

Ultra nagynyomású rendszerek meghibásodásai: a megelőzés érdekében végzett ellenőrzések és MMM vizsgálat

Joó Gyula

műszaki felügyelet vezető, MOL Petrolkémia Zrt. Műszaki Felügyelet, gyjoo@mol.hu

Összefoglaló

A nagynyomású technológiák berendezései speciális anyagminőségből, egyedi gyártástechnológiával készülnek. Az extrém üzemi igénybevételek az idő előrehaladtával a berendezések károsodásaihoz vezetnek, mely meghibásodásoknak időben való kiszűrése elengedhetetlen. A nagynyomású szerkezeti elemek tönkremenetelének legjellemzőbb formája a repedések kialakulása és terjedése.

A berendezések ellenőrzésére alkalmazott diagnosztikai vizsgálatokkal ezen repedések feltárását célozzuk meg. A vizsgálati módszerek széles skáláját alkalmazzuk, szemrevételezéses, mágnesezhető poros-, folyadékbehatolásos-, örvényáramos-, ultrahangos repedéskereső vizsgálatokat, akusztikus emissziós-, tömörségvizsgálatokat és nyúlásmérést végzünk, valamint rendszer szilárdsági nyomáspróbát hajtunk végre meghatározott időközönként a – várható, vagy már tapasztalt – meghibásodások bekövetkezésének megelőzésére, de kísérleti jelleggel alkalmazzunk MMM vizsgálati módszert is.

Kulcsszavak

nagynyomású rendszerek, nagynyomású reaktorok, üzemi viszonyok, anyagok, diagnosztika, MMM ellenőrzés, meghibásodások

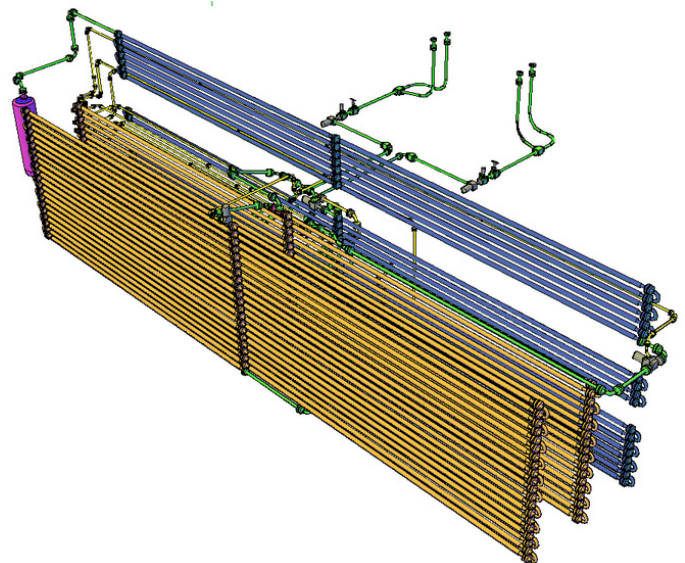
Közlemény célkitűzései:

- Annak ismertetése, hogy milyen üzemeltetési viszonyok lépnek fel egy nagynyomású szerkezeti elemnél.
- Milyen anyagokból kell készíteni és ezeknek mik a sajátosságai?
- Milyen károsodások léphetnek, illetve léptek fel?
- Az MMM eljárás alkalmazható-e az eltérések megállapítására?

1. Bevezetés

A kissűrűségű polietilén gyártása magas nyomáson történik. A MOL Petrolkémia Zrt. már 1970-től üzemeltetett egy három termelő sorból álló kissűrűségű polietilén gyárat, az ICI technológián alapuló

LDPE 1 üzemet. A folyamatos üzemelésű, keverővel ellátott polimerizáló reaktorban 1800-2200 bar üzemi nyomás volt, termék típustól függően. Az LDPE 2 üzem 1991-ben indította be a kissűrűségű polietilén termelését BASF technológián alapulva. Itt nagynyomású csőreaktorban – terméktípustól függően 2400-3200 bar nyomáson – évi 65 kT polietilén terméket gyártunk. A nagynyomású technológia paraméterei extrém igénybevételeket jelentenek az üzemben lévő nagynyomású csövekre, készülékekre és egyéb szerkezeti elemekre (lásd 1. ábra). A meghibásodások elkerülése, valamint idő előtti kiszűrése érdekében széleskörű és nagyszámú roncsolásmentes diagnosztikai vizsgálatot alkalmazunk.



