

Állapotellenőrzés–élettartam-gazdálkodás•Condition control–service life economy

Gőzkazánok szerkezeti integritásának időszakos ellenőrzése*

Rózsavölgyi Zsolt**

Kulcsszavak: szerkezet épsége (integritása), kazánüzemi károsodások, állapotellenőrzés
Keywords: structure integrity, failures of boiler service, condition control

Summary

Periodic controlling of structure integrity of the steam boilers. There are short revue about the controlling principles of the structure integrity taking the possible in-service failures into consideration.

Bevezetés

A villamos- és hőerőművek kazánjainak több egymással ellentétes követelményt kell egyszerre kielégíteniük. A hatásfok, gazdaságosság, megbízhatóság széles teljesítmény tartományban, valamint a szigorú környezetvédelmi előírások csak akkor teljesíthetők optimálisan, ha nemcsak az üzemeltetés alatt, hanem már a tervezés során számításba veszik a változó terhelési paramétereket, a berendezések üzem közbeni elhasználódását és károsodási folyamatait.

A kazánok szerkezeti anyagainak megválasztásakor a legfontosabb paraméterek az alkalmazott hőmérséklet és nyomás, valamint a környező közegek állapota. Legnagyobb mennyiségben az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélok kerülnek beépítésre (előmelegítők, hőátadó csövek, forrcsővek, membránfalak), kisebb mennyiségben ötvözött vagy erősen ötvözött acélok (gyűjtőkamrák, túlhevített és újrahevített gőz vezetékei), illetve réz- vagy titánötvözetek (kondenzátorok, kisnyomású előmelegítők). Mivel az erőmű berendezései több, eltérő típusú anyagból épülnek fel, valamint a bennük lejátszódó folyamatok és üzemelési paraméterek – ennek megfelelően a hőhordozó közeg állapotai – különfélék, ezért a károsodási folyamatok jellege, sebessége és eredménye is eltérő az egyes berendezésekben.

A szerkezet integritása fogalomkör

A berendezések szerkezet épsége (integritása) egy összetett fogalomkört takar, melyet kétfajta módon lehet definiálni:

- A berendezés képes kell legyen arra, hogy saját maga vagy tartószerkezete segítségével az önsúlyát, valamint az üzem közben jelentkező legnagyobb terhelést a tervezett élettartama alatt szerkezeti károsodás nélkül elviselje. A váratlan tönkreme-

netelt okozó repedések keletkezése, terjedése, jelentős deformáció vagy elmozdulás, korrózió, fáradás, kúszás stb. nem megengedett jelenségek. Amennyiben ezek fellépnek, a szerkezet épsége, egysége (integritása) sérül.

- A szerkezet épsége (integritása) a berendezés egyfajta minőségére jellemző fogalom, mely a megkövetelt üzemeltetési paramétereknek való megfelelést, alkalmasságát jelzi.

A korábban csak az építőipar szakkifejezései között fordult elő a fogalom, de kifejező ereje miatt egyre több speciális szakterületen bukkan fel. Az anyagtudomány fogalomkörében mikroszkópi méretekben az anyag elemi részeinek kapcsolatát írja le, makroszkópos méretekben a részegységek teherbírásával, üzemeltetésével kapcsolatos fogalom. Nem pusztán az anyag repedéstől vagy egyéb jellegű hibától való mentességét jelenti, ennél összetettebb fogalom.

Kapcsolatban van a berendezés tervezésével, létesítésével, üzemeltetésével, leginkább pedig az üzemeltetés során jelentkező igénybevételekkel és az ezek hatására kialakuló károsodási módokkal. Hatással van a további üzemeltethetőségre és karbantartási eljárásokra, nem utolsósorban pedig a maradék élettartamra is. A szerkezet épségének (integritásának) vizsgálatakor az alábbi kérdésekre kell választ keresni:

- Mi az ellenőrzés célja? Állapotfelmérés? Karbantartás előkészítése? Időszakos ellenőrzés?
- A rövid leállási idő alatt mely részegységeket, milyen módszerrel és mekkora terjedelemben célszerű vizsgálni?
- A feltárt hibák, elváltozásokat hogyan értékelhetők, azok hogyan befolyásolják a berendezés további élettartamát?
- A kapott adatokból milyen tendencia bontható ki?
- Mekkora legyen az egyes vizsgálatok közötti ciklusidő?
- Lassítható-e a károsodási folyamat, melyek az élettartam hosszabbítás műszaki feltételei?

