

Útmutató tervezet készítése új reaktortartályok és primerköri berendezések ridegtöréssel szembeni biztonságának értékeléséhez

Pálfi Tamás

VEIKI Energia+ Kft. Budapest
tamas.palfi@veikihed.hu

OAH TSO Szeminárium
2014. Június 17.



- Új VVER-1200 reaktortartályok és a primerkör
- Ridegtörési számítások:
 - PTS számítások
 - Normál üzemi p-T görbék
 - Szilárdsági nyomáspróba
- Elvárások megfogalmazása:
 - Termohidraulikai elemzések
 - Reaktorfizikai számítások
 - Gyártóművi próbák, felügyeleti próbatestek

NBSZ 3a. vonatkozó pontjai



- 3a.2.2.7200. Legalább az alábbi eseményeket tervezési megoldásokkal vagy preventív baleset-kezelési képességek kialakításával gyakorlatilag ki kell zárni, azaz bizonyítani kell, hogy bekövetkezésük fizikailag lehetetlen, vagy a bekövetkezési gyakorisága nagy biztonsággal kisebb, mint 10^{-7} /év:
 - a) reaktortartály törése,
 -
- 3a.2.3.1400. A TA1 üzemállapotban fellépő igénybevételekre, nyomáspróbákra, a TA2-4 üzemállapotot eredményező kezdeti eseményekre, valamint bármely, 10^{-6} /év-nél gyakoribb eseménylánc során kialakuló nyomás alatti hőűtésre elemezni kell a reaktortartály integritására vonatkozó megfelelőségi kritériumok teljesülését.
- 3a.2.4.1000. A reaktortartály ridegtöréssel szembeni integritását olyan módon kell biztosítani, hogy a tartály kritikus elemeiben a feszültségintenzitási tényező sehol sem haladhatja meg a kialakult hőmérséklethez tartozó törési szívósságot - azaz a szerkezetben levő anyagfolytonossági hiányok nem terjedhetnek a TA2-4 és TAK1 üzemállapotot eredményező események során.
- 3a.3.3.1800. Vizsgálni kell a ridegtörés elleni védettséget azoknál a rendszerelemeknél, ahol ez szükséges.
- 3a.3.3.1900. A szilárdsági elemzések segítségével ki kell mutatni, hogy TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban a vizsgált rendszerelemek terhelése az elfogadható terhelési érték alatt marad.

Kapcsolódó útmutatók és szabványok



- **NBSZ 3.18 V4 útmutató:** A VVER-440/213 reaktortartály ridegtöréssel szembeni biztonságának értékelése normál üzem, szilárdsági nyomáspróba, nyomás alatti hőítés (PTS) és nem várt üzemi események esetén
 - működő erőművekre vonatkozik;
 - nem az NBSZ 3a. kötetével összhangban készült;
 - VVER 440 blokkokra tartalmaz specifikus ajánlásokat.
- **MSZ 27003, MSZ 27011 (ASME)**
- **VERLIFE 2013:** Guidelines for Integrity and Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER Nuclear Power Plants
- **STUK Guide**
- **PNAE G-7-002-86, RB-018-01** (neutronsugárzás mérése), **RB-007-99** (gyorsneutronok fluensének figyelembe vétele), **NP-082-07** (atomerőművekkel és a reaktortartállyal kapcsolatos biztonsági követelmények)

Elemzések terjedelme



- PTS: reaktortartály övzóna
- Ridegtörési elemzések: teljes primerkör
- ÜH p-T görbék: teljes primerkör, nem mindig a reaktortartály korlátoz
- A fentiek alapján az új blokkokra készítendő elemzési terjedelem a teljes primerkörre való kibővítése indokoltnak tekinthető.