1. ábra: Nagynyomású rendszer 3D rajza.

A technológia sajátosságából adódó igénybevételek, amelyek a szerkezeti elemeket érik:

- nagy nyomás;
- nagy anyagvastagság miatt háromtengelyű feszültségállapot;
- dugattyús kompresszor működése miatt nyomás pulzáció, ismétlődő terhelés;
- hirtelen nyomás- és/vagy hőmérsékletnövekedés (dekompozíció), kisciklusú fáradás és hőfáradás;
- rezgés okozta dinamikus fárasztó igénybevétel;

- hőfeszültség, kifújásnál gyors lehűlés az eltérő hőmérsékleti viszonyok miatt.

A szerkezeti anyagban lévő belső hibák, valamint a kifáradás hatására meginduló meghibásodások repedések formájában jelennek meg az anyagban, ezért diagnosztikai vizsgálataink alapvetően a belső anyaghibák felderítésére, valamint a repedések keresésére irányulnak.

1.1 Anyagminőségek

A vastagfalú edények repedési hajlama nagyobb, mint a héjaké, mert azonos kezdeti repedési hosszok esetén a terjedő repedést okozó kritikus repedési feszültséghez közelebb állnak a terhelésből származó, a nagynyomású edényekben a héjakénál általában nagyobb megengedett, illetve keletkező feszültségek.

Az LDPE 2-ben nagynyomású berendezésekhez használt jellemző szerkezeti anyagok – valamint azok összetétele – az 1. táblázatban, a szilárdsági tulajdonságok a 2. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Technológiában alkalmazott szerkezeti anyagok vegyi összetétele

[%]	Reaktorcső 30CrNiMo8 nemesíthető	180° és 90° ívek BÖHLER E 101 nemesíthető	4AS1 24CrMo10 II hidrogén nyomásálló
C	0,26-0,34	0,17-0,22	0,20-0,28
Si	≤0,40	≤0,30	0,15-0,35
Mn	0,30-0,60	0,40-0,60	0,50-0,80
P	≤0,035	≤0,01	≤0,035
S	≤0,035	≤0,002	≤0,035
Cr	1,80-2,20	0,90-1,20	2,30-2,60
Ni	1,80-2,20	3,40-4,00	≤0,80
Mo	0,30-0,50	0,50-0,70	0,20-0,40
Al	≤0,1	0,01-0,03	≤0,10

2. táblázat: A szerkezeti anyagok szilárdsági tulajdonságai

	Reaktorcső 30CrNiMo8 nemesíthető	180° és 90° ívek BÖHLER E 101 nemesíthető	4AS1 24CrMo10 II hidrogén nyomásálló
Rm [MPa]	950-1150	980-1130	640-780
Rp0,2 [MPa]	850	835	440
A5 [%]	min. 15	min. 14	17
Z [%]	min. 40	min. 45	-

1.2 Inhomogenitás

Az egyrétegű, vastag falú anyagok szövetszerkezete és felépítése több inhomogenitást tartalmaz, mert a gyártási megmunkálások során a gázzárványok és szennyeződések nehezebben oszlanak szét.

A szemcseszerkezetek és a szemcseméretetek a

szelvényvastagság függvényében változnak, ezért nemesítés során az átedzhető szelvényátmérő függvényében az anyagminőség tulajdonságai eltérőek lehetnek.

Ennek elkerülése érdekében kovácsolják át teljesen a végleges alakadás előtt a vastag falú szerkezeteket.

