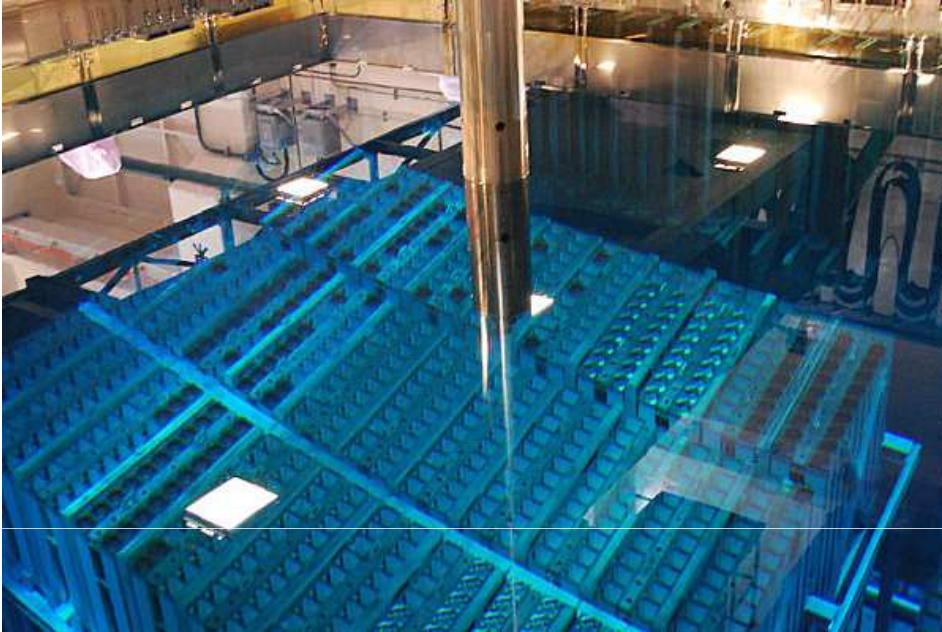




# **Fukushima, hogyan tovább? Atomellenesség az EU-ban?**

A fukusimai atomerőmű balesetének következményei  
Az atomenergia jelene és jövője

**Prof. Dr. Aszódi Attila**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Nukleáris Technikai Intézet

[http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr\\_aszodi\\_attila/japan\\_foeldrenges.html](http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr_aszodi_attila/japan_foeldrenges.html)

BME Energetikai Szakkollégium, Budapest, 2011. november 24.

*Az előadás a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 támogatásával jött létre*

# Tartalom

- Nukleáris biztonsági alapelvek
- A Fukushima Daiichi balesetének következményei, helyreállítás
- Célzott biztonsági felülvizsgálatok
- Az atomenergia jövője

- Előzmények az ESZK szervezésében a BME-n tartott 2011. április 20-i előadásban

[http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr\\_aszodi\\_attila/japan\\_foeldrenges.html](http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr_aszodi_attila/japan_foeldrenges.html)



Forrás: Kyodo News

# Bevezető gondolatok



# Mire tervezünk egy hidat?

Várható terhelések meghatározása → mértékadó terhelés

+

biztonsági tényező



# Mire tervezünk egy hidat?

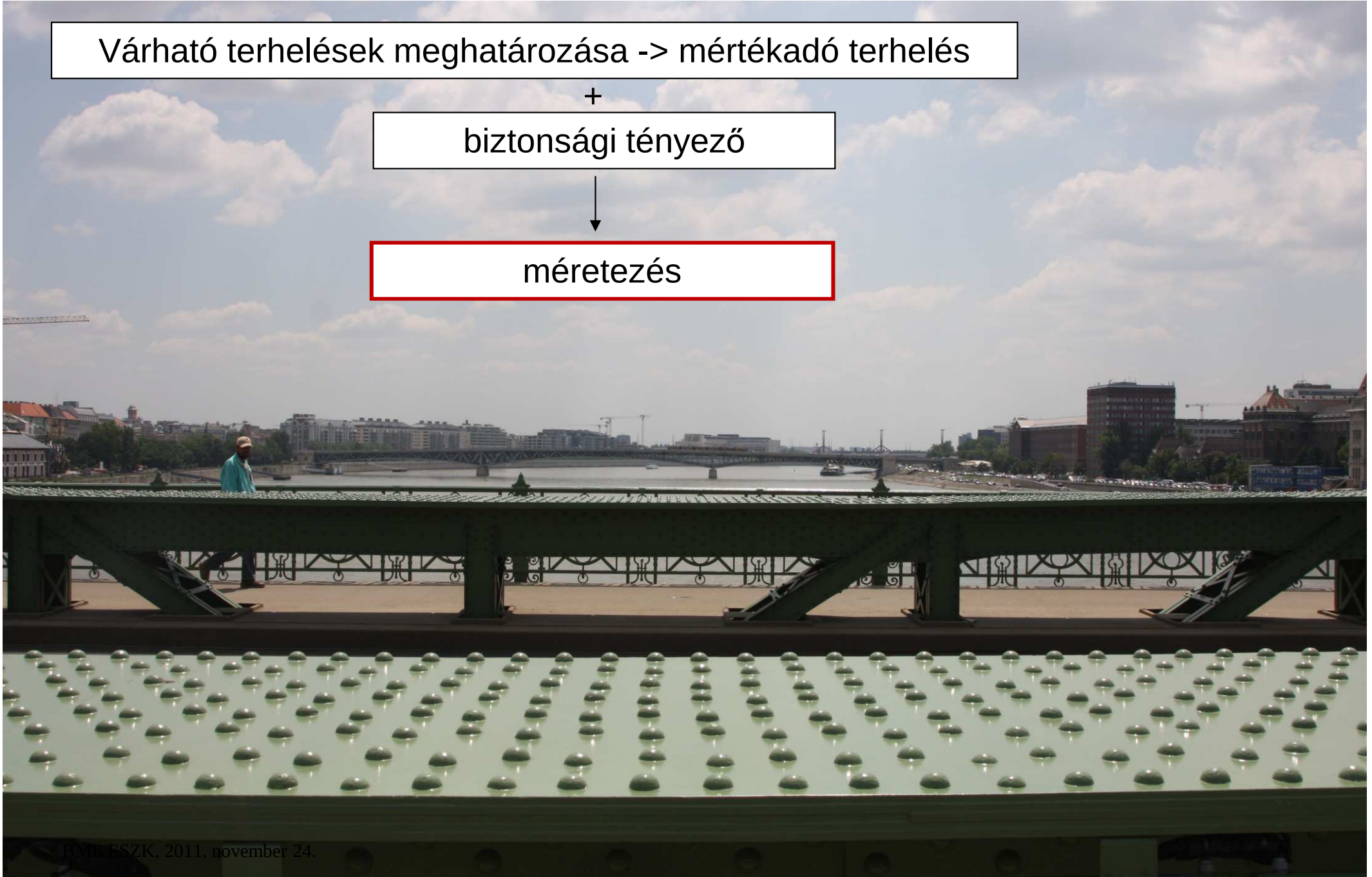
Várható terhelések meghatározása -> mértékadó terhelés

