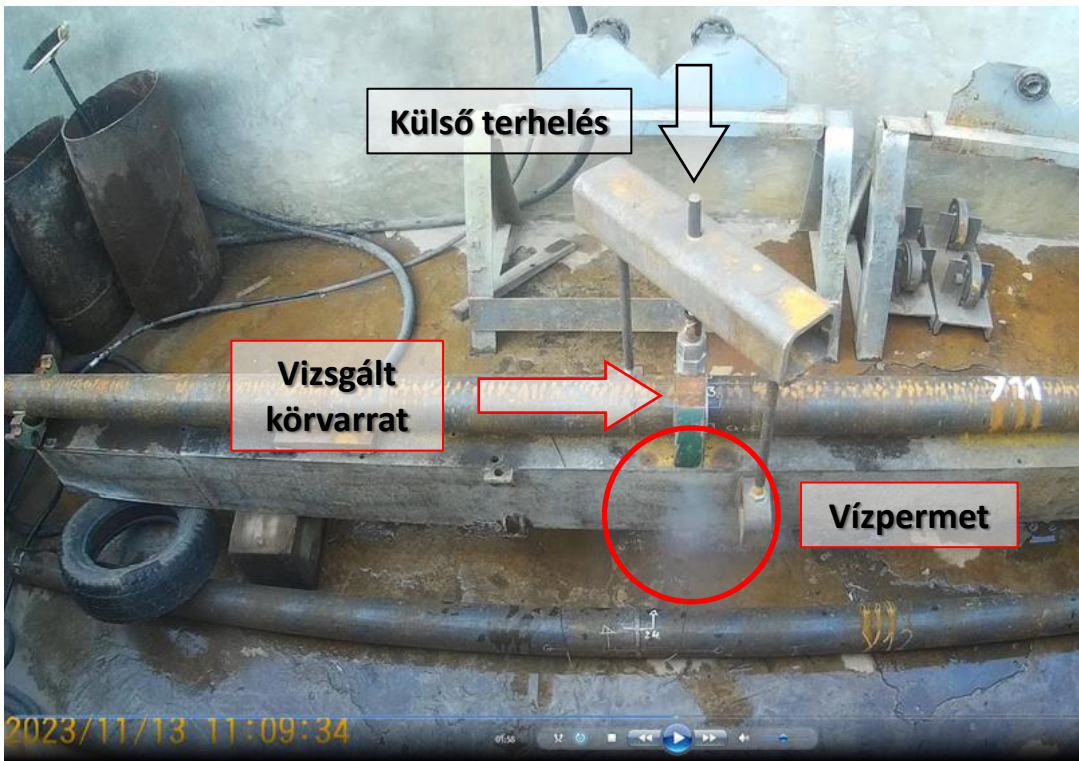
Az Y8 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	Y8
Fárasztás (ciklus)	100 000
Külső hajlító terhelés	$4 * \sigma_a (4S)$
A bemetszés helye	körvarratra merőleges
A bemetszés iránya	axiális
A bemetszés névleges mélysége	$0,50 * t$
A bemetszés névleges hossza (mm)	41
A tönkremenetel helye	axiális bemetszés
Tönkremeneteli nyomás (bar)	348



Az Y11 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	Y11
Fárasztás (ciklus)	100 000
Külső hajlító terhelés	$6 * \sigma_a (6S)$
A bemetszés helye	körvarratra merőleges
A bemetszés iránya	axiális
A bemetszés névleges mélysége	$0,67 * t$
A bemetszés névleges hossza (mm)	40
A tönkremenetel helye	axiális bemetszés
Tönkremeneteli nyomás (bar)	152



Többlét terhelésnek kitett körvarratok vizsgálata

Jel	Fárasztási ciklusszám	Külső terhelés	A bemetszés helye (névleges mélysége)	A bemetszés névleges hossza [mm]	Tönkrementeli hely, nyomás [bar]	Biztonsági tényező [-]
Y3	N/A	N/A	N/A	N/A	palást, 447	6,97
Y1	100 000	N/A	N/A	N/A	palást, 449	6,98
Y2	100 000	N/A	N/A	N/A	palást, 447	6,98
Y4	100 000	$2 * \sigma_a$	N/A	N/A	palást, 473	7,39
Y5	100 000	$2 * \sigma_a$	N/A	N/A	palást, 446	6,97
Y6	100 000	$4 * \sigma_a$	N/A	N/A	palást, 462	7,22
Y7	100 000	$4 * \sigma_a$	körvarrat HHÖ (0,37 * t)	29	palást, 457	7,14
Y8	100 000	$4 * \sigma_a$	körvarratra merőleges (0,50 * t)	41	bemetszés, 348	5,44
Y9	100 000	$4 * \sigma_a$	körvarrat HHÖ (0,67 * t)	40	palást, 461	7,20
Y10	100 000	$6 * \sigma_a$	körvarrat HHÖ (0,50 * t)	30	palást, 467	7,30
Y11	100 000	$6 * \sigma_a$	körvarratra merőleges (0,67 * t)	40	bemetszés, 152	2,38
Y12	100 000	$8 * \sigma_a$	körvarrat HHÖ (0,50 * t)	40	bemetszés, 250	3,91



