



**N3a.13. sz. útmutató**

# **Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

Verzió száma:

**1.**

**2015. október**

Kiadta:

---

Fichtinger Gyula  
az OAH főigazgatója  
Budapest, 2015

A kiadvány beszerezhető:  
Országos Atomenergia Hivatal  
Budapest

## FŐIGAZGATÓI ELŐSZÓ

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) az atomenergia békés célú alkalmazása területén működő, önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező országos illetékességű központi államigazgatási szerv. Az OAH-t a Magyar Köztársaság Kormánya 1990-ben alapította.

Az OAH jogszabályban meghatározott közfeladata, hogy az atomenergia alkalmazásában érdekelt szervektől függetlenül ellássa és összehangolja az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazásával, így a nukleáris és radioaktív hulladék-tároló létesítmények és anyagok biztonságával, nukleáris veszélyhelyzet-kezeléssel, nukleáris védelemmel kapcsolatos hatósági feladatokat, valamint az ezekkel összefüggő tájékoztatási tevékenységet, továbbá javaslatot tegyen az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megalkotására, módosítására és előzetesen véleményezze az atomenergia alkalmazásával összefüggő jogszabályokat.

Az atomenergia alkalmazása hatósági felügyeletének alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia békés célú felhasználása semmilyen módon ne okozhasson kárt a személyekben és a környezetben, de a hatóság az indokoltnál nagyobb mértékben ne korlátozza a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását. Az alapvető biztonsági célkitűzés minden létesítményre és tevékenységre, továbbá egy létesítmény vagy sugárforrás élettartamának minden szakaszára érvényes, beleértve létesítmény esetében a tervezést, a telephely-kiválasztást, a gyártást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemen kívül helyezést és a bezárást, radioaktív hulladék-tárolók esetén a lezárást követő időszakot, radioaktív anyagok esetén a szóban forgó tevékenységekhez kapcsolódó szállítást és a radioaktív hulladék kezelését.

Az OAH a szabályzati követelmények teljesítésének módját az atomenergia alkalmazóival egyeztetett módon, világos és egyértelmű ajánlásokat tartalmazó útmutatókban fejt ki, azokat az érintettekhez eljuttatja és a társadalom minden tagja számára hozzáférhetővé teszi. Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó nukleáris biztonsági, védelemmel és non-proliferációs követelmények teljesítésének módjára vonatkozó útmutatókat az OAH főigazgatója adja ki.

Az útmutatók alkalmazása előtt mindig győződjön meg arról, hogy a legújabb, érvényes kiadást használja-e! Az érvényes útmutatókat az OAH honlapjáról ([www.oah.hu](http://www.oah.hu)) töltheti le.

## ELŐSZÓ

Az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atv.) tartalmazza.

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló rendelkezéseket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Rendelet) és mellékletei, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban: NBSZ) határozzák meg.

A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések betartása mindazok számára kötelező, akik az Atv. 9. § (2) bekezdése szerinti folyamatos hatósági felügyelet alatt állnak, valamint e törvényben előírt hatósági engedélyhez kötött tevékenységet folytatnak, ilyen tevékenységben közreműködnek, vagy ilyen tevékenység folytatásához engedély iránti kérelmet nyújtanak be. A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések mellett a követelmények közé tartoznak az egyedi hatósági előírások, feltételek és kötelezettségek, amelyeket az OAH a nukleáris létesítmény nukleáris biztonsága érdekében határozatban állapíthat meg.

Az NBSZ-ben foglalt követelmények teljesítésére az OAH ajánlásokat fogalmazhat meg, amelyeket útmutatók formájában ad ki. Az útmutatókat az OAH a honlapján közzéteszi. Jelen útmutató az engedélyesek önkéntes alávetésével érvényesül, nem tartalmaz általánosan kötelező érvényű normákat.

A Rendelet 3. § (4) bekezdése alapján, ha a kérelmező a nukleáris biztonsággal összefüggő engedély iránti kérelmét az útmutatókban foglaltak szerint terjeszti elő, továbbá ha az engedélyes a nukleáris biztonsággal összefüggő tevékenységét az útmutatókban foglaltak szerint végzi, akkor az OAH a választott módszert a nukleáris biztonság követelményei teljesítésének igazolására alkalmasnak tekintti, és az alkalmazott módszer megfelelőségét nem vizsgálja.

Az útmutatókban foglaltaktól eltérő módszerek alkalmazása esetén az OAH az alkalmazott módszer helyességét, megfelelőségét és teljeskörűségét részleteiben vizsgálja, ami hosszabb ügyintézési idővel, külső szakértő igénybevételével és további költségekkel járhat.

Ha az engedélyes által választott módszer eltér az útmutató által ajánlottól, akkor az eltérés indokolása mellett igazolni kell, hogy a választott módszer legalább ugyanazt a biztonsági szintet biztosítja, mint az útmutatóban ajánlott.

Az útmutatók felülvizsgálata az OAH által meghatározott időszakonként vagy az engedélyesek javaslatára soron kívül történik.

A fenti szabályozást kiegészítik az engedélyesek, illetve más, a nukleáris energia alkalmazásában közreműködő szervezetek (tervezők, gyártók stb.) belső szabályozási dokumentumai, amelyeket az irányítási rendszerükkel összhangban készítenek.

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS</b>	<b>8</b>
1.1. Az útmutató tárgya és célja	8
1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások	8
<b>2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK</b>	<b>9</b>
2.1. Meghatározások	9
2.2. Rövidítések	10
<b>3. AZ ÚTMUTATÓ AJÁNLÁSAI</b>	<b>11</b>
3.1. Bevezetés	11
3.2. Öregedés- és élettartam vonatkozású általános tervezési ajánlások	11
3.2.1. Útmutatás a nem közvetlenül öregedés és élettartam specifikus követelményekhez	11
3.2.2. A tervezési élettartamhoz kapcsolódó ajánlások	16
3.2.3. A tervező kötelezettségei	18
3.3. Öregedéskezelési ajánlások	21
3.3.1. Átfogó öregedéskezelési program	22
3.3.2. Öregedéskezelés az atomerőművi programok keretében	23
3.3.3. Működési mutatók és kritériumok	24
3.3.4. Dokumentálás	25
3.3.5. Öregedéskezelési csoportok létrehozása	25
3.4. Környezetállósági minősítés, mint a minősített élettartam és az öregedéskezelés tervezési alapja	27
3.4.1. Környezetállósági minősítés	27
3.4.2. Az öregedéskezelés alapját is képező tervezett/minősített élettartam meghatározási és környezetállósági minősítési eljárás lényege	31
3.4.3. Környezetállósági osztályba, kategóriába sorolás	31
3.5. A lehetséges öregedést okozó körülmények azonosítása	32
3.5.1. Igénybevételek	33
3.5.2. A rendszerek üzemi paraméterei	37
3.5.3. Üzem mód-változások, igénybevételi ciklusok	38
3.5.4. A normál üzemitől eltérő üzemmódok	38
3.5.5. Vízüzemi normák, korróziós igénybevételek	39
3.5.6. Környezeti körülmények és feltételek	40
3.6. Rendszerelemek konstrukciós kialakítása	41
3.6.1. Feszültségkoncentrációs helyek	41
3.6.2. Korróziós zónák	42
3.6.3. Egyéb öregedési folyamatok fejlődésének feltételei	43
3.6.4. Vizsgálhatósági feltételek	43

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

3.6.5. Monitorozási lehetőségek	45
3.6.6. Karbantarthatóság, javíthatóság	45
<b>3.7. Alkalmazott anyagok</b>	<b>45</b>
3.7.1. Szilárdsági és korróziós jellemzők	47
3.7.2. Az anyagjellemzők stabilitása	48
3.7.3. Meghibásodások terjedésével szembeni ellenállás	49
3.7.4. Anyagok technológizálhatósága	50
3.7.5. Anyagok összeférhetősége	51
3.7.6. Az anyagok felhasználásának tapasztalatai	52
<b>3.8. Szilárdsági elemzések</b>	<b>53</b>
<b>3.9. Rendszerelemek öregedésének elemzése</b>	<b>55</b>
3.9.1. A rendszerelemek lehetséges öregedési folyamatainak azonosítása	55
3.9.2. Öregedési folyamatok	56
3.9.3. Öregedésre érzékeny helyek	63
3.9.4. RRE-k öregedésének előzetes értékelése, indikátorok meghatározása	63
3.9.5. Az öregedés érzékenységvizsgálata, csökkentési lehetőségei	64
<b>3.10. Az öregedéskezelés tervezési előírásai</b>	<b>65</b>
3.10.1. Gyártásra, szerelésre vonatkozó előírások	66
3.10.2. Karbantartásra vonatkozó előírások	66
3.10.3. Üzemeltetési előírások	69
3.10.4. Monitorozás tervezése	70
3.10.5. Öregedéskezelés - Karbantartás - Felügyelet - Ellenőrzés rendszere	71

## **1. BEVEZETÉS**

### **1.1. Az útmutató tárgya és célja**

Az útmutató az újonnan tervezendő atomerőművi blokkok tervezői és engedélyesei számára készült.

Az útmutató ajánlásokat tartalmaz az NBSZ 3a. kötet *3a.3.2. Tervezés élettartamra* fejezetében rögzített előírások teljesítésére. A fejezetben szereplő követelmények nem mindegyike releváns az élettartamra tervezés és az öregedéskezelés tervezése szempontjából, viszont esetenként vannak a fejezeten kívülről is meghivatkozott követelmények az útmutatóban, amelyhez egy adott ajánlás részben kapcsolható.

Az útmutató célja, hogy – ajánlásokat adva az élettartamra való tervezéshez és az öregedés-kezeléshez – egyértelművé tegye a hatósági elvárásokat, és ezzel elősegítse az érvényes előírásokban meghatározott nukleáris biztonsági követelmények teljesülését.

A jelen útmutató arra vonatkozóan fogalmaz meg ajánlásokat, hogy az egyes rendszerek, rendszerelemek tervezése során miként vegyék figyelembe az öregedési folyamatokat, az élettartammal kapcsolatos szempontokat.

### **1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások**

A nukleáris biztonsági követelmények jogszabályi hátterét az Atv. és a Rendelet biztosítja.

Az útmutató főként az NBSZ 3a.3.2. Tervezés élettartamra című fejezetében található követelményeket tárgyalja, de más részekre is referál:

3a.2.1.2100. 3a.2.1.2200. 3a.2.3.0500. 3a.2.3.0700. 3a.2.3.0800. 3a.2.3.2800.  
3a.2.4.1500. 3a.3.2.0100. 3a.3.2.0200. 3a.3.2.0300. 3a.3.2.0400. 3a.3.2.0500.  
3a.3.2.0600. 3a.3.2.0700. 3a.3.2.1000. 3a.3.2.1100. 3a.3.2.1300. 3a.3.2.1400.  
3a.3.2.1800. 3a.3.2.1900. 3a.3.2.1500. 3a.3.2.3000. 3a.3.2.3100. 3a.3.2.3200.  
3a.3.2.3300. 3a.3.2.3400. 3a.3.2.3800. 3a.3.2.4700. 3a.3.2.4800. 3a.3.2.5000.  
3a.3.2.5100. 3a.3.2.5200. 3a.3.3.0100. 3a.3.3.0500. 3a.3.3.0600. 3a.3.3.1400.  
3a.3.3.1700.



## 2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK

### 2.1. Meghatározások

Az útmutató az Atv. 2. §-ában, valamint a Rendelet 10. számú mellékletében ismertetett meghatározásokon kívül az alábbi definíciókat tartalmazza.

***Átfogó öregedéskezelési program:***

Épületeket, épületszerkezeteket, szerkezeti elemeket, rendszereket, rendszerelemeket, szerkezeteket, alkatrészeket, komponenseket érő degradációt okozó hatások azonosítására, a romlási folyamat, öregedés elemzésére, előrejelzésére, monitorozására, a javító intézkedések meghozására és dokumentálására kialakított integrált eljárás.

***Ellenőrzés/Felügyelet:***

Bármilyen anyagon vagy szerkezeti elemen (komponensen) végrehajtott vizsgálat annak megállapítására, hogy megfelel-e az adott kritériumnak.

***Élettartam gazdálkodás:***

Az atomerőmű biztonságának és üzemének biztosítása céljából végzett élettartam gazdálkodás („life-time management”) egy kitűzött élettartam = üzemidő elérését szolgáló állóeszköz gazdálkodás a biztonsági követelmények betartása mellett.

***KPEF program:***

Az atomerőmű karbantartási, felügyeleti, ellenőrzési és próba tevékenységeinek elvégzésére kidolgozott program.

***Leromlás:***

Leromlás az anyagban igen lassan végbemenő kémiai és/vagy fizikai folyamatok következménye, az egyes anyagcsoportokban eltérő mechanizmussal, más-más tulajdonság megváltozását jelenti (termikus öregedés, sugárkárosodás. Változatlan körülmények között is végbemehet, de jellemzően energiaközlés – mint hőenergia, sugárzás vagy részecske becsapódás – által kiváltott folyamat eredménye.

***Romlási folyamat:***

A rendszerek és rendszerelemek, építmények, épületszerkezetek, szerkezeti elemek, alkatrészek, komponensek gyártása, építése, szerelése, telepítése, üzembe helyezése, üzemeltetése, karbantartása, vizsgálati és próbái során fellépő igénybevételek és környezeti feltételek hatására végbemenő

elhasználódás, melynek következtében a beépített tartalékuk csökkenhet, teljesítményjellemzőik és működési megbízhatóságuk romolhatnak, meghibásodásuk valószínűsége növekedhet.

***Teljesítmény monitorozása:***

Folyamatos vagy időszakos felülvizsgálatok, tesztek és próbák a rendszerek és rendszerelemek aktuális és jövőbeni teljesítményének megállapítására, a kezdődő hibák és negatív trendek kimutatása érdekében.

## **2.2. Rövidítések**

ABOS	Atomerőművi berendezések biztonsági osztályba sorolása
CUF	Cumulative Usage Factor (Halmazódó károsodási tényező)
EBJ	Előzetes Biztonsági Jelentés
KIBE	Korlátozott Időtartamra Érvényes Biztonsági Elemzés
KKK	Kristályközi korrózió
KPEF	Karbantartási, próba, ellenőrzés és felügyelet
LOCA	Loss of Coolant Accident (hűtőközeg veszteses üzemzavar)
RRE	Rendszerek, rendszerelemek
ÜFK	Üzemeltetési feltételek és korlátok
VBJ	Végleges biztonsági jelentés

### **3. AZ ÚTMUTATÓ AJÁNLÁSAI**

#### **3.1. Bevezetés**

Az öregedéskezelés akkor a leghatékonyabb, ha azt az atomerőmű élettartamának minden fázisában, ennek megfelelően már a tervezéstől fogva figyelembe veszik.

A hatékony öregedés-kezelés a rendszerek és rendszerelemek biztonságos és megbízható üzemeltetésének kulcsfontosságú eleme.

Az öregedéskezelés célja, hogy biztosítsa, hogy az RRE-k öregedése és romlási folyamatai az erőmű teljes élettartama alatt se rontsák el az RRE-k képességét a funkcióik teljesítésére. Ennek érdekében biztosítani kell, hogy a biztonsági tartalékokban a romlás által okozott csökkenést időben észlelni lehessen, és hogy a biztonsági funkciók sérülése előtt hatékonyan be lehessen beavatkozni.

Az öregedésnek része a fizikai romlás és az erkölcsi avulás. Az erkölcsi avulás része a technológiai avulás, a szabályozás változása miatti avulás, valamint az ismeretek, a tudás elavulása.

Az öregedéskezelés a tervezői, karbantartói, felügyeleti, berendezés-minősítési, időszakos vizsgálati, vegyészeti, biztonsági elemzési és egyéb atomerőművi programokat magába foglaló, komplex tevékenység. A hatékony öregedéskezelés a gyakorlatban ezen programok egyeztetett végrehajtásával valósul meg kiegészülve a belső és külső kutatás-fejlesztési tevékenységekkel.

Az öregedéskezelés folyamatos, az atomerőmű programjai révén megvalósuló tevékenység. A hatékonysága fenntartása érdekében rendszeres felülvizsgálatát biztosítani, tervezni kell az erőmű élettartama során.

#### **3.2. Öregedés- és élettartam vonatkozású általános tervezési ajánlások**

##### *3.2.1. Útmutatás a nem közvetlenül öregedés és élettartam specifikus követelményekhez*

A nukleáris biztonsági követelményeket teljesítenie kell magának az atomerőműnek összességében is, és valamennyi rendszerének, építményének, épületszerkezetének, szerkezeti elemének, komponensének, berendezésének, rendszerelemének is, a tervezett élettartam végéig (a

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

továbbiakban összefoglalóan, összhangban az Atv. definíciójával: rendszerek és rendszerelemek – RRE, amelyek tehát lefedik az építményeket és épületszerkezeteket is).

*Rendelet 6. § (6) „A (2)-(4) bekezdés szerinti biztonsági célkitűzéseket a nukleáris létesítmény élettartamának minden szakaszában érvényesíteni kell, beleértve a tervezést, a telephely kiválasztást, a gyártást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemem kívül helyezést és a megszüntetést, továbbá a radioaktív anyagoknak ezen tevékenységekhez kapcsolódó szállítását és a radioaktív hulladékkezelést.”*

Általános követelmény tehát a biztonsági, sugárvédelmi és műszaki biztonsági célkitűzések teljesülését a teljes élettartam, így már a tervezés során is biztosítani kell. A tervezési folyamat szerves részének kell lennie így a berendezések, rendszerelemek esetében a biztonság szavatolását az élettartam során szolgáló, biztosító tevékenységek, feltételek meghatározásának. Gyakorlatilag ezt jelenti az élettartamra tervezés. Ezt fejezi ki az alábbi követelmény is:

*Rendelet 9. § (2) „A tervezés során értékelni kell a nukleáris létesítmény tervezett élettartama alatt a nukleáris biztonságot érintő lehetséges tényezőket és az ezzel összefüggő valamennyi, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatokban meghatározott szempontot a nukleáris biztonság folyamatos fenntarthatósága érdekében.”*

A legerősebb követelmény arra vonatkozóan, hogy a tervezés során minden biztonsági szempontot értékelni kell a teljes élettartamra vonatkozóan. Ezzel összhangban mondja ki már az NBSZ 3A tervezési kötetben a jogszabály, hogy:

*3a.2.1.2100. „A biztonsági funkciót ellátó rendszereket úgy kell megtervezni, hogy a biztonsági funkciók a tervben megkövetelt megbízhatósággal valósuljanak meg a teljes élettartam alatt.”*

*3a.2.1.2200. „A tervekben megfelelő tartalékokat kell biztosítani a tervezési módszerek, eszközök hibáira, a gyártási és szerelési tűrésekre, bizonytalanságokra, a feltételezett hibákra és a tervezett üzemidő alatti öregedési mechanizmusok által okozott romlási folyamatok konzervatívan becsült mértékére.”*

Az atomerőmű tervezésére és működtetésére vonatkozó legfontosabb követelmények, hogy az élettartam végéig a biztonság színvonala ne csökkenjen, valamint az üzemeltetéséből származó kockázat ne növekedjen. E követelmények teljesítése többek között a tervezett élettartam és a

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

tervezett minősített élettartam meghatározásával, a kezdeti környezetállósági minősítés és a „0” állapot meghatározásával, az öregedéskezelés, a hatékony karbantartás, az állapotfelügyelet, a monitorozás megfelelő megtervezésével, megvalósításával biztosítható. Összhangban az általános tervezési követelményekhez készült útmutatóval (N3a.12. „Általános tervezési elvek új atomerőművek és rendszereinek tervezéséhez” című útmutató) szükséges hangsúlyozni, hogy a tervezéskor minden RRE-re meg kell határozni az élettartam során az öregedési folyamatokat és az ezek miatti megbízhatóság csökkenést és ennek kompenzálásra a megfelelő tartalékokat. A biztonsági tartalékoknak a tervezett üzemidő végén is rendelkezésre kell állniuk. Az időszakos vizsgálatok ciklusát úgy kell meghatározni, hogy a biztonságos üzemeltetés a tartalékok és az azonosított öregedési folyamatok figyelembe vételével igazolható legyen vagy a szükséges monitorozási képesség rendelkezésre álljon.

Az RRE-k műszaki és minősített állapotát az üzemeltetés során fenn kell tartani, az üzem közben nem várt folyamatokat vagy romlásokat időben kell azonosítani és megtenni a szükséges megelőző, javító intézkedéseket. Ennek érdekében kell tervezni az öregedéskezelési, karbantartási, időszakos tesztelési, mintavételezési és ellenőrzési, illetve próba- és felügyeleti programokat, illetve ezek hatékonyságának fenntartására tett intézkedéseket.

*3a.2.3.0500. „A biztonság igazolására szolgáló elemzéseket oly módon és olyan mélységben kell dokumentálni, hogy azok az atomerőmű teljes élettartama során megismételhetők, független felülvizsgálatnak alávetethetők, és az átalakítások értékeléséhez szükséges terjedelemben módosíthatóak legyenek, továbbá az alkalmazott konzervatívizmusok mértéke és az elemzés alapján rendelkezésre álló tartalékok mértéke felülvizsgálható és újraértékelhető legyen.”*

Ez a követelmény két rendkívül fontos dologra mutat rá. Egyrészt az elemzések részletes, az egész élettartam során értelmezhető, megismételhető dokumentálásának igényére, másrészt ezeknek az engedélyes részére történő rendelkezésre bocsátására (amit egyébként az NBSZ explicit is kimond a 3a.2.1.0800-ban általánosan és a 3a.2.3.3100-ban a biztonsági jelentésekkel kapcsolatban), hogy a későbbiekben szükség esetén ezek felhasználhatók legyenek. Az élettartam során felmerülhetnek olyan további igénybevételek, a környezeti paraméterek változása vagy más élettartamot befolyásoló, csökkentő tényező, ami szintén az elemzések újra elvégzését vagy a feltételezéseinek fennmaradásának igazolását teszi

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

szükségessé. Az öregedés-kezelésre nézve ez külön hangsúlyos a Korlátozott Időtartamra Érvényes Biztonsági Elemzések (KIBE) esetén, amelyeknél a tervezett élettartam során is előfordulhat az újraértékelés igénye. A KIBE elemzéseket úgy dokumentálják, hogy azok hozzáértő külső szakember számára teljes terjedelmükben auditálhatók legyenek.

A tervező felelőssége, hogy a megfelelő mélységű elemzési, értékelési és vizsgálati dokumentációt elkészítse és az engedélyes rendelkezésére bocsássa.

A KIBE-k vonatkozásában azonosítják, hogy:

- a) kiválogatták azon korlátozott időtartamig érvényes feltételezéseket, melyek a rendszerelemek öregedési folyamataival kapcsolatosak,
- b) meghatározták ezek fontosságát valamely biztonsággal kapcsolatos következtetés megalapozásában, illetve szerepét valamely biztonsági rendszerelem funkcióképessége fenntartásának igazolásában,
- c) az ezek alapján meghatározott KIBE elemzéseket elvégzik a tervezés részeként.

Azon elemzéseket kell KIBE-ként azonosítani, amelyek:

- a) A rendszert vagy rendszerelemet a normál üzem és az üzemelés alatt várható események során érő igénybevételek, valamint a tervezési alapba tartó üzemzavarok során fellépő feltételek figyelembe vételével a követelmények teljesülése csak valamilyen formában kifejezett időtartam feltételezésével bizonyítható.
- b) Az időtartam feltételezése vonatkozhat üzemi vagy naptári időtartamra, igénybevételi ciklusszámra, vagy bizonyos körülmények fennállásának idejére is.