+

biztonsági tényező

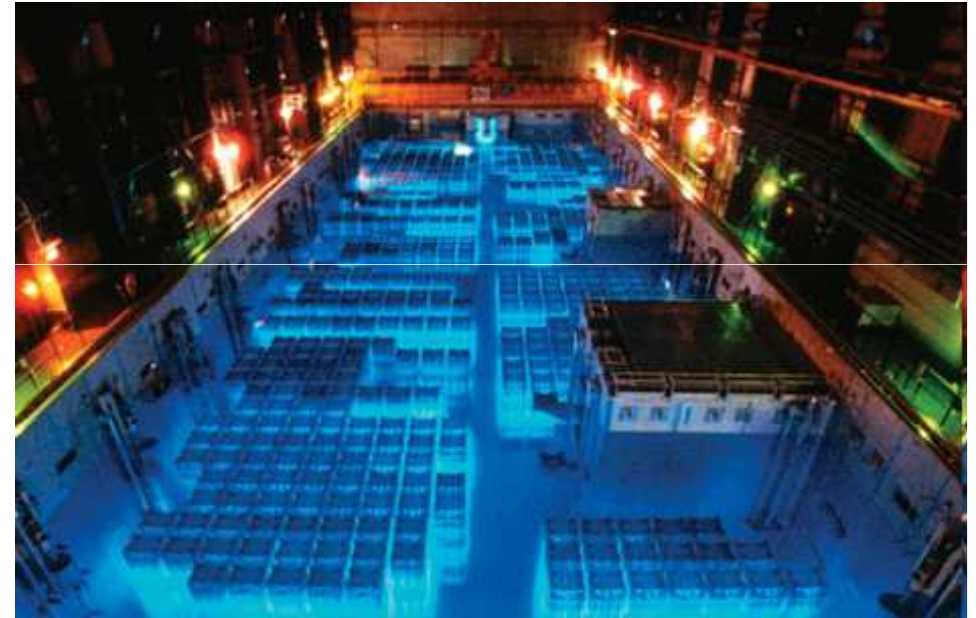


méretezés



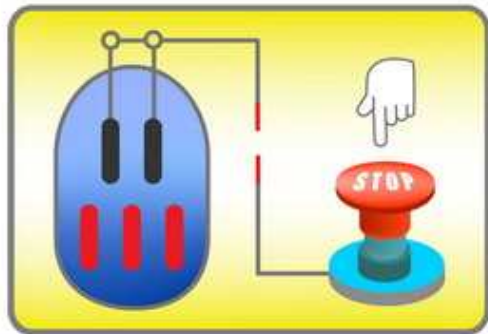
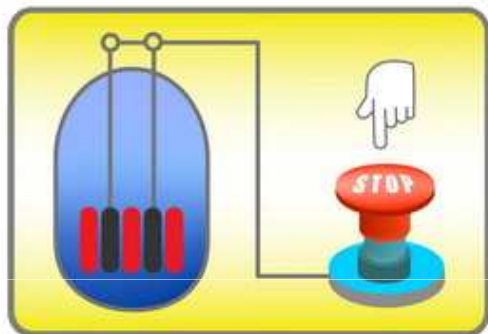
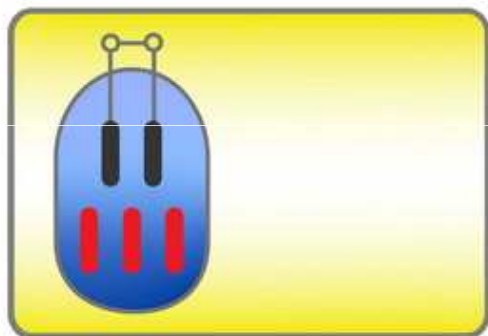
# Mire tervezünk atomerőművet?