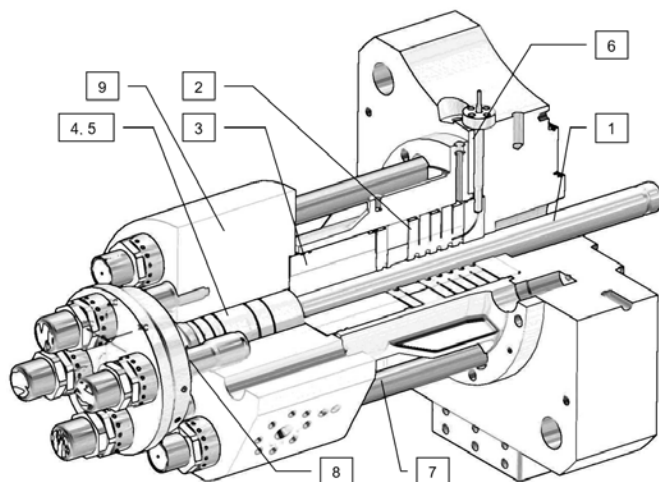
2. Szerkezeti elemek vizsgálata

Az említett igénybevételek hatására a szerkezeti elemek tönkremenetelének legjellemzőbb formája a repedés kialakulása és terjedése. A diagnosztikai vizsgálatok ezen repedések feltárására lettek bevezetve.

2.1 Kompresszor alkatrészek

A hiper kompresszor egy kétfokozatú dugattyús gép, amelynek szívónyomása 1050 bar, kilépő nyomása pedig 2800-3200 bar. A nagy nyomás mellett a működésből származó egyéb igénybevételek is előidézhetik a meghibásodást.

A nagynyomású henger felépítése a 2. ábrán látható [2].



2. ábra: Nagynyomású henger térbeli ábrája

1 Dugattyúrúd

A dugattyúrúd porkohászati úton előállított szuper kemény fém wolfram karbid fémes alapú kötőanyagban. Keménysége 89,1 HRa körüli nagyságú. A repedés – megjelenése esetén – a rideg anyag teljes keresztmetszetében végigfut. A dugattyúrúd szerelését cérnakesztyűben végzik, hogy az emberi bőr savas pH-ja ne okozzon kárt a dugattyúrúd anyagában.

A dugattyúrúdon szemrevételezéses vizsgálatot, mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot, valamint ultrahangos anyagvizsgálatot végzünk összeszerelés előtt.

2 Tömszelence csészék

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A tömszelence csészék két részből túlfedéssel illesztett elemek. A csészék közötti tömitést felvitt ipari ezüstréteg biztosítja. A keresztmetszet változásoknál repedés megjelenésre lehet számítani, ezért a teljes felületet, valamint a furatokat mágnesezhető poros vizsgálattal ellenőrizzük permanens mágnessel UV fényben.

3 Spacer

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A spacer két részből túlfedéssel illesztett, vagy egy anyagból készült, autofrettage-olt szerkezet. A keresztmetszet változásoknál repedés megjelenésére számítunk, ezért teljes átmágnesezéssel illetve permanens mágnessel végzett mágnesezhető repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk UV megvilágításban.

Egy korábbi – egy rétegben készített – spacer 12 óra üzemeltetési idő után teljes keresztmetszetben kettérepedt (lásd 20. ábra).

4 Poppet-szelepek

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A szelepek keresztmetszet változásainál repedés megjelenésére, valamint a záró felületeken leverődésre, anyagleválásra lehet számítani, ezért mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot és szemrevételezéses vizsgálatot végzünk.

5 Szelepház

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A szelepház alakos részein, illetve keresztmetszet változásainál repedések jelennek meg, mágnesezhető poros repedésvizsgálatot végzünk UV megvilágítással.

6 Olajbefecskendezők

Anyagminőség: 35NiCrMo15

A menetes részen, a tömítő felületen, illetve a paláston repedések jelennek meg az igénybevétel hatására, hosszú behatolási idejű folyadékbehatolós repedéskereső vizsgálattal a hibák feltárhatók.