A kérdések megválaszolásához minél pontosabban kell ismerni a tervezési adatokat, az üzem közben jelentkező igénybevételeket és a berendezés előéletét, üzemelési történetét.

*Az V. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencián (Eger, 2007. márc. 6–9.) elhangzott előadás szerkesztett változata

**AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Zrt., Mechanikai és Analitikai Vizsgáló Laboratórium, 1211 Budapest, Duna lejáró 5. tel./fax: (1) 277-4901, e-mail: agmimech@agmi.hu

Állapotellenőrzés-élettartam-gazdálkodás • Condition control-service life economy

A jelenleg széles körben alkalmazott állapot vagy megbízhatóság függő karbantartási rendszerek számos adatot szolgáltathatnak a berendezés állapotáról. A hazai petrokémiai iparban lassan meghonosodó kockázatalapú karbantartás és a hozzá kapcsolódó matematikai-anyagtudományi elméleteknél a bemenő adat egy feltételezett szerkezeti integritás, az eredmények ismerete pedig visszacsatolást adhat az állapot pontos megítéléséhez

A károsodás legjellemzőbb formái

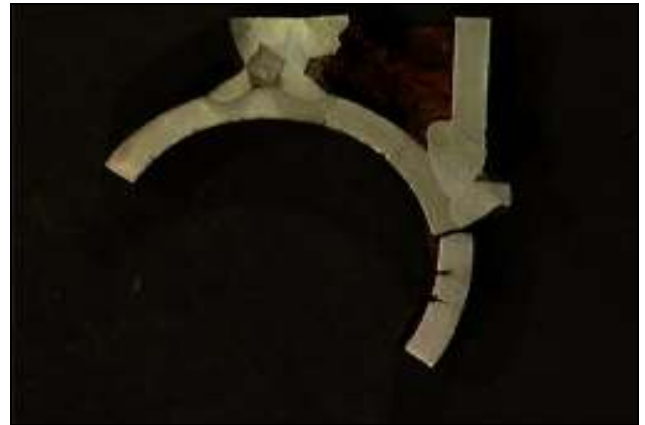
A beépített anyag, a konstrukció és az üzemeltetési paraméterek egymásra hatásából számos károsodási forma léphet fel a berendezésekben. Ezek nagy része az igénybevételek miatt kialakuló természetes folyamatok, amelyek egyensúlyi keretek között nem befolyásolják jelentősen a berendezések élettartamát, hiszen a tervezés során az anyagválasztásnál és a szilárdsági számításoknál figyelembe vették. Probléma akkor jelentkezik, ha a gyorsabban, nem a megfelelő, előre várt formában vagy helyeken lépnek fel és üzemzavarokhoz vezetnek.

A károsodások csoportosításának egyik lehetséges módja az azokat kiváltó ok alapján történhet. Ebből a szempontból a berendezés már tervezése és legyártása során magában hordozhatja a későbbi üzemeltetést befolyásoló, előre nem tervezett károsodási módokat. A másik csoportba azok az elváltozások foglalhatók, melyek a rendes üzemeltetés során jelentkező folyamatok, azokra legtöbbször számítani lehet.

A tervezési hibák, a nem megfelelő anyagválasztás az első csoportba tartoznak és eredményük leggyakrabban repedések megjelenése, az alkatrész törése. Csak a berendezés áttervezése, megerősítése vagy terhelésének csökkentése oldja meg a problémát, csökkenti a meghibásodás kockázatát. Az 1. és 2. ábra ilyen konstrukciós hibát mutat be, mégpedig a többletengelyű feszültségállapot miatt repedések, majd a membránfal lyukadása következett be.



1. ábra. Membrán csőfal ablakos törése
Fig. 1: Windowed fracture of a membrane wall



2. ábra. Repedések a merevítések és a hegesztési varratok környezetében
Fig. 2: Cracks near the welds and braces

Ugyancsak az első csoportba sorolhatók az anyag legyártása vagy a berendezések szerelése során a szerkezetben létrejött hibák. Ezek egy része komolyan veszélyeztetheti a szerkezeti integritást (pl. öntvények durva porozitása, beedződött hegesztési varratok), de van egy csoportjuk, mely a maradék élettartamra csekély hatással bír. Ez utóbbira példa lehet egy 25 éve üzemelő erőmű főgőzvezetékén feltárt csőgyártási hiba (rálapolás, esetleg salakosság), mely egészen felfedezéséig nem okozott problémát. Ezekben az esetekben mérlegelni kell a hiba hatását a további üzemeltetésre, és ennek ismeretében lehet dönteni a javításról vagy cseréről.

