

A nukleáris biztonsági követelmények építészeti és építőmérnöki vonatkozásai

Dr. Károlyi György
BME Nukleáris Technikai Intézet

Mire tervezzük hidat?

- Várható terhek meghatározása
- Mértékadó terhelés megkeresése
- Biztonsági tényezők
- Méretezés



Nem várjuk el, hogy a maximális tehernél nagyobb teher esetén is működjön a híd.

Mire tervezünk atomerőművet?

- **Áramtermelés**: minél gazdaságosabban és megbízhatóbban
- Normál üzemben **elhanyagolható** radioaktív kibocsátás
- De jelentős radioaktivitás van **felhalmozva**
- **Biztonsági funkciók, mérnöki gátak** rendkívül fontosak

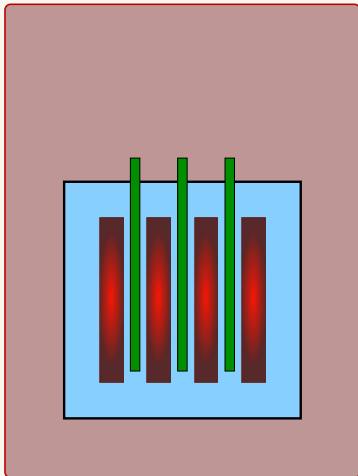
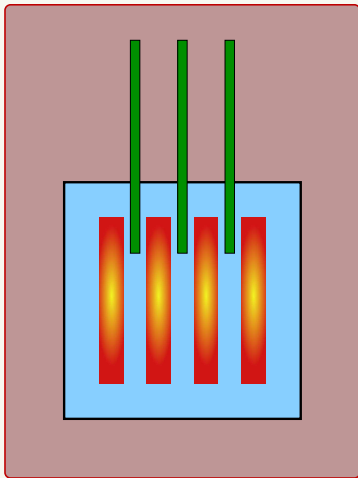


Forrás: www.atomeromu.hu

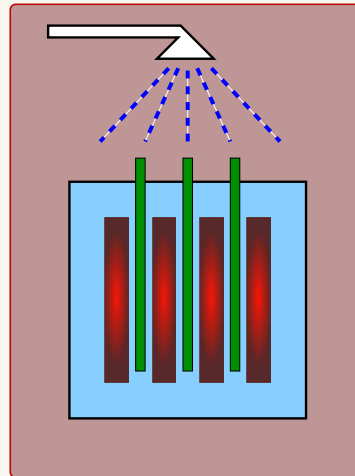
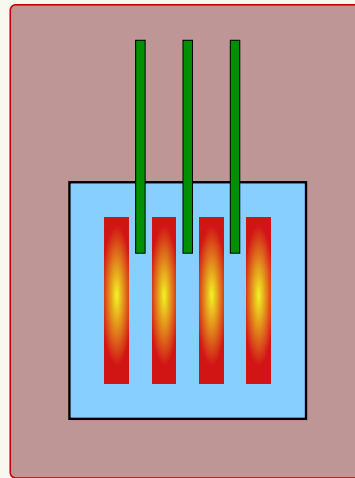
Tudni kell, mi történik a maximális tehernél **nagyobb** teher esetén, akkor sem sérülhet a környezet biztonsága.

Biztonsági funkciók

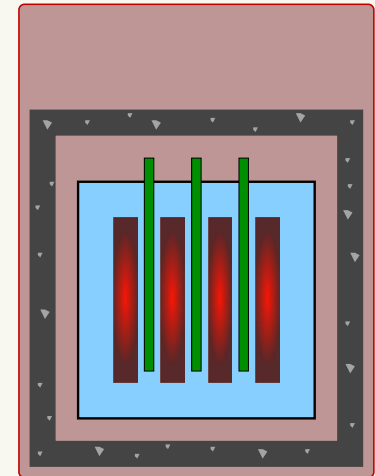
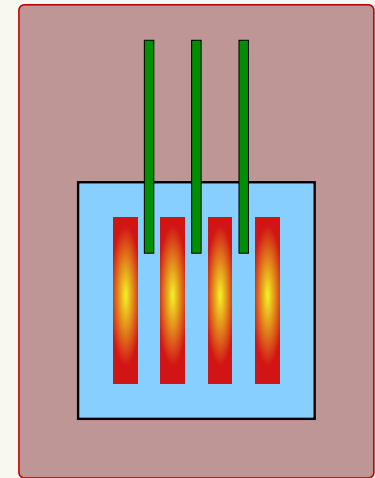
1. Láncreakció szabályozása és lezárása



2. Hűtés normál üzemben és üzemzavar alatt

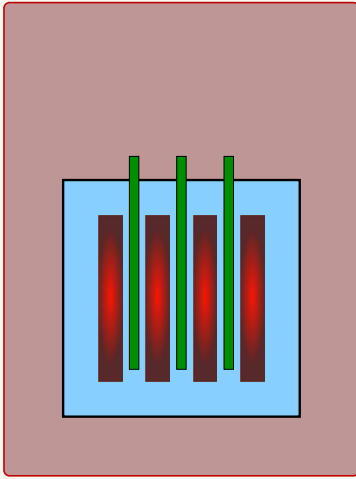


3. Radioaktív anyagok benntartása



Biztonsági funkciók

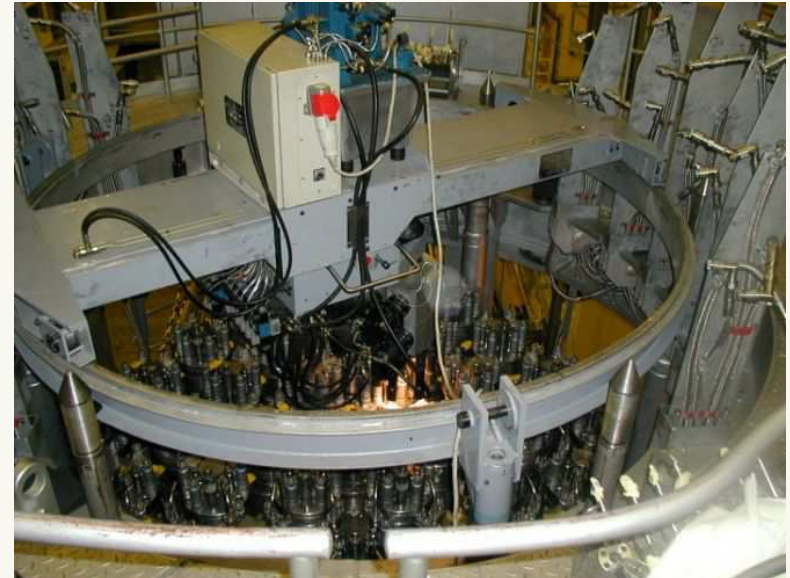
1. Láncreakció szabályozása és lezárása



- Viszonylag egyszerűen megvalósítható
- De: **remanens hő!**
 - Leállítás után 7 % teljesítmény!
 - 12 óra múlva is 1 % teljesítmény!
 - **Még 10 nap múlva is 0,2 % a teljesítmény, MW-okban mérhető hő keletkezik!**