A tervező igazolja a fentiek alapján meghatározott KIBE számítások esetében az elemzés érvényességét a tervezett üzemidőre 10 év tartalékot figyelembe véve.

A KIBE elemzéseket úgy dokumentálják, hogy azok hozzáértő külső szakember számára teljes terjedelmükben auditálhatók legyenek.

A KIBE terjedelem meghatározására és az egyes KIBE számításokra vonatkozó további ajánlások külön útmutatóban szerepelnek.

*3a.2.3.0700. „A tervezési alapot, a tervezési alap kiterjesztését és ezek igazolását a tervezés lezárásakor, valamint az atomerőmű teljes élettartama során, rendszeres időközönként, továbbá lényeges új biztonsági információk*

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

*felmerülése esetén felül kell vizsgálni, és szükség esetén módosításokat kell végrehajtani a determinisztikus és valószínűségi számítások eredményei alapján. Az azonosított hiányosságokat értékelni kell, és időben meg kell tenni a szükséges korrekciós intézkedéseket.”*

*3a.2.3.0800. „A felülvizsgálat során figyelembe kell venni:*

- a) az atomerőművi blokkot vagy a működését érintő változásokat a tervezés vagy a megvalósulás fázisában, és működése során;*
- b) bármely a biztonságot szignifikáns módon befolyásoló, érintő új műszaki és tudományos ismeretet az atomerőművi blokk viselkedéséről és a hibalehetőségekről;*
- c) bármely olyan anyagi tulajdonság megváltozását öregedés vagy más hatás miatt, amelyet nem vettek figyelembe;*
- d) a biztonsági szabványok nemzetközi fejlődését; valamint*
- e) jelentős, új biztonsági információ felmerülését.”*

A környezeti körülmények, a biztonságot minősítő, a minőségi, a megbízhatósági és az élettartammal összefüggő kritériumok és követelmények, az öregedés-kezelési program, a tervezett élettartam meghatározása a tervezési alap részei. Így ezen információk is részei a tervezés lezárásakor végzendő felülvizsgálatnak. A hiányosságokat ezek esetében is értékelni kell és a szükséges intézkedéseket meg kell határozni. Az öregedés-kezelés és az élettartamot befolyásoló tényezők esetében különösen fontos lehet a tervezésbe visszacsatolni a hasonló típusú blokkok üzemidő-hosszabbítása során szerzett információkat, amelyek a tervezés időtartama alatt merültek fel, illetve az időközben történt, az öregedésre visszavezethető üzemeltetési tapasztalatot, a biztonságot érintő eseményeket. A KIBE elemzések esetén külön is meg kell győződni arról, hogy a követelményben említett szempontok figyelembevételével a feltételezések és a végeredmény érvényben maradnak. Külön kiemeljük, hogy a felülvizsgálat nyomán megváltozott tervezési információk dokumentálására és az információk átadására vonatkozó fenti követelmények érvényben maradnak.

*3a.2.3.2800. „Az Előzetes és Végleges Biztonsági Jelentést a következő tartalmi követelmények alapján kell összeállítani:*

- j) az üzemzavar-elhárítási utasítások és a baleset-kezelési útmutatók, az ellenőrzési utasítások, az üzemeltető személyzet képzettségi követelményei és képzése, az üzemeltetési tapasztalatok és a releváns kutatási eredmények visszacsatolásának eljárása és az öregedéskezelés átfogó programja,”*

A követelmény tárgyalása nem lenne közvetlenül releváns ebben az útmutatóban, ezt az N3a.34. "Új atomerőművek biztonsági jelentései" című útmutató hivatott kezelni. Két aspektusból mégis igen lényeges megemlíteni itt is. Az egyik, hogy ha nem is expliciten, de itt van megfogalmazva az átfogó öregedéskezelési program iránti követelmény. Tehát ilyen átfogó programmal rendelkezni kell. Másrészt fontos kiemelni, hogy az EBJ/VBJ megírásakor nem kifejezetten a program beemelése a feladat, hanem a kidolgozáskor tett feltételezések, szempontok ismertetése, megalapozása és a program megfelelőségének igazolása. Minimálisan az alábbiakat meg kell jeleníteni a biztonsági jelentésekben az öregedéskezelésről:

- a) Öregedéskezelési stratégia, program ismertetése és a végrehajtásának feltételei,
- b) Az öregedéssel potenciálisan érintett RRE terjedelem meghatározása,
- c) Az RRE-k funkcióképességét veszélyeztető öregedési hatások detektálása fenntartása érdekében szükséges monitorozó és mintavételi programok,
- d) A berendezés-minősítésben érintett berendezések és funkciók,
- e) Az RRE-k környezeti körülményeinek fenntartását szolgáló tevékenységek, eszközök (szellőző rendszerek, szigetelés, árnyékolás, rezgéscsillapítás, elárastás megakadályozása, kábelútvonalak stb.),
- f) Az üzemeltetési tapasztalatok visszacsatolására tett megfontolások,
- g) a fentiek meghatározására, alátámasztására készített referencia dokumentumok köre, amelyeket kérés esetére az OAH rendelkezésére kell bocsátani.

*3a.2.4.1500. „A nyomástartó berendezések, a reaktortartály és a konténment törésmechanikai elemzésével, valamint az öregedési folyamatok figyelembevételével kapcsolatos ajánlásokat útmutatók tartalmazzák.”*

### 3.2.2. A tervezési élettartamhoz kapcsolódó ajánlások

*3a.3.2.0100. „Meg kell határozni az atomerőmű tervezett élettartamát és azt, hogy mely biztonsági vagy fizikai gát funkciót teljesítő szerelem élettartama határozza meg, vagy korlátozza ezt az élettartamot.”*

*3a.3.2.0200. „Az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével bizonyítani kell, hogy a nem cserélhető szerelemek és a nem cserélendő passzív biztonsági és fizikai gát funkciót megvalósító szerelemek élettartama legalább olyan hosszú, mint az atomerőmű egészére meghatározott*



**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

*tervezett élettartam, figyelembe véve a teljes élettartam során várható terheléseket és öregedési folyamatokat a szükséges tartalékokkal.”*

A tervezett élettartam nem hatósági előírás, az alapvető hatósági előírások a biztonságos üzemeltetés feltételeire vonatkoznak. Az RRE kialakítása, elhelyezése biztosítja a biztonságos és megbízható üzemeltetést a tervezett élettartam során. A műszaki korlátok és lehetőségek, illetve a gazdaságosság elemzésével, – az élettartam szempontjából kritikus RRE-kre – olyan rendszer dolgozandó ki, amely az öregedést figyelembe véve meghatározza a karbantartások, felújítások terjedelmét, módszereit, ütemezését és költségeit az erőmű technikailag elérhető leghosszabb – a tervezett vagy a meghosszabbított – élettartamának elérése érdekében.

Az RRE-k élettartam meghatározásában kiemelt szerepe van a teszteknek, a roncsolásos és a roncsolásmentes vizsgálati módszereknek, állapotfigyeléseknek, a vizsgálattal kimutatható hibák típusainak, illetve a hibakimutatás pontosságának és megbízhatóságának, törésmechanikai módszereknek, valamint a kockázatbecslési technikák alkalmazásának.

A tervezett élettartam alatt az RRE-knek az előírt öregedés-kezelési (karbantartási, vizsgálati, felügyeleti) program betartása mellett egy előre meghatározott valószínűséggel teljesítenie kell funkcióját, illetve hibamentesen kell működnie.

A tervezett élettartam tarthatóságát a tervezés során elemzések, számítások, értékelések elvégzésével igazolni kell, illetve elő kell írni azoknak a vizsgálatoknak, módszereknek az elvégzését, stb., melyek eredménye alapján tanúsítható a minősített élettartam, illetve meghatározható a maradék élettartam.

Az RRE-k műszaki állapotának fenntartása érdekében (ti. hogy a biztonsági funkciót befolyásoló paraméterei az öregedés miatt ne változzanak meg olyan mértékben, hogy az a biztonságra hatással lehetne) programokat kell kidolgozni és működtetni:

- a) Minden RRE-hez valamilyen programot kell rendelni alkalmazva a biztonság szerinti fokozatosság elvét, kezdve a kritikus biztonsági rendszerek öregedéskezelésével egészen a biztonsági osztályba nem sorolt rendszerelemek javító karbantartásáig.
- b) Az RRE-k tervezése során meg kell határozni a csoportosításuk szempontjait, összhangban a tervezett élettartam, a környezetállósági minősítés, és az öregedéskezelés szempontjaival.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- c) Amennyiben az adott RRE élettartama rövidebb, mint az atomerőmű tervezett élettartama, ezek felújíthatóságát, cserélhetőségét már a tervezés során biztosítani kell. (lásd 3a.3.2.0400.)

Az állapot fenntartó programnak része az RRE-k:

- a) élettartamának megtervezése, minősített élettartamuk megállapítása, igazolása, környezetállósági minősítésük,
- b) a megkövetelt műszaki és minősített állapotuk fenntartása, öregedéskezelési programok, a próba- és felügyeleti programok, időszakos ellenőrzési programok, karbantartási programok és a rekonstrukciók, javítások, cserék előre megtervezhető programjai.
- c) karbantartás hatékonyságának teljesítmény és biztonsági kritériumok szerinti értékelése, monitorozása.
- d) a programok valamint az öregedéselemzések és a minősítések felülvizsgálata.

### 3.2.3. A tervező kötelezettségei

- a) meghatározza a tervezési alaphoz és az előírt követelményeknek megfelelően az atomerőmű tervezett élettartamát.

A tervezett élettartam hosszát minden egyes nem cserélhető vagy cseréire üzemidő alatt nem tervezett RRE tervezésekor figyelembe kell venni. Az RRE-k megbízható és biztonságos üzemeltethetőségének minimális időtartamára vonatkozó adatokat az atomerőművi blokk tervezett üzemidejével összhangban állapítja meg az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével. Meg kell mutatni, hogy az adott rendszerelem korlátozó-e az élettartam szempontjából. Amennyiben igen, be kell mutatni azt a vizsgálati, felügyeleti, karbantartási, javítási vagy felújítási metódust, tevékenységet, amely biztosítja az RRE üzemeltethetőségét és ezáltal a funkció teljesítését a tervezett élettartam során. Egyértelműen megkülönböztetik a blokk tervezett üzemidejével megegyező (vagy annál hosszabb) élettartamra tervezett RRE-eket azoktól, melyek egyszeri vagy többszöri cseréjét a blokk üzemideje során előíranyozzák. A tervezési élettartamok a KIBE elemzések számára is bemeneti információt jelentenek.

- b) meghatározza az RRE- alkalmazhatóságának időtartamban és működési számban vagy időtartamban és igénybevételi ciklusszámban meghatározott értékét.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

Ennek keretében megadja azon üzemi terhelés változást, törési szívósság értéket, megengedett hibaméretet, a minimális falvastagságot, a repedezettség azon megengedett mértékét, stb., amikor még biztosított a biztonsági funkciók teljesülése, valamint azok elvesztésének az öregedéssel járó kockázatnövekménye még nem számottevő a teljes kockázathoz képest.

*3a.3.2.0300. „Meg kell határozni, hogy milyen feltételek mellett teljesíthetők a tervezett élettartam alatt a nukleáris biztonsági követelmények.”*

- a) meghatározza, hogy a tervezett élettartam alatt melyek azok az élettartam korlátozó körülmények, terhek, hatások, öregedési és degradációs folyamatok, amelyek az építmények, épületszerkezetek, szerkezeti elemek, komponensek, berendezések, rendszerelemek (RRE-k) állapotának romlását, elhasználódását, károsodását, tönkremenetelét, öregedését okozzák/okozhatják.
- b) az egyes RRE-kre vonatkozóan minden azonosított romlási folyamat kapcsán megállapítja azokat a kritériumokat, melyek a még megfelelő üzemeltetési feltételeket biztosítják.

Aktív funkciót ellátó berendezéseknél elfogadható az egész berendezésre vagy rendszerre jellemző teljesítmény-paraméterek meghatározása.

A passzív RRE-k állapotára, illetve az aktív berendezések (rendszerek) teljesítményére vonatkozó megfelelőségi kritériumokat olyan tartalékokkal írja elő, hogy a felülvizsgálati/engedélyezési ciklusidő figyelembevételével meghatározott időtartamú, jövőbeni biztonságos és megbízható üzemeltetés feltételei teljesüljenek.

A tervező meghatározza továbbá

- a) az öregedési, elhasználódási, degradációs folyamatok által okozott hatások elleni védekezés módjait.
- b) azon intézkedéseket, üzemeltetési feltételeket és korlátokat, amelyek az öregedési, elhasználódási, degradációs folyamatok kialakulásának esélyét minimalizálják, a folyamatokat lelassítják.
- c) az öregedési, elhasználódási, degradációs folyamatok, hatások változásainak követési módjait, módszereit.
- d) az üzemzavart követő elvárt működőképesség időtartamait (ha ekkor ellenőrző vagy következménycsökkentő funkciója van, akkor erre az üzemzavarra és az azt követő állapotokra minősíteni kell).
- e) a minősített állapot fenntartásának módját, programját.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- f) a karbantartásra, az állapotfelügyeletre, monitorozásra vonatkozó tervezői és üzemeltetői előírásokat.
- g) az adott RRE állapotának fenntartásához szükséges programokat.
- h) a megfelelőségi, környezetállósági minősítés, működőképesség, megbízhatóság értékeléséhez szükséges kritériumokat.
- i) a minősítési, öregedéskezelési, karbantartási, időszakos tesztelési, mintavételezési és ellenőrzési, illetve próba- és felügyeleti programokhoz szükséges anyagokat, próbadarabokat, etalonokat és egyéb mintákat.
- j) a minősített vizsgálatok körét, a vizsgálati technológiákat.
- k) a „0” állapot felmérő és tanúsító, majd az időszakos vizsgálati programokat, és a kapcsolódó tanúsító dokumentumok terjedelmét. Ide kell, hogy tartozzanak az üzembe helyezés során végzett próbák dokumentumain kívül azok a gyártás, építés, szerelés, telepítés során végzett vizsgálatok, próbák dokumentumai (minőségtanúsító és teljesítményigazoló), melyek tanúsítják a megfelelőséget.
- l) a minőségtanúsítások, teljesítményigazolások mellékletét képező dokumentumok (gépkönyvek, roncsolásos, roncsolásmentes anyagvizsgálatok, öregítési vizsgálatok, szerkezeti vizsgálatok jegyzőkönyvei, alapanyag bizonylatok, radiográfiai vizsgálatok filmjei, stb.) terjedelmét. A dokumentumok tartalmának olyannak kell lennie, hogy azonosíthatóak legyenek az üzemeltetés során bekövetkező változások.

*3a.3.2.0400. „Amennyiben a rendszer, rendszerelem élettartama rövidebb, mint az atomerőmű tervezett élettartama, ezek felújíthatóságát, cserélhetőségét biztosítani kell.”*

Amennyiben a rendszerelem várható élettartama rövidebb a blokk tervezett üzemidejénél, akkor a konstrukció kialakításakor figyelembe veszik a cserélhetőséget, felújíthatóságot is. A tervező megadja, hogy milyen gyakorisággal vagy milyen kritériumok alapján kell a csere/felújítást elvégezni. A tervező meghatározza a csere, felújítás módját és/vagy a követendő szempontokat, feltételeket.

*3a.3.2.0500. „A leszerelés megkezdéséig és a leszerelés során funkciót ellátó rendszerek, rendszerelemek tervezett élettartamában figyelembe kell venni a leszereléshez szükséges időtartamot is.”*

A hatásos öregedéskezelés alapja, hogy az atomerőmű minden egyes életciklus szakaszában figyelembe vegyék az öregedést és hatásait. Az RRE-k

üzemeltetése nem ér végez a blokk üzemidejének lejártával és így az öregedési folyamatok és ezek kezelési igénye sem múlik el. Ezért a tervező számba veszi a tervezett leszerelési időtartamot és üzemmódokat is az egyes RRE-k tervezésekor, az élettartam, csere/felújítás, vizsgálat, karbantartás stb. programjának meghatározásakor.

### **3.3. Öregedéskezelési ajánlások**

Az öregedést, romlást, károsodást, elhasználódást okozó, kiváltó körülmények, igénybevételek, feltételek, a konstrukciós kialakítások, alkalmazott anyagok, az öregedési folyamatok kialakulási, fejlődési feltételei, figyelembe veendő és a kiváltott hatások, ellenőrzési, vizsgálati módszerek és terjedelmek, vizsgálhatósági feltételek, monitorozási lehetőségek, karbantarthatóság, stb. azonosítása, meghatározása már a tervezés során az élettartam meghatározás része.

*3a.3.2.4700. „Azonosítani kell az öregedési folyamatokat, azok jellemzőit minden biztonsági osztályba sorolt rendszerelem esetében, és meg kell adni az üzemeltetés során végrehajtandó öregedéskezelési program, és rendszer kidolgozásához szükséges adatokat és módszereket. A tervező által meghatározott öregedéskezelési rendszernek összhangban kell lenni a karbantartási programokkal, a vizsgálatok minősítésével és a rendszerelemek környezetállósági minősítésével, valamint a minősített állapot fenntartását szolgáló programokkal.”*

*3a.3.2.4800. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor vizsgálni kell a várható öregedési folyamatokat és azok hatásait. Igazolni kell – a „0” állapot és az öregedési folyamatok lehetséges bizonytalanságainak figyelembevételével –, hogy az alkalmazott szerkezeti anyagok öregedési folyamatai a tervezett élettartam során nem gátolják a rendszereket, rendszerelemeket biztonsági funkcióik teljesítésében.”*

*3a.3.2.5100. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszerelemekre ki kell dolgozni az öregedéskezelés előírásait. Az előírásoknak ki kell terjednie:*

- a) a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek öregedési helyeinek és az azokon várható öregedési folyamatok azonosítására,*
- b) az öregedési folyamatok várható előrehaladásának becslésére,*
- c) az öregedési folyamatok kezeléséhez szükséges karbantartási, felügyeleti, próba- és monitorozási tevékenységre, valamint*

*d) az öregedési és állapotromlási folyamatok lassítására, kedvezőtlen hatásainak csökkentésére szolgáló intézkedések meghatározására.”*

A követelmények teljesítése érdekében az elvárt biztonsági funkciók ellátásának képessége, az elvárt teljesítményparaméterek szerinti teljesítőképesség igazolhatósága, garantálása céljából, megtervezik az átfogó öregedéskezelési programot és létrehozzák az öregedéskezelési programok rendszerét.

### 3.3.1. Átfogó öregedéskezelési program

Az öregedéskezelési programokat – egy komplex rendszert képezve a környezetállóság minősítéssel, minősítési eljárással, a karbantartással, próba- és felügyeleti tevékenységekkel, a karbantartás hatékonyságának monitorozásával, a környezetállósági minősített állapot, a vegyészeti programokkal, a minősített élettartamnak megfelelő állapotok fenntartásával, a tervezett cserékkel, felújításokkal – az atomerőmű teljes élettartamára tervezik.

Az öregedéskezelési és az öregedéskezeléshez kapcsolódó tervezői, üzemeltetői tevékenységeknek, programoknak célja kell, hogy legyen:

- a) **megelőzés**, ami az öregedési hatások érvényesülésének kizárására, az öregedési, romlási folyamatok elkezdődésére, beindulására irányul,
- b) **következmények csökkentése**, enyhítése, ami az öregedési hatások érvényesülésének, az öregedési folyamat előrehaladásának lelassítására irányul,
- c) **állapotfelügyelet, állapotmonitorozás**, ami a romlás, öregedés előrehaladás aktuális helyzetének figyelemmel kísérésére, az öregedést, romlást okozó hatások, illetve a következmények jelenlétének lehetőleg időben történő észlelésére, az okozott károsodás mértékének, kiterjedtségének megvizsgálására irányul,
- d) **teljesítménymonitorozás, minősítés**, ami arra irányul, hogy egy adott szerkezet, rendszerelem, komponens mennyire képes rendeltetésszerű funkciójának, funkcióinak megfelelni.

A tervezés során az atomerőmű minden egyes életciklusára, azaz a tervezés, gyártás, építés/szerelés, üzembe helyezés, üzemeltetés, leszerelés időszakára, a hatásos öregedéskezelés alapjaként az átfogó öregedéskezelési program keretében:

- a) meghatározzák az öregedési, romlási folyamatok kialakulásának lehetséges okait, feltételeit,

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- b) jellemzik és azonosítják a lehetséges öregedési, romlási károsodási folyamatokat,
- c) megadják a romlási, öregedési, károsodási jelenségek észlelési módját, beazonosítja az érzékeny területeket, helyeket, a kritikus környezeteket, helyeket,
- d) jellemzik a következményeket,
- e) meghatározzák az öregedési, elhasználódási, degradációs folyamatok, hatások változásainak követési módjait, módszereit, az üzemeltetés, működtetés időszakában monitorozandó paramétereket,
- f) becslést adnak az öregedési folyamatok várható előrehaladására,
- g) meghatározzák a romlási, öregedési, károsodási folyamatok megelőzésének módját, lehetőségét, az ehhez szükséges üzemeltetési feltételeket és korlátokat,
- h) meghatározzák az öregedési és állapotromlási folyamatok lassítására, kedvezőtlen hatásainak csökkentésére alkalmas intézkedéseket,
- i) megadják az öregedési, elhasználódási, degradációs folyamatok által okozott hatások elleni védekezés módjait,
- j) fentiek figyelembevételével megtervezik az RRE-k öregedéskezelési programját összhangban az atomerőmű élettartam meghatározásával,
- k) előírnyozzák az öregedéskezelésre vonatkozó szabályozás, eljárásrendek elkészítését, *melyekben megjelenítik a tervezési szempontokat is.*

### 3.3.2. Öregedéskezelés az atomerőművi programok keretében

A megengedhetetlen romlás, károsodás kiküszöbölése, illetve a megbízható működőképesség, funkció ellátó képesség megállapítása céljából a karbantartási, próba, ellenőrzési és felügyeleti program (KPEF) keretében:

- a) olyan karbantartási programokat terveznek, amelyek alapján elvégezhető – és el is kell végezni /végeztetni – a megelőző karbantartást, illetve javítással, vagy cserével az állapotfüggő karbantartást,
- b) megtervezik – és működtetik – az öregedési folyamatok kezeléséhez, a kedvezőtlen hatások időben történő észleléséhez szükséges állapot felügyeleti programokat, próbákat, vizsgálatokat, monitorozási tevékenységeket, állapotindikátorok alkalmazását,
- c) elemzéseket végeznek a maradék élettartam meghatározása céljából,

- d) biztosítják a tervező által meghatározott öregedéskezelési rendszer összhangját a „0” állapot vizsgálati programokkal, a karbantartási programokkal, a vizsgálatok minősítésével és az építmények, épületszerkezetek, szerkezeti elemek, rendszerelemek, szerkezetek, berendezések környezetállósági minősítésével, valamint a minősített állapot fenntartását szolgáló programokkal,
- e) biztosítják az öregedéskezelési programok alapján elvégzett vizsgálatok, ellenőrzések, próbák, állapotfelügyeleti tevékenységek eredményeinek, valamint a releváns nemzetközi üzemeltetési tapasztalatok és kutatási eredmények visszacsatolását a KPEF keretében elvégzendő tevékenységek megfelelő megtervezhetősége céljából,

### 3.3.3. Működési mutatók és kritériumok

*3a.3.2.5000. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszerelemekre a tervezés során egyértelmű működési mutatókat, kritériumokat kell meghatározni, az öregedési folyamataik, üzemben tarthatósági feltételeik és maradék élettartamuk meghatározásához.”*

A tervezés során meghatározzák a biztonsági, elfogadási kritériumokat, az értékeléshez szükséges elfogadási szinteket a hatósági követelmények figyelembevételével:

- a) az elfogadási kritériumokat/korlátokat a minimálisan szükséges biztonsági tartalékok fenntartása mellett kell értelmezni,
- b) olyan biztonsági tartalékot vesznek figyelembe, amely az adott rendszerelem esetleges meghibásodásának legvalószínűbb és legrosszabb biztonsági következményével is összhangban van.
- c) a kritériumok kiértékelése alapján döntenek az üzemeltetésre való alkalmasságról, tervezik az állapotfüggő karbantartás (javítás, csere, felújítás) végzését,
- d) az öregedéskezelés hatékonyságának növelése érdekében megteszik a szükséges korrekciós intézkedéseket,
- e) hasznosítják a releváns kutatási, kísérleti eredményeket és az üzemeltetési tapasztalatokat.