A károsodási módok és a berendezés terhelése egymással szorosan összefüggnek. Erőművek esetén előfordulhat, hogy nem a tervezéskor számításba vett üzemvitellel működnek a jövőben. Hazai erőműveink közül több, alaperőműnek épített blokk kényszerült menetrendtartó üzemeltetésre átállni, illetve besegíteni a csúcsgények kielégítésében. Hasonló helyzetet eredményez, ha egy csúcserőmű rendszeres, gyors terhelésváltozásokkal kell, hogy üzemeljen. Az ilyen esetekre visszavezethető károsodási módok (repedések, törés, túlhevülések, termikus vagy mechanikai igénybevétel okozta fáradás) az első és a második csoportba egyaránt sorolhatók, hiszen tervezéskor figyelembe vették azokat, de kisebb faktorial.

A berendezések normál üzemi körülményei során kialakuló károsodások legnagyobb része a második csoportba foglalható.

A korrózió a leggyakrabban előforduló károsodás. Szinte minden berendezésen és számos formában megjelenhet (kémiai-elektrokémiai, üzemelés vagy leállítás alatt kialakuló, általános felületi vagy lokális pontszerű...). A tűztéri vagy hőátadó csövek gyakori károsodási formája, kialakulásában közrejátszanak a kétfázisú víz-gőz rendszer áramlási és hűtési viszonyai, a füst és vízdoldali közegek kémiai összetétele, valamint a meglevő felületi hibák is. A létrejött –

Állapotellenőrzés–élettartam-gazdálkodás•Condition control–service life economy

fémnél rosszabb hővezetésű – oxidálódott réteg megváltoztatja a hőátadási viszonyokat, növeli a csőfal hőterhelését, mely a korróziós folyamatot tovább gerjeszti. Előfordulhat leállás alatt, amennyiben a rendszer nincs megfelelően kiszáritva.

A korrózió kialakulásához általában hosszabb idő (hónapok, évek) szükséges, ezért megfelelő időben végzett vizsgálatokkal a folyamat előrehaladottsága detektálható, sebessége lassítható. Komoly gondot okoz energetikai rendszerekben a lokális és a feszültségkorrózió; az előbbi statisztikai jellege miatt, az utóbbi pedig a folyamat kialakulásához szükséges paraméterek bizonytalansága miatt (pl. az inkubációs idő vagy a húzófeszültség nagysága). Nem ritka, hogy az ilyen típusú korróziók már néhány óra vagy nap alatt megjelennek.

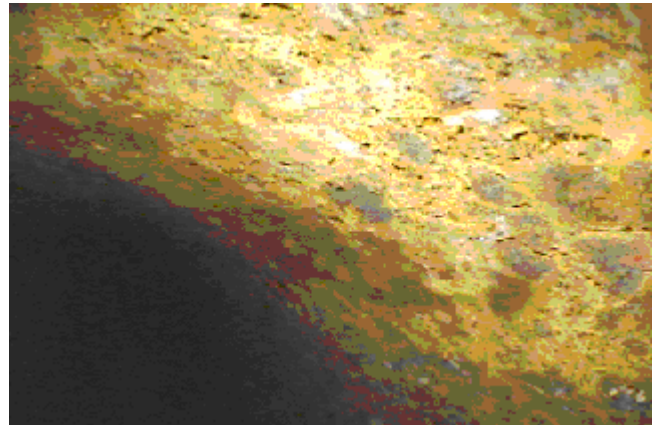
Jellemző korróziós hibákat mutatnak be a 3.– 6. ábrák.