7, 8 Henger összefogató és hengerfej lefogató csavarok

Anyagminőség: 40NiCrMo7

A csavartestben keletkezett repedések kiszűrésére ultrahangos anyagvizsgálatot, a menetes részek mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot végzünk.

9 Hengerfej

Anyagminőség: 30NiCrMo12

Keresztmetszet változások és furatok környékén mágnesezhető poros vizsgálatot végzünk UV megvilágításban.

2.2 Csövek, ívek

Elsődleges vizsgálatként szemrevételezéses vizsgálatot végzünk a külső felületen, valamint videóendoszkóppal a belső felületen. A menetes részeket mágnesezhető poros vagy folyadékbehatolós repedéskereső vizsgálattal és ultrahangos anyagvizsgálattal ellenőrizzük.

A kiserelt csöveken nyomáspróbát végzünk 4680 bar nyomáson. A rendszerben lévő csöveket időszakosan 3600 bar-os rendszer nyomáspróbával ellenőrizzük.

Amennyiben egy csőszálat újra-autofrettage-olásnak vetjük alá, akkor a gyártóműben felveszik az eljárás értékeléséhez szükséges nyomásterhelés közbeni nyúlásmérést.

Meghatározott reaktor és hűtőcsöveknél a belső felületen örvényáramos repedéskereső vizsgálatot végzünk (lásd 3. ábra).

A csövek köpenyezett részén lévő hegesztési varratok ellenőrzésére folyadékbehatolós és mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk.



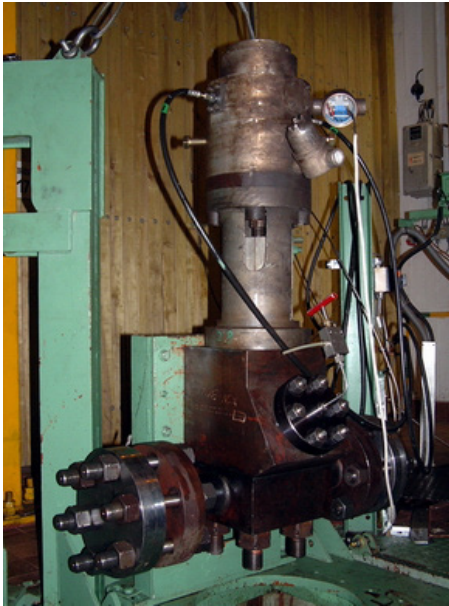
3. ábra: Örvényáramos vizsgáló berendezés

2.3 Szerelvények

A szabályzó- és vészleürítő szelepeken szemrevételezéses vizsgálatot végzünk szétszereléskor. Az alsó tömbrészen örvényáramos anyagvizsgálatot és ultrahangos vizsgálatot, a szeleptesten ultrahangos repedéskereső vizsgálatot végzünk. A menetes részek, üléken és furatokon folyadékbehatolós vagy mágnesezhető poros repedéskeresést alkalmazunk.

Összeszerelés után működésvizsgálattal egybekötött tömörségvizsgálatot végzünk víz alá merítéses

módszerrel a szelepvizsgáló állomáson. Ekkor a szelep házának tömörségét 3600 bar nyomáson, a szelep tömörzését pedig 3200 bar nyomáson ellenőrizzük (lásd 4. ábra).



4. ábra: Nagynyomású vészleürítő szerelvény tömörségi vizsgálat előtt a Nagynyomású Szerelvényvizsgáló Állomáson

2.4 Biztonsági szelepek

A biztonsági szelepek szemrevételezéses vizsgálatát és méretellenőrzését a biztonsági szelepek revíziója (szétszerelése) során végezzük. Összeszerelés után nyitónyomást állítunk be fúróolaj-víz emulzió közeggel.

A biztonsági szelepeknél a nyitónyomás 90%-án tömörségi vizsgálatot végzünk (lásd 5. ábra).