Az öregedési folyamatok összetettsége és azok egymásra hatása miatt az egyes részfolyamatokat az alábbiak szerint csoportosítják:

- a) vannak mennyiségileg jellemezhető és mennyiségileg nem jellemezhető folyamatok;



- b) a vizsgálhatóság szempontjából vannak folyamatosan ellenőrizhető és csak időszakosan ellenőrizhető folyamatok;
- c) vannak egyedi okból támadó romlási folyamatok, és vannak olyanok, melyek megjelenése közös okú, a hasonló rendszerelemeken is várható romlásra utal.

Fenti sajátosságok figyelembevételével rendszerelemenként és romlási helyenként elvégzik az adott romlási helyen várható öregedési folyamatok elemzését, és megadják azokat a mérlegelési szempontokat, melyek a rendszerelem jövőbeni működképességének és megbízhatóságának mérnöki megítéléséhez szükségesek.

#### 3.3.4. Dokumentálás

Az öregedési, romlási folyamatok beazonosíthatóságát és a nyomon követését is biztosító dokumentálási rendszert, adatbázist terveznek a konfiguráció kezelési rendszer keretében. Ennek ellenőrizhető módon alkalmasnak kell lennie a releváns információk gyűjtésére, tárolására, elemzésére, a vízüzemi jellemzők, korróziós jellemzők, a ciklikus igénybevételre tervezett/méretezett rendszerelemek tényleges ciklikus igénybevételének, terhelésváltozással járó és üzemzavari ciklusok nyilvántartására, nyomon követésére és támogatja a szükséges tevékenységek meghatározását, optimalizálását és végrehajtásának koordinálását.

Az adatbázisnak alkalmasnak kell lennie a próbák, tesztek, állapotfelügyelet, felülvizsgálatok, monitorozások, üzem közbeni ellenőrzések eredményeinek, az elvégzett karbantartások, javítások, cserék adatainak tárolására, nyomon követhetőségére az adott rendszerelemhez, szerkezeti elemhez, komponenshez hozzárendelhető módon.

Az adatbázisnak beazonosítható módon tartalmaznia kell a „0” állapot vizsgálatok eredményeit és a minőségtanúsító/teljesítményigazoló, minősítést igazoló dokumentumok és mellékleteik adatait is. Az adatbázisnak, dokumentálási rendszernek összhangban kell lennie az atomerőmű egységes dokumentáció- és információkezelési rendszerével, illetve egy egységes konfiguráció kezelési rendszer részét kell, hogy képezzék.

#### 3.3.5. Öregedéskezelési csoportok létrehozása

A tervezett élettartam meghatározáshoz, ezen belül a kezdeti környezetállósági minősítéshez, az öregedéskezeléshez, már a tervezés során meg lehet és meg kell határozni az RRE-k csoportosításának

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

szempontjait és módjait. (Ezek a tervezett élettartam meghatározás, a környezetállósági minősítés és öregedéskezelés vonatkozásában is azonosak, a hatások, és amire hatnak, valamint a vizsgálati, elemzési módszerek azonosak függetlenül attól, hogy élettartam meghatározási folyamat, vagy öregedéskezelés szempontjából kerülnek azonosításra, és azonosak a trendfigyelés és a negatív folyamatok minimalizálásának, illetve az élettartam, megbízhatóság növelésének eszközei is.)

A nukleáris biztonság szempontjából fontos RRE-k öregedéskezelési programjainak kidolgozása során megengedett az öregedéskezelés terjedelmébe tartozók csoportosítása az alábbiak figyelembevételével:

- a) A kiemelt RRE-k nem sorolhatóak be csoportokba, ezekre egyedi programokat terveznek.
- b) Létrehozhatóak épületszerkezeti, szerkezeti elem, rendszerelem, szerkezet, berendezés, komponens, alkatrész csoportok, amennyiben igazolt, hogy az azonos csoportba soroltak romlási folyamata, öregedése hasonló módon megy végbe, valamint az okok és a következmények is azonosak.
- c) A csoportok képzésekor igazolni kell az azonos csoportba tartozó épületszerkezetek, szerkezeti elemek, rendszerelemek, szerkezetek, alkatrészek, berendezések, komponensek együttes kezelhetőségét.

Az elsődleges csoportthalmazba, csoportba sorolás alapja – külön kezelve a technológiai, illetve azon belül a gépészeti, villamos- és irányítástechnikai, rendszerelemeket, berendezéseket, valamint az épületeket, épületszerkezeteket, szerkezeti elemeket – a környezet minősítési specifikáció.

Az elsődleges csoportokon belül tovább csoportosítják az adott rendszerelemet, szerkezeti elemet, berendezést. Ezeket a másodlagos csoportthalmazokat, csoportokat típusonként, biztonsági osztályonként, funkcióiknak, rendeltetésüknek, beépítési helyüknek megfelelően, azonos tervezési jellemzők, anyaguk (és azok tulajdonságai) és üzemeltetési körülményeik, üzemviteli igénybevételeik szerint, az őket érhető hatások alapján alakítják ki. A csoportokba sorolás folyamán külön kezelik az élettartam meghatározása szempontjából domináns, valamint a biztonság szempontjából meghatározó romlási folyamatokat, öregedési mechanizmusokat. A másodlagos csoportthalmazon, csoporton belül meghatározzák azt, hogy egy adott rendszerelem passzív- vagy aktív, illetve milyen kapcsolat van közöttük, melyiknek mi a rendeltetése, mi a kapcsolódó, illetve mi a határfelület. A csoportok között meglévő

kapcsolódásokat, egymásra hatásokat a csoportokra vonatkozó programokban is expliciten figyelembe kell venni (pl. eltakart csővezetékek esetében az építészeti és gépészeti programok kapcsolódása).

A másodlagos csoportalmazba tartozó csoportokon belül harmadlagos csoportok képezhetők, melyek adott halmazába olyan azonos, illetve a hasonló RRE-k tartoznak, melyek igénybevétele is azonos vagy hasonló. Azonosak azok az RRE-k amelyek minden jellemzőjükben (anyag, geometria, konstrukciós kialakítás, működési mód, környezetállóság, megbízhatóság, gyártási mód, típus stb.) megegyeznek. Hasonlóak azok az RRE-k, amelyek esetében a biztonsági elemzés igazolta az egyenértékűséget.

Az elsődleges, másodlagos és harmadlagos csoportalmazokat, csoportokat tervező határozza meg a tervezés során.

### **3.4. Környezetállósági minősítés, mint a minősített élettartam és az öregedéskezelés tervezési alapja**

#### **3.4.1. Környezetállósági minősítés**

*3a.3.2.3000. „A tervezés során meg kell határozni a TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban, a külső és belső veszélyeztető tényezők hatására kialakuló környezeti körülményeket, hatásokat, amelyek között a rendszereknek, rendszerelemeknek teljesíteniük kell a biztonsági és a fizikai gát funkcióikat. A terv által meghatározott terjedelemben meg kell határozni a környezeti körülményeket a tervezési alap kiterjesztését képező állapotokra is.”*

*3a.3.2.3100. „Minősítési eljárásokat kell alkalmazni annak igazolására, hogy a nukleáris biztonság szempontjából fontos RRE-k képesek ellátni a funkciójukat az atomerőmű élettartama alatt a TA1-4 és TAK1 üzemállapotot eredményező események során fennálló környezeti feltételek mellett, amennyiben működésük ekkor szükséges.”*

*3a.3.2.3400. „A rendszerelem tervezésekor és kezdeti minősítésekor figyelembe kell venni az üzem alatti öregedési mechanizmusokat, és igazolni kell, hogy az öregedési hatások ellenére a tervezett üzemidejük végén is képesek a megkövetelt megbízhatósággal funkciójukat teljesíteni.”*

*3a.3.2.3800. „Ha a rendszerelemnek üzemzavari helyzet kialakulása után ellenőrző vagy következménycsökkentő funkciója van, akkor mind az üzemzavar, mind az azt követő állapotok elviselésére minősíteni kell.”*

A környezetállósági minősítés során az RRE élettartama alatt fellépő környezeti, üzemi és üzemzavari körülményekkel szembeni ellenálló képesség korlátait, azaz a minősített élettartamot határozzák meg.

A biztonsági RRE-k környezetállósági minősítése azt igazolja, hogy a megkövetelt teljesítmény-mutatóik az üzemeltetés során megmaradnak, s az életük során elviselt körülmények és üzemi események ellenére képesek maradnak arra, hogy biztonsági funkciójukat betöltsék a tervezési üzemzavarok, balesetek által létrehozott környezeti körülmények között is.

*NBSZ 10. kötet 153. szerint a **Tervezett élettartam** „Az az időtartam, amelyre bizonyítható, hogy a rendszerelemek a normál üzemi paraméterek és a várható üzemi események által kiváltott igénybevételek öregedést okozó hatásai ellenére képesek ellátni biztonsági funkciójukat, a normál üzem, a várható üzemi események és a tervezési üzemzavarok környezeti paramétereinek figyelembevételével.”*

*NBSZ 10. kötet 112. szerint a **Minősített élettartam** „A rendszerek, rendszerelemek környezetállósági minősítése során az üzemi környezet szimulációjakor alkalmazott gyorsított öregítéssel szimulált üzemidő hossza, ami után még az üzemzavari helyzetben vagy földrengéskor az elfogadási kritériumon belül teljesíti funkcióját.”*

A minősített élettartam az az idő, amely legvégén bekövetkező üzemzavar kezeléséhez az RRE teljesíteni képes a megkövetelt biztonsági funkcióját.

A tervezett élettartam és a minősített élettartam a meghatározások szerint azonos is lehet. Ugyanakkor a tervezés során például egy adott rendszerelem tervezési alapként megadott élettartama esetében az adott rendszerelem konstrukcióját, anyagminőségeit, stb., üzemeltetési feltételeit és korlátait ennek megfelelően tervezik. Ezután különböző vizsgálatokkal, elemzésekkel, számításokkal bizonyítják, hogy a tervezett élettartama időszakában minden tőle elvárt funkciót minden őt érő környezeti és egyéb terhelési hatás esetén is a szükséges időtartamig képes teljesíteni. Ekkor a tervezett élettartama minősített élettartamra változik, (ami lehet több is és kevesebb is lehet, mint a tervezett, vagy lehet azonos is vele), tehát környezetállóságra minősített rendszerelem lesz belőle függetlenül a környezetállósági minősítés módszerétől.

Az „öregítés” – az anyagminőségtől, anyag összetételétől függetlenül – az élettartam meghatározásának egy szimulált környezeti hatás/hatások létrehozásának, roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatoknak, elemzéseknek és számításoknak a kombinált módszere, olyan eljárás, aminek eredménye a minősített élettartam számszerű értékének megadása. Az „öregített” rendszerelem is környezetállósági minősítetté válik ez által.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

A konstrukció, az anyagminőségeinek fajtái, a környezeti hatások mibenléte, mikorisága, időtartama, az, hogy az adott rendszerelem aktív, vagy passzív, csak a vizsgálati, elemzési, számítási módszert, illetve ezek kombinációit határozza meg.

Fentiekből következik, hogy az elvégzett környezetállósági minősítés eredménye a minősített élettartam és független attól, hogy építészeti, épületszerkezeti, gépésztechnológiai, villamos- és irányítástechnikai szerkezeti elemről, rendszerelemről, szerkezetről, alkatrészről, berendezésről, komponensről, vagy ezek releváns kombinációjáról van-e szó.

A tervezés időszakában elemzik, értékelik és szükség szerint környezeti minősítéssel meghatározzák a biztonsági osztályba sorolt rendszerek, rendszerelemek megengedhető élettartamát függetlenül attól, hogy azok cseréje tervezett-e, vagy nem tervezett vagy gyakorlatilag nem megvalósítható. A környezetállósági minősítés végezhető elemzésekkel, számításokkal, értékeléssel, vizsgálatokkal, vagy ezek valamilyen kombinációjával.

A **környezetállósági** minősítés érvényességének időtartama a minősítés során elemzéssel, számításokkal és/vagy vizsgálatokkal, tesztekkel, empirikus módszerekkel, az üzemi és üzemzavari környezet szimulációjával határozható meg, mivel üzembe helyezéskor nem lehet minden körülményt reprezentálni.

Az NBSZ tartalmaz erre két megkötést:

*3a.3.2.3200. „Passzív fémes és beton rendszerelemek környezetállóságát tervezéssel kell biztosítani. A környezetállóságot szükség esetén elemzésekkel kell igazolni.”*

A passzív fémes és beton RRE-k környezetállóságának igazolásához általában nem elegendő a tervezés, elemzés, értékelés, hanem vizsgálatokra is szükség van. A vizsgálatokra vonatkozó követelményeket és megfelelőségi kritériumokat a tervekben elő kell írni, a gyártás/építés/szerelés során pedig el kell végezni és az eredményeket megfelelőségre értékelni kell.

*3a.3.2.3300. „A nem fémes, nem beton rendszerelemek, valamint az aktív rendszerelemek alkalmasságát egyedi vagy típusminősítéssel kell igazolni.”*

Az egyedi és a típusminősítés módszerét minden egyes esetben meg kell határozni az élettartam során várható környezeti hatásoknak, terheléseknek függvényében és annak megfelelően, hogy mi a minősítés tárgya és azonosaknak minősülnek-e. [Azonosnak minősülhet, ha minden jellemzőjében (anyag, geometria, konstrukciós kialakítás, működési mód,

környezeti hatások, terhelések, megbízhatóság, gyártási mód, típus stb.) megegyezik.]

A környezetállósági minősítés nem rendszerszintű, mert az épületszerkezeteket, szerkezeti elemeket, a rendszerelemeket, szerkezeteket, berendezéseket, komponenseket kell minősíteni elemi szinten kezdve a minősítést. A minősítést ki kell terjeszteni a minősített szerkezeti elemekből, rendszerelemekből, szerkezetekből, alkatrészekből, berendezésekből, komponensekből álló rendszerre, illetve minősített szerkezeti elemekből álló szerkezetekre. Minden esetben meg kell határozni a rendeltetés, illetve a működés építészeti, technológiai (gépészeti, villamosságtani, irányítástechnikai), vagy funkcionális szempontból összetartozó részegységeket, határokat, tehát nem az önálló szerelhetőség a meghatározó.

A környezetállósági minősítés akkor tekinthető érvényesnek, ha folyamatosan igazolva és biztosítva van a minősítés során figyelembe vett üzemi és üzemzavari környezeti paraméterek és egyéb kondíciók hosszú távú fenntartása, és így a minősített állapot fennmaradása.

Megszűnik a környezetállósági minősítés érvényessége, ha:

- a) a minősítés érvényességi ideje lejár,
- b) a minősítéskor figyelembe vett környezeti, üzemi, vagy üzemzavari paraméterek kedvezőtlen irányban változtak és következményei érdemben megrövidítik a minősített élettartamot az eredetihez képest, valamint várhatóan nem lesznek képesek a biztonsági funkciójukat betöltésére a tervezési üzemzavarok, balesetek által létrehozott környezeti körülmények között is.

Korlátozott időtartamra, illetve az OAH engedélyével az új minősítés elkészültéig érvényes a környezetállósági minősítés, ha az ellenőrzések, funkcionális tesztek, illetve a karbantartás eredményei alapján olyan új szignifikáns öregítő hatást azonosítanak, amely következményei várhatóan nem rövidíti érdemben a minősített élettartamot az eredetihez képest. Ebben az esetben új környezetállósági minősítési eljárást kell lefolytatni, illetve meg kell határozni a maradék élettartamot.

*3a.3.2.0500. „A leszerelés megkezdéséig és a leszerelés során funkciót ellátó rendszerek, rendszerelemek tervezett élettartamában figyelembe kell venni a leszereléshez szükséges időtartamot is.”*

A tervezett élettartam idejébe be kell számítani a leszerelés mellett a tervezett üzemidő-hosszabbítás időtartamát is.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

Ez azt is jelenti, hogy legkésőbb a tervezett üzemidő-hosszabbítás engedélyeztetési eljárásának megkezdése előtt meg kell állapítani az adott RRE tényleges maradék élettartamát.

### 3.4.2. *Az öregedéskezelés alapját is képező tervezett/minősített élettartam meghatározási és környezetállósági minősítési eljárás lényege*

- a) A tervező (az osztályba soroláskor) számba vesz minden biztonsági szempontból fontos RRE-t.
- b) Meghatározza minden RRE-re, hogy milyen üzemállapotokban, s milyen körülmények között kell teljesítenie biztonsági funkcióját.
- c) Tekintettel arra, hogy az RRE-knek a saját tervezett üzemidejük legvégén is teljesíteni kell a funkciójukat, ezért az élettartam meghatározáshoz, a környezetállósági minősítéshez meghatározzák azokat a folyamatokat, amelyek állapotuk romlását, öregedését előidéznek, előidézhetik, és ezt az élettartam meghatározáshoz, a környezetállósági minősítésnél és az öregedéskezelésnél figyelembe veszik.
- d) Az élettartam meghatározásához, az öregedéskezeléshez, a környezetállósági minősítéshez szükséges adatokat a tervezési alapadatokból, determinisztikus biztonsági elemzésekből, számításokból, vizsgálatokból és kísérletekből kell, illetve lehet meghatározni.
- e) Elvégzik a minősítést.
- f) A tervben meghatározzák a minősített állapot fenntartásának módját, feltételeit. (3a.3.2.3500. alapján.)

Biztosítják, hogy a tervezés során meghatározott öregedéskezelési rendszer összhangban legyen a rendszerelemek minősítésével és a minősített állapot fenntartását szolgáló programokkal is.

A környezeti minősítés részletes tervezési alapelveit és a vonatkozó részletes ajánlásokat az N3a.15. „*A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerelemek környezetállósági minősítésének módszere és folyamata az új atomerőművek tervezése során*” című útmutató tartalmazza.

### 3.4.3. *Környezetállósági osztályba, kategóriába sorolás*

Az öregedéskezelés megtervezéséhez, a környezetállósági minősítéshez, a minősített élettartam/maradék élettartam megállapításához segít a környezetállósági osztályba, kategóriákba, csoportokba sorolás. Ennek alapjai:

- a) Elsődleges alapja az, hogy az adott rendszerelemnek, szerkezeti elemnek mi a rendeltetése, mi a tervezett funkciója.
- b) Másodlagos alapja az, hogy egy adott rendszert, rendszerelmet, szerkezetet, szerkezeti elemet milyen biológiai, fizikai, kémiai, mechanikai terhek érhetik figyelembe véve más rendszer, rendszerelem, szerkezet, szerkezeti elem, berendezés, komponens meghibásodásából, a kiszolgáló rendszerek teljesítménycsökkenéséből eredő hatásokat is.

A besorolási alap/kategória meghatározza – az elvégzendő vizsgálatok, számítások, elemzések, alapján – a környezetállósági minősítés érvényességének időtartamára, az élettartamra, illetve a megbízhatóságra, az üzemképességre vonatkozó követelményeket, a megfelelőségi kritériumokat.

### **3.5. A lehetséges öregedést okozó körülmények azonosítása**

Függetlenül attól, hogy aktív-e, vagy passzív-e az RRE-ket rendeltetésük, biztonsági és fizikai gát funkciójuk, nukleáris biztonsági és szilárdsági osztályba sorolásuk függvényében különböző, feltételezett események, üzemeltetési hatások elviselésére méretezik.

Az RRE-k tervezett beépítési helye és funkciója alapján meghatározzák azt a külső és belső környezetet, terheléseket, terhelésváltozási ciklusok, illetve a környezet azon paramétereit, valamint azokat a külső és belső veszélyeztető tényezőket is, amelyek környezetüket valamilyen időtartamig megváltoztatják, azaz hatással vannak, vagy hatással lehetnek működőképességükre, élettartamukra, romlási, elhasználódási, öregedési folyamataikra.

Olyan, ritkán előforduló terheléseket, melyek fellépése esetén az erőmű visszaindítása csak részletes egyedi elemzéseket követően engedélyezhető (csőtörés, földrengés stb.), az öregedés tervezői elemzése során nem szükséges figyelembe venni (majd az üzemeltetés során azonban a ténylegesen bekövetkezett eseményeknek a rendszerelemek öregedésére gyakorolt hatását elemezni kell).

A méretezésnél minden igénybevételi paramétert figyelembe vesznek és meghatározzák azokat az üzemviteli korlátozásokat, melyeket be kell tartani az üzemidő előre haladása során. A méretezést minden releváns üzemi helyzetben jelentkező terhelési esetekre elvégzik az igénybevételektől függően. A terhelési eseteket az alapul választott szabványoknak vagy szabályzatoknak megfelelően választják meg, illetve veszik figyelembe.



A feltételezett események függvényében a környezeti paramétereket - az öregedési folyamatokra kifejtett hatásuktól függően - átlagos, maximális, minimális vagy változási értékükkel vagy változási tartományukkal jellemzik. A változási tartománnyal megadott igénybevételre - ha a várható eloszlásra nincs jobb becslés - egyenletes eloszlást feltételeznek. A környezeti paraméterek eredő hatását a technikai vagy más elfogadható eszközökkel ki nem zárt leg pesszimistább együttes fellépésükkel veszik figyelembe.

A feltételezett események a különböző üzemállapotok, azaz normál üzemi, a tervezési alapba tartozó, vagy azt meghaladó üzemi események, tervezési üzemzavarok (TA1-4), valamint a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó komplex üzemzavari (TAK1), vagy súlyos baleseti (TAK2) üzemállapotok.

### 3.5.1. *Igénybevételek*

Az RRE-k használatuk, működésük, üzemelésük során ki vannak téve mechanikai értelemben vett külső/belső terheléseknek is, valamint az őket körülvevő változó környezeti igénybevételnek is. Anyagukat időben állandó, vagy változó, az egész térfogatra és/vagy a felületre kiterjedő igénybevétel terheli.

Az igénybevételeket csoportba sorolják attól függően, hogy az anyag teljes térfogatára kiterjednek-e, vagy csak a felületre korlátozódnak.

Az, hogy egy, vagy több - egymással is kölcsönhatásban lévő - öregedési, romlási folyamat mely RRE esetén, milyen romlási folyamat, milyen okból, milyen feltételek megléte esetén alakulhat/alakul ki, egyúttal meghatározza az alábbiakat is:

- a) a kialakulás helyét,
- b) a kialakulás következményét,
- c) a kialakuláshoz szükséges kedvező feltételeket,
- d) a megelőzés, a folyamat lassításának és a védekezés módját, eszközeit,
- e) az észlelés lehetséges módját, eszközeit,
- f) a lehetséges vizsgálati, ellenőrzési módszereket.