- Az áramtermelés mellett arra, hogy a biztonsági funkciókat ellássa.
  - Normál üzemben nagyon kis radioaktív kibocsátás
  - De: igen jelentős radioaktivitás van felhalmozva
    - ⇒ Nagyon kis valószínűséggel (súlyos baleset esetén) jelentős környezeti kibocsátás is lehet
  - **Cél a lakosság elfogadhatatlan többlet sugárterhelésének megakadályozása**

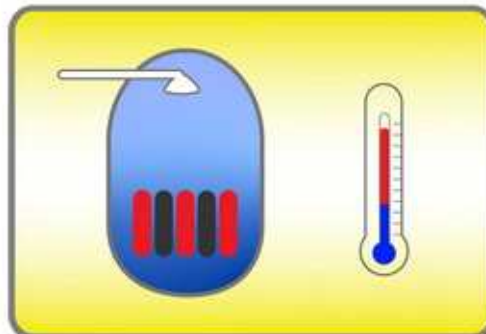
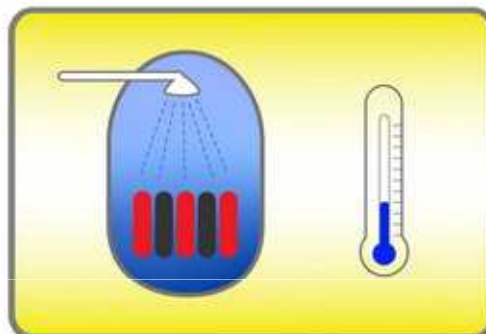
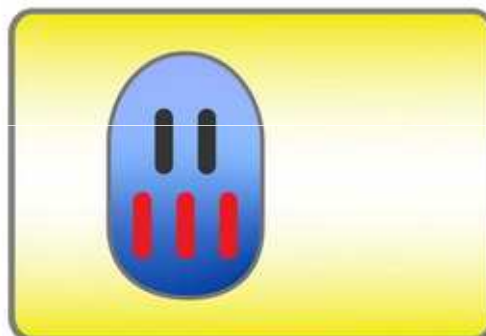


# Biztonsági funkciók

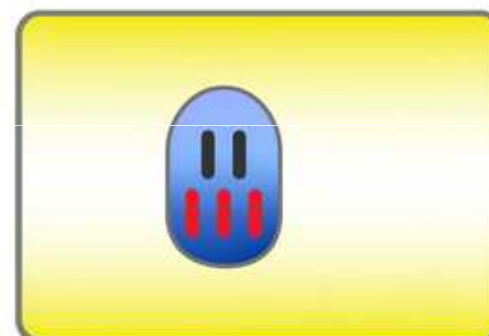
1. Láncreakció hatékony szabályozása és lezárása



2. Hűtés normál üzemben és üzemzavarok alatt



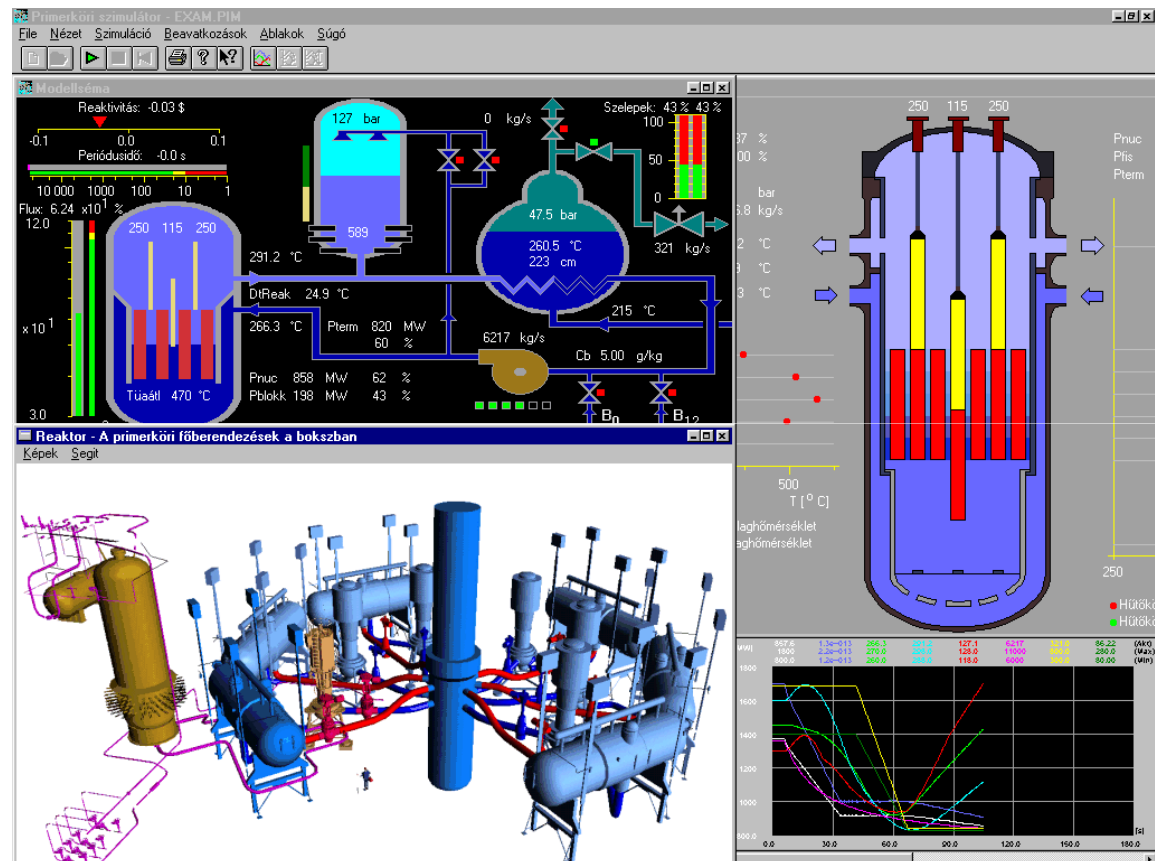
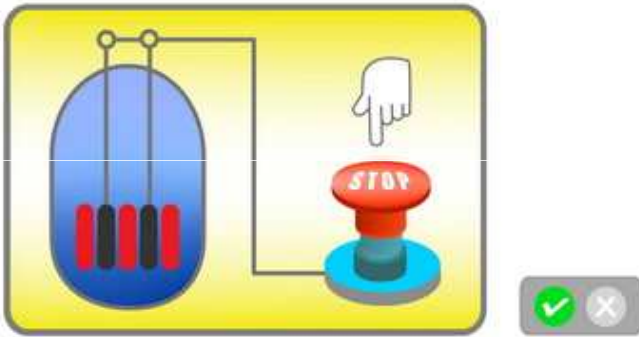
3. Radioaktív anyagok benntartása