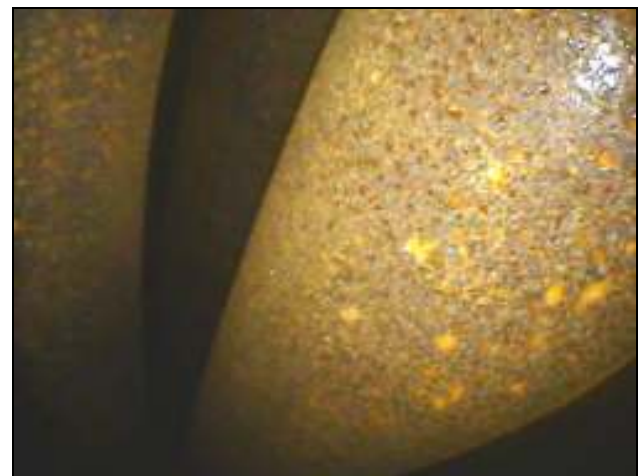
3. ábra. Általános korrózió a forrccső belső felületén
Fig. 3: General corrosion on inner surface of a boiling tube



4. ábra. Korrózió a tűztéri oldalon
Fig. 4: Corrosion on the fire box side



5. ábra. Lerakódás hőátadó csövek belső felületén
Fig. 5: Deposit on inner surface of the heat transfer tubes



6. ábra. Pontkorrózió a vízdalon, a hőátadó cső (5. ábra) külső felületén
Fig. 6: Water side point corrosion on outside surface of the heat transfer tube of fig. 5

Az anyagfolytonossági hiány vagy felületi repedés a másik leggyakrabban előforduló hiba, mely gyakran a berendezés inhomogén hőmérséklet-és/vagy terhelés-eloszlására, valamint a többtengelyű feszültségállapot hatására vezethető vissza. A kazán falának merevítése, a csatlakozó acélszerkezetek, bűvönnyílások, esetleg technológiai berendezések falhoz hegesztése gátolja a hőmérséklet-különbségek hatására bekövetkező alakváltozást, dilatációt. A változó üzemelési paraméterek indukálta ciklikus mechanikai igénybevétel hatására az anyagban repedések keletkeznek, melyekben a korrózió is felgyorsul, tovább gyengítve a szerkezet teherbíró képességét a sarkos, éles bemetszések miatt. A többtengelyű feszültségállapot az anyagot ridegíti, a törés vagy felszakadást nem előzik meg különösebb előjelek, az váratlanul, látványos alakváltozás nélkül következik

Állapotellenőrzés-élettartam-gazdálkodás • Condition control-service life economy

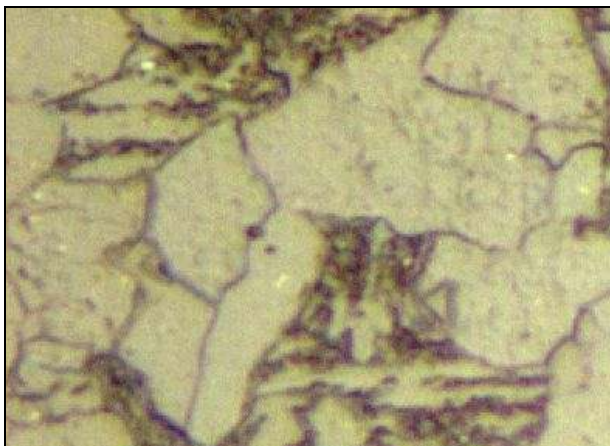
be. A membránfalak ún. ablakos törései gyakran erre vezethetők vissza (lásd az 1. és 2. ábrán).

A forró égéstermékek és a hőhordozó közeg áramlása útjában többféle meghibásodás léphet fel. Létrejöhethet erózió, elsősorban azokon a helyeken, ahol az áramlás irányt vált vagy koptató hatású részecskéket tartalmaz a közeg, de a füstgázok áramlási útvonalaán magas hőmérsékletű korrózió játszódhat le. Rossz minőségű olaj tüzelése esetén fennáll a kén vagy nehézfémek által okozott füstgáz oldali korrózió veszélye is.