#### Az igénybevétel időbeli lefolyásának jellemző fajtái

Az igénybevétel időbeli lefolyásának jellemző fajtái - melyek külön-külön, vagy bármely kombinációjukban okozhatják az anyag károsodását - lehetnek az alábbi igénybevételek:

- a) statikus

- b) dinamikus
- c) statikus igénybevételhez társult változó
- d) mérséklődő
- e) szabályosan ismétlődő
- f) változó

#### Térfogatra ható igénybevételek

A térfogatra ható igénybevételek – irányuk szerint lehetnek egy, vagy többtengelyűek, illetve összetettek – az alábbiak:

- a) húzó
- b) nyomó
- c) hajlító
- d) nyíró
- e) csavaró

#### Felületre ható igénybevételek

A felületre ható igénybevételek lehetnek:

- a) termikus
- b) vegyi
- c) elektrokémiai
- d) áramló közeg okozta
- e) koptató
- f) sugárzás okozta
- g) biológiai

#### Anyagok károsodási fajtái

Az anyagok károsodási fajtái lehetnek:

- 1 Törés, repedés, kúszás (túlterhelés, ismétlődő igénybevétel, kúszás okozta képlékeny, rideg, fáradásos típusú törések)
- 2 Termikus öregedés, sugárkárosodás (pl.: termikus ridegesedés, öregedés, sugárzás okozta ridegség, deformáció), azaz leromlás, ami az anyagban igen lassan végbemenő kémiai és/vagy fizikai folyamatok következménye. A leromlás az egyes anyagcsoportokban eltérő mechanizmussal, más-más tulajdonság megváltozását jelenti.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- 3 Kopás (felületi kifáradásos, illesztési (fretting), abrazív, kemiszorbcíós, adhéziós kopás, karbantartási, szerelési kopás). A kopás mértékére a kapcsolatban álló felületek minőségén, az anyagok tulajdonságain kívül hatással van a mozgás jellege, kinematikája keltette igénybevétel, ami lehet:
- a) csúszás
  - b) gördülés
  - c) ütközés
  - d) lengés
  - e) abrázio
  - f) erózió
  - g) kavitáció
- 4 Lazulás: elsősorban csavaros kötések, tömítések, tömszelencék, alátétek öregedésének a kísérőjelensége.
- 5 Korrózió, ami tulajdonképpen valamely anyag és a környezete között fellépő olyan kémiai reakció, amely az anyag valamely jellemzőjét érzékelhető mértékben befolyásolja. Az anyagok és környezetük között végbemenő korróziós reakciók fázishatár reakciók, vagyis az anyag felülete és a vele érintkező gáz- vagy folyadék halmazállapotú korróziós közeg között zajlik le. A vegyi hatás igen gyakran szobahőmérséklettől eltérő hőmérsékleten éri az anyagot, aminek károsítását még mechanikai igénybevétel is fokozza. A korróziós jelenségek jellemző megjelenési formái:
- a) általános korrózió
  - b) lokális korrózió
    - i) elektrokémiai korrózió
    - ii) réskorrózió
    - iii) lyukkorrózió vagy pittingesedés
  - c) szelektív korrózió (például a transzkrisztallin korrózió, vagy kristályközi korrózió)
  - d) feszültségkorrózió
    - i) sugárzás okozta stressz korrózió
    - ii) külső klorid stressz korrózió

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- e) primer vízhiány okozta korrózió
  - f) bórsavkorrózió
  - g) korróziós kifáradás
  - h) eróziós korrózió
  - i) kavitációs korrózió
  - j) mikrobiológiai korrózió
  - k) kontaktkorrózió
  - l) galvanikus korrózió
  - m) kóboráram korrózió
  - n) hidrogénridegedés
  - o) atmoszférikus korrózió
  - p) kilúgozási korrózió
  - q) szulfát okozta korrózió
  - r) szerves vegyületek (észter típusú vegyületek, ásványi olajok) által okozott korrózió
- 6 Vízütés
- 7 Hőütés
- 8 Denting (Benyomódás)
- 9 Villamos természetű öregedés: a részleges kisülések, villamos és elektrokémiai treeing, a szennyezések, sérülések és üregek hatására bekövetkező folyamat. Feszültség hatására csökken a szigetelés átütési szilárdsága. A termikus öregedés és a részleges kisülések kombinációja hatására csökken az elektromos erő.
- 10 Elektromos erózió (érintkezők, csapágyak az állandó kisülés miatti áramimpulzusok károsítják a felületet)
- 11 Whiskers: Cink, ón, ezüst tartalmú vékony bevonaton kristályok kialakulása okozta rövidzárlat
- 12 Beton (betonacél) korróziója a bediffundált kloridionok miatt
- 13 Ettringit képződés (térfogat növekedést okozó kristályosodás, kémiai reakció)
- 14 Alkáli-adalék reakció
- 15 Zsugorodás, duzzadás

16 Karbonátosodás

17 Stb.: A felsorolás nem tekinthető teljes körűnek.

### 3.5.2. A rendszerek üzemi paramétereit

Az üzemi technológiai rendszerek üzemi paramétereit a 100% teljesítményhez tartozó termohidraulikai számítások eredményei alapján határozzák meg.

Figyelembe veszik az üzemi közeg:

- a) fajtáját;
- b) nyomását;
- c) hőmérsékletét;
- d) térfogatáramát;
- e) sebességét.

Meghatározzák a rendszerelemek mechanikai terheléseit.

A rendszerparaméterek alapján meghatározzák a berendezések egyes jellemző pontjain uralkodó paramétereket, különös tekintettel az alábbi helyeken fellépő változásokra:

- a) szivattyúk;
- b) hőcserélő felületek;
- c) elzáró szerelvények;
- d) fojtótárcsák;
- e) visszacsapó szelepek;
- f) szabályozó szelepek;
- g) biztonsági szerelvények;
- h) csőelágazások és -szűkítők.

A részlegesen üzemelő részrendszereknél a várható üzemidőt és állásidőt, valamint a hozzájuk tartozó paramétereket megadják.

A biztonsági rendszereknél a normál üzemelés során fennálló készenléti paramétereket normál üzemi paraméterekként határozzák meg.

A ténylegesen várható normál üzemi paraméterek mellett meghatározzák a berendezések szilárdsági és egyéb elemzéseikhez használt méretezési paraméterek értékeit is. Méretezési paraméterként az üzemi közegnek a

normál üzem során legnagyobb igénybevételt kiváltó paramétereit veszik figyelembe. Az ettől eltérő értékeket indokolni szükséges.

Az öregedési folyamatok elemzése során a méretezési paramétereket használják.

### 3.5.3. Üzem mód-változások, igénybevételi ciklusok

A blokkteljesítmény változással járó terhelésváltozási ciklusok hatását elemzik, kivéve, ha igazolható, hogy a terhelésváltozások által okozott feszültségváltozások amplitúdója kisebb a ciklusra megengedett feszültség-amplitúdónál.

Elemzik a redundáns részrendszerek leállításakor és indításakor fellépő terhelésváltozások hatását is.

Meghatározzák a kifáradásra érzékeny berendezések és rendszerelemek tervezett élettartama során megengedett és feltételezett igénybevételi ciklusainak számát, azok konzervatívan feltételezett paramétereit és halmozódó károsodási együtthatóját (CUF). A CUF tervezett értéke az elemzésre kiválasztott szabvány által megkövetelt biztonsági együtthatók figyelembevételével max. 1,0 lehet.

A kifáradás elemzése során a normál üzemtől eltérő üzemmódok által okozott igénybevételek hatását is figyelembe veszik az elemzésre kiválasztott szabványnak megfelelően.

Az ABOS 1-2. osztályú, kifáradásra érzékeny berendezések tervezett igénybevételi ciklusainak számát és a fáradásra történő ellenőrzése során figyelembe vett igénybevételi paramétereket a biztonsági jelentésben is feltüntetik.

### 3.5.4. A normál üzemtől eltérő üzemmódok

Az időszakos túlterheléses próbák terhelései által okozott igénybevételeket a normál üzemtől eltérő üzemmódok között veszik számításba.

A biztonsági rendszerek időszakos próbákra történő indítása, leállítása és a próbaparamétereken történő járatás miatti terheléseket szintén a normál üzemtől eltérő üzemmódok között veszik számításba.

A biztonsági rendszerek éles indulását (beleértve a téves indításokat is) konzervatívan feltételezett üzemzavari paraméterekkel veszik figyelembe.

Normál üzemtől eltérőként elemzik az olyan rendszerelem-meghibásodások által okozott kiegészítő terheléseket, melyek fellépése

esetén a további üzemelés meghatározott ideig engedélyezhető (pl. szerelvények áteresztése, tömítések ellenőrzött szivárgása).

Olyan, ritkán előforduló terheléseket, melyek fellépése esetén az erőmű visszaindítása csak részletes egyedi elemzéseket követően engedélyezhető (pl. LOCA, földrengés), az öregedés tervezői elemzése során nem szükséges figyelembe venni.

### 3.5.5. *Vízüzemi normák, korróziós igénybevételek*

Az üzemi közegek kémiai összetételére és megengedett szennyeződéseire vonatkozó normákat elsősorban a hosszú távú, megbízható hőátvitellel és – primerköri hőhordozó esetében - a reaktorfizikai folyamatokkal kapcsolatos elvárásoknak megfelelően határozzák meg.

Az üzemi közegek jellemzőinek megengedett és megkövetelt értékeit a biztonsági jelentésben (EBJ, VBJ) rögzítik.

Az üzemi közegeknek a velük érintkező szerkezeti elemekre gyakorolt hatását elemzik. Ennek során figyelembe veszik:

- a) az üzemi közeg és a szerkezeti elem érintkezési idejét;
- f) az üzemi közeg összetételének megengedett változásait;
- g) az üzemi közeg paramétereinek lokális változásait;
- h) az üzemi közeg paramétereinek üzemmód-függő változásait, valamint
- i) egyes szerkezeti elemek meghibásodásai esetén fellépő olyan paraméter-változásokat, melyek a szerkezeti elemek öregedési folyamatainak lényeges gyorsítását okozhatják.

A korróziós igénybevételek elemzését olyan mértékig végzik el, hogy az input adatot szolgáltasson:

- a) a szerkezeti elemek falelvékonyodását figyelembe vevő szilárdsági elemzések végrehajtásához;
- b) az üzemi közegben megjelenő korróziós termékek által okozott öregedési folyamatok elemzéséhez.

Megfelelő vizsgálati és monitorozási lehetőségek betervezése esetén megengedhető a falelvékonyodás feltételezett időfüggésének, illetve a hőhordozó előírt minőségi normái betartásának figyelembe vétele.

A vízüzemi normák betartásának ellenőrzési módszerét, gyakoriságát úgy állapítják meg, hogy azok összhangban legyenek a korróziós folyamatok idő-, hely- és üzemmód-függésére vonatkozó elemzések eredményeivel.

### 3.5.6. Környezeti körülmények és feltételek

A berendezések és rendszerelemek öregedéskezelésének tervezéséhez meghatározzák minden berendezés felszerelési helyét és az adott helyen uralkodó környezeti viszonyokat, ezen belül különösen az alábbiakat:

- a) a környezeti hőmérséklet;
  - b) a relatív nedvességtartalom;
  - c) a nyomás;
  - d) a kémiai behatások;
  - e) a sugárzás;
  - f) a vibráció;
  - g) a por és mechanikai szennyeződések
- feltételezhető és figyelembe veendő mértékét.

A környezeti paramétereket legalább az alábbi viszonyokra határozzák meg:

- a) normál üzem;
- b) várható üzemi események;
- c) tervezési üzemzavarok.

Meghatározzák az egyes környezeti feltételek fennállásának várható időtartamát.

Elemzik az egyes vizsgált berendezések normál üzemi környezeti feltételeit biztosító segédrendszerek meghibásodásának vagy a teljesítmény csökkenésének következményeit.

A környezeti hőmérséklet megállapításakor figyelembe veszik a berendezés saját hőtermelését, valamint a környezetébe telepített más berendezések hőtermelését is. Ilyen esetekben az okozott hőterhelés jellegzetes térbeli eloszlásának és időbeli váltakozásának hatásait is figyelembe veszik.

A primer kör nyomástartó berendezéseire és csővezetékeinek azon részeire, amelyek nagy neutronsugárzásnak vannak kitéve, felügyeleti programot dolgoznak ki, ami lehetővé teszi a neutronbesugárzás mértékének meghatározását, ellenőrzését a teljes üzemidő során.



Az öregedés szempontjából jelentős sugárterhelésnek kitett berendezések esetén a várható sugárterhelést sugárzási fajtánként és energiatartományonként határozzák meg.

A környezeti paramétereket - az öregedési folyamatokra kifejtett hatásuktól függően - átlagos, maximális, minimális vagy változási értékükkel vagy változási tartományukkal jellemzik. A változási tartománnyal megadott igénybevételre – ha a várható eloszlásra nincs jobb becslés – egyenletes eloszlást feltételeznek.

A környezeti paraméterek eredő hatását a technikai vagy más elfogadható eszközökkel ki nem zárt legpezzsimistább együttes fellépésükkel veszik figyelembe.

### **3.6. Rendszerelemek konstrukciós kialakítása**

#### *3.6.1. Feszültségkoncentrációs helyek*

A berendezések konstrukciójának kialakítása során a feszültségkoncentrációt okozó megoldásokat általánosságban kerülük.

Ahol ilyen csomópontok kialakítása elkerülhetetlen, ott az alapul választott tervezési szabványban előírt feszültségkoncentrációt csökkentő korlátozásokat (minimális lekerekítési sugarak, maximális falvastagságkülönbségek, hegesztési varratok kialakítása és elhelyezése stb.) betartják.

Elemzik a tervezési szabványban szereplő számítási módszerek alkalmazhatóságát a kialakított konstrukció megfelelőségének igazolására. Ha a konstrukció nem tartozik bele a számítási módszer érvényességi tartományába, úgy annak megfelelőségét és a tervezett élettartama során várható megbízható működését egyéb módon (egyedi elemzéssel, laboratóriumi kísérletekkel, minősítő vizsgálattal stb.) igazolják.

A feszültség-koncentrációs helyeken végrehajtandó időszakos vizsgálatok és próbák programjának kidolgozásakor igazolják, hogy a vizsgálatok alkalmasak a feszültség-koncentrációs helyeken várhatóan fellépő meghibásodások időben történő felfedezésére. Ennek során figyelembe veszik a geometriai diszkontinuitásoknak a vizsgálhatóságot korlátozó hatását is.

A feszültségkoncentráció hatásának elemzése legalább az alábbi helyekre terjed ki:

- a) bűvónyílások, főosztósíkok karimás kötése;
- b) nagynyomású edények csonkjai, bűvónyílásai;

- c) hengeres köpenyek és fenekek, fedelek összekötő varratai;
- d) gőzfejlesztők primer körü kollektorai;
- e) szivattyúk háza, tengelye, járó- és vezetőkerekei, csonkjai;
- f) dízelgenerátorok tengelyei, motorblokkjai, dugattyúi, hengerhüvelyei;
- g) szerelvényházak, csonkok, osztósíkok elemei;
- h) szerelvényorsók, zárószervezetek;
- i) csővezetékek karimás kötése, elágazásai, szerelvényekhez, csőátvezetésekhez csat-lakozó varratai.

Nem ajánlatos olyan helyeken varratokat alkalmazni, ahol a feszültség koncentrálódik.

### 3.6.2. *Korróziós zónák*

A berendezéseket és az összes acél tartószerkezetet biztonságos módon meg kell védeni a korróziótól.

A konstrukció kialakítása során az üzemi közeg tulajdonságai és paraméterei figyelembe vételével elemzik, hogy a berendezések elemein milyen korróziós zónák jöhetnek létre.

Az elemzés során figyelembe veszik:

- a) a 100% teljesítményhez tartozó;
- b) a részterheléses üzemhez tartozó;
- c) a karbantartási és javítási időszakhoz tartozó, valamint
- d) a teszt- és próbaállapotokhoz tartozó

különböző korróziós feltételeket, illetve azok fennállásának várható időtartamát.

Különös figyelmet fordítanak a feszültségkorrózió feltételeinek elkerülésére, vagy ahol ez nem lehetséges, hatásainak kellő mértékű nyomon követhetőségére.

Elemzik az üzemi közeg összetételének valószínűsíthető megváltozásai, illetve a javítás, karbantartás és üzemelés során bekerülő szennyeződések miatt bekövetkező hatásokat.

Az üzemi közeg kémiai jellemzőinek az azonosított korróziós zónákban való folyamatos vagy időszakos ellenőrzését a tervezés során különös gonddal kezelik úgy, hogy a korróziós igénybevétel szempontjából jelentős paraméterek és jellemzők reprezentatív módon ellenőrizhetők legyenek.

Az azonosított korróziós zónákban a szilárdsági és kifáradási ellenőrzést az élettartam végén várható vagy a megfelelőségi kritériumban meghatározott falvastagság és felületi állapot figyelembevételével végzik.

Korróziós zónaként legalább az alábbiakat azonosítják:

- a) nagynyomású edények hőpajzzsal védett csőcsonkjai;
- b) normál üzemben vízáramlás nélküli, illetve alacsony áramlási sebességgel jellemezhető környezetek;
- c) osztósíkok és karimák csavarfészkei és a csavaros kötések elemei;
- d) osztósíkok tömítései és a szivárgás-ellenőrző rendszer elemei;
- e) pangó vízterekkel érintkező elemek (pl. gőzfejlesztő primer körű csőcsonk környezete);
- f) tömszelencék és szervezett szivárgással érintkező elmozduló elemek;
- g) nem integrális kötéssel egymáshoz rögzített elemek (pl. szivattyútengely és a forgórész egyéb elemei);
- h) üzemi közeggel érintkező, ötvözetlen szénacél, illetve gyengén ötvözött acél elemek.

### 3.6.3. *Egyéb öregedési folyamatok fejlődésének feltételei*

Megvizsgálják, hogy az öregedéselemzés során azonosított egyéb öregedési folyamatok hatásai a konstrukció módosításával megszüntethetőek vagy csökkenthetőek-e.

Ennek során figyelembe veszik az egymásra szuperponálódó folyamatok együttes hatásait.

### 3.6.4. *Vizsgálhatósági feltételek*

Az egyes berendezések lehetséges öregedési folyamatainak elemzése alapján meghatározzák azokat a romlási tüneteket (öregedési hatásokat), melyek időben történő felfedezésével és megszüntetésével a berendezés meghibásodása, állapotának vagy megbízhatóságának megengedhetetlen mértékű romlása, illetve más romlási folyamatok megengedhetetlen felgyorsulása elkerülhető.

Az azonosított romlási tünetek vagy működési jellemzők alapján meghatározzák a megfelelő előrejelzést biztosító

- a) első és időszakos anyagvizsgálatok;
- b) üzembe helyezési és időszakos teljesítményvizsgálatok, próbák;

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

c) állapotfelügyeleti tevékenységek, továbbá

d) üzemelés utáni roncsolásos vizsgálatok

módszereit, terjedelmét, ciklusidejét és értékelési kritériumait.

Az üzemmódok, a vizsgálati körülmények megfelelő kialakítása mellett a konstrukció alkalmas kialakításával biztosítják a szükségesnek mutatkozó vizsgálatok elvégezhetőségét.

A konstrukció kialakításánál figyelembe veszik, hogy az időszakos vizsgálatok feltételeinek tervezése során minden esetben biztosítandó az egymást követő vizsgálatok során talált állapotok összevethetősége legalább az öregedési folyamatok szempontjából fontos indikációk terjedelmében.

A nyomástartó berendezések szerkezeti kialakításánál biztosítani kell az alapfém és a hegesztési kötések szemrevételezésének és roncsolásmentes vizsgálatokkal történő ellenőrzésének, valamint a tisztítási és javítási munkák elvégzésének lehetőségét.

Ha a berendezés elhelyezési körülményei vagy a sugárzási viszonyok miatt a fém állapotának vizsgálata nem történhet meg szokványos eszközökkel, akkor olyan különleges készülékeket, szerkezeteket kell betervezni, amelyek lehetővé teszik az előírt ellenőrzések végrehajtását.

A karbantartás és anyagvizsgálatok céljából nem hozzáférhető rendszerelemek öregedéskezelésének megvalósíthatóságára a tervezés során különös figyelmet kell fordítani.

Azokon a helyeken, ahol üzemeltetés közben időszakos roncsolásmentes vizsgálatot irányoznak elő, leszerelhető hőszigetelést kell alkalmazni.

A primerköri főkeringtető csővezetékek hőszigetelésének teljes hosszúságban szerelhetőnek kell lennie.

A 800 mm-nél nagyobb belső átmérőjű edények köpenyén az ellenőrzés és javítás számára kellő számú bűvónyílás legyen a kezelés számára elérhető helyeken.

Azok az edények, amelyeknek belső átmérője 800 mm vagy kevesebb, elérhető vizsgálónyílással legyenek ellátva.

Hengeres falú és belső csőkötegeket tartalmazó edények (hőcserélők) bűvónyílások nélkül tervezhetők és gyárthatók méretüktől függetlenül.

### 3.6.5. Monitorozási lehetőségek

A konstrukció kialakításánál figyelembe veszik a monitorozás kialakíthatóságának feltételeit. Megvizsgálják, hogy az öregedéselemzés során azonosított öregedési folyamatok hatásainak monitorozására előirányzott módszerek alkalmasságát a kialakítandó konstrukció támogatja-e.

Ahol lehetséges és szükséges valós idejű monitorozást alkalmaznak, különösen ott, ahol az öregedési-folyamat azonnali detektálása jelentős biztonsági kockázattól óv meg.

### 3.6.6. Karbantarthatóság, javíthatóság

A tervezés során a várható öregedési folyamatok figyelembe vételével meghatározzák a berendezések karbantartásának ciklusidejét és terjedelmét.

A konstrukciót úgy alakítják ki, hogy a berendezés beépítési helyén biztosíthatók legyenek a karbantartási feltételek (hozzáférés, sugárzási viszonyok stb.).

A konstrukció kialakításánál a lehetséges mértékig figyelembe veszik a javíthatósági szempontokat is.

Amennyiben a rendszerelem várható élettartama rövidebb a blokk tervezett üzemidejénél, akkor a konstrukció kialakításakor figyelembe veszik a a cserélhetőséget, felújíthatóságot is.

## 3.7. Alkalmazott anyagok

*3a.3.2.1500. „A tervezés során a szerkezeti anyagok kiválasztásakor, az anyag- vagy termékszabványok valamint az atomreaktorok gyártási és üzemeltetési tapasztalatai alapján az osztályba sorolásuknak megfelelően, differenciált módon meg kell határozni az ellenőrzéseket, anyagvizsgálatokat és a dokumentálás követelményeit.”*

*3a.3.2.4800. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor vizsgálni kell a várható öregedési folyamatokat és azok hatásait. Igazolni kell – a „0” állapot és az öregedési folyamatok lehetséges bizonytalanságainak figyelembevételével -, hogy az alkalmazott szerkezeti anyagok öregedési folyamatai a tervezett élettartam során nem gátolják a rendszereket, rendszerelemeket biztonsági funkcióik teljesítésében.”*

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

3a.3.3.0600. „A nyomástartó berendezés és csővezeték tervezésekor figyelembe kell venni az anyagok fizikai, mechanikai tulajdonságainak neutronfluxus hatására történő megváltozását.”