# Biztonsági funkciók

1. Láncreakció hatékony szabályozása és lezárása

Viszonylag egyszerűen megvalósítható



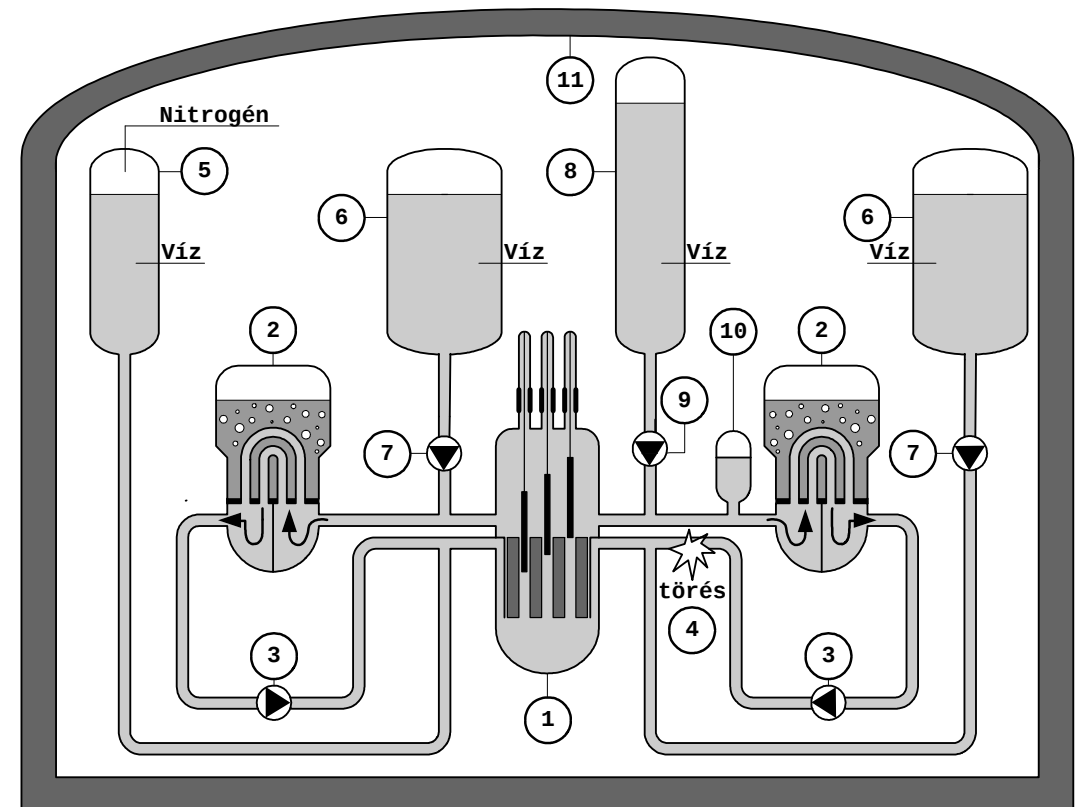
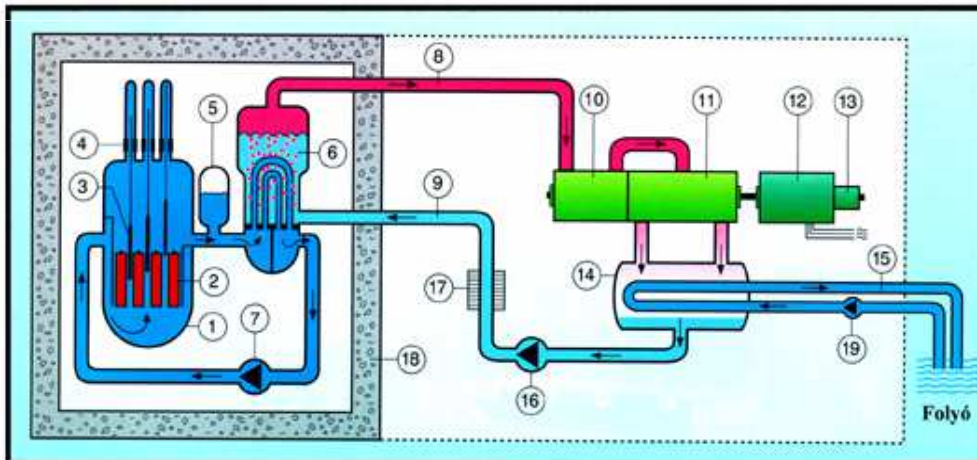
# Biztonsági funkciók