5. ábra: 325 bar nyitónyomású biztonsági szelep tömörség ellenőrzése

2.5 Keverési pont

A keverési pont az egész rendszer legnagyobb hőfeszültségnek kitett szerkezeti eleme. Itt keveredik össze a meleg és a hideg anyagáram. A keverési ponton szemrevételezéses vizsgálatot végzünk, valamint repedéskereső vizsgálatokat, a testen ultrahangos, a belső felületen örvényáramos, a menetes részen folyadékbehatolásos vagy mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot.

A keverési pontot akusztikus emisszióval és mérőbélyeges nyúlásméréssel kiegészített szilárdsági nyomáspróbának vetjük alá 4680 bar nyomáson (lásd 6. ábra).



6. ábra: Keverési pont vizsgálat közben a Nagynyomású Szerelvényvizsgáló Állomáson akusztikus emisszióval és nyúlásméréssel kiegészített szilárdsági nyomáspróba

2.6 Kötőelemek

A csavarokon (lásd 7. ábra) szemrevételezéses vizsgálatot, valamint ultrahangos anyagvizsgálatot végzünk a csavar homlokfelületén besugározva. A menetes részeken mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk.



7. ábra: Kötőelemek és lencse összeszerelt állapotban

2.7 Tömítő lencsék

A tömítő lencsék felületén kisereléskor szemrevételezéses vizsgálatot, valamint a menetes részeken folyadékbehatolásos vagy mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot végzünk.

Dekompozíció után a hirtelen nyomás és hőmérsékletnövekedés miatt, a lencsék felkeményedése következhet be, ezért ekkor keménységmérést végzünk.

2.8 Rendszer nyomáspróba

A teljes nagynyomású rendszer nyomáspróbáját első körben 4, majd később a tapasztalatok alapján 8 nyomókörre bontva végeztük el. A próbanyomás 3600 bar volt. A rendszerről nyomáspróba előtt a szerelvényeket, hasadó elemeket ki kell szerelni. A nyomáspróba közege fehérrolaj lesz és a rendszer teljes légtelenítéséről gondoskodni kell. A nagy nyomáspróba érték miatt különleges biztonsági intézkedéseket kell tennünk.

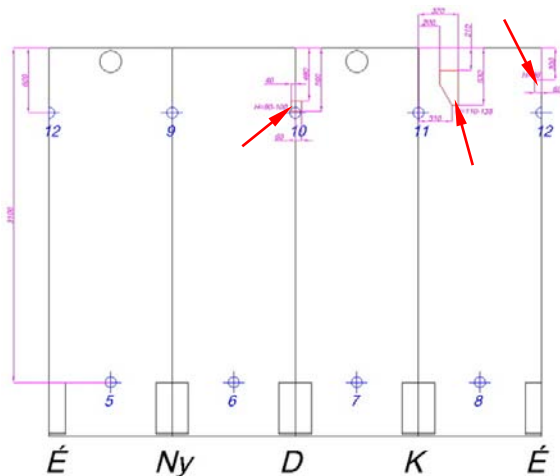
2.9 Nagynyomású szeparátor

A nagynyomású szeparátor különösen érdekes anyagvizsgálati szempontból, ugyanis a készülék köpenyében gyártásból ismert belső hiba – rétegenség van.

A készüléken szemrevételezéses vizsgálatot végzünk a külső felületen, a belső felületen pedig videó-endoszkóppal.

Szilárdsági nyomáspróbát fehérrolaj közeggel 910 bar-on végezzük el akusztikus emisszióval kiegészítve. Az ismert hiba helyét – a hozzáférhető helyeken – ultrahangos anyagvizsgálattal ellenőrizzük (lásd 8. ábra).

Akusztikus emisszióval a belső hiba detektálható.