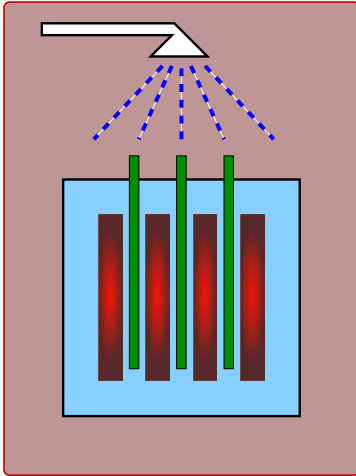
Forrás: www.atomeromu.hu



Forrás: www.atomeromu.hu

Biztonsági funkciók

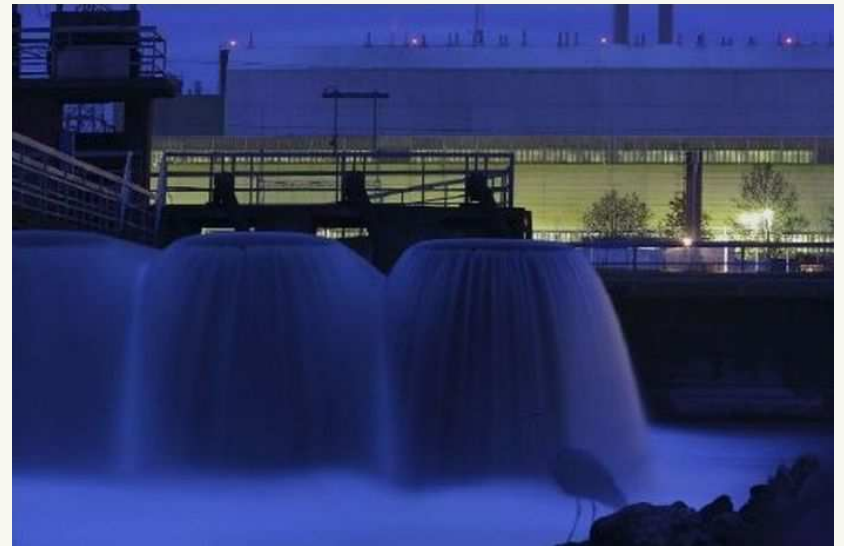
2. Hűtés normál üzemben és üzemzavar alatt



- Normál üzemben: energiatermelés révén
- Üzemzavar esetén szükséges:
 - Végső hőnyelő (remanens hő elvezetése)
 - Biztonsági hűtővíz
 - Áramellátás biztosítása



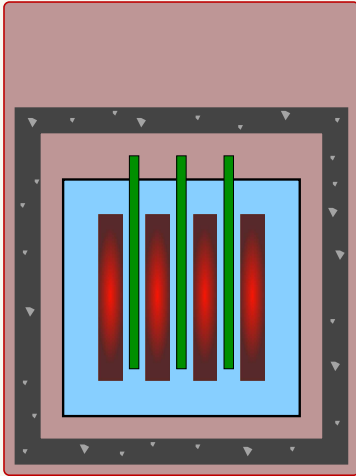
Forrás: www.atomeromu.hu



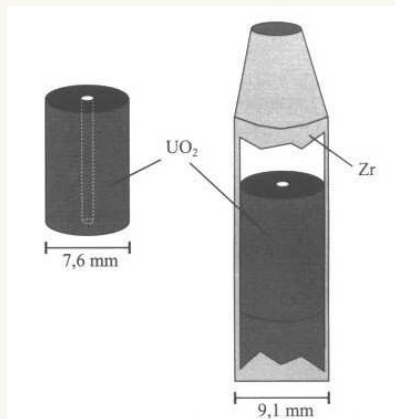
Forrás: www.atomeromu.hu

Biztonsági funkciók

3. Radioaktív anyagok benntartása



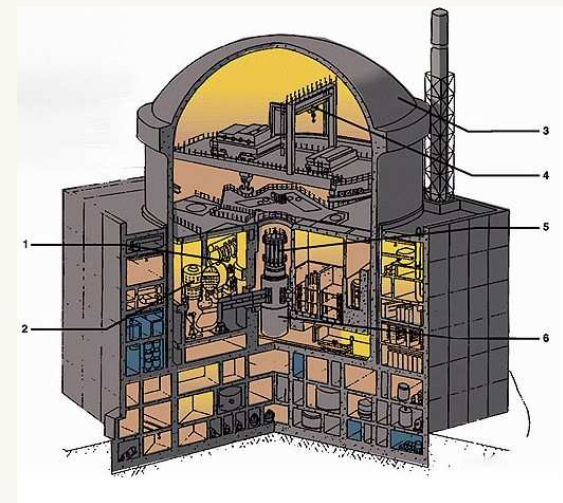
- Mérnöki gátak sorozata
- Üzemzavar esetén szükséges:
 - Üzemanyag hűtése, hogy integritása megmaradjon
 - Hermetikus épület (konténment)



Szatmáry Zoltán, 2003.



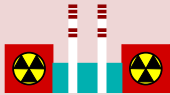
Forrás: tvel2012.ru



Forrás: www.juancole.com

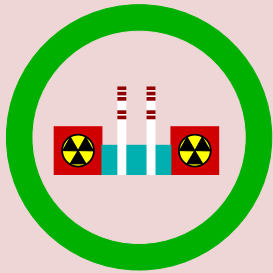
Üzemállapotok

- **Normál üzem, TA1:**
Működés közben és ki-, bekapcsolás során fellépő események.
Gyakoriság: évente. **Tervezési alapba tartozik.**
- **Várható üzemi esemény, TA2:**
Gyakran előforduló zavarok; biztonságosan leállítható és újraindítható kell legyen az erőmű.
Gyakoriság: 1–100 évente előfordul. **Tervezési alapba tartozik.**
- **Tervezési üzemzavar, TA3, TA4:**
Ritkán előforduló üzemzavar; nem követelmény az újraindíthatóság.
Gyakoriság: 100–1 000 000 évente. **Tervezési alapba tartozik.**
- **Tervezési alapon túli üzemzavar, TAK1:**
Igen ritka esemény, pl. többszörös meghibásodás; megengedett a végleges károsodás, de elviselhető következmények lehetnek csak.
Nem következik be az üzemanyag olvadása.
Tervezési alapba nem tartozik bele, de vizsgálni kell.
- **Súlyos baleset, TAK2:**
Súlyos következmények lehetségesek, de kell lennie stratégiának.
Üzemanyag jelentős olvadásával járó baleset.
Tervezési alapba nem tartozik bele, de vizsgálni kell.