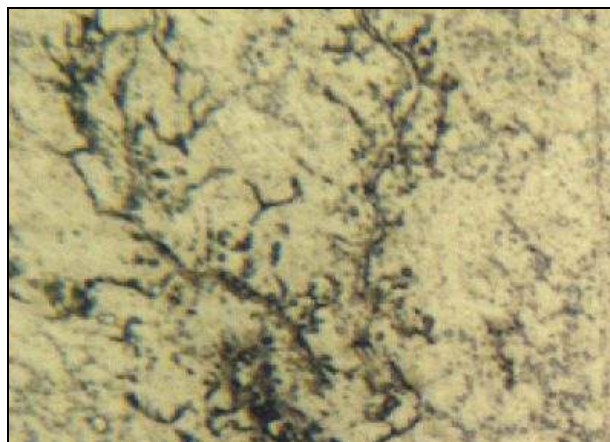
A kúszás a magas hőmérsékletű és húzó mechanikai feszültséggel terhelt alkatrészeknél fordul elő (túlhevítő elemek, gőzvezetékek, turbina alkatrészek). Időben változó alakváltozással és alakváltozási sebességgel játszódik le, folyáshatárnál jelentősen kisebb feszültség hatására is. Normál üzemi körülmények között hosszabb idő szükséges a kialakulásához, de hő és/vagy mechanikai túlterhelés hatására igen rövid idő alatt is bekövetkezhet. A folyamat több

féle módon lassítható: tervezés során kúszásnak jobban ellenálló ötvözet alkalmazásával, a feszültség és a hőmérséklet csökkentésével. A 7. és 8. ábra egy főgőzvezeték szövetszerkezetéről készültek eredeti állapotban, illetve a tönkremenetel után.

A gyors indítás vagy forszírozott üzem esetén helyi túlhevülés és termikus fáradás léphet fel. Ez igen durva és gyors meghibásodási forma, az alkatrész elégtelen hűtésére utal (9. és 10. ábra).



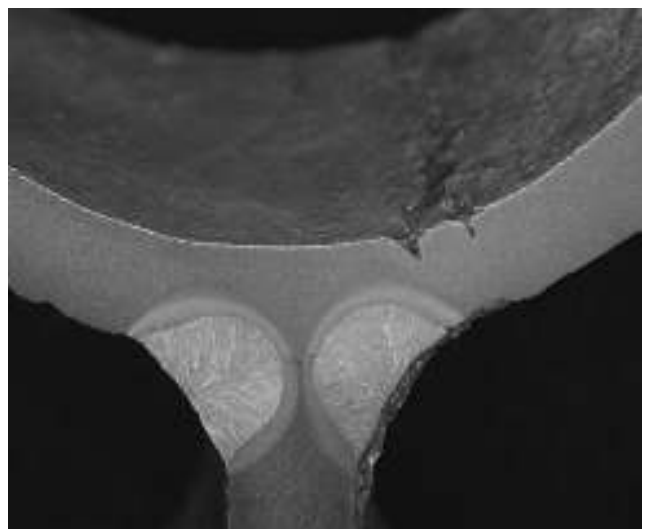
7. ábra. Kiinduló, ép szövetszerkezet
Fig.7: The original structure



8. ábra. Termikusan elbomlott szövet, kúszás okozta mikrorepedésekkel
Fig. 8: Thermal effect for the structure-changing with micro cracks caused by creep



9. ábra. Túlhevülés miatt alakváltozott kazáncsővek
Fig. 9: Deformed boiler's tubes caused by overheat



10. ábra. Termikus fáradás membráncső belső felületén
Fig. 10: Thermal fatigue on inner surface of a membrane tube

A klasszikus mechanikai fáradás oka az anyag tulajdonságaira, és a terhelésre vezethető vissza. Forgó és érintkező alkatrészekben egyaránt megjelenhet, kialakulása összefüggésben van a terhelési ciklusok számával, egy fogaskerék esetében néhány óra alatt

Állapotellenőrzés-élettartam-gazdálkodás • Condition control-service life economy

bekövetkezhet, tengelyeknél gyakran hónapok szűkségesek hozzá.

A károsodási folyamatok általában nem önmagukban fordulnak elő, hanem egymás mellett és egyszerre jelentkeznek (pl. a magasabb üzemeltetési hőmérséklet egyszerre gyorsíthatja a kúszást és az oxidációt). Gyakran ezek az elváltozások egymásra is hatással vannak (pl. korróziós fáradás).

Az állapotellenőrzés, a felülvizsgálat irányelvei

Amíg a hazai erőművek állami tulajdonban voltak, kizárólag az állami szervezetek feladata volt az állapotellenőrzések tervezése, végrehajtása és az eredmények kiértékelése után a további üzemelési engedélyek kiadása.