3a.3.2.5200. „A primer kör nyomástartó berendezéseinek és csővezetékeinek azon részeire, amelyek nagy neutronsugárzásnak vagy más öregedési folyamatnak vannak kitéve, az alkalmazott anyagokban végbemenő öregedési folyamatok ellenőrzése érdekében felügyeleti programot kell kidolgozni és végrehajtani.”

3a.3.2.0600. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor olyan szerkezeti anyagokat kell alkalmazni, amelyek:

- a) kipróbáltak, környezetállósági szempontból minősítettek, megfelelnek a tervezési és környezeti feltételeknek,
- b) minőségi osztályuk, jellemzőik igazoltan a tervezésnél alkalmazott szabvány vagy tervezői specifikáció által megadott határértéken belüliek,
- c) neutronsugárzásnak kitett rendszerek, rendszerelemek esetében
  - ca) a felaktiválódásra a lehető legkevésbé hajlamosak, szerkezetük pedig olyan, hogy felaktiválódás esetén a felaktiválódott részek helyben maradnak,
  - cb) a sugárzás hatására sem romlik a feszültségkorrózió-állóság,
- d) a neutronsugárzásnak kitett ABOS 1. biztonsági osztályba sorolt rendszerelemek esetén anyagtulajdonságainak változása a lehető legkisebb és ellenőrizhető a teljes élettartam alatt,
- e) degradációs folyamataik az adott körülmények között és közegben ismertek, a degradáció a tervezett élettartamon belül a funkciót nem korlátozza,
- f) olyan felületi kiképzést tesznek lehetővé, amelyek az üzemeltetés és a leszerelés során a lehető legnagyobb mértékben dekontaminálhatók, továbbá
- g) tűzállóak, vagy a tűzveszélyességük kellően korlátozható.”

3a.3.2.1100. „Nem fémes szerkezeti anyagok esetén különösen fontos a blokk egész üzemideje során várható valamennyi környezeti feltételnek való megfelelés értékelése.”

3a.3.2.1900. „A tervezés során az alkalmazott anyagok kiválasztásakor figyelembe kell venni az atomerőmű tervezett leszerelésének alábbi szempontjait is:

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- a) *a leszerelési stratégiában meghatározott hosszú idejű tárolhatóság az atomerőműben,*
- b) *ellenálló-képesség az atomerőműben alkalmazott vegyi anyagokkal szemben,*
- c) *kopásállóság, ami lehetővé teszi a megfelelő dekontaminálást az élettartam végén is, továbbá*
- d) *az üzemelés során felaktiválódó anyagok esetén - a leszerelés tervezett ütemezésével összhangban - a lehető legrövidebb felezési idő."*

**3.7.1. Szilárdsági és korróziós jellemzők**

*3a.3.2.1300. „A tervezés során az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével bizonyítani kell, hogy*

- a) *a szerkezeti anyagok szilárdsági tulajdonságai az öregedés hatása ellenére megfelelnek a TA1-4 és TAK1-2 üzemállapotokra számított maximális terheléseknek az üzemállapotra előírt biztonsági tartalékok figyelembevételével, amennyiben az adott üzemállapotban az érintett rendszerelem biztonsági funkciót lát el; és*
- b) *a kritikus szerkezetekben a törésmechanika követelmények is teljesülnek."*

Az anyagok kiválasztásakor lehetőség szerint preferálják a továbbfejlesztett, az öregedési hatásoknak jobban ellenálló anyagok alkalmazását.

Az öregedési folyamatok elemzése során a kiválasztott anyag időben változó mechanikai tulajdonságainak, a feltételezett TA1-4 és TAK1-2 üzemállapotokra számított maximális terheléseknek, illetve a feszültségeknek, valamint az anyagokban feltételezett, megengedhető hibáknak az egymásra hatását elemzik.

A tervezés során meghatározzák:

- a) az anyagtulajdonságok várható romlását az üzemelés során;
- b) a feltételezett hibák várható növekedését;
- c) a TA1-4 üzemállapotokra számított üzemi terhelések változását

annak érdekében, hogy a berendezés biztonságos és megbízható üzemeltetésének feltételei a tervezett élettartam során biztosíthatók legyenek.

Az elemzést az RRE üzemelése, karbantartása és készenléti állapota során várhatóan fellépő környezeti feltételek és más, öregedést okozó körülmények figyelembevételével, az öregedési folyamatok egymásra hatásának feltételezésével végzik.

Az anyagok korróziós jellemzőit az üzemi közeg kiválasztott összetételének, illetve az előírányzott üzemmódok paramétereinek figyelembevételével, szakirodalmi adatok, mértékadó felhasználási tapasztalatok vagy egyedi kísérletek alapján határozzák meg, ennek hiányában megfelelő időszakos ellenőrzési programot irányoznak elő.

### 3.7.2. Az anyagjellemzők stabilitása

A berendezések acélszerkezetének kiválasztásakor különös gondot fordítanak:

- a) a termikus öregedés;
- b) a besugárzás;
- c) a ciklikus és dinamikus terhelés, valamint
- d) az agresszív környezet

hatására bekövetkező anyagtulajdonság-változás feltételeit. De emellett az anyagkiválasztásakor tekintettel vannak a beépítés környezetében várható valamennyi öregedési folyamatra is.

A magas hőmérsékleten (250 °C feletti tartományban) tartósan üzemelő acélszerkezetekhez a termikus ridegedésnek ellenálló anyagot választanak.

A besugárzás miatti károsodást, illetve az anyagtulajdonságok megváltozását a reaktortartálynál, különösen az aktív zónával szembeni öv és varrat esetében fontos figyelembe venni, de a fenti jelenségeket és hatásokat a reaktortartályon belüli berendezéseknél is elemzik.

Az anyagjellemzőknek a változó igénybevételek hatására történő megváltozását azoknál a rendszeres elemeknél elemzik, melyek ciklikus és dinamikus igénybevétele viszonylag nagy.

Figyelembe veszik, hogy az agresszív (korrozív, erozív, abrazív stb.) környezet a rendszeres elemek felületi minőségére, súlyosabb esetben geometriai méreteire fejti ki negatív hatását.

A tervezés során tisztázzák a szabályzatban deklarált anyagtulajdonságok érvényességi tartományát.

Nem acélszerkezetek esetében az anyagjellemzők stabilitásának vizsgálata az öregedéskezelés egyik kulcseleme. Tervezés során elsősorban az alábbi rendszeres elemek anyagtulajdonságainak változásának figyelembevétele érdemel említést:

- a) nyomástartó berendezések nikkal és egyéb, nem acélból készült tömítőgyűrűi;



- b) nem nyomástartó elemek;
- c) záró és tömítő alkatrészek;
- d) tömszelencék;
- e) tömítő anyagok;
- f) kenőanyagok;
- g) kábelek;
- h) korrózióvédő bevonatok;
- i) villamos szigetelőanyagok;
- j) dekontaminálhatóságot biztosító bevonatok;
- k) nehézbeton szerkezetek;
- l) hőhatásnak kitett vasbeton szerkezetek.

### 3.7.3. Meghibásodások terjedésével szembeni ellenállás

*3a.3.2.1400. „A tervezés során az anyag kiválasztáskor be kell tartani a katasztrofális meghibásodás elleni kritériumokat. Vizsgálni kell az összes jellemző törési mechanizmust az érintett rendszerelemeknél.”*

*3a.3.3.0500. „Igazolni kell, hogy a B1 és B2 szintek szerinti fizikai gát funkciót teljesítő, ABOS 1. és 2. biztonsági osztályba sorolt rendszerelemek anyaga a terhelésnek megfelelő szívóssággal rendelkezik. Az anyagban - a TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban - új repedések nem keletkezhetnek. Igazolni kell, hogy az anyagban már meglévő repedések az instabil repedésterjedéssel szemben megfelelő ellenállással rendelkeznek, ezáltal biztosított, hogy a betervezett rendszeres vizsgálatok a hibákat időben feltárják.”*

A tervezés során az élettartamot korlátozó romlási folyamatok elemzésével bizonyítják, hogy a kritikus szerkezetekben a törésmechanikai megfelelési követelmények is teljesülnek.

A tervezés során meghatározzák az anyagokban üzembevétele előtt fellelhető hibák terjedésével szembeni ellenállás megbízhatóságát.

Meghatározzák az egyes hibafajták azon kritikus méretét, amely fölött a meghibásodás terjedésének felgyorsulásával kell számolni.

Meghatározzák az öregedésből eredő romlási folyamatok egymást gyorsító hatásának jellegét és mértékét.

Meghatározzák a különböző üzemmódok azon paramétereit, melyek katasztrofális hibakeletkezéshez, illetve a meglévő hibahelyek gyors növekedéséhez vezethetnek.

Kidolgozzák a hibahelyek - fentiekben említett - gyors növekedésének megakadályozását biztosító intézkedéseket.

Fentiek hiányában kidolgozzák a hibahelyek monitorozásának és a szükséges megelőző tevékenységek időben történő megvalósításának módját.

Kiemelt figyelmet fordítanak az alábbi hibaterjedések elkerülésére:

- a) reaktortartály, térfogatkiegyenlítő tartály, és gőzfejlesztő tartály ridegtörése;
- b) stabil és instabil repedésterjedés nyomástartó berendezések és csővezetékek határfelületein;
- c) szivárgást okozó meghibásodások felnyílása;
- d) szivárgó üzemi közeg eróziós hatásai;
- e) helyi korróziós folyamatok (KKK, feszültségkorrózió stb.) felgyorsulása.

#### 3.7.4. *Anyagok technológizálhatósága*

A szerkezeti anyagokat úgy választják ki, hogy a berendezés konstrukciós kialakításához szükséges technológiai műveletek megfelelő minőségben elvégezhetőek legyenek.

A technológizálhatóság ellenőrzése kiterjed a gyártás, szállítás, tárolás, szerelés, üzembe helyezés és üzemeltetés során megkövetelt technológiai műveletek elvégezhetőségére.

Különös gondot fordítanak az időszakos karbantartás feltételeinek (szét- és összeszerelhetőség) biztosítására, illetve az általuk okozott igénybevétel (különösen: karbantartási kopás) elviselésére.

Utóbbi alapelv hangsúlyosan érinti:

- a) a karimás kötések;
- b) a menetes csatlakozásokat és
- c) a szorosan illesztett mechanikai elemeket.

A technológizálhatóság vizsgálata hangsúlyos szerepet kap a cserélhetőség és a javíthatóság feltételeinek biztosításakor. Az ilyen műveletekhez szükséges, kiegészítő technológiai eljárásokat (előmelegítés, utólagos hőkezelés stb.) határoznak meg.

### 3.7.5. *Anyagok összeférhetősége*

*3a.3.2.0700. „A radioaktív közegekkel érintkező rendszerelemeket nagy korrózióállósággal rendelkező szerkezeti anyagokból kell készíteni a korróziótermékek lerakódásainak csökkentése érdekében.”*

*3a.3.2.1000. „Az ausztenites anyagok alkalmazása során el kell kerülni a kristályközi korrózió veszélyét titánnal stabilizált ötvözetek alkalmazása, a szén és titántartalom arányának szabályozása, illetve az alapanyagok kristályközi korrózió próbájának előírásával. Ausztenites hegesztőanyagok esetén a varrat delta-ferrit tartalmát korlátozni kell.”*

*3a.3.2.1800. „A tervezés során a szerkezeti anyagokkal kapcsolatban be kell tartani az alábbi követelményeket:*

- a) hegesztendő ausztenites öntvények esetén a delta-ferrit tartalmat korlátozni és ellenőrizni kell,*
- b) a nehezen vizsgálható ausztenites öntvények alkalmazása esetén elemezni és bizonyítani kell a termikus öregedéssel és feszültségkorrózióval szembeni ellenállást,*
- c) rézötvözetek alkalmazása a tápvíz-, főgőz- és kondenzátum-rendszer üzemi közegeivel érintkező rendszerelemekben nem megengedett,*
- d) gőz- és nagysebességű vízrendszerekben eróziós korróziónak ellenálló anyagokat kell alkalmazni, továbbá*
- e) vízüzemi közeggel érintkező szénacél rendszerelemek esetén az általános korróziós folyamatokra a szilárdsági elemzésekben meghatározott falvastagság tartalékot kell előírányozni.”*

Az egymással érintkező szerkezeti elemek kiválasztásánál elemzik az ötvöző és szennyező anyagok diffúziójából eredő káros hatásokat.

A szerkezeti elemeket úgy választják ki, hogy azok erózió- és korrózióállósága az üzemi közeg agresszivitásával arányos legyen.

Üzemi közeggel érintkező szerkezeti elemek kiválasztásakor ügyelnek az elektrokémiai folyamatok elkerülésére.

Korlátozzák a karbantartáshoz, anyagvizsgálatokhoz, illetve egyéb célra használt segédanyagok esetében a káros korróziós folyamatokat indító szennyezők tartalmát.

A karimás kötésekben használt tömítőanyagokat úgy választják ki, hogy azok ne indíthassanak káros korróziós folyamatokat a karimák elemeiben.

Vizsgálják a szerkezeti elemek hőszigeteléséhez használt anyagoknak és a védendő elemek anyagának összeférhetőségét.

Korrozív, agresszív környezetben üzemelő szerkezeteknél a külső felület és a környezet víz, gőz, sav, lúg stb. szennyeződésének egymásra hatását is vizsgálják.

Radioaktív közeggel üzemelő vagy ilyen szennyeződés veszélyének kitett elemek dekontaminálására olyan receptura használatát irányozzák elő, melynek alkalmazása nem okozza az elemek károsodását.

Az anyagok kiválasztásánál figyelembe veszik, hogy a szorosan illesztett, magas hőmérsékleten üzemelő elemek esetében a hőtágulás mértékének eltérése egyik elemnél sem okozhat meg nem engedett terhelést. Hasonlóképpen biztosítják, hogy a szűk résen át közlekedő, folyadékkal feltöltött (feltöltődött) terekbe bezárt közeg gyors hőmérséklet-emelkedése miatt bekövetkező folyadék-hőtágulás se okozzon szerkezeti túlterhelést.

Hegesztett szerkezetek alap- és hozaganyagainak összeférhetőségét a gyakorlatban igazolt anyagpárosítások alkalmazásával biztosítják.

Egymással nem kellően összeférhető anyagok alkalmazásának szükségessége esetén gondoskodnak a veszélyeztetett elem különleges védelméről (közbenső elem alkalmazása, plattírozás, anódvédelem stb.).

### *3.7.6. Az anyagok felhasználásának tapasztalatai*

Szerkezeti elemek gyártásához általában a tervezési szabályzat által meghatározott anyagfajtákat irányozzák elő az ugyanott hivatkozott szabványok műszaki követelményeinek kielégítésével.

A szerkezeti elemek anyagát annak figyelembevételével választják ki, hogy a tervezett igénybevételek nem haladhatják meg a kiválasztott anyagok biztonságos alkalmazhatóságának határait.

A fentiek nem teljesülése esetén az alkalmazott anyagok alábbi tulajdonságainak megfelelőségét igazolják, a tervezett igénybevételek függvényében:

- a) *szakítószilárdság;*
- b) *folyáshatár;*
- c) *fajlagos nyúlás;*
- d) *fajlagos kontrakció;*
- e) *fajlagos egyenletes elvékonyodás;*

- f) kúszás;
- g) tartamszilárdság;
- h) ciklikus szilárdság;
- i) kritikus ridegtörési hőmérséklet;
- j) a kritikus ridegtörési hőmérséklet változása öregedés, kifáradás és sugárzás hatására;
- k) a képlékenységi tulajdonságok időbeli változása;
- l) az anyag ellenállása általános és helyi korróziófajtákkal szemben;
- m) erózióállóság;
- n) erózió-korrózió állóság;
- o) kopásállóság.

Az anyagjellemzőket a tervezett igénybevételeknek megfelelő terjedelemben, a nyomás, hőmérséklet és egyéb igénybevételi paraméterek biztonsági tartalékkal figyelembe vett változási tartományában határozzák meg.

A tervezés során az anyag kiválasztáskor betartják a katasztrofális meghibásodás elleni követelményeket, figyelembe véve a 6. fejezet szerinti törésmechanikai elemzések eredményeit is.

Az anyagok felhasználási tapasztalataként nem atomerőművi alkalmazások tapasztalata is figyelembe vehető, ha igazolják, hogy a felhasználás során fellépett igénybevételek lefedik a tervezéskor figyelembe vett várható igénybevételi tartományt.

### **3.8. Szilárdsági elemzések**

*3a.3.3.0900. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésénél a mechanikai és az áramlás által keltett rezgéseket, valamint az általuk okozott romlási folyamatokat figyelembe kell venni. A rendszereket, rendszerelemeket úgy kell megtervezni, hogy a rezgések minimálisak legyenek. Az üzembe helyezés során bizonyítani kell, hogy a rezgések szintje nem haladja meg a tervezésnél megengedhetőként figyelembe vett mértéket.”*

*3a.3.3.1400. „A szilárdsági elemzések eredményeinek igazolniuk kell, hogy:*

- a) a vizsgált berendezés, csővezeték élettartama elegendően hosszú, figyelembe véve a teljes tervezett üzemideje során várható terheléseket és öregedési folyamatokat;*

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

b) a szerkezeti anyagok az öregedés és az üzemállapotra előírt kritériumok figyelembevételével megfelelnek a TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban a számított maximális terheléseknek; továbbá

c) a szerkezetben a feszültségintenzitási tényező értéke a képlékeny alakváltozás figyelembevételével sehol sem haladja meg a kialakult hőmérséklethez tartozó törési szívósságot.”

3a.3.3.1700. „A szilárdsági elemzésekben felhasznált adatoknak konzervatív közelítésből kell származniuk, azokat a választott szabvánnyal összhangban kell felvenni. Figyelembe kell venni a szerkezeti anyagok degradációjához vezető hatásokat.”

A rendszerelemek szilárdsági méretezését olyan szabványok vagy szabályzatok alapján végzik, amelyeknek az alkalmazott anyagokkal, a gyártással és a létesítéssel szemben támasztott követelményeit is ki tudják elégíteni.

A méretezést az üzemi, a normál üzemitől eltérő és az üzemzavari helyzetekre is szükséges elvégezni az igénybevételektől függően az alapul választott szabványok vagy szabályzatok szerinti terhelési esetekre.

Az elemek méretezése során felméri az elemek élettartama alatt várható romlási folyamatok miatt bekövetkező változásokat, és az elemek ellenőrző számítását az élettartam végi állapotra is elvégzik.

Vizsgálják az összes jellemző törési mechanizmust az érintett rendszerelemeknél.

Meghatározzák az élettartam végén való biztonságos üzemeltetés érdekében beépítendő tartalékokat.

Amennyiben az elemzés alapjául választott szabványok vagy szabályzatok ezt lehetővé teszik, az elemek biztonsági tényezői az élettartam függvényében állapíthatók meg.

Meghatározzák azokat az üzemviteli korlátozásokat, melyeket az üzemidő előrehaladtával be kell tartani.

A szilárdsági elemzéseket úgy dokumentálják, hogy az lehetővé tegye az élettartam során felmerülő, korábban figyelmen kívül hagyott igénybevételek élettartam-csökkentő hatásának elemzését és a méretezési számítások teljes felülvizsgálatát.

Ilyen felismert igénybevételek lehetnek:

a) csővezetékekben keletkező hőrétegződés;

- b) csővezetéki rendszerekben keletkező vízütések;
- c) szivattyúk megnövekedett vibrációja, kavitációja;
- d) szerelvények áteresztéséből, alkatrészek meghibásodásából eredő helyi mechanikai és hőfeszültségek;
- e) betonszerkezetek nem megengedett hőmérsékleti igénybevételei;
- f) szivattyúk és dízelgenerátorok segédrendszereinek meghibásodása miatti paraméter-eltérések.

### **3.9. Rendszerelemek öregedésének elemzése**

*3a.3.3.0100. „A tervezés során meg kell határozni az üzemi körülményeket és a mechanikai terheléseket, terhelési ciklusokat - beleértve a külső és belső veszélyeztető tényezők által kiváltott hatásokat -, amelyek között az adott nyomástartó berendezés és csővezeték üzemelhet.”*

Az öregedési mechanizmusok kialakulásának feltételeit a kiválasztott szerkezeti anyagok tulajdonságai, az igénybevételi paraméterek, az üzemeltetési körülmények és a konstrukciós sajátosságok figyelembevételével elemzik.

Az elemzés alapján meghatározzák a potenciális degradációs helyeket, az azonosított degradációs helyeken valamennyi felmerülő romlási folyamat jellemzőit elemzik, szükség esetén módosítják a konstrukciót vagy a kiválasztott anyagot.

A tervezés során a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszerelemekre kidolgozzák az öregedéskezelés előírásait. Az előírásokat kiterjesztik:

- a) a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek *öregedési* helyeinek és az azokon várható öregedési folyamatok azonosítására;
- b) az öregedési folyamatok várható előrehaladásának becslésére.

#### **3.9.1. A rendszerelemek lehetséges öregedési folyamatainak azonosítása**

A tervezés során rendszerelemek öregedési folyamatainak fejlődési lehetőségeit az előző pontokban ismertetett tervezési szempontok (a teljes tervezett üzemidejük során várhatóan felmerülő igénybevételek, a kiválasztott konstrukció, az azonosított feszültségkoncentrációs helyek, a korróziós zónák stb.) alapján határozzák meg.

Az öregedési folyamatok felmérésénél teljes körűségre abból a megfontolásból törekednek, hogy az élettartam elemzése során az egymásra szuperponálódó folyamatok együttes hatásai megbízhatóan meghatározhatók legyenek.

Az öregedéselemzés a továbbiakban a karbantartási, az időszakos vizsgálati és az üzemeltetési stratégia kidolgozásához is bemenő adatokat szolgáltat.

Az öregedési folyamatok azonosítása a berendezések tervezésekor kezdődő, a teljes életcikluson áthúzódó tevékenység.

Az öregedési folyamatok kezdeti azonosítását a fent ismertetettek figyelembe vétele mellett az ipari gyakorlat, más atomerőművek üzemeltetési és karbantartási tapasztalatai, valamint az adott öregedési folyamatot kezelő tudományág és műszaki szakterület aktuális eredményei alapján, mérnöki megítéléssel végzik.

A tervezés során elemzik az öregedési folyamatok reálisan várható, illetve a lehetséges legrosszabb következményeit is, különösen a biztonságra gyakorolt hatást illetően.

Az öregedéskezelési intézkedésekre a lehetséges és a várható következmények figyelembevételével tesznek javaslatot.

### 3.9.2. Öregedési folyamatok

Az alábbi alpontok az öregedéselemzés során a különböző öregedési folyamatoknál figyelembe veendő szempontokat ismertetik. Az egyes romlási folyamatok rövid ismertetését a melléklet tartalmazza.

#### Sugárkárosodás

Intenzív, nagy energiájú sugárzásnak kitett rendszer elemek sugárkárosodásának várható lefolyását és következményeit az alábbiak figyelembevételével elemzik:

- a) a rendszer elemeket érő várható gamma- és neutron-sugárzás fluencia és spektrális összetétele;
- b) a szerkezet üzemi hőmérséklete a besugárzás során;
- c) a szerkezeti anyagok kémiai összetétele és megengedett szennyezőanyag-tartalma;
- d) az anyagok üzembe vétel előtti mechanikai tulajdonságai;
- e) a mechanikai tulajdonságok várható változásai, ezen belül különösen a kritikus ridegtörési hőmérséklet várható alakulása;



- f) a sugárkárosodás tényleges előrehaladásának monitorozásához szükséges eszközök és eljárások, valamint
- g) a biztonságos üzemeltethetőség fenntartásának és bizonyításának feltételei.