- Hibák megelőzése:
Konzervatív tervezés
- Hibák észlelése:
Szabályozás, üzemi korlátok
- Üzemzavarok kezelése:
Biztonsági rendszerek
- Súlyos balesetek kezelése:
Mérések, intézkedések
- Telephelyen kívüli következmények csökkentése:
Balesetelhárítási intézkedési tervek

Mélyiségi védelem



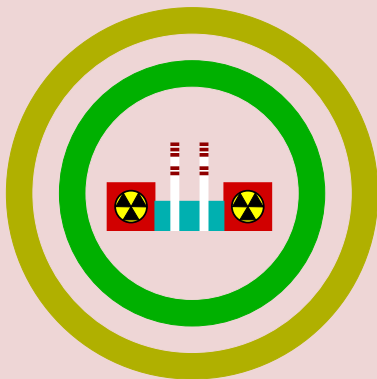
- **Hibák megelőzése:**
Konzervatív tervezés
- **Hibák észlelése:**
Szabályozás, üzemi korlátok
- **Üzemzavarok kezelése:**
Biztonsági rendszerek
- **Súlyos balesetek kezelése:**
Mérések, intézkedések
- **Telephelyen kívüli következmények csökkentése:**
Balesetelhárítási intézkedési tervek

Cél: Ne térjen el a normál üzemi állapottól.

Módszer: Jó tervezés, negatív visszacsatolás, szabályozó rendszerek.

Következmény: Nincs a hatósági korlátot meghaladó kibocsátás, TA1.

Mélyiségi védelem



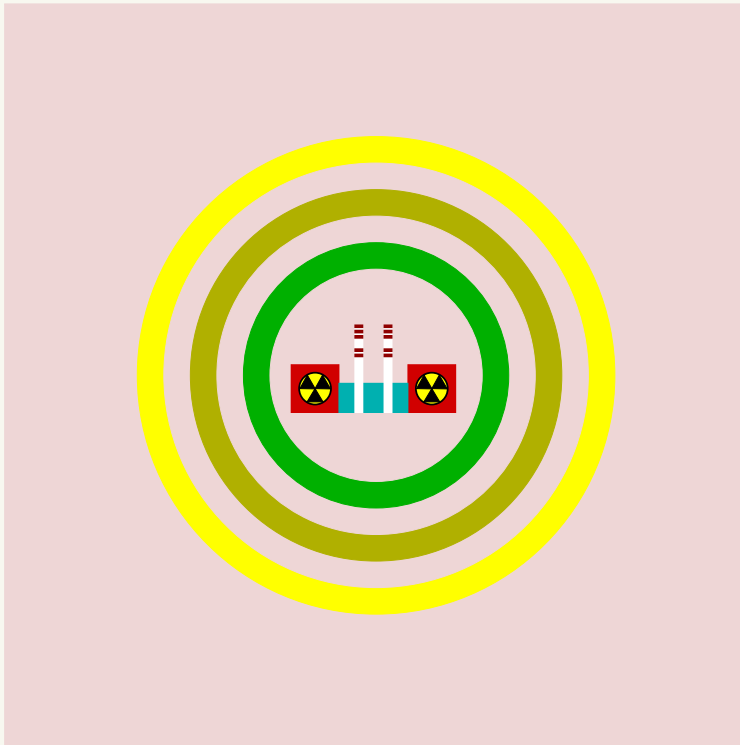
- **Hibák megelőzése:**
Konzervatív tervezés
- **Hibák észlelése:**
Szabályozás, üzemi korlátok
- **Üzemzavarok kezelése:**
Biztonsági rendszerek
- **Súlyos balesetek kezelése:**
Mérések, intézkedések
- **Telephelyen kívüli következmények csökkentése:**
Balesetelhárítási intézkedési tervek

Cél: Normálistól eltérő állapot észlelése, üzemzavar megakadályozása.

Módszer: Ellenőrzés, szabályozás, beavatkozás.

Következmény: Nincs a hatósági korlátot meghaladó kibocsátás, TA2.

Mélységi védelem



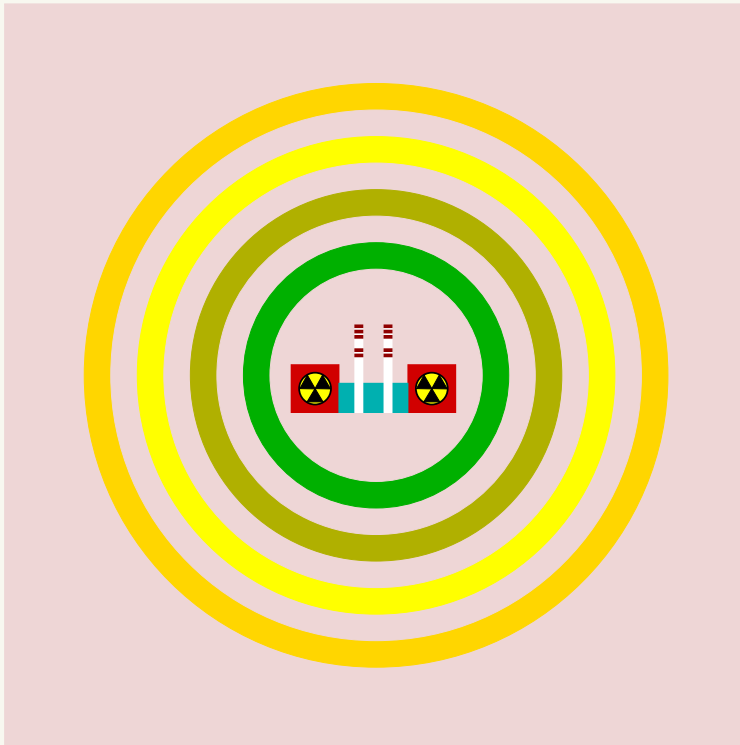
- **Hibák megelőzése:**
Konzervatív tervezés
- **Hibák észlelése:**
Szabályozás, üzemi korlátok
- **Üzemzavarok kezelése:**
Biztonsági rendszerek
- **Súlyos balesetek kezelése:**
Mérések, intézkedések
- **Telephelyen kívüli következmények csökkentése:**
Balesetelhárítási intézkedési tervek

Cél: Kibocsátás korlátozása, üzemanyag-olvadás elkerülése.