Tartalom

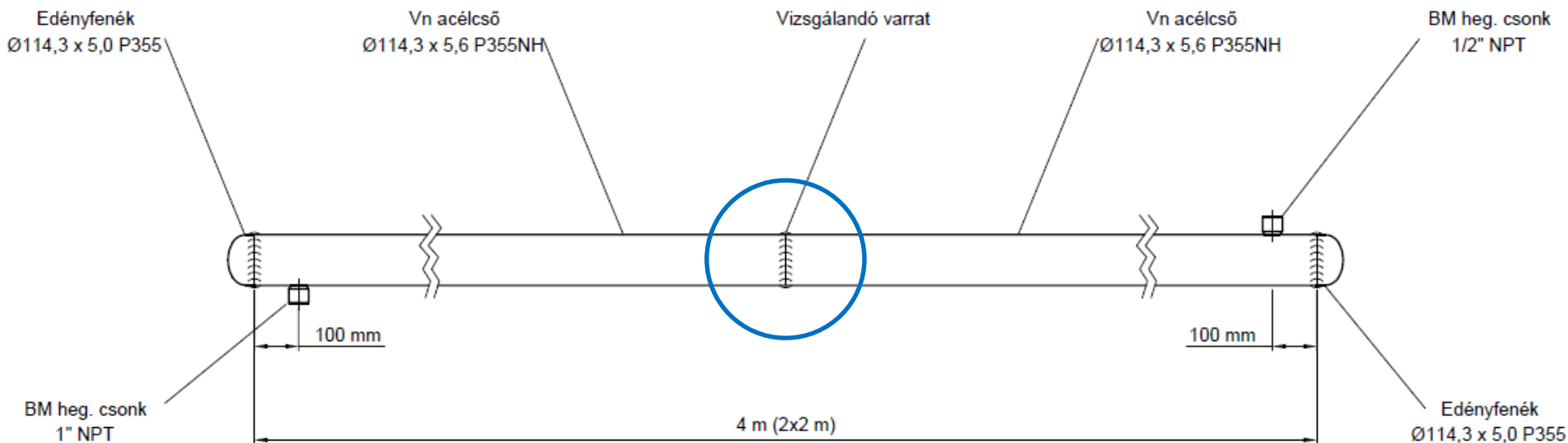


- ✓ A hidrogén csőtávvezetékes szállítása
- ✓ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája
- ✓ A vizsgáló rendszer
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül
- ✓ **Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén**
- ✓ Összegzés, következtetések



Az új kísérleti csőszakaszok

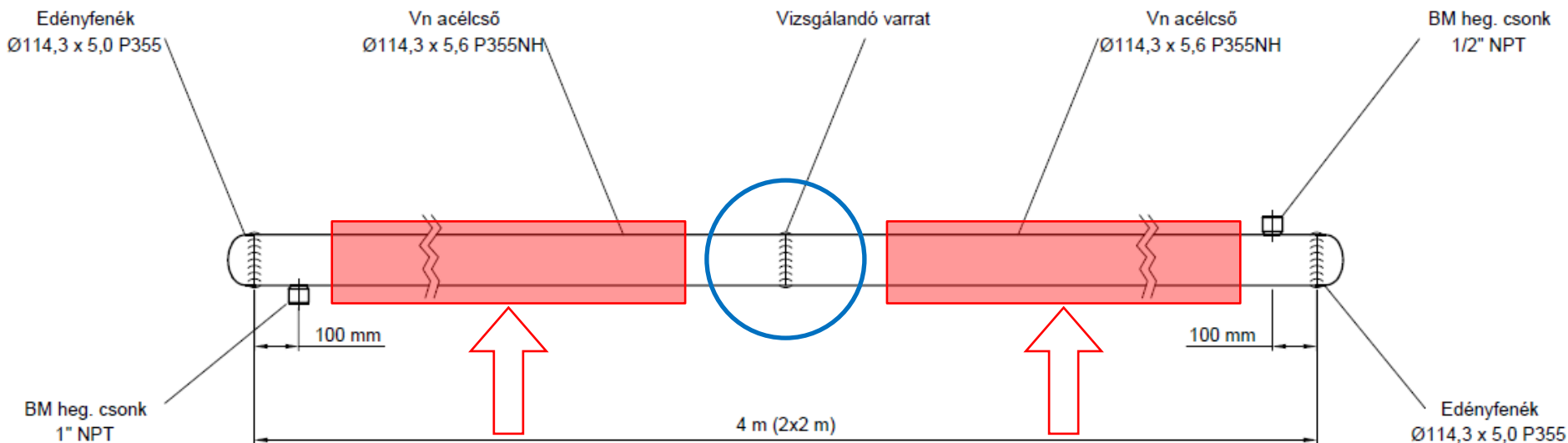
Az új kísérleti csőszakaszok kialakítása: „újratervezés”





Az új kísérleti csőszakaszok

Az új kísérleti csőszakaszok kialakítása: „újratervezés”

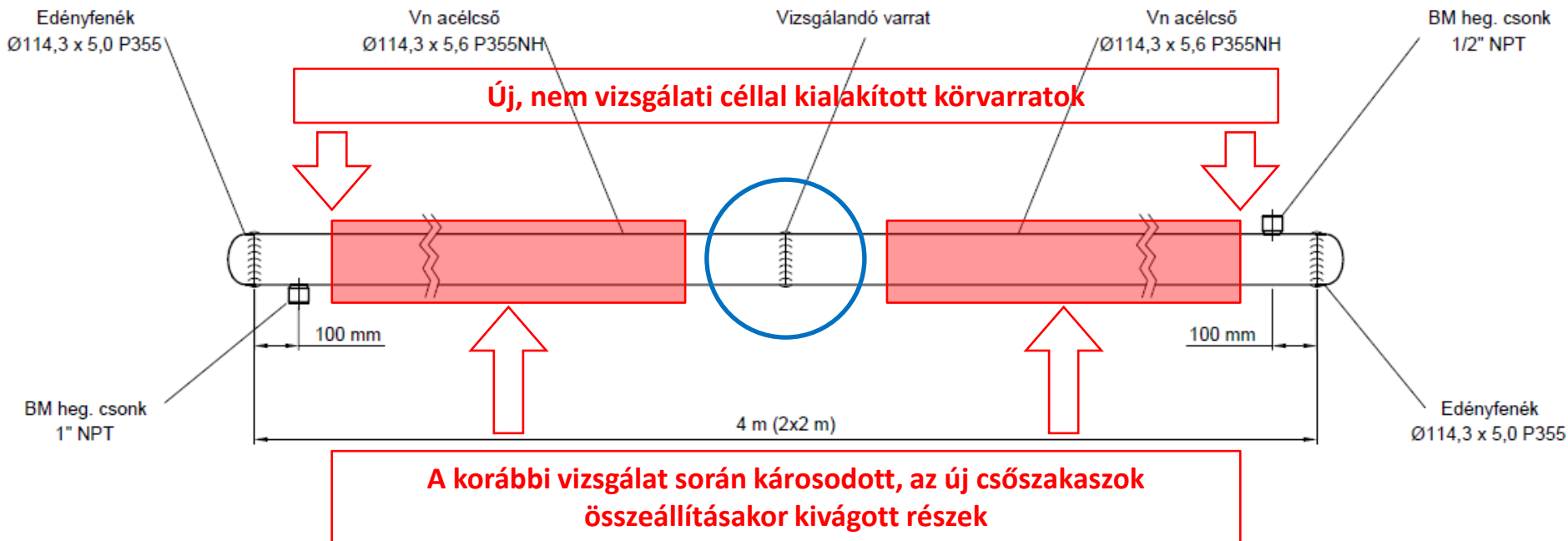


A korábbi vizsgálat során károsodott, az új csőszakaszok összeállításakor kivágott részek