### Fáradás

Az atomerőművi blokk várható üzemeltetési jellemzőiből kiindulva meghatározzák az egyes berendezések és szerkezeti elemeik által elviselendő igénybevételi ciklusok számát és paramétereit az üzemeltetési sajátosságok (üzemmódok, igénybevételek stb.) figyelembevételével.

A rendszerek tervében olyan mérési, archiválási lehetőségeket irányoznak elő, melyek a tényleges igénybevételi ciklus paramétereit rögzíteni tudják.

A fáradás elemzését a rendszerparaméterek konzervatív feltételezésével, romlási helyenként végzik el.

A kifáradás elemzésénél külön kezelendők a kis- és a nagyciklusú fáradás esetei.

A kifáradásra több fontos szabvány közli az egyes anyagok kifáradási görbéit (ASME, KTA, PNAE stb.). Ezek a görbék laboratóriumi próbatesteken végzett fárasztóvizsgálatok eredményeit tükrözik, amelyek – elsősorban a felület eltérő állapota miatt – lényegesen különbözhetnek a reális, fárasztó hatásnak kitett rendszerelemek viselkedésétől. Másrészt: a konstruktőrök az egyes romlási helyek pontos feszültségi viszonyainak ismerete híján igen konzervatív, egyszerűsítő feltételezéseket tesznek.

A fáradás elemzésének kiinduló adataként az alapul választott szabványok vagy szabályzatok által jóváhagyott jellemzőket (kifáradási görbéket) veszik figyelembe.

A ténylegesen üzemelő rendszerelemek felületi állapotának és üzemi körülményeinek a laboratóriumi próbatestektől való eltérése miatt - közvetett módszerként - a szabályzatokban közölt biztonsági együtthatókat alkalmazzák.

Magas kifáradási együtthatóval jellemezhető ( $CUF > 0,4$ ) szerkezeti elemeknél az alábbiak elemzése célszerű:

- a) terhelési állapot: húzás, nyomás, csavarás;
- b) terhelési szint: főfeszültségek, feszültségamplitúdók;
- c) az anyagok mechanikai tulajdonságai;
- d) az anyagok inhomogenitásai: megengedhető felszíni és térfogati hibák;

- e) a szerkezeti elem felületi minősége;
- f) maradó feszültségek nagysága és iránya;
- g) környezeti feltételek (hőmérséklet, páratartalom, korrózió agresszivitás).

Azon berendezéseknél, ahol az üzemmód-változással járó kisciklusú fárasztó igénybevételek mellett az alkatrészek forgásából, vibrációból, az üzemi közeg áramlása miatt ébredő rezgésekből, lengésekből és nyomásingadozásból, vagy más okból következően nagyciklusú fárasztó igénybevétellel kell számolni, ott a két hatást együttesen elemzik.

#### Termikus öregedés

Ausztenites acélöntvények alkalmazása esetén az elem leendő üzemi hőmérséklete és az öntvény ferrittartalma függvényében elemzik a termikus öregedési folyamat kifejlődésének feltételeit.

Szükség esetén a ferrittartalmat korlátozzák, illetve előíranyozzák a termikus öregedési folyamat esetleges kifejlődésének vizsgálatát.

Hegesztéssel és hidegalakítással készítendő vastag falú termékek esetén a termikus öregedés hatásánál szerepet játszó maradó feszültségek leépítését biztosító hőkezelést irányoznak elő.

Különös figyelmet fordítanak az átmeneti (tranzien) varratok, a varrattalálkozások és a hibahelyek hegesztéssel történő javítás utáni termikus ridegedési feltételeinek elkerülésére.

A műanyagok (tömítések, villamos szigetelések stb.) termikus öregedésének hatásait is elemzik.

#### Korrózió

Az alkalmazott szerkezeti anyagok, üzemi közegek és üzemeltetési feltételek mellett többféle, az öregedéssel összefüggő korróziós folyamatot is vizsgálnak.

Az öregedés egyéb folyamataival való kölcsönhatás vizsgálatához a korróziós folyamatokat az alábbiak szerint célszerű csoportosítani:

- a) feszültség nélküli (általános, helyi és szelektív) korrózió;
- b) feszültséggel párosuló korrózió (feszültségkorróziós repedés, korróziós fáradás);
- c) közegáram miatti korrózió (eróziós korrózió).

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

Az általános korróziót az üzemi közeggel érintkező, ötvözetlen és gyengén ötvözött acélelemek belső felületén és korrozív környezet esetén a nem védett külső felületeken vizsgálják.

Törekednek az egyenletes, passzív magnetit réteg kialakítására, és külön elemzik azokat a helyeket, ahol a passzív réteget üzemviteli vagy karbantartási okok miatt rendszeresen meg kell bontani.

Elemezni szükséges az általános korrózióból származó korróziós termékek hatását a rendszer egyéb elemeinek öregedésére.

A lokális korrózió tipikus esetei: a helytelen anyag kiválasztásból eredő elektrokémiai korrózió és a korróziós közeg feldúsulásából keletkező helyi korróziós zóna, illetve a konstrukció előnytelen kialakításából eredő réskorrózió. A helyi korrózió fajtákat megfelelő tervezéssel el lehet kerülni. Ha ez üzemviteli, szilárdsági, konstrukciós vagy más ok miatt nem lehetséges, akkor megfelelő monitorozást, illetve javítást vagy cserét irányoznak elő.

A szelektív korrózió (pl. transzkrisztallin vagy kristályközi korrózió) az acélban található egyes elemeket támadja helyileg és az anyag mélységében. Tervezés során a korrozív közeg kizárásával vagy megfelelően védett (stabilizált állapotú) acélfajták alkalmazásával védekeznek ellene.

A mechanikai terheléssel együtt járó feszültségkorrózió négy feltétel együttes megjelenése esetén károsít:

- a) feszültségkorrózióra érzékeny anyag;
- b) elegendően nagy húzófeszültségek;
- c) az alkalmazott anyag számára agresszív környezet (szénacélra nitritek, szulfidok, ausztenites acélra kloridok, rézre ammónia);
- d) a reakcióhoz szükséges idő.

A tervezés során a fenti négy feltétel közül legalább az egyiket megbízhatóan kizárják.

Az alakváltozás miatti korrózió megjelenését gyengén ötvözött ferrites acélból készült, nagytisztaságú vizet szállító csővezetékeken elemzik akkor, ha

- a) a víz hőmérséklete magas ( $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- b) a víz oxigéntartalma nem elhanyagolható ( $>50\text{ ppb}$ );
- c) a mechanikai feszültségek hatására lassú alakváltozás ( $<10^{-4}\text{ s}^{-1}$ ) indul meg;

d) a vízáramlás lassú, vagy nincs vízáramlás.

A korróziós fáradás a fáradás korrozív közegben felmerülő minősített esete. A korróziós fáradás nem igényli egy küszöbértéknél nagyobb feszültség jelenlétét. Jellemző előfordulási helyein (szivattyúk tengelye, mozgó alkatrészek, vagy üzemi közeg áramlása következményeként rezgő csővezetékek, hőmérsékleti tranziensek által érintett alkatrészek) elemzik:

a) a korrozív környezet jellemzőit (pH, hőmérséklet, oxigéntartalom);

b) a terhelés formáját és frekvenciáját;

c) az acél kéntartalmát.

Szükség esetén a korróziós fáradás vizsgálatát vagy monitorozását irányozzák elő.

Az eróziós-korrózió az áramló közeg által folyamatosan eltávolított passzív réteg miatt megnövekedett sebességű általános korrózió.

Nagy sebességű ( $v > 1,0$  m/s) közegáramlás esetén, gyengén ötvözött (2%-nál kisebb krómtartalmú) acélvezetékek könyökeinél, T-elágazásainál az eróziós-korróziót vizsgálják.

Ha az üzemi közeg lúgos kémhatása ( $\text{pH} > 9,5$ ) nem biztosítható, akkor az eróziós-korrózió folyamatok megfelelő monitorozását irányozzák elő.

### Kopás

A berendezések tervezett üzemmódjától és karbantartási technológiájától függően a tervezés során többféle kopási mechanizmus elemzése válik szükségessé. Ezek közül vizsgálandó:

a) a hideghegedéses (adhéziós) kopás;

b) a meleghegedéses (olvadási) kopás;

c) az oxidációs kopás;

d) a fáradásos felületi kopás;

e) az illesztési (fretting) kopás;

f) az abrázációs kopás és

g) a karbantartási kopás

elkerülésének, illetve csökkentésének módja.

Adhéziós kopás szempontjából a nagy adhéziós hajlamú ferrites és ausztenites acélból készült, nagy erővel összepréselődő, egymáshoz képest kis sebességgel elmozduló felületeket elemzik (pl. szerelvények

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

zárószervezetei, kis sebességű hajtások elemei, szerkezeti elemek megvezetői).

Az adhéziós kopás csökkentésére megfelelő anyagpárokat alkalmaznak, vagy megfelelő kenést biztosítanak. A kenés megbízhatóságát különösen átmeneti üzemmódokban (indulás, leállítás) elemzik.

Az oladási kopást elsősorban az átmeneti üzemmódok és a forgógépek segédrendszereinek (kenés, csapágyhűtés) meghibásodása esetére elemzik. Az elemzés kiterjed az oladási kopás magas hőmérséklete által okozott egyéb romlási folyamatok vizsgálatára is.

Az oxidációs kopás elkerülését nagy hőmérsékleten üzemelő forgógépek és ritkán üzemelő vagy csak próba céljából, időszakosan elindított, biztonsági rendszerekbe beépített forgógépek esetén vizsgálják.

A fáradásos felületi kopás kialakulásának feltételeit sokszor ismétlődő, jelentős terhelést viselő mozgó alkatrészek ellenőrzik (szerelvények hajtásai, SZBV-hajtások stb.).

Az abráziós kopás elkerülésére meghatározzák a súrlódó felületek közé kerülő üzemi közeg, hűtőközeg vagy kenőanyag szükséges tisztasági normáit, illetve kidolgozzák a tisztítás vagy a csere lehetőségét.

Az illesztési kopás szorosan illeszkedő, kis amplitúdójú, nagy frekvenciájú rezgőmozgást végző elemeken jelentkezik (pl. járókerekek illesztése szivattyútengelyeken, gőzfejlesztő hőcserélő csövek illesztése a távtartókban, turbinalapátok illesztései). Tervezés során elsősorban a monitorozás vagy időszakos vizsgálatok feltételeit elemzik.

A karbantartási kopás elsősorban a gyakran (1-4 évente) szétszerelésre kerülő karimás és csavaros kötések, szorosan illeszkedő vagy az üzemelés során összetapadó elemek (osztósíkok, fedelek, búvónyílások) jellemző romlási folyamata.

A szerelési segédanyagok megválasztása, a szét- és összeszerelési technológia és segédeszközök gondos megtervezése, a szükséges szét- és összeszerelések számának csökkentése és a megfelelő cserélhetőség biztosítása képezheti elemzés tárgyát az öregedéskezelési program tervezése során.

### Lazulás

A lazulás elsősorban csavaros kötések, tömítések, tömszelencék, alátétek öregedésének a kísérőjelensége.

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

A csavaros kötések lazulását az anyák megfelelő elfordulás elleni védelmével, illetve utánhúzással kompenzálják.

A csavarszárak esetleges kúszása miatti lazulást a magátmérő és az anyagtulajdonságok megfelelő kiválasztásával lehet elkerülni.

A tömítések, tömszelencék, alátétek lazulása esetére olyan szerkezeteket alakítanak ki, melyek az utánhúzást egyszerűen megoldhatóvá teszik.

Ezen elemeknél figyelmet fordítanak a tömítőelemek megfelelő anyagkiválasztására és a szükséges cserék egyszerű és megbízható végrehajthatóságára is.

A lazulás elemzésekor az annak következtében kialakuló szivárgás, illesztési kopás és más, öregedést okozó jelenség azonosítását is elvégzik.

**Erózió**

Az eróziós romlási folyamat elemzését elsősorban nagy sebességgel áramló üzemi közegek irányváltásainak környezetében végzik el. Ilyenek pl.:

- a) szivattyúk hidraulikai részei;
- b) csővezetékek ívei és elágazásai;
- c) gyorsan áramló közegbe benyúló mérő- és egyéb eszközök (mérőperem, fojtótárca, hőmérő védőhüvely stb.);
- d) elzáró és szabályozó szerelvények zárószerkezete;
- e) geometriai diszkontinuitások helyei (szűkítők, hegesztési varratok belső élelőkészítése és varratgyökök stb.).

A tervezés során az eróziós folyamatok várható előrehaladását a lehetséges mértékig csökkentik (erózióálló anyagok, erózióvédő terelők, az üzemi közeg tisztasági követelményei és tisztítási lehetőségei, a geometriai diszkontinuitások csökkentése stb.).

Elemzik az erózió miatt az üzemi közegbe kerülő anyagok hatását.

Elemzik az erózió hatását:

- a) a mérőelemek állapotára és elvárható pontosságára;
- b) a fojtó- és szabályozóelemek előirányzott paramétertartására;
- c) a szivattyúk jelleggörbéjének állandóságára;
- d) a falvastagság-csökkenés miatti szilárdsági tartalék csökkenésre.

### Anyagjellemzők változása

Elsősorban nemfémes (tömítő, kenő, hőszigetelő, korrózióvédő, elektromos szigetelő) anyagok esetében elemzik az anyagjellemzők várható változása és annak hatása a belőlük készült elemek funkciójának megbízható ellátására.

Ennek során elemzik azon környezeti paramétereket, melyek bizonyos határértékeken túl ezen anyagok jellemzőinek gyors megváltozását okozzák.

Meghatározzák azon elemzési és vizsgálati feltételeket, melyek alapján az ilyen anyagokból készült rendszerelemek beépítési helyüknek megfelelő alkalmassági minősítést megkaphatják.

Meghatározzák azon környezeti paramétereket, melyek betartása biztosítja e rendszerelemek minősített állapotának fenntartását.

Egyedileg vizsgálják ezen elemek megbízható és biztonságos működéséhez tartozó élettartamot, és kidolgozzák a megfelelő cserék feltételeit.

### 3.9.3. Öregedésre érzékeny helyek

Az előző pontban elemzett öregedési folyamatok kialakulásának feltételeit, az útmutatóban korábban ismertetett szempontok, a kiválasztott szerkezeti anyagok tulajdonságai, az igénybevételi paraméterek, az üzemeltetési körülmények és a konstrukciós sajátosságok figyelembevételével vizsgálják.

Az elemzés alapján meghatározzák azokat a helyeket, amelyek öregedésre érzékenyek lehetnek. Az azonosított öregedésre érzékeny környezetekben valamennyi felmerülő romlási folyamat jellemzőit elemzik.

Szükség esetén módosítják a konstrukciót vagy a kiválasztott anyagot.

### 3.9.4. RRE-k öregedésének előzetes értékelése, indikátorok meghatározása

Az atomerőművi RRE-k megbízható és biztonságos üzemeltethetőségének minimális időtartamára vonatkozó adatokat a tervezés során az atomerőművi blokk tervezett üzemidejével összhangban állapítják meg.

*3a.3.2.0100. „Meg kell határozni az atomerőmű tervezett élettartamát és azt, hogy mely biztonsági vagy fizikai gát funkciót teljesítő rendszerelem élettartama határozza meg, vagy korlátozza ezt az élettartamot.”*

Megkülönböztetik a blokk tervezett üzemidejével megegyező (vagy annál hosszabb) élettartamra tervezett RRE-eket azoktól, melyek egyszeri vagy többszöri cseréjét a blokk üzemideje során előíranyozzák.

*3a.3.2.0200. „Az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével bizonyítani kell, hogy a nem cserélhető rendszerelemek és a nem cserélendő*

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

*passzív biztonsági és fizikai gát funkciót megvalósító rendszerelemek élettartama legalább olyan hosszú, mint az atomerőmű egészére meghatározott tervezett élettartam, figyelembe véve a teljes élettartam során várható terheléseket és öregedési folyamatokat a szükséges tartalékokkal.”*

*3a.3.2.0300. „Meg kell határozni, hogy milyen feltételek mellett teljesíthetők a tervezett élettartam alatt a nukleáris biztonsági követelmények.”*

*3a.3.2.4900. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor a választott szerkezeti anyagok tulajdonságainak az öregedési folyamatok következtében bekövetkező változását értékelni kell. Meg kell határozni a rendszerek, rendszerelemek megengedett élettartamát, integrált üzemidejét, valamint az üzemi, üzemzavari, karbantartási és próba igénybevételek ciklusszámát.”*

Az RRE-k egyes részegységeire vonatkozóan minden azonosított romlási folyamat kapcsán megállapítják azokat a kritériumokat, melyek a még megfelelő üzemeltetési feltételeket biztosítják.

Aktív funkciót ellátó RRE-k elfogadható az egész berendezésre vagy rendszerre jellemző teljesítmény-paraméterek meghatározása.

A passzív RRE-k állapotára, illetve az aktív RRE-k teljesítményére vonatkozó megfelelőségi kritériumokat olyan tartalékokkal írják elő, hogy a felülvizsgálati/engedélyezési ciklusidő figyelembe vételével meghatározott időtartamú, jövőbeni biztonságos és megbízható üzemeltetés feltételei teljesüljenek.

Az öregedés mennyiségileg becsülhető és mennyiségileg nem becsülhető előrehaladású, egymásra ható folyamatok összessége.

A lehetséges mértékig meghatározzák azokat a mennyiségi és minőségi indikátorokat, melyek az öregedési folyamat előrehaladását jelzik.

Megjelölik azokat az öregedési folyamatokat, melyek létezése a tervezés idején ismert, de az előrehaladásuk értékelése további kutatás-fejlesztési tevékenységeket igényel. Intézkedéseket irányoznak elő arra az esetre, ha ezen tevékenységek nem megnyugtató eredményre vezetnek.

### 3.9.5. Az öregedés érzékenységvizsgálata, csökkentési lehetőségei

Az azonosított, öregedést kiváltó folyamatok és körülmények alapján meghatározzák azon környezeti és folyamat-paramétereket, melyek az egyes romlási helyeken érvényesülő öregedési folyamatokat különösen befolyásolják.



Ezen belül meghatározzák azon feltételeket, melyek teljességgel kizárják egyes öregedési folyamatok kifejlődését, különös tekintettel azon kémiai, mechanikai, sugárzási és egyéb igénybevételekre, melyek egy-egy öregedési folyamat nem megengedett mértékű felgyorsulását okozzák.

A fenti vizsgálat alapján kiválasztják az öregedési folyamatok kritikus tényezőit.

Megvizsgálják a kritikus tényezők csökkentésének lehetőségeit és feltételeit.

Meghatározzák azokat az üzemviteli, karbantartási és felülvizsgálati eljárásokat, melyek:

- a) biztosítják a rendszerelem megbízható és biztonságos üzemeltetését, ugyanakkor
- b) optimalizálják a rendszerelem öregedésének lassítására, illetve szükség szerinti cseréjére irányuló erőfeszítéseket.

Az öregedési folyamatok érzékenységvizsgálata, az érintett rendszerelem várható élettartamának meghatározása és lassítása nem öncélú tevékenység, ezért biztosítják, hogy az mindenkor összhangban legyen az erőmű kiválasztott élettartam-gazdálkodási stratégiájával.

Ugyanakkor ilyen stratégia hiányára vagy esetleges megváltoztatására tekintettel minden esetben célszerű a könnyen (kevés anyagi, termelés kiesési és sugárdózis ráfordítással) megvalósítható öregedésllassító intézkedéseket előirányozni.

Az érzékenységvizsgálatoknál és az öregedéscsökkentési intézkedések megvalósításánál különös súllyal mérlegelik a rendszerelemek megbízható javításának, illetve cseréjének lehetőségét is.

### **3.10. Az öregedéskezelés tervezési előírásai**

Az öregedéselemzés eredményeként a tervező az öregedési folyamatok és azok hatásainak kezelésére meghatározza a szükséges tervezői előírásokat, amelyek kiterjednek a gyártásra, szerelésre, üzemeltetésre, az öregedési folyamatok kezeléséhez szükséges adatok, módszerek megadására, az elvárt karbantartási, felügyeleti, próba- és monitorozási tevékenységre, valamint az öregedési és állapotromlási folyamatok lassítására, kedvezőtlen hatásainak csökkentésére szolgáló intézkedések meghatározására és a kapcsolódó megfelelőségi kritériumokra is.

### 3.10.1. Gyártásra, szerelésre vonatkozó előírások

Az épületszerkezet, szerkezeti elem, rendszerelem, alkatrész, berendezés, komponens tervezésekor olyan technológiai és minőségbiztosítási eljárásokat dolgoznak ki, amelyek biztosítják, hogy

- a) az alkalmazott gyártási, szerelési technológiák nem rontják a beépített anyagok, félkész termékek öregedési folyamatokkal szembeni ellenálló képességét,
- b) a felületképzések (a felület minősége), a szerkezeti kialakítás lehetővé teszi az előírt (szükséges) vizsgálatok elvégezhetőségét, és az öregedést okozó igénybevételekkel szembeni hatékony ellenállást az üzemelés/üzemeltetés időszakában a tervezett élettartam alatt,
- c) a gyártás-szerelés során benmaradó hibák jellege, mérete, helye pontosan beazonosítható és az időszakos vizsgálatokkal ellenőrizhető legyen.

Meghatározzák a gyártási-szerelési sorrendet, az alkalmazható segédeszközöket és segédanyagokat, a gyártás-szerelés során, majd az üzembe helyezés és az üzemeltetés időszakában elvégzendő ellenőrzések, vizsgálatok, tesztek, próbák/teljesítménypróbák módszereit, terjedelmét, ciklusidejét és megfelelőségi kritériumait.

Lehetőség szerint a tervezés idején még kifejlesztés alatt álló vizsgálati módszerek végrehajtásának feltételeit is előíranyozzák.

Megtervezik azokat a próbatesteket, amelyek az üzemeltetés időszakában elvégzendő roncsolásos vizsgálatokhoz szükségesek. A próbatestek készítésének feltételeit, követelményeit úgy határozzák meg, hogy az üzemeltetési időszakban elvégzendő vizsgálatok eredményei reálisan tükrözzék annak az anyagnak az állapotát, amelynek az állapotellenőrzésére szolgálnak.

A szállításra, csomagolásra, konzerválásra vonatkozó követelményeket, valamint a karbantartási (szét- és összeszerelési) technológiákat, a szerelési segédanyagokat, segédeszközöket, a szükséges szét- és összeszerelések számát, a cserélhetőséget a tervezéssel úgy biztosítják, hogy az öregedési, romlási folyamatok megelőzhetőek, illetve a lehető leglassabbak legyenek.