Módszer: Baj esetén induló biztonságvédelmi rendszerek, eljárások.

Következmény: Nincs, vagy minimális kibocsátás, TA3–4, TAK1.

Mélységi védelem



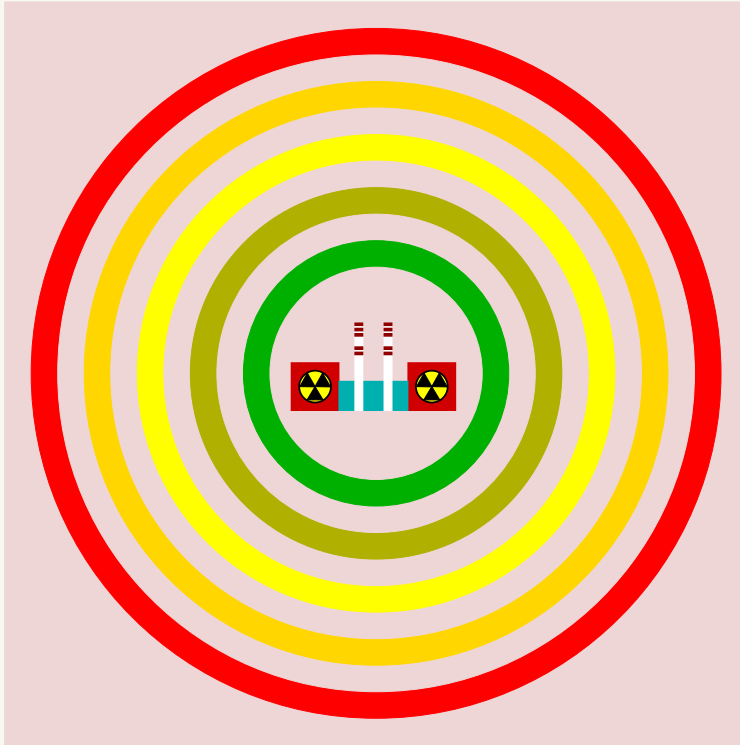
- **Hibák megelőzése:**
Konzervatív tervezés
- **Hibák észlelése:**
Szabályozás, üzemi korlátok
- **Üzemzavarok kezelése:**
Biztonsági rendszerek
- **Súlyos balesetek kezelése:**
Mérések, intézkedések
- **Telephelyen kívüli következmények csökkentése:**
Balesetelhárítási intézkedési tervek

Cél: Nagy vagy korai kibocsátás megakadályozása.

Módszer: Kiegészítő biztonsági eszközök, balesetkezelési útmutatók.

Következmény: Térben és időben korlátozott lakossági óvintézkedések, TAK2.

Mélységi védelem



- **Hibák megelőzése:**
Konzervatív tervezés
- **Hibák észlelése:**
Szabályozás, üzemi korlátok
- **Üzemzavarok kezelése:**
Biztonsági rendszerek
- **Súlyos balesetek kezelése:**
Mérések, intézkedések
- **Telephelyen kívüli következmények csökkentése:**
Balesetelhárítási intézkedési tervek

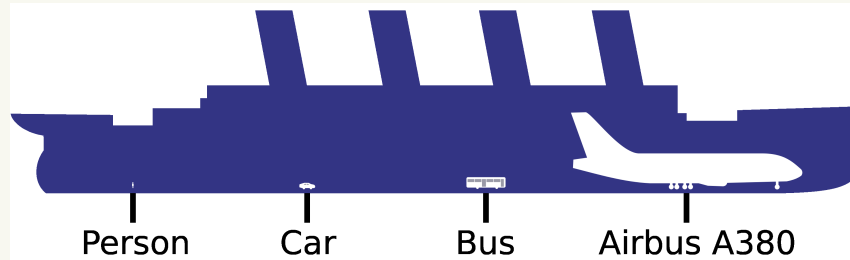
Cél: Következmények enyhítése.

Módszer: Balesetelhárítási tervek.

Következmény: Lakossági óvintézkedések indokoltá válnak.

Mélységi védelem—Titanic

- A kor legnagyobb utasszállító gőzöse.
- 1912. április 15-én süllyedt el, 2200 utassal a fedélzeten.
- Biztonság: két független rádió, légrekeszek
- 1507 halálos áldozat (egyik legsúlyosabb polgári hajózási baleset)



Forrás: Wikimedia Commons

Hibák észlelése

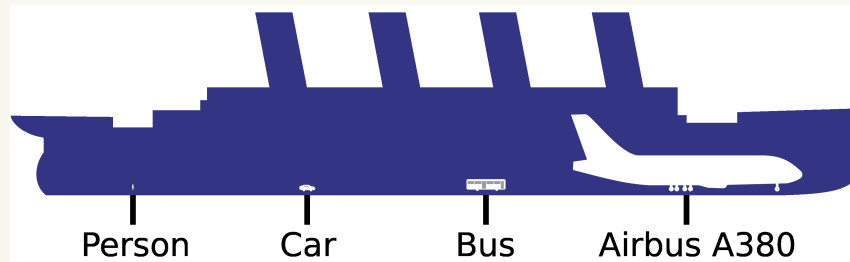
- Jéghegyek figyelése. De: üzemeltetési hibák (nem minden jéghegyriasztás jutott el a parancsnoki hídra)

Üzemzavarok kezelése

- Légrekeszek, mentőcsónakok. De: rossz tervezési alap (4 légrekesz helyett 6 sérült, kevés mentőcsónak: csak 1778 férőhely)
- Lezárható légrekeszek. De: válaszfal magassága nem teljes

Mélységi védelem—Titanic

- A kor legnagyobb utasszállító gőzőse.
- 1912. április 15-én süllyedt el, 2200 utassal a fedélzeten.
- Biztonság: két független rádió, légrekeszek
- 1507 halálos áldozat (egyik legsúlyosabb polgári hajózási baleset)



Forrás: Wikimedia Commons

Súlyos balesetek kezelése

- Segélykérő rendszerek (rakéta, rádió). De: Californian nem értette a rakétajeleket, rádiósuk aludt.