Az új kísérleti csőszakaszok

Az új kísérleti csőszakaszok kialakítása: „újratervezés”





Az új kísérleti csőszakaszok



Új, nem vizsgálati céllal kialakított körvarratok

A korábbi vizsgálatok során nem károsodott körvarratok

Eredeti, edényfenék körvarratok



Az új kísérleti csőszakaszok hidrogén kitettsége

Hosszú idejű hidrogén kitettség a Linde Gáz Magyarország Zrt.-nél

- ✓ Közeg: tiszta hidrogén
- ✓ Nyomás: $2 * MAOP = 128 \text{ bar}$
- ✓ Kitettségi idők:
 - 41 nap
 - 92 nap
 - 183 nap



Eredeti,
edényfenék
körvarratok

A korábbi
vizsgálatok
során nem
károsodott
körvarratok

Új, nem vizsgálati céllal kialakított körvarratok

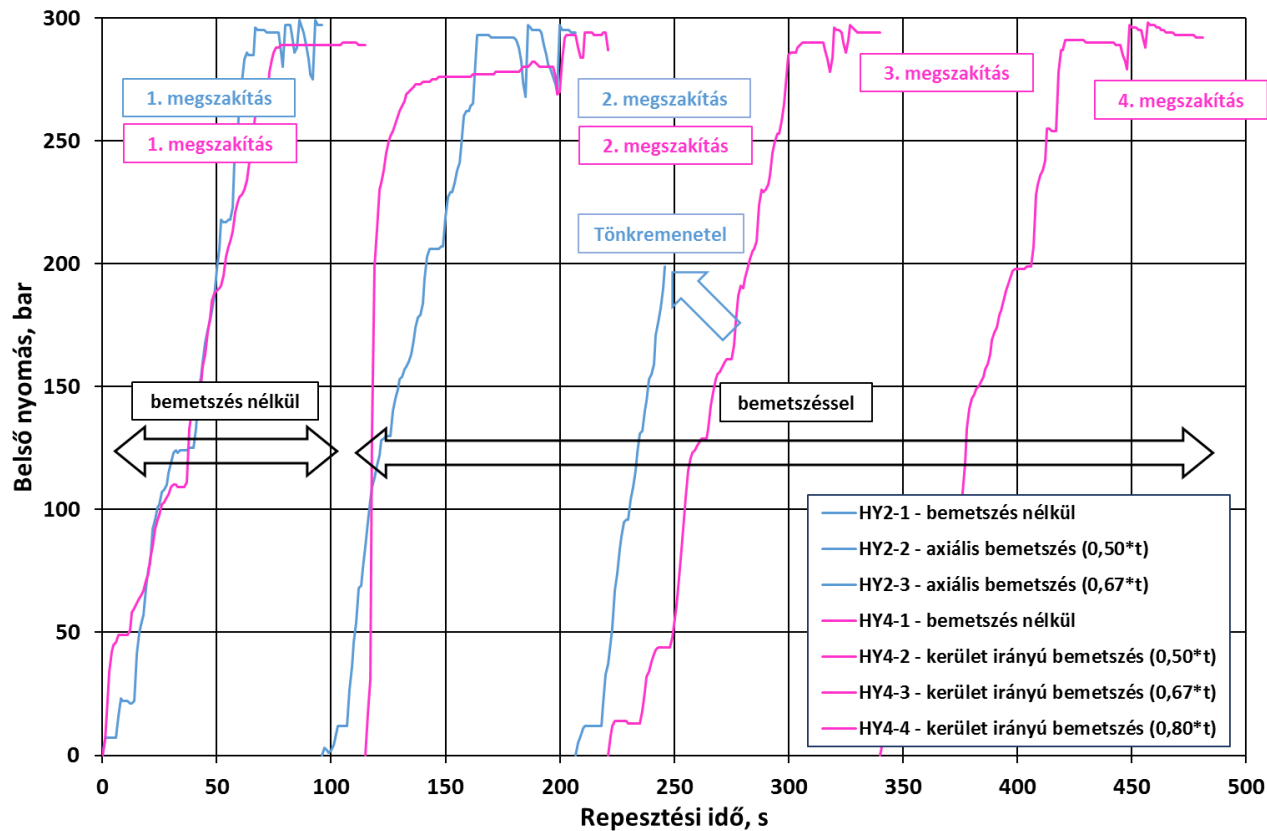


41 nap hidrogén kitettségű csőszakaszok vizsgálata

Jel	Fárasztási ciklusszám	Külső terhelés	A bemetszés helye	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]
Y2	100 000	N/A (0S)	N/A	N/A	N/A	N/A
HY2-1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HY2-2	N/A	N/A	körvarratra merőleges	axiális	0,50 * t	80
HY2-3	N/A	N/A	körvarratra merőleges	axiális	0,67 * t	80
Y4	100 000	2 * σ_a (2S)	N/A	N/A	N/A	N/A
HY4-1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HY4-2	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	0,50 * t	40
HY4-3	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	0,67 * t	40
HY4-4	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	0,80 * t	40
A negyedik felterhelés után, a bemetszés mélyítése közben, a cső falvastagsága átvágásra került						
Y8	100 000	4 * σ_a (4S)	körvarratra merőleges	axiális	0,50 * t	41
Y11	100 000	6 * σ_a (6S)	körvarratra merőleges	axiális	0,67 * t	40