Az 1970-es évektől használt, a Magyar Villamos Művek Tröszt (MVMT) Termelési Igazgatósága által kiadott utasítások pontosan meghatározták, hogy mely berendezéseken, milyen időközönként, milyen vizsgálatokat kell elvégezni. Néhány esetben a kapott eredmények kiértékelésében is tartalmaztak iránymutatásokat. A gőzvezetékek, kazánobok, gyújtókamrák, forrcsővek stb. egy-egy fejezetét alkották az utasítássorozatnak.

Már az MVMT utasítások is előírták, hogy történjen meg az üzemelés előtti állapot (nulla-állapot) pontos felmérése, és lehetőség szerint a beépített szerkezeti anyagokból álljon rendelkezésre tartalék is a későbbi vizsgálatokhoz. Bizonyos működési paraméterek felett előírták mesterdarabok kötelező beépítését vagy kijelölését, majd azok rendszeres időközönként történő vizsgálatát. A berendezések roncsolásmentes felülvizsgálatát jellemzően az eltelt üzemórákhoz kötötték, de kazánobok esetében a hideg indítások száma is mérvadó volt. Meghatározták továbbá, hogy mikor kell elvégezni a roncsolásos vizsgálatokat, rendelkezett a meghibásodások okainak kötelező kivizsgálásáról. Az előírt vizsgálatok lefedték a roncsolásmentes és laboratóriumi mechanikai és analitikai vizsgálatok teljes spektrumát. A kúszásnak kitett alkatrészek esetében rendelkeztek a rendszeres feltágulás-mérésekről, valamint az egyes berendezésekben megengedhető legnagyobb kúszási sebességekről és kúszáshatárokról. Már akkor előírták a főgőzvezeték folyamatos hőmérsékletmérését és az egyes hőmérséklet intervallumokban töltött időtartam pontos regisztrálását (10°C tartományokra lebontva). A kazánobok vizsgálata az egyik legjobban részletezett fejezete az előírásoknak, mely tartalmazta az előírt szilárdsági és képlékenységi értékeket is, előírta a kisciklusú fárasztóvizsgálatok és a metallográfiai vizsgálat elvégzését a dobbló kivett mintán adott időközönként. Az anyagtulajdonságok nem megfelelősege esetén a további üzemeltetésről az MVMT Termelési Igazgatósága döntött.

A 80-as évek végétől az erőművek egyre inkább tervező és gyártó specifikusak lettek, mely magával hozta, hogy az általános felülvizsgálati eljárások kidolgozása egyre nehezebb lett a különböző technológiai körfolyamatok és speciális berendezések miatt (ebben az időben kezdtek elterjedni pl. a gázturbinák és a hozzájuk kapcsolt hőhasznosító kazánok). A beépítésre került acélok összetétele is megváltozott, egyre több, az adott igénybevételeknek legjobban megfelelő ötvözött acél került felhasználásra.

A hazai erőművek privatizációja erősen gyengítette az állami szerepvállalást az állapotellenőrzés kérdésében. Jelenleg a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal látja el a műszaki biztonsági felügyeletet a kazánok, illetőleg a fűtött vagy nem fűtött nyomástartó edények létesítésének, használatbavételének, átalakításának és javításának területén. Ebbe a feladatkörbe tartozik a kazánok és tüzelőberendezések együttes alkalmazhatóságának egyedi engedélyezése, a kazánok vegyi kezelésének engedélyezése és ellenőrzése, valamint a robbanások, sérülések kivizsgálása és az újra üzembe helyezés feltételeinek meghatározása. Kiemelt feladatuk annak ellenőrzése, hogy a berendezések létesítésénél, használatbavételénél, átalakításánál, illetve javításánál megtartják-e a biztonságtechnikai és minőségbiztosítási követelményeket.

A témához, felülvizsgálatokhoz kapcsolódó hatályos előírások:

- 9/2001. (IV.5.) GM rendelet a nyomástartó berendezések és rendszerek biztonsági követelményeiről és megfelelőség tanúsításáról
- 63/2004. (IV.27.) GKM rendelet a nyomástartó berendezések és töltőlétesítmények műszaki biztonsági hatósági felügyeletéről
- Jelenleg tervezet formájában elérhető a Nyomástartó berendezések műszaki-biztonsági szabályzata is.