Következmények csökkentése

- Utasok mentése. De: kevés mentőcsónak, rossz szervezés (még 400 ember befért volna)

Eastland-hatás

- Titanic katasztrófája után szigorúbb biztonsági szabályok, pl. mindenkinek legyen mentőcsónak
- SS Eastland, instabil lett a mentőcsónakok és daruik miatt
- 2015. július 24. Chicago: 2752 utas, utasok a víz felőli oldalon
- Ballasztok feltöltésével egyensúlyba hozták a hajót
- Induláskor az utasok a part felőli oldalra szaladtak, a hajó felborult
- 848 áldozat



Eastland-hatás: eltúlzott biztonsági intézkedés vezethet kevésbé biztonságos állapothoz.

Biztonsági rendszer fogalma

Biztonsági rendszer: A nukleáris létesítmények biztonság szempontjából fontos rendszerei közül azok, amelyeket részben vagy kizárólag olyan funkciók teljesítése céljából terveztek és építettek be, amely funkciók csak valamely kezdeti eseményt követően válnak szükségessé, és a biztonság fenntartását, helyreállítását, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítését célozzák.
(NBSZ 10).

A biztonsági rendszerek a mélységi védelem 3. szintjét alkotják. Védetteknek kell lenniük a külső és belső veszélyek ellen, hogy szükség esetén működésbe tudjanak lépni.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.

Biztonsági osztályokba sorolás

- A biztonságos működésben játszott szerepük alapján az épületszerkezeteket **biztonsági osztályokba** kell sorolni.
- **Más-más követelmények** az egyes osztályokban a tervezésre, gyártásra, üzemeltetésre, fenntartásra.
- Legmagasabb a reaktorberendezés (maga a reaktor és a hűtőkör).
- A konténment is az 1. osztályba tartozik: a primerkör sérülése esetén korlátozza a kibocsátást.
- A biztonsági osztályba sorolás elvei:
A biztonsági funkciók osztályba sorolása,
a helyiségek osztályba sorolása a benne levő funkciók alapján,
az épület osztályba sorolása a legmagasabb osztályú helyiség alapján.

Ezen az osztályozáson kívül szokás **földrengés-biztonsági osztályokba** sorolni a szerkezeteket, és külön szükséges figyelni a **balesetek, súlyos balesetek kezelésében** szerepet játszó szerkezetekre.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.

Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve

- **Tervezés** szigorúan a szabályok, szabványok és kódok alapján történik (sokféle van).
- Az alkalmazott szabványoknak **koherenseknek** kell lenniük, rendszert kell képezniük.
- A **nukleáris iparban elfogadott szabványokat** kell alkalmazni, mert azok szigorúbbak egyéb iparágak szabványainál.
- Ez az elv nem lehet a fejlődés, fejlesztések gátja! Azonban az új megoldások (pl. a balesetkezelési megoldások közül az olvadékcsapda) **kísérleti igazolást** igényel. Az új rendszert is kipróbált, **minősített rendszerelemekből** kell felépíteni.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.

Tervezés alapja: kezdeti esemény elemzése

- **Kezdeti esemény:** TA2–4 vagy TAK1–2 üzemállapotot eredményez.
- A biztonsági rendszernek az **adott üzemállapothoz** tartozó körülmények között kell működnie. (Tehát: milyen körülmények között mit kell tudnia a rendszernek.)
- Tervezés lépései:
 - Funkciónak megfelelő rendszer kidolgozása (működési elvtől a gyártmány típusáig).
 - Térbeli elhelyezkedés megtervezése.
 - Az egyes komponensek méretezése (terhek, körülmények, csatlakozó rendszerek, méretezés, ellenőrzés).
 - Gyártási, szerelési tervek.
 - Üzemeltetési, karbantartási, felülvizsgálati, öregedéskezelési tervek kidolgozása.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.

Tervezési élettartam

A **tervezett üzemidő**től függ, hogy milyen élettartamra kell tervezni a biztonsági rendszereket.

A tervezett üzemidőt lényegében az építéskori technológiai ismeretek szabják meg: meddig bírhatják a nem cserélhető alkatrészek. A minimumot az üzleti szempont határozza meg.

II. generációs erőművek: 30–40 év.

Korszerű erőművek: 60 év.

De egyes rendszerelemekre a leállás után is szükség lesz, pl. a pihentető medence és annak hűtőrendszere.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.

Redundancia

Redundancia: Egy adott funkció teljesítéséhez több, ugyanazt a funkciót ellátó, azonos vagy diverz működési elvű és felépítésű rendszer alkalmazása annak érdekében, hogy egyszeres meghibásodás feltételezése esetén is a funkció ellátása még biztosítható legyen. (NBSZ 10).

A redundancia haszna: az egész erőművet érintő hatások (pl. földrengés) esetét kivéve jelentősen növeli a biztonsági rendszerek rendelkezésre állását.

Pl. EPR: **4** teljes kapacitású üzemzavari zónahűtő és villamosenergia-ellátó rendszer van.

Ha n azonos funkciót ellátó rendszert építünk be, és egynek a meghibásodási valószínűsége p , akkor a funkció elvesztésének valószínűsége p^n .

Például, ha a meghibásodás valószínűsége 10^{-1} /év, vagyis 10 évente várható a meghibásodás, akkor 4-szeres redundancia mellett 10^4 év alatt várható a funkció elvesztése.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.

Diverzitás, függetlenség → megbízhatóság

Diverzitás: Olyan rendszerek vagy rendszerelemek alkalmazása, amelyek ugyanazon funkció teljesítését látják el, azonban e szempontból valamely fontos paraméter, így különösen működési elv, kialakítás, elrendezés, gyártó tekintetében eltérnek egymástól, csökkentve ezzel a közös okú vagy azonos módon történő meghibásodások előfordulásának valószínűségét.

(NBSZ 10).

Fizikai elválasztás: Rendszerek, rendszerelemek megfelelő geometria, távolság, tájolás kiválasztásával, megfelelő gátak alkalmazásával, vagy ezek kombinációjával történő elválasztása.

(NBSZ 10).

A redundancia mellett törekedni kell a redundáns rendszerek diverzitására és fizikai elválasztására, ez növeli a **megbízhatóságot**.

Megbízhatóság (avagy rendelkezésre állás): annak valószínűsége, hogy a rendszer, rendszerelem szolgáltatni fogja a minimálisan megkívánt teljesítményét, amennyiben működésére parancsot kap.

(NBSZ 10).

Megbízhatóság

Egy rendszer megbízhatósága az elemeinek megbízhatóságától és azok elrendezésétől függ.

Szélső esetek:

- **Soros rendszer:** csak akkor működik, ha minden eleme működik:

$$R_e = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n.$$

Elemek számának növelésével csökken a megbízhatóság.