## 2. Hűtés normál üzemben és üzemzavarok alatt



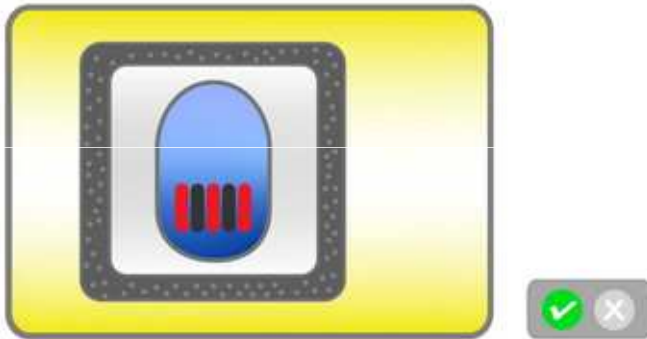
Normál üzemi hűtés az energiatermelési folyamat révén  
Üzemzavarok esetén szükséges:

- végső hőnyelő, amibe a leállított reaktorban keletkező remanens hő elvezethető
- normál üzemi hűtésen túl biztonsági hűtővíz szükséges
- aktív üzemzavari rendszerek áramellátása biztosítandó (minden tervezési üzemzavar alatt is)



# Biztonsági funkciók

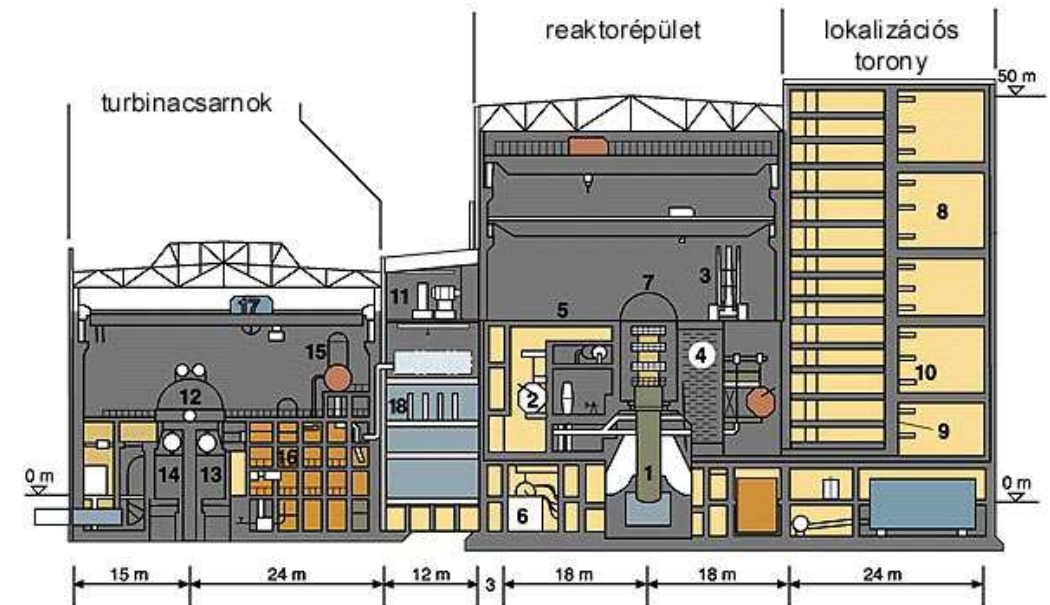
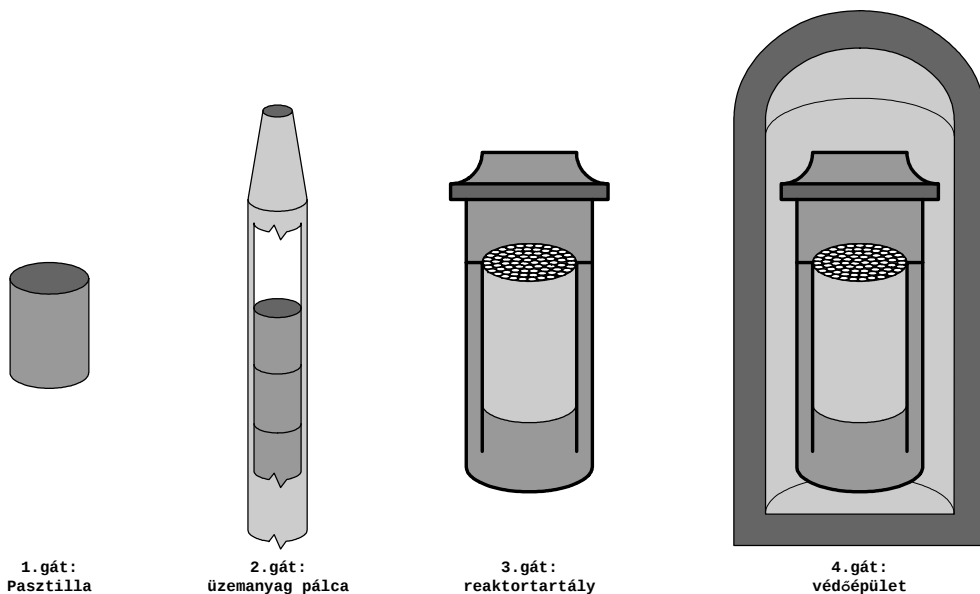
## 3. Radioaktív anyagok benntartása