Ma a tulajdonos és a gyártó által adott létesítési és üzemeltetési dokumentáció, a korábbi üzemi tapasztalatok, valamint a fenti rendeletek irányadók a felülvizsgálatok tervezésében és végrehajtásában. Nemzetközi szinten egyre erőteljesebb törekvés a vizsgálatok és a kiértékelések szabványba, irányelvekbe foglalása is. Ilyen előírás pl. az MSZ EN 12952-4:2000 számú, Vízcsöves kazánok és segédberendezései. 4. rész: Használatban lévő kazánok élettartambecslései szabvány, de ugyanitt említhetők a német TRD 301 és 508 előírások, DIN szabványok és az amerikai ASME kódok.

Összefoglalás

A berendezések szerkezeti épségének (integritásának) megismeréséhez, állapotának felméréséhez és a hatékony élettartam menedzseléséhez, meghosszabbításához nélkülözhetetlen a felülvizsgálatok pontos megtervezése, a vizsgálat alá vont berendezések meghatározása. Elengedhetetlen a korábbi fe-

Állapotellenőrzés-élettartam-gazdálkodás • Condition control-service life economy

lülvizsgálatok, üzemi tapasztalatok és meghibásodások feldolgozása.

A szerkezet épsége (integritása) nem pusztán a hibamentességhez kapcsolódó fogalom, annál összetettebb, kapcsolatban van a berendezés tervezésével, létesítésével, üzemeltetésével, karbantartásával és hat a maradék élettartamára is. A rendszer élettartamát alapvetően a gazdaságosan már nem javítható vagy cserélhető elemek állapota befolyásolja, ezért az állapotvizsgálatot is erre célszerű fókuszálni.

A károsodási folyamatok részletes megismeréséhez a rendszeres időközönként végzett diagnosztikai jellegű vizsgálatok adnak információkat. Roncsolásos és roncsolásmentes eljárások széles köre alkalmas a vizsgálatok elvégzéséhez, az állapot felméréséhez, a javítandó berendezések kijelöléséhez. A vizsgálatok kiértékelése során nem az egyes berendezésekre kell figyelni, hanem komplex módon a rendszer egészére, figyelembe véve a károsodások és az esetleges beavatkozások következményeit a többi egységre.

Az élettartam menedzselés során az anyagvizsgálat az egyik legfontosabb eszköz. A kitűzött célok eléréséhez szükség van a gazdasági, a technológiai, a tervezési és a mechanikai szakterületek elemzésére is.

Irodalomjegyzék

- [1] Nyomástartó berendezések műszaki-biztonsági szabályzata (tervezet)
- [2] 63/2004.(IV.27.) GKM rendelet a nyomástartó berendezések és töltőlétesítmények műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről
- [3] 9/2001. (IV.5.) GM rendelet a nyomástartó berendezések és rendszerek biztonsági követelményeiről és megfelelés tanúsításáról
- [4] MVMT Termelés Igazgatóság felülvizsgálati utasításai
- [5] *French, David N.: Metallurgical Failures in Fossil Fired Boilers (Wiley-Interscience, 1983)*
- [6] *Pótsa Emil: Gőzkazánok (Műegyetem Kiadó, 1996)*
- [7] *Ósz János: Energiarendszerek vízüzeme (BME egyetemi jegyzet, kézirat)*
- [8] ASM Metals Handbook: Failure Analysis and Prevention (American Society for Metals)
- [9] Residual Life Assessment and Microstructure (ECCC Recommendations – Volume 6 [Issue 1] 27th July, 2005)
- [10] VGB-TW 507, Richtreihen zur Bewertung der Gefügeausbildung und -schädigung zeitstandsbeanspruchter Werkstoffe von Hochdruckrohrleitungen und Kesselbauteilen (Ausgabe 1992)
- [11] *Majoros András, Rózsavölgyi Zsolt: Kazáncsövek vízdali korróziós vizsgálatának tapasztalatai (Korróziós Figyelő, XLIII évf. 6. szám, 2003., 195–200.)*
- [12] *Rózsavölgyi Zsolt, Bánki Gábor: Gázturbinás erőműi egységek állapotvizsgálatának tapasztalatai (Anyagvizsgálók Lapja, 13. évf. 2. szám, 2003., 53–54.)*