- **Párhuzamos rendszer:** csak akkor hibásodik meg, ha minden eleme meghibásodik: $R_e = 1 - [(1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n)]$.
Elemek számának növelésével nő a megbízhatóság.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

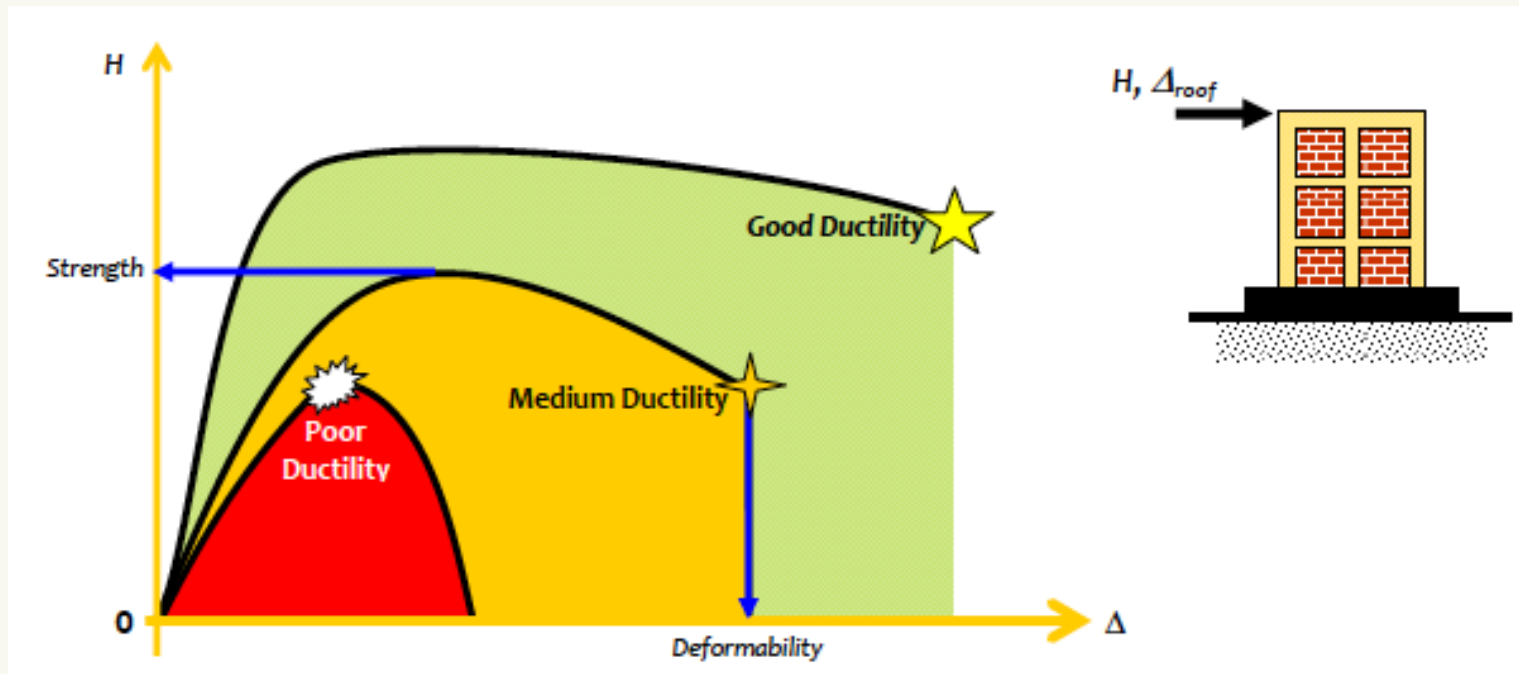
- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.

Tervezés tartalékokkal

- Célja a pontatlanságok, bizonytalanságok, hibák és öregedés figyelembe vétele.
- A hatások és a teherbírás **konzervatív** megállapítása:
 - A terhek, hatások tervezési értéke olyan, hogy csak nagyon kis valószínűséggel lépje túl az élettartam alatt. Pl. földrengés tervezési alapját szolgáló maximális vízszintes gyorsulás gyakorisága 10^{-5} /év.
 - Ellenállások, anyagjellemzők bizonytalansága: konzervatív biztonsági tényező.
 - Öregedés hatását vagy vizsgálni kell, vagy megfelelő korrekciót alkalmazni.

Tervezés tartalékokkal

Követelmény a **duktilis viselkedés** (azaz a nagy képlékeny tartalékok, energiaelnyelő-képesség, ridegedés elkerülése).



Tervezés tartalékokkal

Szakadékszél-effektus (cliff-edge effect): Atomerőmű esetében olyan súlyosan rendellenes folyamat, amikor a paraméterek kis változása hatására az erőmű állapota hirtelen, nagymértékben negatív irányba változik.

(NBSZ 10).