### 3.10.2. Karbantartásra vonatkozó előírások

*3a.3.2.4200. „Meg kell határozni a működőképességet, megfelelőséget jellemző paramétereket. Ezekre a paraméterekre meg kell adni a megfelelőségi kritériumokat, amelyek teljesülését a vizsgálatok, ellenőrzések során mérni,*

## Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése

---

*ellenőrizni kell. Az elfogadható értékektől való eltérés esetére meg kell tervezni a szükséges intézkedéseket, beleértve a karbantartási programok módosítását.”*

*3a.3.2.4300. „A tervezés során, amennyiben a vizsgálatok, ellenőrzések végrehajtása nem biztosítható a szerkezet takarása, a hozzáférés korlátozott volta miatt, akkor vagy tervezési megoldások szükségesek a korlátozott hozzáférés ellensúlyozására, vagy igazolni kell, hogy a tervezett ideig tartó működés ellenőrzés, felügyelet nélkül fenntartható.”*

A karbantartás az RRE-k állapotának felügyeletét és állapot fenntartását, ezeken belül is elsősorban az aktívak funkcionális integritásának a biztosítását szolgáló tevékenységeket foglalja magában. A karbantartásnak része a javítás, csere, felújítás, rekonstrukció, melyek szükségességét az öregedéskezelés, állapotfelügyelet, monitorozás, környezetállósági minősítés során elvégzett vizsgálatok, próbák ellenőrzések eredményeinek értékelése, illetve a releváns elemzések, trendfigyelések eredményei, üzemviteli tapasztalatok alapján határoznak meg.

A karbantartás célja a terv szerinti állapot fenntartása megelőző és hibaelhárító javítások vagy csere útján, a környezetállósági minősítés, a felügyeleti és ellenőrzési programok eredményei alapján, azaz olyan tevékenység, amelynek célja, hogy azok funkciójukat a tervezett módon és megbízhatósággal, továbbá gazdaságosan ellássák a blokk tervezett üzemidején belül és megállapítható legyen a minősített, illetve a maradék élettartam. A karbantartás két típusát különböztetjük meg:

### Megelőző karbantartás

A megelőző karbantartás ciklikus (a tényleges állapottól függetlenül a korábbi tapasztalatok, előírások alapján meghatározott terjedelmű, módú és gyakoriságú javítás) és állapot függő (mért, illetve megfigyelt paraméterek változása alapján meghatározott terjedelmű, módú és időtartamú javítás, csere), vagy eseti (a biztonsági elemzés eredménye vagy korlátozott időtartamra érvényes környezetállósági minősítés alapján szükséges csere) karbantartásból áll.

### Javító karbantartás

A javító karbantartás elvégzését hiba észlelése, illetve meghibásodás, teszi szükségessé. A javítás terjedelme, módja és időpontja a hiba, illetve a meghibásodás mértékétől és természetétől függ.

A karbantartás magában foglalja az olyan támogató tevékenységeket is, mint az időszakos vizsgálatok, tesztek és próbák, állapotfelügyeleti, és a

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

karbantartási eredmények értékelése és a karbantartási (megfelelőségi) kritériumok teljesülésének monitorozása.

A karbantartási programokat úgy alakítják ki, hogy a karbantartások közötti biztonságos és megbízható üzemelés mellett az öregedési, romlási folyamatok nem tervezett felgyorsulása elkerülhető legyen.

A karbantartási tervezésekor az alábbiakat határozzák meg:

- a) a berendezés beépítési helyén biztosítható karbantartási feltételeket (hozzáférés, sugárzási viszonyok, karbantartási eszközök biztosítása stb.),
- b) az öregedési folyamatok által érintett RRE javításának lehetőségeit és korlátait,
- c) a javíthatóság és az öregedési folyamatok összevetésével a rendszerelemek szükséges mértékű tartalékolását, azon rendszerelemeknél, melyek várható élettartama kevesebb a blokk tervezett élettartamánál, elemzik a legalább azonos minőségű csere lehetőségeit,
- d) az ellenőrzésre kerülő tulajdonságok megfelelőségi kritériumait,
- e) a karbantartáshoz használható segéd- és hozaganyagok követelményeit.,
- f) a karbantartás idejére ideiglenes felületvédelemmel ellátandó elemeket,
- g) a karbantartáshoz igényelt tartalékalkatrész-felhasználás normatíváit.,
- h) a korábbi alkalmazási tapasztalat alapján a jellemző meghibásodásokat és elhárításuk módját.
- i) a várható öregedési folyamatok figyelembevételével karbantartások ciklusidejét és terjedelmét.

Figyelembe veszik a típusberendezések hasonló elemeinek csereszabotosságát és a csere kapcsán elvégzendő ellenőrzések és próbák végrehajtását.

Amennyiben egy berendezés valamely eleme kellő biztonsággal nem cserélhető, úgy a komplett tartalék tartozékkal történő csere feltételeit kidolgozzák.

A konstrukció kialakításánál a lehetséges mértékig figyelembe veszik a javíthatósági szempontokat is.

A karbantartási módszerek meghatározzák azt a szét- és összeszerelési sorrendet, amely az alkatrészek sérülését megakadályozza, illetve a karbantartási kopást minimalizálja.

Csavarkötések meghúzási értékeit úgy határozzák meg, hogy szükséges szorítóerő biztosítása mellett a csavarszárak és más terhelt elemek indokolatlan igénybevétele minimalizálható legyen.

A karbantartási utasításokban olyan szerelőeszközöket irányoznak elő, melyek az ütésszerű, illetve káros helyi hőfeszültségekkel járó szerelési módszereket kizárják.

Meghatározzák az ellenőrzésre kerülő tulajdonságok megfelelőségi kritériumait.

Meghatározzák az időszakos karbantartások során összehasonlítandó méretek és egyéb jellemzők terjedelmét, ezek ellenőrzésének és az eredmények archiválásának módját.

Meghatározzák a karbantartáshoz használható segéd- és hozaganyagokkal szemben támasztott követelményeket.

Meghatározzák a karbantartás idejére ideiglenes felületvédelemmel ellátandó elemeket.

Előzetesen meghatározzák a karbantartáshoz igényelt tartalékalkatrész-felhasználás normatíváit.

A korábbi alkalmazási tapasztalat alapján meghatározzák a jellemző meghibásodásokat és elhárításuk módját.

A szállításra, csomagolásra, konzerválásra vonatkozó követelményeket, valamint a karbantartási (szét- és összeszerelési) technológiákat, a szerelési segédanyagokat, segédeszközöket, a szükséges szét- és összeszerelések számát, a cserélhetőséget a tervezéssel úgy biztosítják, hogy az öregedési, romlási folyamatok megelőzhetők, illetve a lehető leglassabbak legyenek.

### 3.10.3. Üzemeltetési előírások

Az atomerőmű üzemeltetésének alapvető feltételeit és korlátait a tervezés során az RRE öregedési folyamatainak elemzése, a releváns számítások, vizsgálatok, minősítések eredményei alapján határozzák meg. A normál üzemi, figyelmeztető, védelmi és üzemzavari paraméterek közül a tervező megjelöli azokat, melyek betartása az RRE öregedésének előrehaladása szempontjából fontos, illetve túllépésük az öregedési folyamatok felgyorsulásának ellenőrzését igényli.

Az indításokra, leállásokra és más átmeneti üzemmódokra vonatkozó megengedett változási sebességek mellett célszerű meghatározni az öregedési folyamatok érdemi lassítását eredményező, "kímélő üzemmódok" előírásait is.

Az üzemeltetési utasításokban a megbízható és biztonságos üzemvitelhez szükséges mérés-jelzés-archiválási funkciók mellett az öregedési folyamatok monitorozásához szükséges tevékenységeket, a minősített berendezések minősítési környezeti paramétereinek túllépésére, illetve ezek elkerülésére vonatkozó előírásokat, az egyes alkatrészek meghibásodására utaló tüneteket is meghatározzák.

Az erőmű primerkörü és szekunderkörü rendszereinek vízüzemi paramétereit, a vízkezelési módokat, tisztítási eljárásokat a kapcsolódó vegyszeti kezelési utasításokban a tervezés során előírják.

Az atomerőművi blokk primer és szekunder köri, valamint segéd- és kiszolgáló rendszereinek kémiai (víz)üzemét meg kell tervezni, és a hűtő- és munkaközeg megfelelőségét számításokkal és elemzésekkel kell igazolni. A tervezésnél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- a) Meg kell tervezni minden rendszerre a korróziótermékek, valamint az egyéb szennyezők eltávolításának folyamatát, és erre megfelelő módszereket kell kidolgozni, és eszközöket kell kiépíteni.
- b) A hőhordozó hűtőközeg kémiai összetételét és a primer kör üzemvitelét úgy kell megválasztani és szabályozni, hogy a közegben levő radioaktív anyagok mennyisége mindenkor az ésszerűen elérhető legkisebb szinten legyen. Ahol lehetséges, olyan berendezéseket kell telepíteni, amelyek alkalmasak a hőátadó közeg radioaktív szennyezésektől és korróziótermékektől való megtisztítására.

#### *3.10.4. Monitorozás tervezése*

Az öregedési folyamatok előrehaladása monitorozásának egyik alapelve a nyomás, a hőmérséklet, a vízkémiai és a környezeti paraméterek mérésén, illetve - tranziens üzemmódokban - ezek változásának mérésén, illetve a mért értékek öregedéskezelési megfontolásoknak megfelelő kiértékelésén alapul.

Ha az üzemviteli-biztonsági megfontolásokból beépített mérő-jelző-archiváló rendszerek öregedés monitorozására való felhasználása nem elég hatékony, akkor kiegészítő monitorozási lehetőségekről gondoskodnak.

Meghatározzák a monitorozó-rendszerek különböző jelzéseihez, illetve a mért értékek kiértékelési eredményeihez kapcsolódó intézkedéseket,

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

beleértve a megengedhető üzemmód változások, igénybevételi ciklusok monitorozása során talált eltérések kezeléséhez tartozókat is.

Ideiglenes monitorozó-rendszerek is alkalmazhatók, melyeket az üzembe helyezés során vagy az üzemeltetés kezdeti időszakában az öregedés szempontjából fontos paraméterek részletes kimérésére használnak. Ez esetben elemezni kell a kapott eredmények érvényességi tartományát más rendszerekre, blokkokra, üzemállapotokra stb.

Ahol a lehetséges öregedési folyamatok az időszakos vizsgálatokkal nem kellően ellenőrizhető meghibásodásokhoz vezethetnek, ott kiegészítő monitorozó-rendszerekről gondoskodnak. Ilyenek lehetnek:

- a) „loose part” monitorozó-rendszerek - leszakadt és az üzemi közegbe kerülő elemek zajának azonnali kimutatására;
- b) szivárgásjelző rendszerek - különböző karimás kötések szivárgásainak jelzésére;
- c) LBB (Leak Before Break) monitorozó-rendszerek - vizsgálat céljából nem hozzáférhető vagy teherbíró képességük határához közel üzemelő rendszer elemek meghibásodásának jelzésére;
- d) rezgésmonitorozó-rendszerek - a rezgésnövekedést okozó romlási folyamatok, illetve a romlási folyamatok felgyorsulását okozó, megnövekedett rezgések jelzésére.

Az öregedést monitorozó rendszereket úgy tervezik, hogy azok kezelése az üzemviteli személyzet számára indokolatlan többletterhelést ne jelentsen.

A monitorozási funkciót úgy tervezik meg, hogy megvalósításuk semmilyen mértékben ne gátolja az üzemi műszereket és ellenőrző rendszereket az üzemi és biztonsági funkciójuk ellátásában.

A monitorozandó állapot vagy folyamat jellegétől és biztonságra gyakorolt hatásától függően a monitorozó-rendszer lehet eseti, időszakos vagy folyamatos, a terjedelme pedig lehet 100%-os (minden érintett berendezésre kiterjedő), vagy mintavételes. Utóbbi esetben igazolják a mintakiépítés eredményeinek átvihetőségét hasonló rendszer elem öregedésének kezeléséhez.

### 3.10.5. Öregedéskezelés - Karbantartás - Felügyelet - Ellenőrzés rendszere

*3a.3.2.4100. „Meg kell határozni minden nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszer, rendszer elem esetében az üzem közbeni vagy rendszeres időszakonkénti ellenőrzés, felülvizsgálat, anyagvizsgálat programját, a szerkezeti épység, a tömörség-ellenőrzés és a funkciópróbák módját és gyakoriságát, a*

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

*tervszerű megelőző karbantartásra és más karbantartási stratégiákra vonatkozó tervezői előírásokat."*

*3a.3.2.4400. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek funkciópróbájának ciklusidejét, felülvizsgálatának gyakoriságát, lefolytatásának követelményeit, karbantartásának módját és feltételeit a tervezés során úgy kell meghatározni és megalapozni, hogy*

*a) az összhangban legyen a rendszer, rendszerelem tervezési elveivel, konstrukciójával,*

*b) biztosítsa, hogy az adott biztonsági funkció a rendszer, rendszerelem próbája, felülvizsgálata, karbantartása mellett megbízhatóan megvalósul, valamint*

*c) a rendszer, rendszerelem próba, felülvizsgálat, karbantartás miatt történő üzemből való kivétele a nukleáris biztonság szempontjából tolerálható legyen, a felülvizsgálat, próba, karbantartás gyakorisága nem vezethet a nukleáris biztonság csökkenéséhez."*

A karbantartás, felügyelet, monitorozás, időszakos vizsgálatok, ellenőrzés, stb., a gyártás, építés/szerelés, telepítés, üzembe helyezés, üzemeltetés során az időben történő hiba, károsodás, nem megfelelés, elhasználódás megbízhatatlan működés észlelésének eszközei, az eredményeik alapján történik a javítás, csere, rekonstrukció.

A tervezés során nukleáris biztonság szempontjából fontos RRE-kre dokumentált karbantartási, próba, ellenőrzési és felügyeleti (KPEF) programot készítenek, melynek alapján az üzemeltetés során a megengedhetetlen romlás, károsodás kiküszöbölhető, illetve a megbízható működőképesség, funkció ellátó képesség megállapítható az atomerőmű teljes élettartama alatt.

Az öregedéskezelés és a KPEF a nukleáris biztonság, az optimális élettartam gazdálkodás, a gazdaságos üzemeltetés eszközei, melyeket egységes koncepció szerint komplex rendszerként terveznek meg. Az öregedéskezelés és a KPEF egymástól elválaszthatatlan egységet képeznek, egymás kiegészítői, egymásra kell, hogy épüljenek.

A felügyelet olyan tevékenységek összessége, amelyeknek célja meggyőződni az egyes RRE-k és technológiai folyamatok aktuális időpontban jellemző alkalmasságáról a terv szerinti működés és állapotok biztosítása érdekében, célja a funkcionális megfelelés ellenőrzése. Az ellenőrzés történhet:

a) Funkcionális próbákkal

b) Felügyeleti próbákkal



**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- c) Paraméterek és állapotok mérésével, ellenőrzésével, monitorozásával
- d) Vegyszeti ellenőrzésekkel, közeg-minták vizsgálataival, mintavételezésekkel
- e) Szivárgásfigyelő rendszerekkel, monitorozásával

A felügyeleti próba olyan – általában időszakosan végzett – funkcionális próba, amelynek célja igazolni a terv szerinti funkció ellátására való alkalmasság mellett a rendelkezésre állást, az ÜFK követelményeinek való megfelelést, biztosítani az abnormális állapotok felismerését és adatokat szolgáltatni a teljesítőképesség romlásának felismeréséhez

Az aktív funkciók vizsgálata próbával (teszttel) történik. Olyan tevékenység, amely során az állapotról és/vagy működőképességről és/vagy teljesítőképességről az adott rendszer vagy rendszerelem működtetésével és/vagy paramétereinek megváltoztatásával, majd az így kapott adatok és információk feljegyzésével és értékelésével állapítanak meg ismereteket.

Az aktív funkciók vizsgálata üzem közbeni (időszakos) felügyeleti próba.

Az ellenőrzés, üzem közbeni (időszakos) ellenőrzés az állapotfelügyelet eszköze – egy RRE vizsgálata és annak megállapítása, hogy az megfelel-e az előírt követelményeknek – elsősorban a passzív RRE-k integritásának vizsgálatára szolgáló tevékenységeket foglalja magában, célja a szerkezeti megfelelőség ellenőrzése, az ellenőrzés történhet:

- a) Szemrevételezéssel
- b) Roncsolásmentes vizsgálatokkal
- c) Nyomáspróbákkal, tömörségvizsgálatokkal

A passzív funkciók vizsgálata jellemzően üzemen kívüli felügyeleti próba.

Az öregedéskezelési programokat úgy kell megtervezni, hogy az öregedési hatások észlelési módjának, módszereinek, ellenőrzési, vizsgálati, mérési, monitorozási, detektálási módszereknek figyelembe kell venni a jelen fejezetben ismertetteket is.

A KPEF programokat a jelen útmutató követelményeinek, ajánlásainak figyelembe vételével a tervezőnek ki kell dolgoznia.

A program kiterjed a próbák, ellenőrzések, vizsgálatok terjedelmére, módszerére, ciklusidejére, a dokumentálási előírásokra és a megfelelőségi kritériumokra.

A program a biztonsági osztályba sorolásán kívül figyelembe veszi:

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- a) az egyes romlási helyeken várható öregedési folyamatok előrehaladásának mértékét;
- b) az öregedési folyamatok érzékenységet a normál üzemi paraméterektől való eltérésekre;
- c) a rendszerelem beépített tartalékait;
- d) egyéb öregedéskezelési módszerek (pl. elméleti elemzések) rendelkezésre állását és megbízhatóságát;
- e) az adott romlási helyen fellépő öregedési folyamatok várható, illetve legrosszabb következményeit.

Az KPEF szerinti módszereket úgy választják ki, hogy azok alkalmasak legyenek az öregedési folyamatok megbízható előrejelzésére.

A KPEF programban meghatározzák mindazon paramétereket, melyek ellenőrzése a biztonsági funkció ellátásának bizonyításához szükséges.

A biztonsági rendszer technológiai sémáját és műszerezését úgy tervezik meg, hogy a KPEF program szerinti tevékenységeket megfelelő terhelésen végre lehessen hajtani vagy ezek eredménye az eredmények megbízhatóan extrapolálhatók legyenek.

A tervben elemzik a KPEF program által okozott öregedési folyamatok hatásait, és ezeket összevetik az adott KPEF tevékenységnek köszönhető megbízhatóság növekedéssel. Az eredményt felhasználják az KPEF program optimalizálására.

Ha valamely romlási folyamat fejlődésének előrejelzésére a technika aktuális szintjén megfelelő eljárás nem áll rendelkezésre, akkor:

- a) az adott romlási folyamat elegendően alacsony sebességének igazolásával;
- b) a feltételezhető romlás mértékének megfelelő tartalék beépítésével;
- c) a vizsgált romlási folyamat lehetséges biztonsági következményeinek elhárítására alkalmas eszközök beépítésével, és kiegészítőleg,
- d) a technika fejlődésével megvalósuló vizsgálati lehetőségek előirányzásával;
- e) ciklikus újraminősítéssel

támasztják alá az üzemeltetés kellő biztonságát és megbízhatóságát.

A KPEF szerinti vizsgálatok feltételeinek tervezése során minden esetben biztosítják, hogy az egymást követő vizsgálatok során talált állapotok

összevethetőek legyenek legalább az öregedési folyamatok szempontjából fontos indikációk tekintetében.

Hasonló indikációk és romlási tünetek kimutatására alkalmas alternatív vizsgálati módszerek közül a vizsgálat érzékenysége, megbízhatósága és végrehajtásának körülményei alapján döntenek.

Az vizsgálatok kritériumait úgy határozzák meg, hogy a kimutatott tartalékok és az azonosított öregedési folyamatok figyelembe vételével igazolható legyen a berendezés jövőbeni biztonságos üzemeltetése az előirányzott vizsgálati ciklusidő végéig. Ennek hiányában a vizsgálati ciklusidőt a szükséges mértékig csökkentik, vagy biztosítják az öregedési folyamat monitorozását.

A primer kör nyomástartó berendezéseinek és csővezetékeinek azon részeire, amelyek nagy neutronsugárzásnak vagy más öregedési folyamatnak vannak kitéve, az alkalmazott anyagokban végbemenő öregedési folyamatok ellenőrzése érdekében külön felügyeleti programot dolgoznak ki és meghatározzák a program végrehajtásához kapcsolódó előírásokat is.

Azon berendezéseknél, melyek tömörsége biztonsági funkciót lát el, vagy más berendezések gyorsított öregedési folyamatait hivatott megakadályozni, egyedi tömörségvizsgálatokat irányoznak elő. Komplex tömörségi próbák esetén igazolják azok alkalmasságát, illetve egyedi szivárgásdetektorok alkalmazását irányozzák elő.

Megtervezik azokat a próbatesteket, amelyek az üzemeltetés időszakában elvégzendő roncsolásos vizsgálatokhoz szükségesek. A próbatestek készítésének feltételeit, követelményeit úgy határozzák meg, hogy az üzemeltetési időszakban elvégzendő vizsgálatok eredményei reálisan tükrözzék annak az anyagnak az állapotát, amelynek az állapotellenőrzésére szolgálnak.

A kiégett fűtőelemeket kezelő és tároló rendszerelemek (pihentető és átrakó medence, 1 sz. revíziós akna, reaktorakna bebetonozandó elemei) öregedéskezelését az építési és gépészeti sajátosságokat egyaránt figyelembe vevő rendszerelemekként kell kezelni.

## MELLÉKLET

### A MEGHATÁROZÓ ÖREGEDÉSI FOLYAMATOK RÖVID ISMERTETÉSE

#### ACÉLANYAGOK

##### **Gyorsneutron-sugárzás hatására fellépő ridegedés:**

A sugárkárosodás a reaktortartályt érő igénybevételek közül a legjelentősebb. A nagy energiájú neutron- (és gamma-) sugárzás az anyag kristályrácsában okoz változásokat. Ez a tartályfal szempontjából meghatározó igénybevétel. Ez a romlási folyamat a reaktortartálynak az aktív zóna magasságában elhelyezkedő részét és az ugyanitt található 5/6 sz. varratot érinti, míg a távolabbi alkatrészeknél (csonkzóna, tömítések) a sugárkárosodás elhanyagolható.

A fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságaira a neutronsugárzás az összetételtől és a rácsszerkezettől függően fejti ki a hatását. Az ötvözött acélokban a kivált kemény fázisok és a nem egyensúlyi szerkezet miatt nagy a diszlokáció-sűrűség. Ezért az ötvözött acéloknál kis dózisu besugárzás hatására is a szilárdság növekedése és a képlékenység csökkenése a jellemző.

A reaktortartályfalban a sugárzás hatására bekövetkező ridegedés következtében az alapanyag, illetve a varratfém kritikus ridegtörési hőmérséklete fokozatosan emelkedik az üzemi hőmérsékletek tartományának irányában. Az ilyen anyagok esetében ugyanakkor a rácsban könnyen elmozdítható és egyben nagy nukleáris hatás-keresztmetszetű elemek atomjai már a besugárzás kezdeti fázisában elmozdulnak, beékelődnek, és további elmozdításuk már jelentős többletenergiát igényel, így a nagy besugárzási fluensek tartományában telítődési effektus lép fel (a kritikus ridegtörési hőmérséklet növekedési üteme a nagy besugárzási fluensek tartományában már minimális).

##### **Termikus ridegedés:**

A termikus ridegedés magas hőmérsékleten (250 °C feletti tartományban) tartósan üzemelő acélszerkezetekben megfigyelhető öregedési folyamat. Termikus ridegedés következtében az acél keménységének és szilárdsági tulajdonságainak növekedése figyelhető meg a szívóssági tulajdonságok jelentős romlása mellett: az acél ridegebbé válik, a repedés keletkezési hajlama megnő.