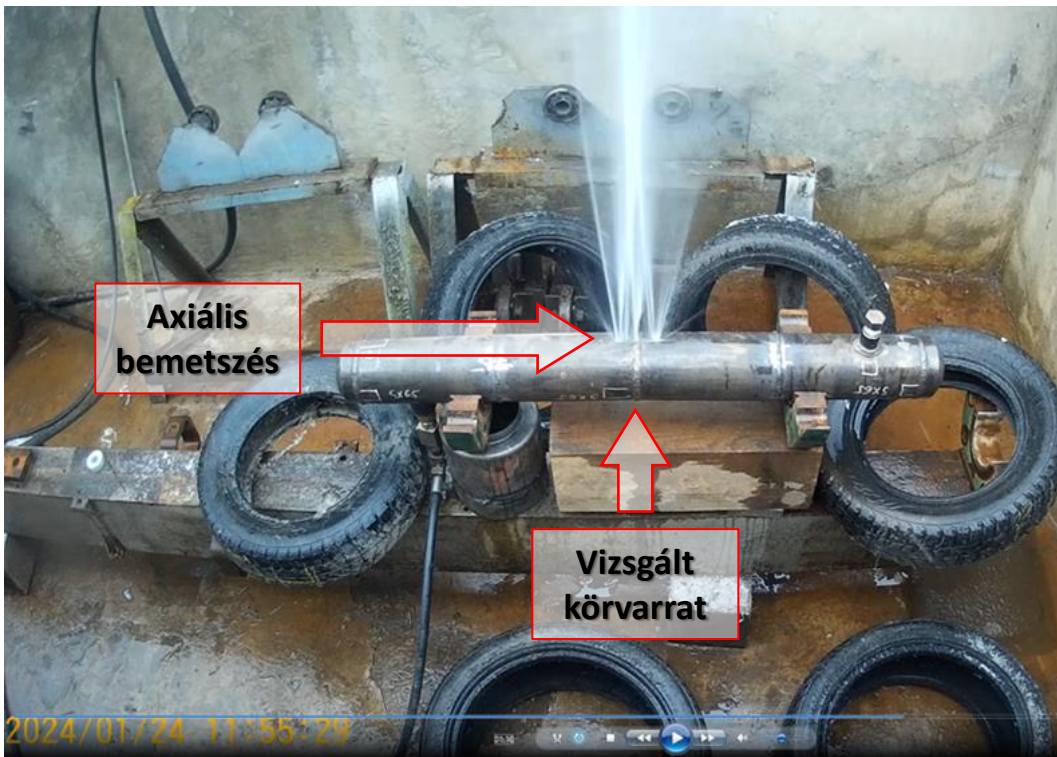


Nyomás – idő függvények: 41 nap hidrogén kitettség





A HY2-3 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	HY2-3
Fárasztás (ciklus)	100 000 (Y2)
Külső hajlító terhelés	N/A (Y2)
A bemetszés helye	körvarratra merőleges
A bemetszés iránya	axiális
A bemetszés névleges mélysége	0,67 * t
A bemetszés névleges hossza (mm)	80
A tönkremenetel helye	axiális bemetszés
Tönkremeneteli nyomás (bar)	199



41 nap hidrogén kitettséű csőszakaszok vizsgálata

Jel	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]	A tönkremenetel helye	Tönkremeneteli nyomás [bar]	Biztonsági tényező [-]
Y2	N/A	N/A	N/A	<i>palást</i>	447	6,98
HY2-1	N/A	N/A	N/A	nem következett be	> 299	> 4,67
HY2-2	axiális	0,50 * t	80	nem következett be	> 297	> 4,64
HY2-3	axiális	0,67 * t	80	körvarratra merőleges axiális bemetszés	199	3,11
Y4	N/A	N/A	N/A	<i>palást</i>	473	7,39
HY4-1	N/A	N/A	N/A	nem következett be	> 290	> 4,53
HY4-2	kerület irányú	0,50 * t	40	nem következett be	> 294	> 4,59
HY4-3	kerület irányú	0,67 * t	40	nem következett be	> 297	> 4,64
HY4-4	kerület irányú	0,80 * t	40	nem következett be	> 298	> 4,66
Y8	<i>axiális</i>	<i>0,50 * t</i>	<i>41</i>	<i>körvarratra merőleges axiális bemetszés</i>	<i>348</i>	<i>5,44</i>
Y11	<i>axiális</i>	<i>0,67 * t</i>	<i>40</i>	<i>körvarratra merőleges axiális bemetszés</i>	<i>152</i>	<i>2,38</i>