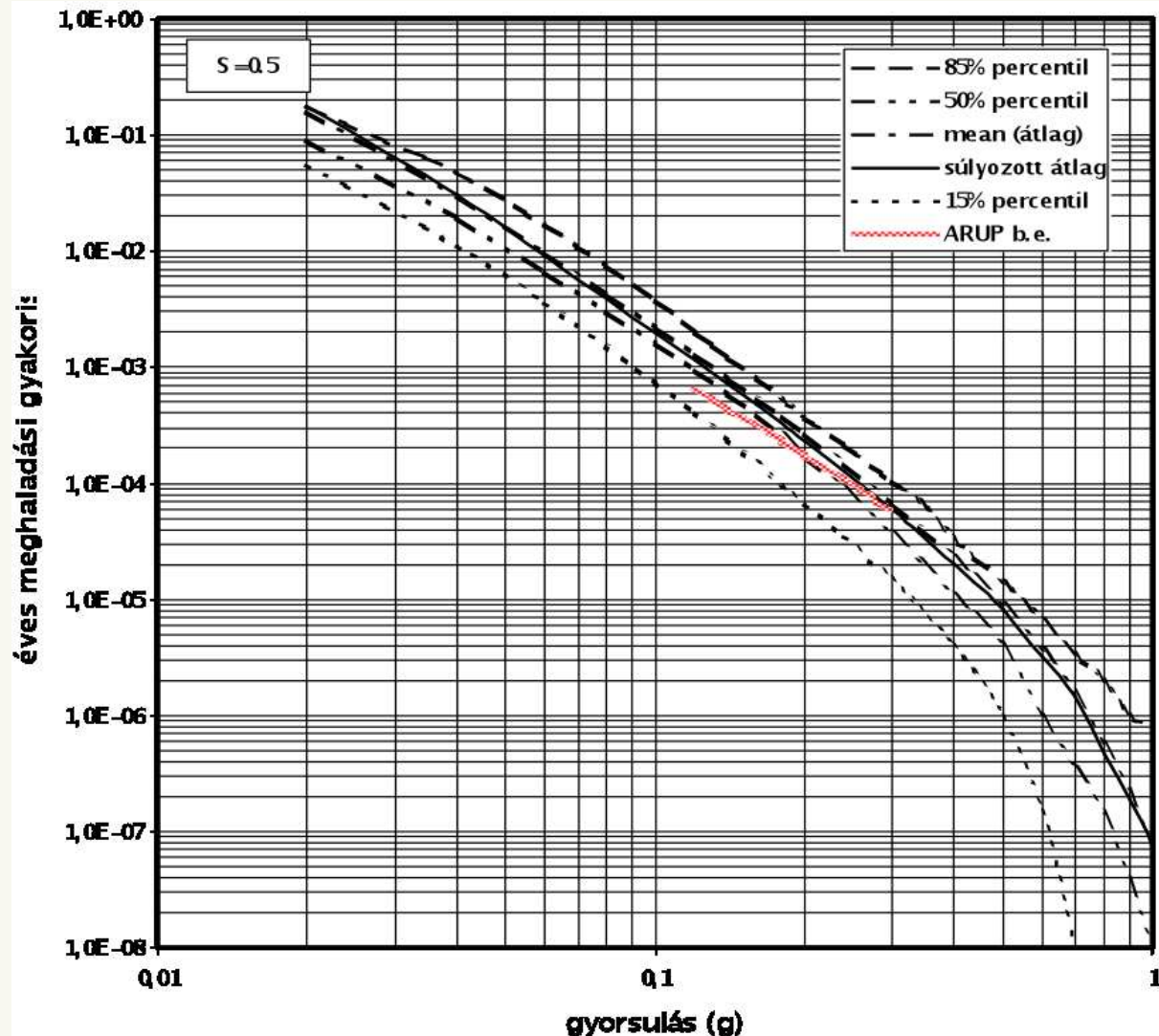
Azaz: a tervezési értéknél kicsit kisebb valószínűségű, nagyobb hatásnak súlyos következménye van.

Pl. ASCE-szabvány:

- 1 %-nál kisebb valószínűséggel fordul elő funkcióvesztés a tervezési alapba tartozó földrengésnél, és
- 10 %-nál kisebb valószínűséggel fordul elő funkcióvesztés, ha a földrengés a tervezési alapba tartozó 150 %-a.

Tervezés tartalékokkal

A szakadékszél-effektus vizsgálata: milyen a veszélyeztetettségi görbe meredeksége a tervezési alapnak megfelelő gyakoriságnál? Ha túl nagy, akkor figyelembe kell venni ezt a tervezésnél.



Tervezés tartalékokkal

Tartalék számszerűsítése is szükséges új atomerőművek esetén.

Például a földrengés maximális vízszintes gyorsulásban mért tartaléka legyen legalább 1,4-szerese a tervezési alapban szereplő értéknek.

Ezeket a tartalékokat **nem szabad** kihasználni technológiai folyamatokban!

Például egy felfűtés vagy lehűtés során a munkapontnak mindig távol kell lennie a tartalék kihasználásától.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.
- Meghibásodás-védett rendszerek.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.
- Meghibásodás-védett rendszerek.

Meghibásodás-védett rendszerek

Meghibásodás-védett rendszerek: Rendszerek és rendszerelemek azon tulajdonsága, amely biztosítja, hogy a meghibásodott rendszer, rendszerelem a hibát követően közvetlenül biztonságos állapotba kerül. (NBSZ 10).

Példa **passzív** rendszerre: a reaktor leállítására szolgáló abszorbens rudak elektromágneses felfüggesztése miatt hiba esetén a rudak beesnek az aktív zónába és leállítják a láncreakciót.

Példa **aktív** rendszerre: szelep energiaellátás híján a kívánt (nyitott vagy zárt) helyzetbe kerül.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.
- Meghibásodás-védett rendszerek.
- Minősített elemek alkalmazása.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.
- Meghibásodás-védett rendszerek.
- Minősített elemek alkalmazása.

Minősítés

Minősítés: Szervezetek, személyek, eszközök, anyagok, gyártási módszerek, technológiák, rendszerek, rendszerelemek, vizsgálatok vagy eljárások alkalmasságának elbírálása a nukleáris létesítmény biztonságával kapcsolatban, illetve funkciók betöltésére történő jóváhagyást tartalmazó döntés megalapozása céljából. (NBSZ 10).

A minősítési eljárás:

- Üzemállapot, körülmények és azok időtartamának meghatározása, amik közt működni kell. Ezeket a jellemzőket konzervatív irányban kicsit módosítani kell.
- Az állapotromlásért, öregedésért felelős folyamatok azonosítása, kísérleti vizsgálatnál előöregítés alkalmazása. Az élettartam végén is kellő tartalékkal kell működnie a rendszernek.
- Igazolni kell a szükséges ideig fennálló működőképességet.
- Meg kell határozni a minősítési állapot fenntartásának módját, feltételeit.

Például a Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbításánál az eredetinél hosszabbidőre kellett kiterjeszteni a minősítést.

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése

- Biztonsági osztályokba sorolás.
- Kipróbált műszaki megoldások alkalmazásának elve.
- Tervezés kiindulópontja: valamely kezdeti esemény elemzése.
- Tervezési élettartam.
- Redundancia.
- Diverzitás és függetlenség.
- Tervezés tartalékokkal.
- Meghibásodás-védett rendszerek.
- Minősített elemek alkalmazása.

Kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközök

A mélységi védelem 4. és 5. szintje, TAK1 és TAK2 kezeléséhez szükséges eszközök. Emlékeztető:

TAK1: az aktív zónában és a pihentető medencében levő üzemanyag olvadásával nem járó komplex üzemzavar.

TAK2: az üzemanyag jelentős olvadásával járó súlyos baleset.

A TAK1 eszközöknek mindent ki kell bírnia, ami a tervezési alapba tartozik.

A TAK2 eszközöknek azt is, ami a TAK1-be tartozik.

A szükséges eszközök az események elemzéséből következnek. Célok:

TAK1: 24 órán belül ellenőrzött, 72 órán belül biztonságos, leállított állapot.

TAK2: A nagy vagy korai kibocsátásra előírt 10^{-6} /év gyakorisági kritériumot teljesíteni kell, és biztosítani kell a maradványhő végső hőnyelőbe szállítását (ennek elvesztési gyakorisága nem lehet nagyobb, mint 10^{-7} /év).

(+blokkvezénylők, balesetelhárítási létesítmények védelme, stb. . .)

Kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközök

Ki kell zárni (fizikai evidenciával, vagy annak igazolásával, hogy az esemény gyakorisága kisebb, mint 10^{-7} /év):

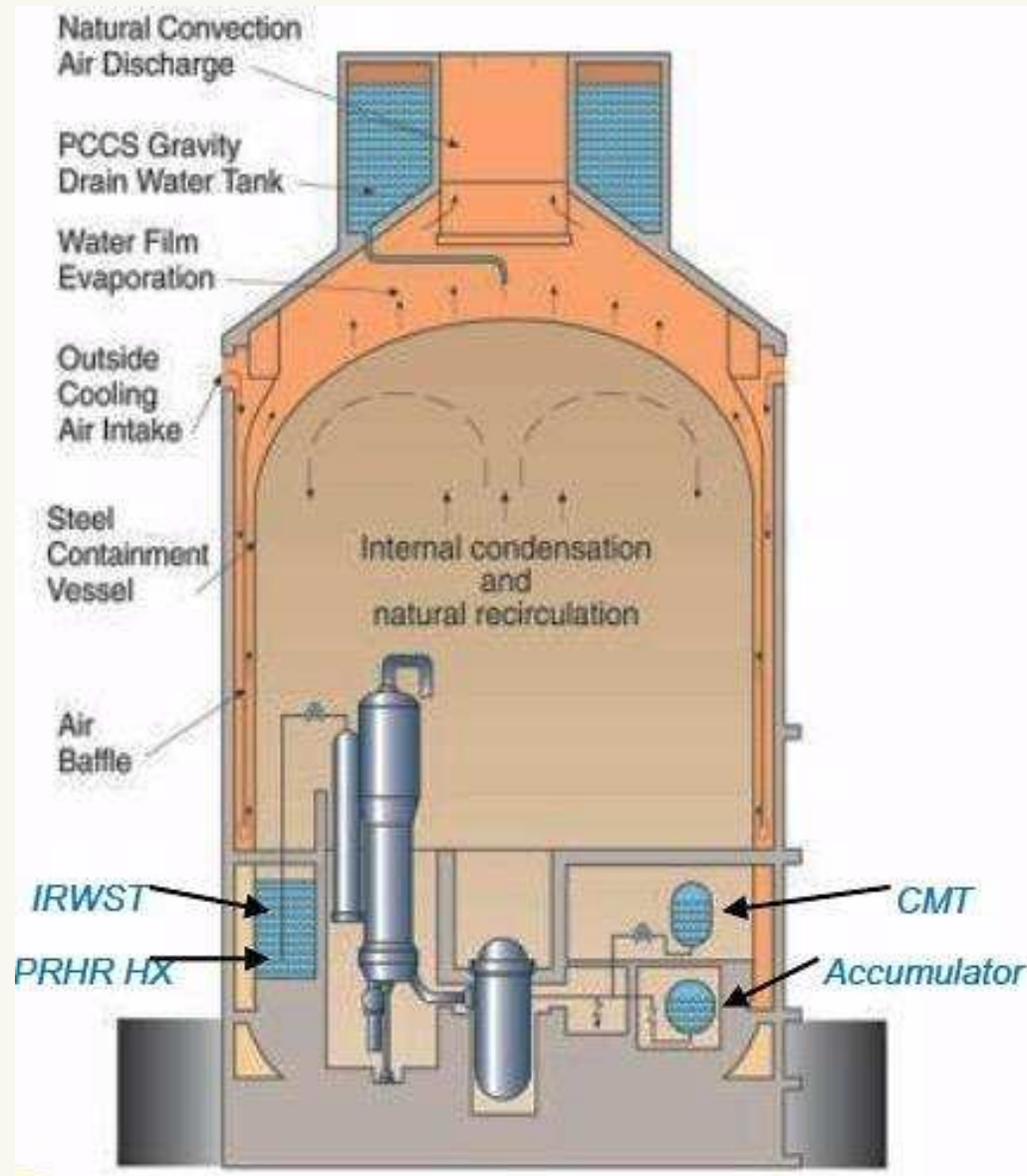
- a reaktortartály törését,
- a prompt kritikussággal járó reaktív baleseteket,
- a konténment integritását veszélyeztető terhelést (pl. nehéz teher leejtése, gőz- és hidrogénrobbanás, üzemanyag-olvadék teherhordó szerkezetre ömlése, stb.),
- hűtés elvesztését fűtőelem-tárolás során,
- hűtőközeg elvesztését nyitott konténment mellett, ami a zóna szárazra kerüléséhez vezethet.

TA4 és TAK1–2 állapotokban törekedni kell a passzív biztonsági rendszerek használatára, mert ezek külső beavatkozás nélkül is biztonságos állapothoz vezetnek.

Példa: Rendszer magas pontján elhelyezett hűtőközeg kihasználja a gravitációt.

Példa: Hidroakkumulátor vagy rugó lehet passzív energiatároló.

Kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközök



AP1000 konténment passzív hűtőrendszere.

Kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközök

Példa: milyen földrengésre kell tervezni az olvadékcspadát vagy a baleseti hidrogénrekombinátorok rögzítését?

Két eset lehetséges:

- A nagy vagy korai kibocsátásra vonatkozó 10^{-6} /év kritérium teljesítéséhez a kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközöknek meg kell őrizniük integritásukat 10^{-5} /év gyakoriságú földrengés esetén úgy, hogy 10 %-nál kisebb az esély arra, hogy az eszközök bevetése ellenére bekövetkezik a korai vagy nagy kibocsátás.
- Igazolni kell, hogy a tervezési alapban szereplő hatásokra tervezett kiegészítő biztonsági és balesetkezelési eszközök elegendő tartalékkal bírnak a TAK1 és TAK2 hatások elviseléséhez.

És persze a szakadékszél-effektust is el kell kerülni.

Biztonság: nemcsak tervezés

- **Tervezési alap** gondos megválasztása.
- **Mélységben tagolt védelem elve** fizikailag és logikailag is.
- **Többszörös mérnöki gátak**, ha az egyik sérül, legyen tartalék.
- **Eljárások** – üzemviteli, üzemzavar-elhárítási, balesetelhárítási.
- **Felkészültség**, legyen kész terv üzemzavarok esetére, és a kezelőszemélyzet ismerje is azt.
- **Műszaki állapot fenntartása**: karbantartás, felülvizsgálat, öregedéskezelés, felújítások.
- **Üzemi rend fenntartása**, például fizikai biztonság: ne juthasson be bárki bárhova.
- **Biztonság folyamatos felülvizsgálata**.
- **Tapasztalatok visszacsatolása**.