8. ábra: Nagynyomású szeparátor kiterített palástja az ismert hibák helyével

3. Megtörtént meghibásodások

Az eddigi üzemeltetés során bekövetkezett meghibásodások a nagynyomású rendszer szinte minden elemét érintették, melyek az alábbiak:

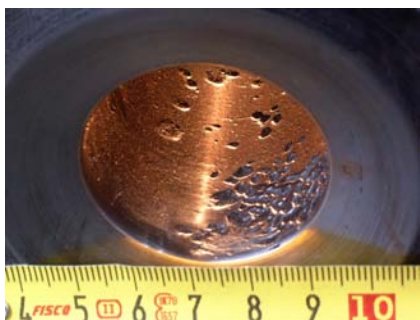
- repedés a kompresszor kilépő csonkhoz kapcsolódó vezetékszakaszon menetes részén (lásd 9. ábra);
- korróziós nyomok a nagynyomású csövek külső felületén (lásd 10. ábra);
- gyors-zár tömszelence darabokra törése;
- nyomás-távadó kiszakadása a lencséből;
- repedés a vészleürítő szelep ülékén;
- korróziós gödrösödés a vészleürítő szeleptesten (lásd 11. és 12. ábrák);
- korróziós fogyások a fokozatközi hűtő külső oldalán (lásd 13. ábra);
- fokozatközi puffer-tartály záró fedelének repedése (lásd 14. és 15. ábrák);
- kompresszor alkatrészek meghibásodásai;
- tömszelence csészék repedése (lásd 16. ábra);
- dugattyúrúdtörés (lásd 17. ábra);
- spacer repedések (lásd 18. és 19. ábrák) és törés (lásd 20. ábra);
- poppet-szelep törések (lásd 21. ábra);
- szelepház repedések (lásd 22. ábra);
- olajbefecskendezők repedése (lásd 23. és 24. ábrák);
- hengerfej repedés (lásd 25. ábra).



9. ábra: Repedés a kompresszorhoz csatlakozó passzdarab menetes részén



10. ábra: Dörzsöléses korrózió a nagynyomású ív külső felületén



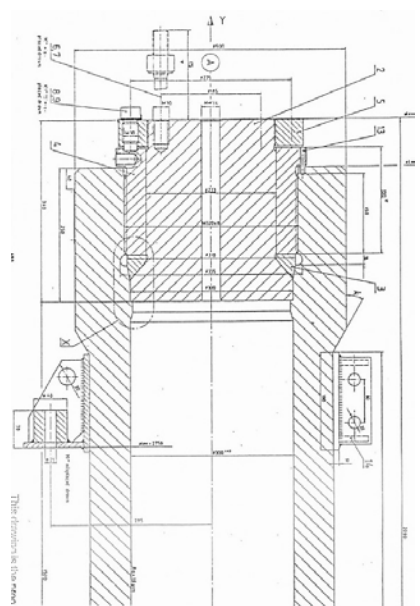
11. ábra: Korrozíós gödrösödés a nagynyomású szelep alsó részén



12. ábra: Korrozíós anyagfogyás a nagynyomású szelep alsó részén



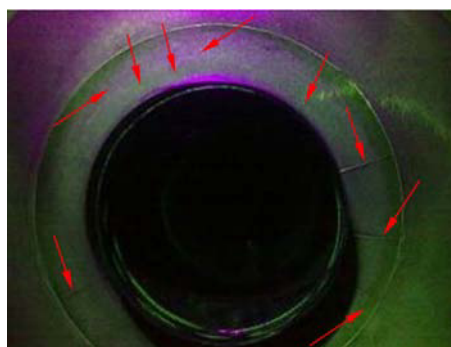
13. ábra: Korrozíós fagyások a fokozatközi hűtőnél