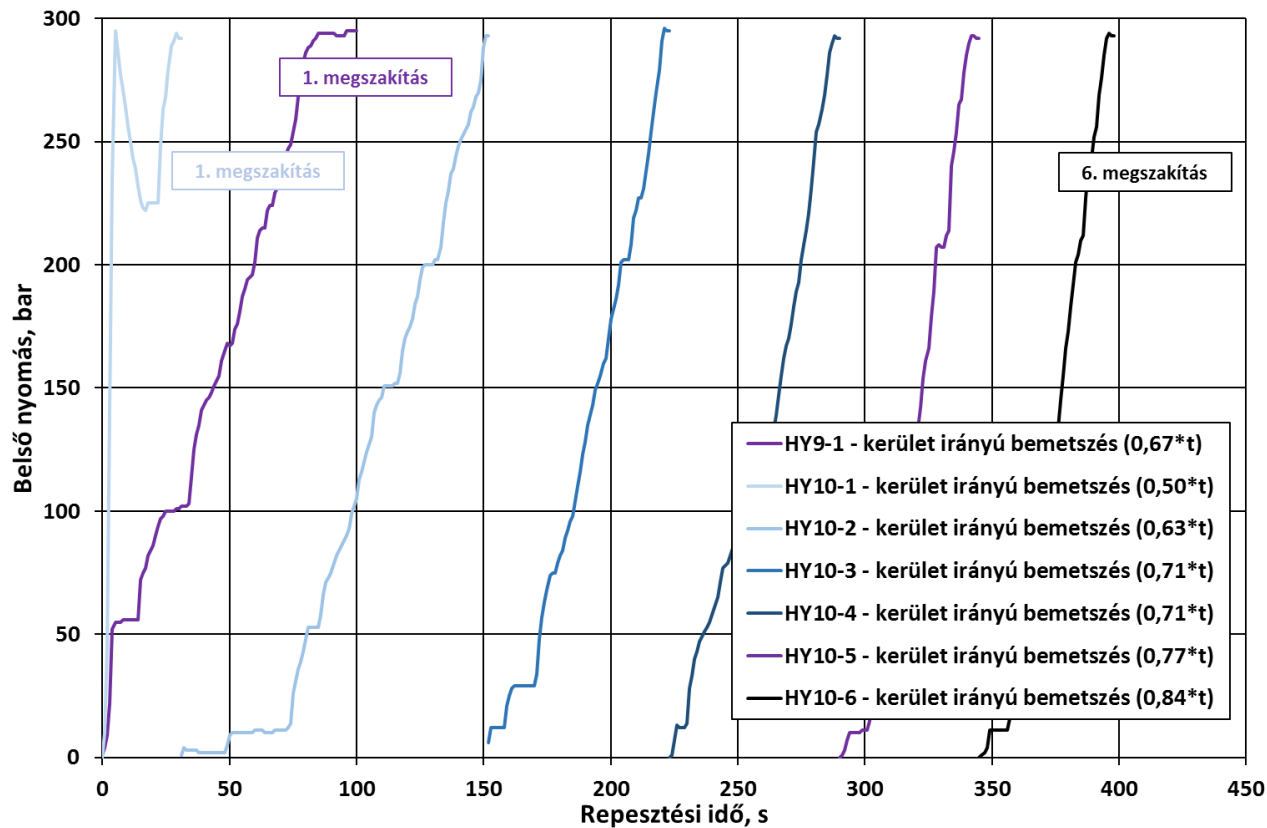


92 nap hidrogén kitettségű csőszakaszok vizsgálata

Jel	Fárasztási ciklusszám	Külső terhelés	A bemetszés helye	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]
Y9	100 000	$4 * \sigma_a (4S)$	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,67 * t$	40
HY9-1	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,67 * t$	40
Az első felterhelés után, a bemetszés mélyítése közben, a cső falvastagsága átvágásra került						
Y10	100 000	$6 * \sigma_a (4S)$	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,50 * t$	30
HY10-1	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,50 * t$	30
HY10-2	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,63 * t$	60
HY10-3	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,71 * t$	60
HY10-4	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,71 * t$	70
HY10-5	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,77 * t$	70
HY10-6	N/A	N/A	körvarrat HHÖ	kerület irányú	$0,84 * t$	70
A hatodik felterhelés után, a bemetszés mélyítése közben, a cső falvastagsága átvágásra került; ezt követően a körvarratot hegesztéssel javítottuk						
HY10-7	N/A	N/A	javított körvarratra merőleges	axiális	$0,67 * t$	80