Megtöbbszörözött mérnöki gátak rendszere

Üzemzavarok esetén szükséges továbbá:

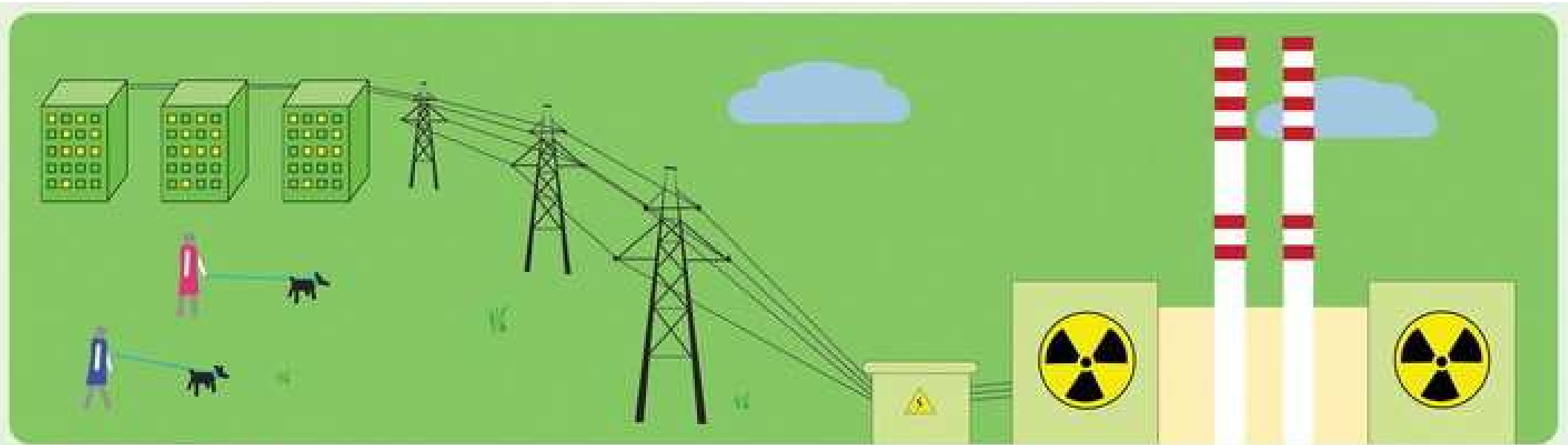
- üzemanyag hűtendő, hogy integritása fennmaradjon
- hermetikus épület integritása biztosítandó
  - hőelvezetés a hermetikus épületből
  - hidrogénkeletkezés megakadályozása
  - ha mégis keletkezne hidrogén, a hidrogénrobbanás megakadályozása