14. ábra: Kompresszor fokozatközi puffer felső részének rajza



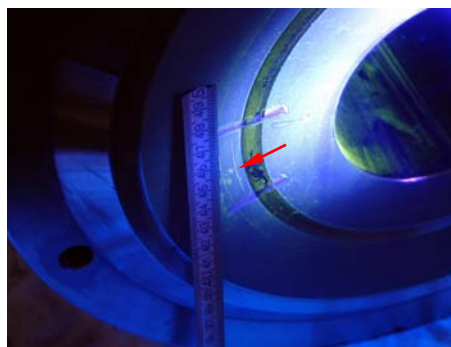
15. ábra: Repedt fedél



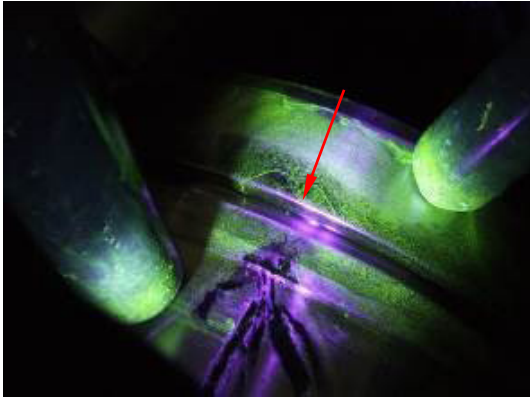
16. ábra: Repedt tömszelence csésze UV fényben



17. ábra: Törött dugattyúrúd töretfelülete



18. ábra: Repedés a spacer homloklületén UV fényben



19. ábra: Repedés a spacer külső palástján UV fényben



23. ábra: Repedés az olajbefecskendező menetes részén



20. ábra: Kettérepedt spacer



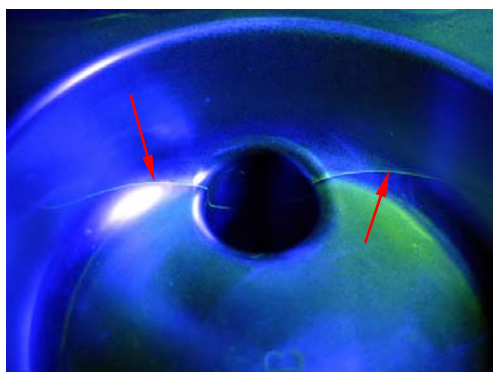
24. ábra: Repedés az olajbefecskendező tömítő felületén



21. ábra: Sérült poppet-szelepek



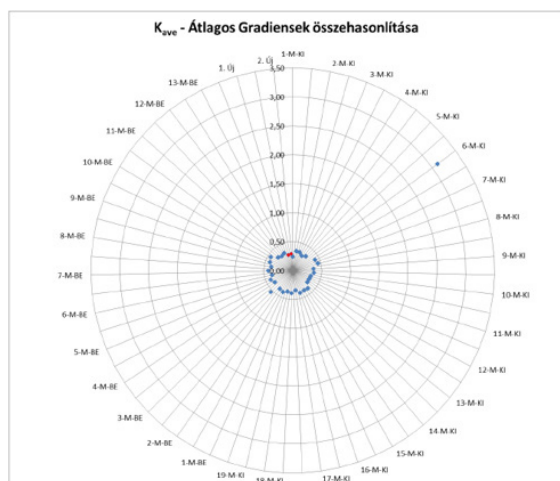
25. ábra: Repedés a hengerfej belső felületén UV fényben



22. ábra: Repedés a szelepház alakos részén

4. Mágneses Memória Módszer

- Az MMM módszer a fém által kibocsájtott saját mágneses térerősséget méri (Self-Magnetic Leakage Field – SMLF);
- a mágneses térerősség eloszlása tükrözi a feszültségzónák és az alakváltozások eloszlását a magnetoelasztikus elv szerint;
- a mágneses térerősség változásából következtetni lehet ezen feszültségeloszlásokra;
- alapfeladat nem anyaghibák keresése, hanem feszültségállapot feltérképezése;
- a mért érték H_p (mágneses térerősség) és abból