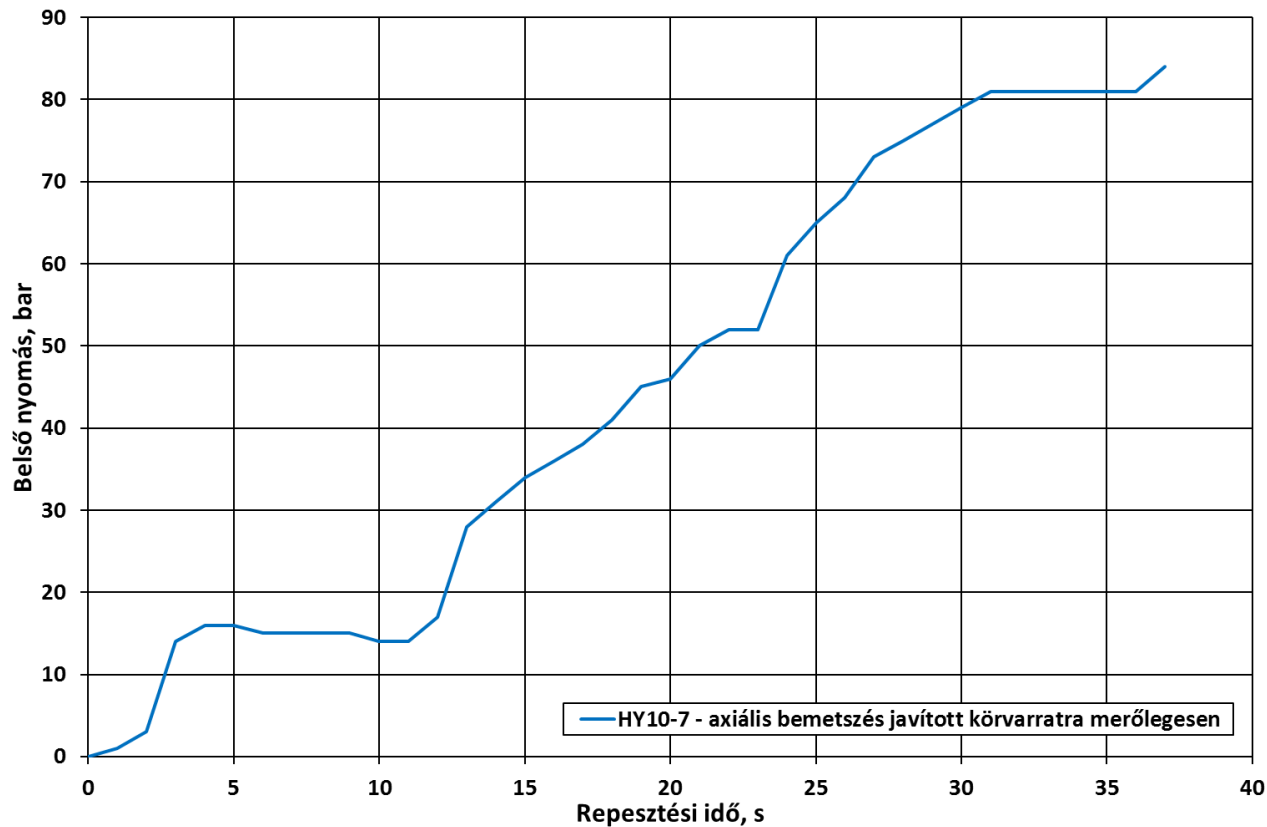


Nyomás – idő függvények: 92 nap hidrogén kitettség



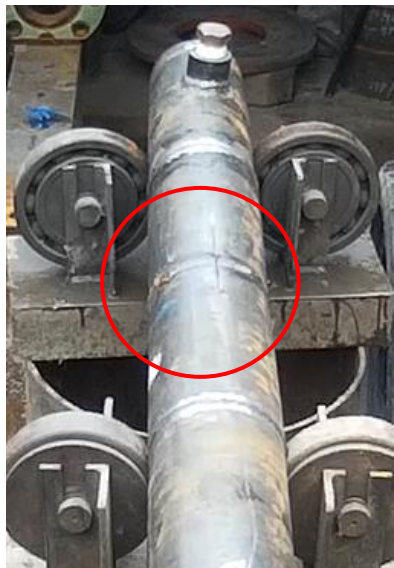


Nyomás – idő függvények: 92 nap hidrogén kitettség





A HY10-7 jelű csőszakasz tönkremenetele



Fárasztás (ciklus)	100 000 (Y10)	A bemetszés névleges mélysége	0,67 * t
Külső hajlító terhelés	6 * σ_a (4S) (Y10)	A bemetszés névleges hossza (mm)	80
A bemetszés helye	javított körvarratra merőleges	A tönkremenetel helye	axiális bemetszés
A bemetszés iránya	axiális	Tönkremeneteli nyomás (bar)	84



92 nap hidrogén kitettségű csőszakaszok vizsgálata

Jel	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]	A tönkremenetel helye	Tönkremeneteli nyomás [bar]	Biztonsági tényező [-]
Y9	kerület irányú	0,67 * t	40	palást	461	7,20
HY9-1	kerület irányú	0,67 * t	40	nem következett be	> 299	> 4,67
Y10	kerület irányú	0,50 * t	30	palást	467	7,30
HY10-1	kerület irányú	0,50 * t	30	nem következett be	> 295	> 4,61
HY10-2	kerület irányú	0,63 * t	60	nem következett be	> 293	> 4,58
HY10-3	kerület irányú	0,71 * t	60	nem következett be	> 296	> 4,63
HY10-4	kerület irányú	0,71 * t	70	nem következett be	> 293	> 4,58
HY10-5	kerület irányú	0,77 * t	70	nem következett be	> 293	> 4,58
HY10-6	kerület irányú	0,84 * t	70	nem következett be	> 293	> 4,58
HY10-7	axiális	0,67 * t	80	javított körvarratra merőleges axiális bemetszés	84	1,31

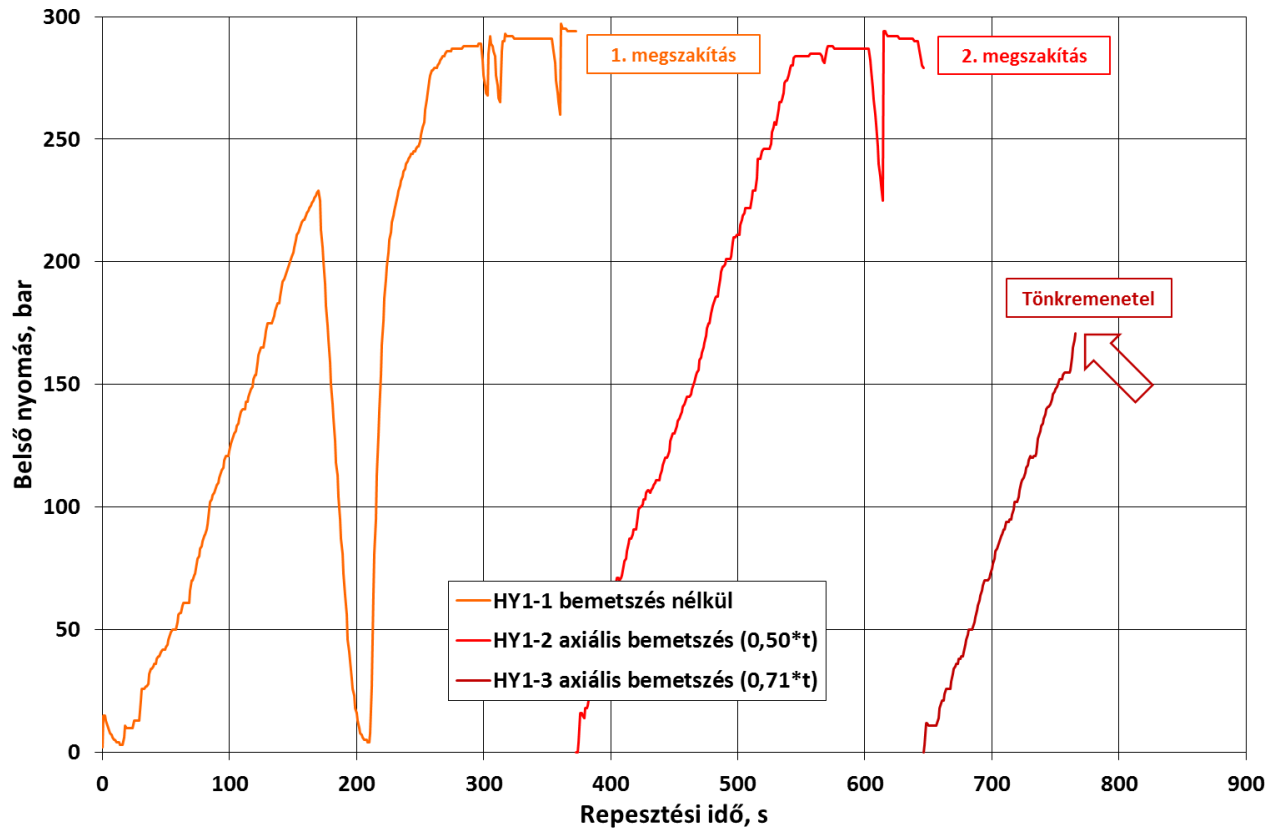


183 nap hidrogén kitettségű csőszakaszok vizsgálata

Jel	Fárasztási ciklusszám	Külső terhelés	A bemetszés helye	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]
Y1	N/A	N/A (0S)	N/A	N/A	N/A	N/A
HY1-1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HY1-2	N/A	N/A	körvarratra merőleges	axiális	0,50 * t	40
HY1-3	N/A	N/A	körvarratra merőleges	axiális	0,71 * t	60