**Fáradás:**

A fáradás progresszív, folyamatos lokális anyagszerkezet-változás, amely minden, változó terhelésnek vagy deformációs igénybevételnek kitett rendszerelembe fellép. A folyamatos, lokális anyagszerkezet-változás jellege kumulatív, lokális repedések kialakulásához vezethet.

A fáradás folyamata szakaszokra bontható annak alapján, hogy milyen jellegű változások történnek az anyagban. A változások jellege és mértéke egyrészt a szerkezeti elembe ébredő feszültségtől (a ciklikus terhelés okozta feszültségamplitúdótól), másrészt a terhelési ciklusoktól függ. Az adott anyagra jellemző ún. küszöb -(threshold) feszültség amplitúdónál kisebb terhelés esetén kezdetben csak csúszási felületek jönnek létre, melyek növekvő ciklusszám esetén csak nagy felbontással látható mikrorepedésekké alakulhatnak. E repedések azonban nem terjednek, feltéve, hogy a feszültségamplitúdó nem változik meg.

A küszöbfeszültség amplitúdó feletti terhelés esetén a kis repedések összekapcsolódnak, és látható módon tovább terjednek. Ha az ismétlődő terhelések hatására a repedés hossza elér egy kritikus értéket, az instabil repedésterjedés megindul, majd törés következhet be. Nagyobb feszültségamplitúdó esetén a repedés gyorsabban terjed.

A fáradással szembeni érzékenység jellemzésére a fentiek alapján jól használható a feszültségamplitúdó és a törést okozó ciklusszám összefüggése. Ezt kísérleti úton állapítják meg nagyszámú próbatest állandó - egytengelyű - feszültség vagy nyúlás amplitúdójú ismétlődő terhelésével. A töréshez vezető ciklusszám nagyságrendjétől függően beszélhetünk kis-, illetve nagyciklusú fáradásról. Az orosz, illetve amerikai előírások tartalmaznak olyan empirikus görbéket, amelyek megadják egy-egy anyagra vonatkozó terhelési ciklusszám-feszültségamplitúdó kapcsolatát.

A kisciklusú fáradást általában a  $10^6$ -nál kisebb ciklusszám esetén repedéskeletkezést okozó folyamatok esetére értelmezik.

**Anyagjellemzők változása:**

Az anyagjellemzők hosszan tartó üzemelés alatti megváltozása gyűjtőfogalom, amely széles értelmezésben magában foglalja az acélananyagok önálló öregedéskezelési programként tárgyalt sugárkárosodását, a termikus öregedést, és bizonyos értelemben a fáradást is. A jelen öregedés-kezelési útmutató az anyagjellemzők változásai közül az önállóan nem tárgyalt anyagtulajdonság-változások kezelésével foglalkozik, melyek a főberendezések különféle tömítéseinek károsodásait jelentik.

**Kopás:**

Egymással érintkező, relatív mozgást végző szerkezeti elemek felületein bekövetkező elválkozás, ami általában anyagleválással jár együtt.

A kopás feltétele:

- kopási elempár,
- alaptest,
- ellentest,
- rendszerint közbenső anyag,
- viszonylagos elmozdulás,
- normálirányú erőhatás (Fn).

Közbenső anyag:

- kenőanyag: kenőolaj, kenőzsír, szilárd és gáznemű, ill. egyéb kenőanyag,
- szennyeződés,
- kopástermék.

A kopás alapfolyamatai:

- érdességi csúcsok lenyíródása,
- alakváltozások a rugalmas tartományban,
- alakváltozások a képlékeny tartományban (maradó alakváltozás),
- molekuláris erőhatások (adhézió),
- felhevülés a mikrogeometria tartományban,
- fizikai vagy kémiai anyagváltozások (pittingesedés, oxidáció, reakciós termékek koptató hatásai).

Kopási típusok:

A *hideghegedéses (adhéziós) kopás* során az egymáshoz képest relatív mozgást végző felületek között rövid időtartamú adhézió vagy tapadókötések következményeként az egyik felületről a másikra anyagátvitel jöhet létre. Ebben az esetben a jellemző igénybevétel a nagy normálerő és a kis elmozdulási sebesség.

*Meleghegedéses (olvadási) kopás.* Súlylódáskor a felmelegedés 800...900 °C, de néha a felületi réteg hőmérséklete elérheti az 1500 °C-ot is.

A súrlódási hő hatására a felületi réteg kilágyul, a szakítószilárdsága, folyáshatára és keménysége csökken, a részleges megolvadás következtében felszíni hibák jelentkehetnek, az egymással fémesen érintkező részek között adhézió és ennek következtében a relatív elmozduláskor anyagátvitel is létrejöhet.

*Oxidációs kopás.* A nagy felületi hőmérséklet következtében és oxidációt előidéző környezetben nagy az oxidáció sebessége. A képződött oxidréteg elvben csökkentheti a kopás sebességét, a valóságban azonban a mechanikai-kémiai felületi erózió együttes hatása következtében általában növeli.

*Abrázios kopás.* A súrlódó felületek közé került szennyezők vagy a kopás során a felületekről levált szilárd részecskék, az ún. kopástermékek mikrobarázdálás és mikroforgácsolás következtében fellépő anyagleválása következménye a kopás.

*A fáradásos felületi kopás* jellemzője a sokszor ismétlődő legördülés (gördülő súrlódás) következtében keletkező mikrorepedések az érintkező felület alatt. Ezek vezetnek be a felületrészek kitöredezését, amely helyi gödrösödéssé vezet. Pikkelyszerű károsodások is keletkehetnek.

*A fretting (illesztési) kopásra* jellemző, hogy rendszerint korrózióval társul. Nyugalmi állapotban lévő illesztett vagy összeszorított felületeken lép fel. A fretting korróziót a legtöbbször helyi adhézió és fémátvitel vezeti be, de a felületkifáradás is szerepet játszhat. Mikroszkopikusan kicsiny kopásrészek képződnek, a levegőn oxiddá alakulnak, s a legtöbb fém, ill. fémkombináció esetében az ilyen oxid abrazív hatást fejt ki azon az anyagon, amelyből származik. A kopásrészek színe acélon és vason vörös, alumíniumon és ötvözetein fekete.

A kopás nemcsak üzemeltetés során fellépő jelenségek hatására következhet be, hanem a vizsgálatokhoz, illetve karbantartáshoz történő szét- és összeszerelés során is.

A kopás a rendszerelemeken különböző okból, különböző megjelenési formában megnyilvánuló öregedési folyamat. A kopási folyamatok öregedés kezelése ezért rendszerelem specifikusan, a megnyilvánulási formáktól függően változik.

### **Erózió:**

Az erózió elsődlegesen az üzemi közeg nagy sebességű áramlási helyeit határoló, illetve hirtelen irányváltást okozó rendszerelemeken fellépő,

anyagelhordással járó öregedési folyamat. Az erózió hatását növelik az üzemi közegben fellelhető szilárd szennyeződések.

**Lokális korrózió:**

A *lokális korrózió* olyan károsodási folyamat, amely valamely rendszerelem általános környezetének kis területre kiterjedő jelentős eltérése miatt alakul ki.

*Elektrokémiai (galván) korrózió* keletkezik mindenkor, amikor két különmű fém vagy fémrész, fázis érintkezik, így közöttük elektromos kontaktus keletkezik, és felületüket elektroltként ható folyadék fedi. Ilyenkor a nagyobb potenciálú, ún. anódos anyagrészből a kontaktuson át negatív töltésű elektronok áramolnak a kisebb potenciálú, ún. katódos anyagrész felé.

A *feszültségkorrózió* az elektrokémiai korrózióknak az a fajtája, amelynél az anódos anyagrész oldását, pusztulását a kétféle anyagrész érintkezési helyén valamilyen húzófeszültség olyan keskeny felületre koncentrálja, hogy a megtámadott anyagrész mélyébe hatoló rés, hajszálrepedés keletkezik. A feszültségkorrózió jellege tehát az, hogy nagyon kevés a korróziós terméke, és hogy a megindult repedés rohamosan mélyül, rövid idő alatt az anyag teljes vastagságán átérő repedéssé fokozódhat.

*Kristályközi korrózió*nak nevezzük azt a jelenséget, amikor egy polikristályos fém oldódása a szemcsék határai mentén fokozott mértékben következik be. A fém ennek hatására már viszonylag rövid idő alatt, csekély fémmennyiség kioldódása után krisztalitokká eshet szét.

Kísérletileg bebizonyították, hogy az acél kristályközi korrózióra érzékenyebbé válik, ha a szemcsehatárok mentén karbidok válnak ki. Ez akkor lehetséges, ha a körülmények a szénnek a határzónák mentén való feldúsulását lehetővé teszik. Újabban nem zárják ki annak a lehetőségét sem, hogy a szénen kívül más ötvöző, illetve szennyező elemek is léteznek, melyek kristályközi belső adszorpció útján ezen határfázisok oldódását meggyorsítják.

*Helyi mikrokorrózió* a transzkrisztallin korrózió, amelynek esetében a korróziós roncsolódás nem a szemcsék határain, hanem azokon keresztül vágva megy végbe.

*Kontaktkorrózió* akkor következik be, ha a korróziós közeg két vagy több különböző elektrokémiai tulajdonságú fémmel érintkezik oly módon, hogy azok egymással fémes érintkezésben vannak. Ebben az esetben a fémek ún. makroszkopikus lokálelemet alkotnak. E lokálelem áramot termel, és az



áthaladt áram hatására megnő annak a fémnek a korróziósebessége, amely az elemben anódosan viselkedik.

*Pontkorrózió:* Bizonyos szerkezetekben a fém felületén egyidejűleg léteznek nagy korróziósebességgel oldódó és gyakorlatilag korróziómentes területek. Az aktív-passzív tulajdonságú fémek (Fe, Cr, Ni, Ti, korrózióálló acélötvözetek) felületének nagy része megfelelő elektrolit összetétel esetén passzív állapotban van, ezzel szemben a felület lényegesen kisebb részén a fém aktív állapotban oldódik.

Ezek a helyek alacsony potenciálú, aktív, nem szellőzött, viszonylag savas pH-jú bemélyedések. A gödör belsejében a pH 3-4 körüli érték.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  és  $\text{FeCl}_2$  keletkezése mellett a gödörfenék potenciálja -0,3, illetve -0,5 V körül van, amelyet a differenciális szellőzés, a pH és a nagyobb klorid koncentráció együttesen hoz létre. A bemélyedést  $\text{Fe}/\text{OH}/_3$ -ból álló réteg borítja, és az egészet pozitívabb potenciálú, levegőzött, lúgos zóna veszi körül. Az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -mal befedett felület pH-ja 8 és az elektródpotenciál +0,2 V. A folyamat tehát egy olyan korróziós cella keletkezését eredményezi, amelynél differenciális szellőzési áramok haladnak az aktív, levegővel nem érintkező mélyedés és a passzív, szellőzött felület között, mégpedig 0,5-0,7 V potenciálkülönbség mellett.

A pontkorróziós folyamat kiindulási pontjai lehetnek a nemfémes zárványok, a fémszerkezeti hibák és a fémfelület passzív rétegének helyi hiányosságai.

*Réskorrózió:* A pontkorrózióhoz hasonló folyamatok játszódhatnak le a szerkezetekben konstrukciós megfontolásokból alkalmazott rések esetén is. A résekben lejátszódó korróziós folyamatokban meghatározó szerepet játszik a rések mérete. A résnek ugyanis elég tágnak kell lennie ahhoz, hogy az üzemi közeg vagy a környezetben lévő pára bejuthasson a belsejébe, ugyanakkor olyan szűknek, hogy benne pangó közeg alakuljon ki. A korrózió legkedvezőbb feltétele általában mintegy 0,5 mm szélességű résméretetek mellett alakulnak ki.

### **Általános felületi korrózió:**

Az általános felületi korrózióra való hajlam a szén- és gyengén ötvözött acélból készült rendszerelemek közös jellemzője. Az általános korrózió sebessége és egyéb jellemzői jelentős mértékben függenek az alábbi körülményektől:

- az alapanyag kémiai összetétele,

**Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése**

---

- üzemeltetési körülmények (normál üzem, készenléti állapot, átrakások, stb.),
- a környezet jellemzői (hőmérséklet, nedvességtartalom, savas- és lúgos gőzök jelenléte, stb.)

**Bórsav korrózió:**

A fővízkör hűtőközegében és az azt kiszolgáló rendszerek üzemi közegében oldott bórsav a fővízkör és a csatlakozó rendszerek korrózióálló acélból készült szerkezeti elemeit nem károsítja. Ugyanakkor az üzemi közeg szivárgásával járó meghibásodások, ill. átrakáskor végrehajtott műveletek során bekövetkezett események alkalmával a bórsav alacsonyán ötvözött vagy szénacél felületekkel érintkezhet, melyeken jelentős korróziós folyamatokat indíthat el. A program célja egyrészt a fővízkör és az azt kiszolgáló, bórsavas üzemi közeggel működő rendszerek kismértékű tömörtelenségeinek feltárása, másrészt a bórsavszivárgások által e rendszereket határoló, illetve annak környezetében található szénacél elemeken okozott korrózió nyomainak detektálása, mértékének meghatározása és a szükséges intézkedések megtétele.

A bórsav korrózió nem klasszikus értelemben vett, az üzemeltetésből származó igénybevételek által okozott romlási folyamat, hanem a meghibásodásokból és egyéb nem tervezett üzemviteli eseményekből következő egyedi károsodás.

**Mikrobiológiai korrózió**

A mikrobiológiai korrózió esetében bakteriális tevékenységek okozzák az anyag károsodását. A megtapadó baktériumok biofilmréteget alkotnak az alapanyagon. A baktériumsejtek savas anyagokat bocsátanak ki, melyek kölcsönhatásba lépnek az alapanyaggal, és megkötnek fémionokat. A jellemzők, amelyek a mikrobiológiai korrózió kialakulását és növekedését befolyásolják: hőmérséklet, nyomás, pH, vízminőség és oxigéntartalom.

**Eróziós-korrózió**

A szénacél, illetve ferrit-perlit acél komponensek adott környezeti üzemi viszonyok között hajlamosak az eróziós-korrózió jelenségére.

A folyamatot vegyi erózióknak is szokták nevezni. A károsodás előjelzés nélküli. Nem előzi meg szivárgás, és a nyomástartó favastagság megengedhetetlen mértékű elfogyása miatt hirtelen és ezért igen veszélyes tönkremeneteli módokkal jellemezhető.

Az eróziós-korrózió folyamatát befolyásoló főbb tényezők:

- a vezetékek geometriai kialakítása,
- a közeg hőmérséklete,
- a közeg sebességek (lokális, globális),
- a pH értéke,
- az oxigéntartalom,
- a szénacél anyagok ötvözőanyag tartalma, különös tekintettel a króm tartalomra.

## **VASBETON**

### **Fagyás-olvadás ciklusok:**

Az ismétlődő fagyás-olvadás ciklusok során a beton pórusaiba és repedéseibe víz jut be, amely megfagy, így a víznél nagyobb térfogatú jég nyomást fejt ki a betonra. A fellépő nyomás a betonfelületen kiüregesedést, pikkelyesedést, lemezes leválásokat kialakulását eredményezi, és elősegíti a repedések kialakulását is. A folyamat elsősorban a nagy vízszintes felületű elemeket veszélyezteti. A külső alapoknál a földfelszín alatti, de fagyhatár feletti részeknél a föld általában elegendő védelmet biztosít a károsodás ellen. A betonfelületre felvitt bevonatokkal és burkolatokkal a kialakuló károk nagymértékben csökkenthetők.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, repedésképződés.

### **Koptatás és kavitáció:**

A koptatást az áramló közeg által szállított szilárd részecskék okozzák. A nagysebességű vízáramlásnál (pl. sarkok környezetében) kialakulhatók kavitációhoz hasonlóan a koptatás is kiüregesedést, pikkelyszerű leválásokat eredményez a felületen. Bevonattal, burkolattal lehet hatékonyan védekezni a károsodások ellen. Kisebb mértékben az alapok föld alatti felületénél is felléphet koptató hatás, amennyiben a talajvíz mozgásban van.

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

### **Hőhatás:**

A vasbeton szerkezeteknél a magasabb hőmérséklet okozta károsodások kb. 70°C hőmérsékletig elhanyagolható mértékűek, a hőnek lokálisan (pl. csőátvezetések környezetében) kitett helyeknél pedig kb. 93°C hőmérséklet is megengedhető bármilyen védelem nélkül. A fentieknél magasabb hőmérsékletnek kitett szerkezeteknél már vizsgálni, elemezni kell a hatásokat, mert itt már az anyagjellemzők értékeinek olyan mértékű

változása kezdődhet meg, amely nem hanyagolható el. Hosszú ideig tartó 150°C környéki hőmérsékletnél a betonfelületen lemezes leválások és helyenként repedések alakulhatnak ki.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

#### **Agresszív kémiai hatás:**

A betonok bázikus vegyi jellegűek (pH>12,5), ezért a savak a károsodásukat okozhatják. A kellő tömörségű és kis vízáteresztő képességű betonok a gyenge savas hatásokkal szemben ellenállóak. A vízáteresztő képesség 0,35-0,45 közötti víz-cement tényezővel, kis szemcséjű adalékanyagokkal, 3-4% közötti pórustérfogattal és hosszú utókezeléssel csökkenthető. Az 5.5-nél kisebb pH értékű savas oldatok, az 500mg/kg-nál töményebb klóros oldatok és az 1500mg/kg-nál töményebb szulfátos oldatok már károsítják a betonszerkezeteket.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, anyagtulajdonság-változás.

#### **A betonacélok és az acélbetétek korróziója:**

A korrózió mértékét a környezeti hatások mellett a beton tulajdonságai, a cement és az adalékanyag minősége jelentős mértékben befolyásolják. Amennyiben a korrózió kialakul, a betonban húzófeszültségek ébrednek, amelyek hatására repedések, leválások és rozsdafoltok alakulnak ki, lecsökken a beton és a betonacél közötti tapadás mértéke is. A jobb minőségű beton, a kis vízáteresztő képesség és a megfelelő betonfedés javítja a betonacélok és az acélbetétek korrózióvédelmét.

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

#### **Adalékanyag-alkáli reakciók:**

Amennyiben az adalékanyagok nem megfelelőek, mert bizonyos ásványi összetevőket, főként sófajtákat tartalmaznak, ezek az összetevők vegyi reakcióba lépnek a portlandcementtel. E reakciók eredményeképpen a beton tágul, a felületén és a belsejében repedések keletkeznek. Az adalékanyagok helyes megválasztására ezért kiemelt figyelmet kell fordítani. A megfelelő anyagokból szakszerűen kevert és bedolgozott, valamint utókezelt betonnál az ilyen, belső okokra visszavezethető vegyi reakciók nem jellemzőek.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

**Zsugorodás:**

A beton kötése közben a felesleges víz elpárolog. A betonban maradó vízben kapilláris feszültségek keletkeznek, mialatt a beton szárad és zsugorodik. Ha a keletkező feszültség eléri a húzási határt, a beton megreped. A zsugorodás már az utókezeléskor elkezdődik, az első évben kb. 90%-a lejátszódik, és a folyamat kb. a huszadik évben fejeződik be.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

**Egyenlőtlen süllyedés:**

A süllyedés folyamata már az építés közben elkezdődik és mértéke, időtartama a terhelés nagyságától és az altalajtól, valamint a környezeti körülményektől, így a talajvízszint mozgásától is függ. Öregedési szempontból jelentős különbség van az egyenletes és az egyenlőtlen süllyedés között. Az előbbinél rendszerint nem keletkeznek a megengedettnél nagyobb repedések, míg az egyenlőtlen süllyedések gyakran a káros repedések megjelenésének a fő okát képezhetik. A süllyedéseket folyamatosan vizsgálni kell, mert a repedéseket értékelni és kezelni szükséges.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

**Radioaktív sugárzás:**

Az igen erős neutron sugárzás megnöveli az adalékanyag szemcsék méretét, párologtatja a betonban lévő vizet és felmelegíti a betont. Az erős gamma sugárzás csökkenti a cement kötő képességét, szintén hőt termel és párologtatja a betonban lévő vizet. A magas hőmérséklet és a víztartalom csökkenése, az utóbbi hatására kialakuló repedések csökkentik a beton nyomó-, húzó- és hajlítószilárdságát és rugalmassági modulusát is. A fellépő károk a sugárzás erősségétől függnnek, az általánosan elfogadott határértékek a következők: neutron sugárzásra  $10^{19}$  n/cm<sup>2</sup>, ha a neutronok által bevitt energia nagyobb, mint 1 MeV; gamma sugárzásra  $1,0 \times 10^8$  Gy.

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

**Fáradás:**

A vasbetonszerkezeteknél a fáradással kapcsolatos terheléseket rendszerint nagy ciklusszám és kis amplitúdók (pl. rezgő gépek, csővezetékek alapjainál, tartószerkezeteinél) vagy kis ciklusszámok és nagy amplitúdók (pl. daruk tartószerkezeteinél) jellemzik. A vasbeton az ismétlődő igénybevételekkel szemben általában jó ellenállóképességet mutat, bizonyos rezgéstípusoknál és terhelés értékeknél azonban mikrorepedések alakulnak ki a beton és a betonacél érintkezési felületeinél, amelyek továbbterjedve nagyobb

repedések kialakulásához és a mechanikai tulajdonságok romlásához vezethetnek. Ezt a megfelelő tervezéssel, kivitelezéssel kell megelőzni.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

#### **Kálciumhidroxid kilúgozódás:**

A betonba beszivárgó, ill. azon átszivárgó víz a beton különböző összetevőinek, elsősorban a kálciumhidroxidnak a lassú kioldódásához vezethet. Ha a folyamat hosszú ideig tart, növekszik a beton légtérfogata és vízáteresztő képessége, amely a romlási folyamatot erősíti és csökkenti a beton szilárdságát. Az oldott sók kristályos formában jelennek meg a beton felületén (a beton „kivirágzik”). Ez rendszerint inkább esztétikai, mint szerkezeti probléma, amely viszont egyértelműen jelzi a kioldódást. A jó minőségű, jól tömörített, kis légpórus tartalmú beton viszonylag jól ellenáll a kioldódásnak.

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.

#### **Kúszás:**

A kúszás a tartós terhek hatására bekövetkező, időben növekvő alakváltozás az azonos teherből keletkező pillanatnyi alakváltozáshoz képest. A túlzott mértékű alakváltozások repedésképződéshez vezethetnek. A kúszás mértéke a beton minőségétől és a környezettől is függ, jelentős része a szerkezet üzembe helyezését követő néhány évben lejátszódik. Lényeges, hogy a feszített vasbeton szerkezeteknél a feszítőerőt a vonatkozó, mértékadó előírások, szabványok alapján határozzák meg. A feszítés nélküli vasbeton szerkezeteknél a megfelelő tervezés és kivitelezés esetén a kúszás nem okoz károsodást.

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.

#### **BEVONATOK**

#### **Mechanikai, kémiai hatásokra kialakuló folyamatok, felhólyagosodás, lehámlás, lepergés:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

#### **Sugárzással, magas hőmérséklettel, mikrobiológiai hatással kapcsolatos folyamatok:**

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

#### **TÖMÍTÉSEK**

#### **Mechanikai hatások:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

**Sugárzással, magas hőmérséklettel, kémiai, mikrobiológiai hatással kapcsolatos folyamatok:**

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

**TŰZGÁTAK****Kopás, felületi anyagleválás:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

**Vibráció, zsugorodás, elmozdulás:**

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, réteges leválás, a védendő felületről való leválás.

**Kémiai hatásra, sugárzásra kialakuló folyamatok:**

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.