# Méretezés külső hatásokra



# Atomerőművi események és állapotok besorolása



**NORMÁL ÜZEM**



**VÁRHATÓ ÜZEMI ESEMÉNYEK**

# Atomerőművi események és állapotok besorolása



**TERVEZÉSI ÜZEMZAVAROK**



**SÚLYOS BALESET**



NORMÁL ÜZEM



VÁRHATÓ ÜZEMI ESEMÉNYEK



TERVEZÉSI ÜZEMZAVAROK



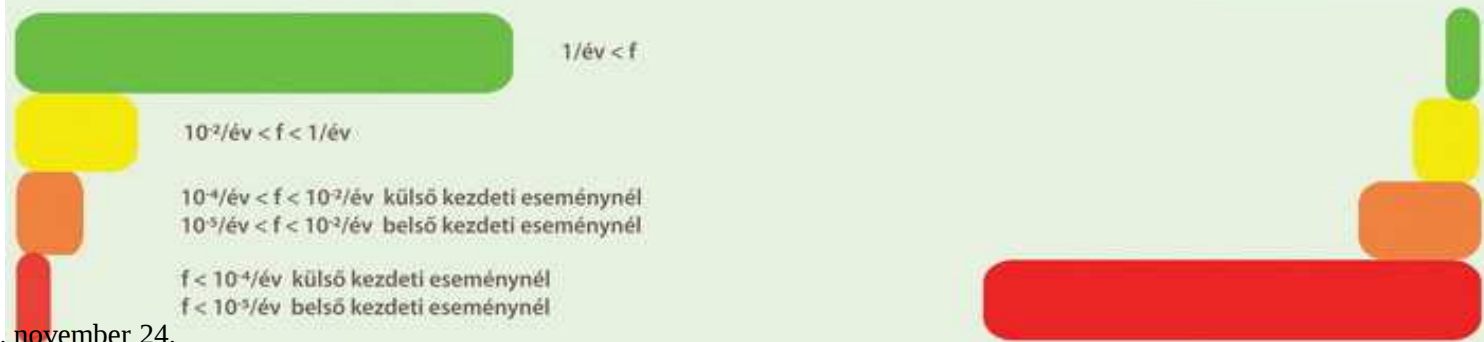
SÚLYOS BALESET

Tervezési  
alapba  
tartozó  
események

Tervezési  
alapon túli  
események

előfordulás várható gyakorisága (f)