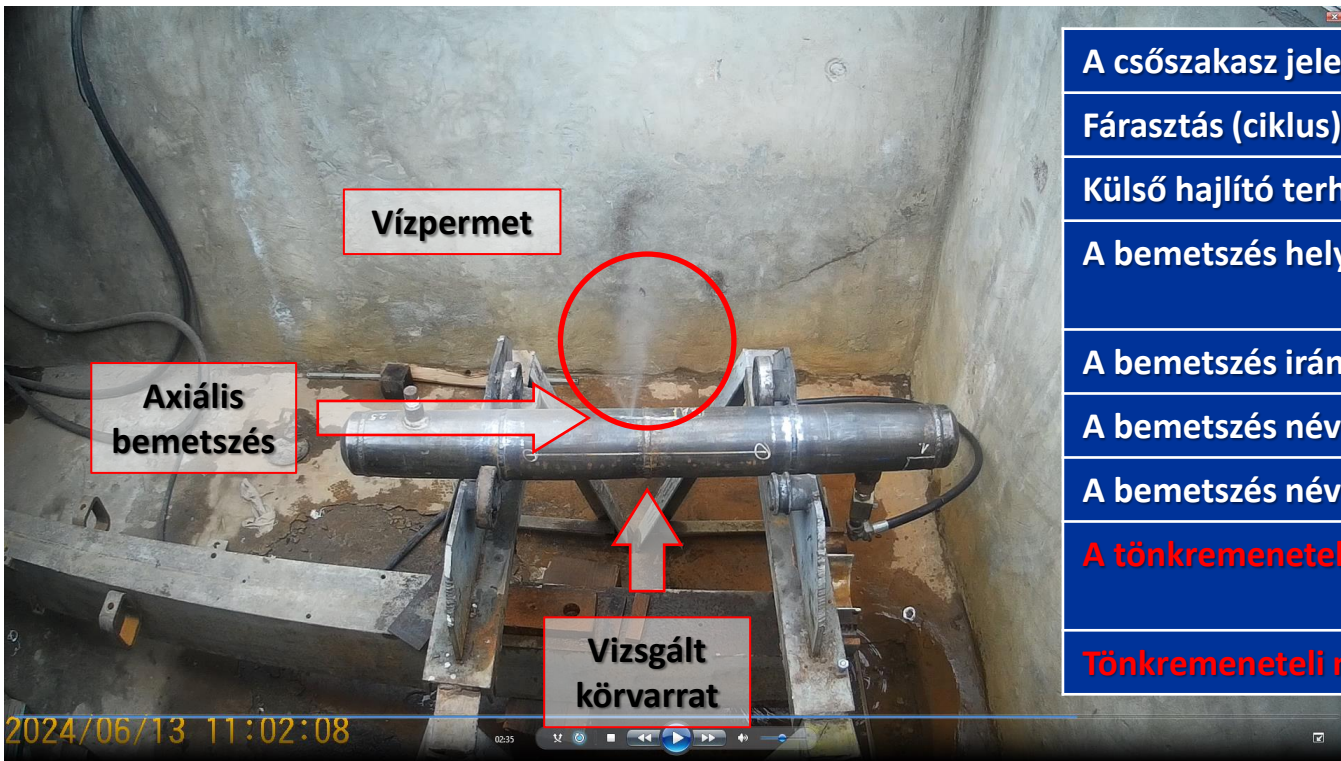


Nyomás – idő függvények: 183 nap hidrogén kitettség





A HY1-3 jelű csőszakasz tönkremenetele



A csőszakasz jele	HY1-3
Fárasztás (ciklus)	100 000 (Y1)
Külső hajlító terhelés	N/A
A bemetszés helye	körvarratra merőleges
A bemetszés iránya	axiális
A bemetszés névleges mélysége	0,71 * t
A bemetszés névleges hossza (mm)	60
A tönkremenetel helye	axiális bemetszés
Tönkremeneteli nyomás (bar)	171

2024/06/13 11:02:08

02:35





183 nap hidrogén kitettséggű csőszakaszok vizsgálata

Jel	A bemetszés iránya	A bemetszés névleges mélysége	A bemetszés hossza [mm]	A tönkremenetel helye	Tönkremeneteli nyomás [bar]	Biztonsági tényező [-]
Y1	N/A	N/A	N/A	<i>palást</i>	449	6,98
HY1-1	N/A	N/A	N/A	nem következett be	> 299	> 4,67
HY1-2	axiális	0,50 * t	40	nem következett be	> 297	> 4,64
HY1-3	axiális	0,71 * t	60	körvarratra merőleges axiális bemetszés	171	2,67