- Reaktortartály és a primerköri berendezések integritásának értékelése
 - Célja: a megfelelőségi kritériumok teljesülésének értékelése
- Kritikus elemek átmeneti hőmérsékletének meghatározása
 - Célja: a vizsgált kritikus elem üzemeltetését megelőző állapotához tartozó átmeneti hőmérséklet, valamint annak üzemeltetés közbeni megváltozásának meghatározása.
- Termohidraulikai elemzés
 - Célja: tranziens lefutások alapján peremfeltételek képzése
- Törésmechanikai analízis
 - Célja: a feltételezett repedésekhez tartozó feszültségintenzitási tényezők meghatározása

Az integritás értékelése



- Az NBSZ 3a.3.3.1900. pontja szerint: „A szilárdsági elemzések segítségével ki kell mutatni, hogy TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban a vizsgált rendszer elemek terhelése az elfogadható terhelési érték alatt marad.” Emiatt a ridegtörés elemzéseknek is a fenti öt üzemállapotot kell lefedniük. Ez javaslataink szerint az új útmutatóban a következő módon valósul meg:
 - TA1 üzemállapotokban: a normál üzemi p - T görbe meghatározásával (az elsődleges feszültségekre vonatkozó biztonsági tényező $n_{k1}=2$);
 - Nyomáspróba esetén: a nyomáspróba minimális hőmérsékletének meghatározásával ($n_{k1}=1,5$);
 - TA2 üzemállapotokban: a terjedelemben lévő berendezések ridegtörési elemzésének elvégzésével a várható üzemi eseményekhez tartozó tranziensekhez tartozó terhelések mellett ($n_{k1}=2$);
 - TA3 és TA4 üzemállapotokban: a terjedelemben lévő berendezések PTS elemzésének elvégzésével a tervezési üzemzavarokhoz tartozó tranziens terhelések mellett ($n_{k1}=1$);
 - TAK1 üzemállapotokban: reaktortartály PTS elemzésének elvégzésével komplex üzemzavarokhoz tartozó tranziens terhelések mellett ($n_{k1}=1$).

Az integritás értékelése



- A tartály integritását biztosító számítási módszerek, a kvázi-statikusan terhelésre érvényes **törési szívósság és a feszültségintenzitási tényező (K_I)** összehasonlításán alapulnak.
- A feszültségintenzitásra vonatkozó **biztonsági tényező** értéke (üzemállapottól és feszültségtypustól függően) megegyezik **a 3.18-as számú irányelvvel** és az ASME által előírttal.
- Mivel a **TA2** üzemállapotokban, az esetlegesen a normál üzemieltől eltérő transziens események miatt nem alkalmazható közvetlenül a p-T görbe, és ezek nem sorolhatók a PTS események közé sem, célszerű számukra egy harmadik kritérium létrehozása. Ennek biztonsági tényezői javaslatunk szerint megegyeznek a **normál üzemi** vonatkozókkal.
- A 3.18.sz útmutatóban szereplő, inkább az üzemidőhosszabbítás esetén jelentőséggel bíró módszerek részleteinek elhagyása:
 - **Mestergörbe módszer**: bevezetésének új tartályok esetében akkor van jelentősége, ha a felügyeleti próbatestek programját is e szerint dolgozzák ki (nincs információnk erre vonatkozóan);
 - **WPS hatás**;
 - **Repedésmegállítás**.

Kritikus elemek átmeneti hőmérséklete



- Az elemzés célja a vizsgált kritikus elem üzemeltetését megelőző állapotához tartozó átmeneti hőmérséklet, valamint annak sugárzás- és egyéb környezeti viszonyok hatására bekövetkező változásának meghatározása. Az értékelés során a tartály várható neutronfluencia terhelését validált számítással határozzák meg.
- Kritikus elemekre meghatározott átmeneti hőmérsékletek:
 - Az új reaktortartályok és berendezések esetében ennek legfontosabb feltétele az üzemeltetést megelőző állapothoz tartozó átmeneti hőmérséklet megfelelő módon történő felvétele. A 3.18.sz útmutatóhoz képest, az abban szereplő PNAE értékek használatát megengedő rész gyengítését javasoltuk.
- A tartályfalat és a felügyeleti próbatesteket érő neutronsugárzás mértéke:
 - Az üzemanyagciklusok szimulációja a részletes zóna konfigurációra épül és figyelembe veszi az egyes kazetták üzem közbeni kiegészi szintjét és neutron spektrumát, továbbá a zóna és a fal között lévő komponenseket és azok hőmérsékletét (a VERLIFE és az RB-018-01 ajánlásai alapján).
- Vegyi képlettel való átmeneti hőmérséklet eltolódás számítása:
 - A vegyi képlet egyes konstansait jelenleg nem kívántuk pontosan meghatározni (a későbbiekben az útmutató bővíthető ezekkel).
- A nem sugárzás hatására bekövetkező átmeneti hőmérséklet változása alapvetően az anyagváltozással kapcsolatos KIBE feladat hatásköre, hiszen ehhez fel kell mérni az adott anyagra jellemző öregedési módokat.