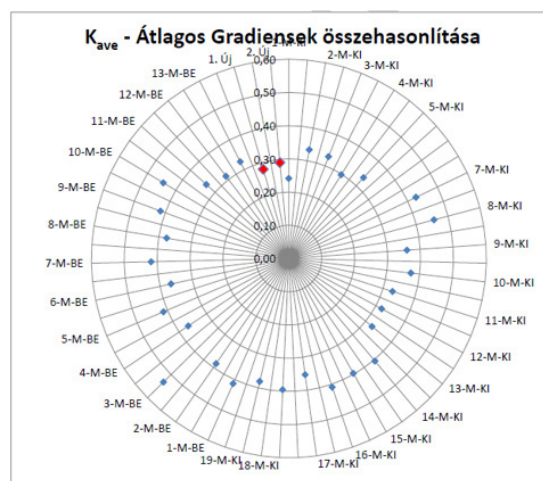
26. ábra: Átlagos gradiensek értékei az összes vizsgált cső esetében

számolt $K=dH_p/dx$ (mágneses térerősség változás) elemzéséből tapasztalati és statisztikai úton lehet határértéket meghatározni;

- K értéke függ az anyagminőségtől, konstrukciótól és gyártási technológiától;
- a vizsgálati eredményt befolyásolhatja még az ún. Villari effektus, amely szerint mechanikus erő alkalmazásából ferromágneses domén struktúrára változás következik be, amely hatással van a mágneses tulajdonságokra;
- normális és tangenciális irányú összetevők érzékelésére alkalmas – 8 érzékelővel ellátott – detektor alkalmazása;
- a vizsgálat célja alapvetően annak megállapítása, hogy az autofrettage-olt csövek feszültségállapota és az új reaktorcsövek feszültségállapota hogyan hasonlítható össze MMM módszer alkalmazásával.

4.1. Az elvégzett MMM vizsgálat eredményei

- A világon elsőként végeztünk MMM vizsgálatot nagynyomású autofrettage-olt csöveken, korábbi tapasztalat nem állt rendelkezésre,
- összehasonlító vizsgálatként az ellenőrzött csövek eredményeit lehetett összevetni,
- a „0” állapot felmérés eredményei az eredeti csövekre hiányoztak,
- az új beszerzésű csövek szerkezeti anyagminősége eltér a 25 éve üzemelő csövek anyagminőségétől (30CrNiMo8 – 1.6580 és U-V129SA – 1.6952),
- kiugró értéket egy csőnél – a beérkezés óta raktárban lévő tartalék csőnél – detektáltak (lásd 26. ábra),
- az új beszerzésű csövek és az évek óta üzemelt



27. ábra: Átlagos gradiensek összehasonlítása a raktárban lévő cső kihagyásával

csövek jellemző számértékei sorra megfeleltethetők egymásnak (lásd 27. ábra),

- mindezeket figyelembe véve az eredmények alapján szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a nagynyomású csöveken végzett MMM vizsgálat eredményei között.

5. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését, az elvégzett vizsgálatokat és azok eredményeit tekintve a következő megállapítások tehetők:

- A nagynyomású technológia okozta igénybevételek speciális szerkezeti anyagok alkalmazását és vastag falú szerkezetek gyártását teszik szükségessé.
- A szerkezeti elemek falvastagságának növekedésével a gyártáskor keletkező hibák valószínűsége nagyobb.
- Az üzemeltetés okozta igénybevételek a szerkezetek kifáradásához, repedések megjelenéséhez vezetnek.
- Az általunk alkalmazott széles körű roncsolásmentes diagnosztikai vizsgálatok ezen repedések, valamint a feszültségállapot feltárására irányulnak.

Irodalomjegyzék

- [1] Vegyipari Gépészek Kézikönyve, Főszerkesztő: Fábry György, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987, ISBN: 963 10 6583 5
- [2] Proceedings of PVP 2006: Pressure Vessels and Piping Conference, 23-27 July 2006, Vancouver, BC, Canada PVP2006-ICPVT11-93231, Copyright © 1996 by ASME
- [3] Trans Lex Work Kft. Vizsgálati jelentés a TVK LDPE csővezetékek MMM vizsgálatáról, 2012