Tartalom

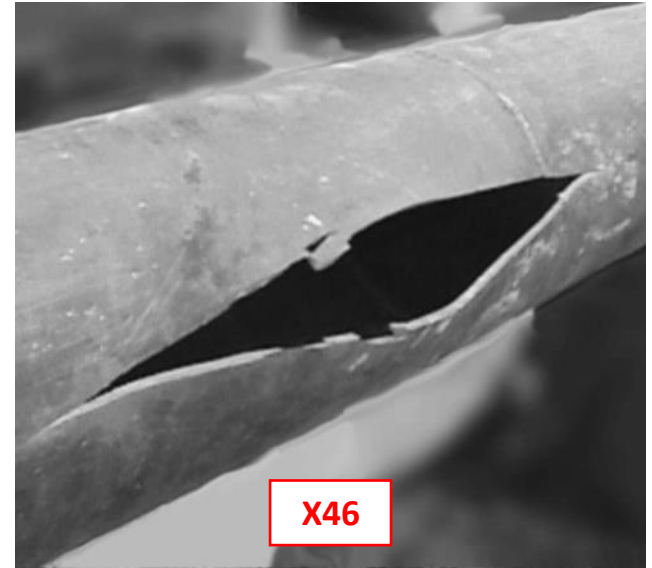


- ✓ A hidrogén csőtávvezetékes szállítása
- ✓ Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája
- ✓ A vizsgáló rendszer
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség nélkül
- ✓ Vizsgálatok hidrogén kitettség esetén
- ✓ **Összegzés, következtetések**



Összegzés, következtetések

- ✓ **A körvarratok hidrogénes elridegéssel (HE) szembeni ellenállása és várható viselkedése az alapanyagokból származtatható; az azonban valószínűsíthető, hogy a különböző gyártási időszakokból származó ugyanazon alapanyagok érzékenysége eltérő**
 - **nem elegendő egyszerűen azonosítani az alapanyagot és a hozaganyagot, a minőségi részletek (például kémiai összetétel, karbon egyenérték) ismerete is szükséges**
 - **a körvarratok az alapanyagoknál nagyobb kockázatú helynek tekintendők**
 - **a kockázat mértéke tovább nő a különböző anyagminőségű és/vagy különböző gyártási időszakokból származó csövekből készült körvarratok esetében**





Összegzés, következtetések

A vizsgáló rendszer / vizsgálati elrendezés

- ✓ A kifejlesztett vizsgálati elrendezéssel a csővezeték szakaszok statikus / ciklikus belső nyomással és statikus hajlítónyomatékkal történő komplex terhelése elvégezhető
- ✓ A vizsgálati elrendezés és az alkalmazott módszertan általánosnak tekinthető, de a vizsgált csővezeték- vagy nyomástartó edény szakaszok geometriai méretei befolyásolják a vizsgálati lehetőségeket



Összegzés, következtetések

Hidrogén kitettség nélküli csőszakaszokon végzett vizsgálatok

- ✓ **A bemetszés nélküli vagy kerület irányú bemetszést tartalmazó csővezeték szakaszok fárasztást követő repesztővizsgálatai során a tönkremenetel az üzemi nyomásnál lényegesen nagyobb nyomáson következett be**
- ✓ **A fárasztó terhelés, a szuperponált hajlító terhelés, továbbá a kerület irányú bemetszések nem befolyásolták jelentősen a tönkremeneteli nyomást, a felszakadás minden esetben a palástfelületen következett be, a vizsgált körvarratok nem sérültek**
- ✓ **Azokban az esetekben, amikor a körvarratok axiális irányú bemetszéseket tartalmaztak, a tönkremenetel a bemetszésben következett be, az üzemi nyomásnál nagyobb nyomáson**
- ✓ **A biztonsági tényezők tükrözik a szuperponált hajlító terhelés nagyságának és a bemetszés méretének a hatását**



Összegzés, következtetések

41 napos hidrogén kitettségű csőszakaszokon végzett vizsgálatok

- ✓ **A bemetszés nélküli csővezeték szakaszok az üzemi nyomás közel ötszöröséig nem hibásodtak meg, a vizsgált körvarratok nem sérültek**
- ✓ **A vizsgált körvarratok, amelyek a hőhatásövezetben kerület irányú, a névleges falvastagság 80%-áig terjedő, 40 mm hosszú, bemetszéseket tartalmaztak, szintén közel ötszörös üzemi nyomást viseltek el**
- ✓ **A vizsgált körvarrat, amely axiális irányú, a névleges falvastagság 67%-ának megfelelő mélységű és 80 mm hosszú mesterséges bemetszést tartalmazott, a bemetszésben, az üzemi nyomás háromszorosánál ment tönkre**



Összegzés, következtetések

92 napos hidrogén kitettségű csőszakaszokon végzett vizsgálatok

- ✓ A vizsgált körvarratok, a hőhatásövezetükben lévő, eredeti, kerület irányú repedésekkel nem szenvedtek károsodást az üzemi nyomás közel ötszöröséig
- ✓ A bevágások méretét szisztematikusan növelve, mélység irányban a névleges falvastagság 84%-áig, kerület irányban pedig 70 mm-ig, a vizsgált körvarrat nem szenvedtek károsodást az üzemi nyomás közel ötszöröséig
- ✓ A hegesztéssel javított, axiális irányú, a névleges falvastagság 67%-ának megfelelő mélységű és 80 mm hosszú mesterséges bemetszést tartalmazó körvarrat, a bemetszésben, az üzemi nyomást 30%-kal meghaladó nyomásnál ment tönkre



Összegzés, következtetések

183 napos hidrogén kitettségű csőszakaszokon végzett vizsgálatok

- ✓ **A bemetszés nélküli csővezeték szakaszok az üzemi nyomás közel ötszöröséig nem hibásodtak meg, a vizsgált körvarratok nem sérültek**
- ✓ **A vizsgált körvarrat, amely axiális irányú, a névleges falvastagság 71%-ának megfelelő mélységű és 60 mm hosszú mesterséges bemetszést tartalmazott, a bemetszésben, az üzemi nyomás két és félszeresénél ment tönkre**



Összegzés, következtetések

A biztonsági tényező (repszési nyomás / MAOP)

- ✓ **A hidrogén kitettség nélküli és a hidrogén hatásának kitett csővezeték szakaszokra kapott biztonsági tényezők összhangban vannak, az értékek visszatükrözik a komplex mechanikai terhelés, a bemetszés-geometria és a hidrogén kitettség együttes hatását**



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Prof. Dr. Lukács János

janos.lukacs@uni-miskolc.hu

Linde Hegesztési Szimpózium
FLOW Hotel & Conference
Inárcs, 2024. október 1.