- A termohidraulikai elemzés célja az elemzendő PTS tranziensek kiválasztása és a kiválasztott PTS tranziens lefutások alapján alapadatok képzése a tartály integritási számításokhoz.
- Mivel az új blokkokra vonatkozóan az elemzendő tranziensek körét a TA2, TA3, TA4, TAK1 üzemállapotokhoz tartozó események határozzák meg, a tranziensek további szűrésére nincs szükség. Természetesen az olyan tranziensek elhagyhatók, amelyeket valamely más elemzett tranziens felülburkol.
- A tranziens számításokhoz tartozó peremfeltételeket a 3.18. sz. útmutatót alapul véve határoztuk meg.

Törésmechanikai analízis



- A törésmechanikai elemzés célja, a feltételezett repedésekhez tartozó feszültségintenzitási tényezők (K_I) meghatározása, az adott üzemállapotot jellemző terhelések-, terhelésváltozások során kialakuló terhelések figyelembe vételével.
- Anyagjellemzők:
 - Tervezési specifikációban legyenek rögzítve (a PTS számítások és a szilárdsági számítások azonos anyagjellemzőket alapul véve készüljenek el);
 - Az üzem közbeni változást is figyelembe kell venni;
- A biztonsági tényező megállapításának alapja az ASME (ASME III. Appendix-G), ezért annak előírásait alkalmaztuk a figyelembe veendő feszültség típusok meghatározásánál is. (Ez egyébként nagyrészt megegyezik a VERLIFE javaslataival is.)
- A törési szívóssági görbe esetében nem javasolunk eltérést az eddigiekben alkalmazott burkológörbétől, hiszen ezt a VERLIFE (appendix V. V.2 összefüggés) is megerősíti.
- Az olyan törésmechanikai elemzések alkalmazásával kapcsolatban, ahol a repedésmentes feszültségekre illesztett parametrikus görbétet használunk, célszerűnek tartottuk rögzíteni az útmutatóban az alkalmazott módszerrel szemben elvárt alaptulajdonságokat (pl.: kifejezetten plattírozott környezetre kifejlesztett eljárás).

Törésmechanikai analízis – posztulálandó hibák



- A posztulált hibák megadása során a 3.18 sz. útmutatóban szereplőekből indultunk ki:
 - Normál üzemben:
 - Posztulált repedésként $a/c = 1/3$ formatényezőjű, félelliptikus, felületre kifutó repedéseket kell feltételezni, amelyek mélysége a fal teljes vastagságának $1/4$ -e;
 - Az anyagvizsgálati kritériumgyűjtemény által megengedhető legnagyobb mélységű repedés 2,5-szerese;
 - A reaktortartályra felveendő legnagyobb mélységű repedést mélysége: 25mm.
 - Üzemzavarok, PTS:
 - Posztulált repedés: $a/c = 1/3$, mélysége a fal teljes vastagságának $1/4$ -e;
 - Az anyagvizsgálati kritériumgyűjtemény által megengedhető legnagyobb mélységű repedés falvastagságra merőleges méretének 2-szerese, de legalább $a = \text{plattírozás vastagsága} + 4\text{mm}$
 - A plattírozás integritásának igazolása mellett megengedett a beágyazott repedés.
 - Az üzemzavari és a PTS számításoknál a plattírozás integritásának igazolásához szükséges feltételeket kibővítettük a kifáradás számítással. Erre azért van szükség, mert sem a PNAE, sem az ASME alapesetben nem ír elő kifáradás számítást a plattírozásra, anélkül pedig nem garantálható annak hibamentessége.
- Az olyan törésmechanikai elemzések alkalmazásával kapcsolatban, ahol a repedésmentes feszültségekre illesztett parametrikus görbéket használnak, célszerűnek tartottuk rögzíteni az útmutatóban az alkalmazott módszerrel szemben elvárt alaptulajdonságokat (pl.: kifejezetten plattírozott környezetre kifejlesztett eljárás).