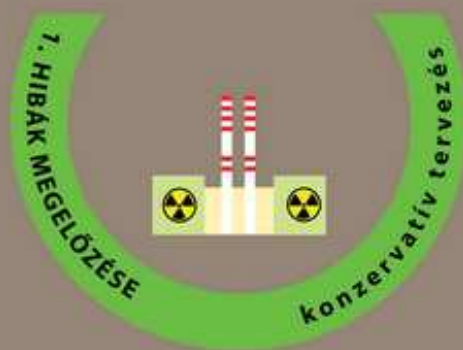
esemény súlyossága



# MÉLYSÉGI VÉDELEM



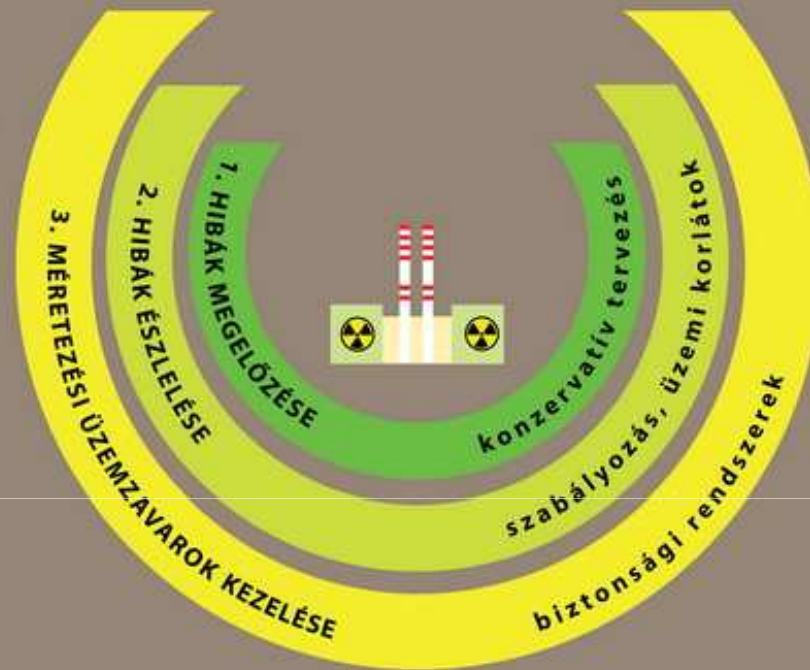
# MÉLYSÉGI VÉDELEM



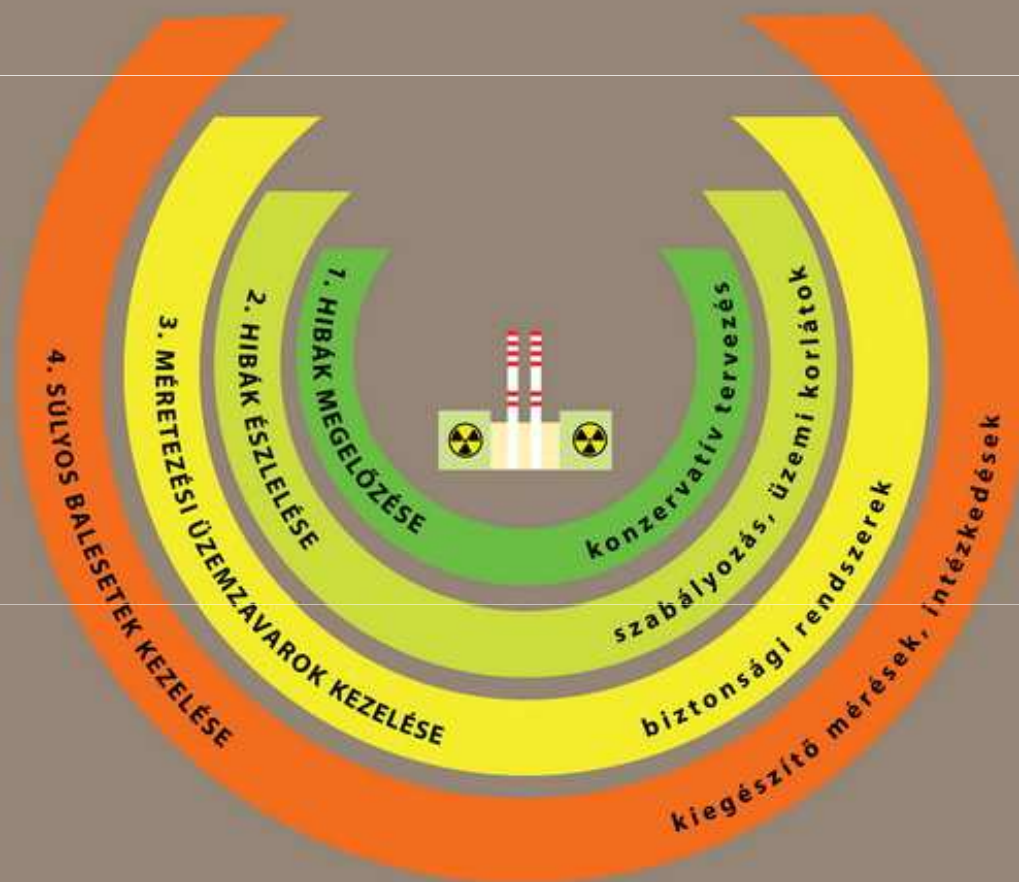
# MÉLYSÉGI VÉDELEM



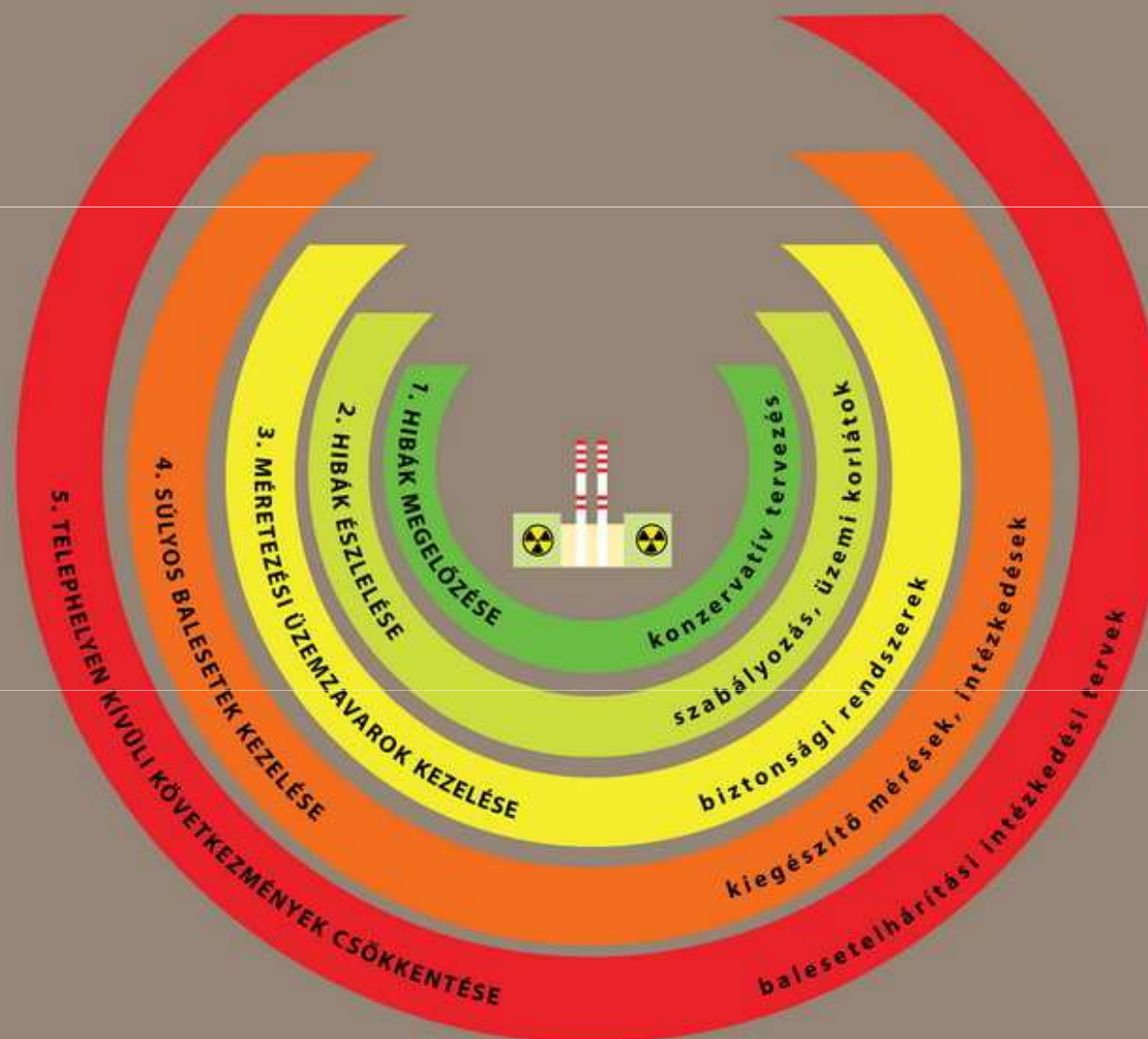
# MÉLYSÉGI VÉDELEM



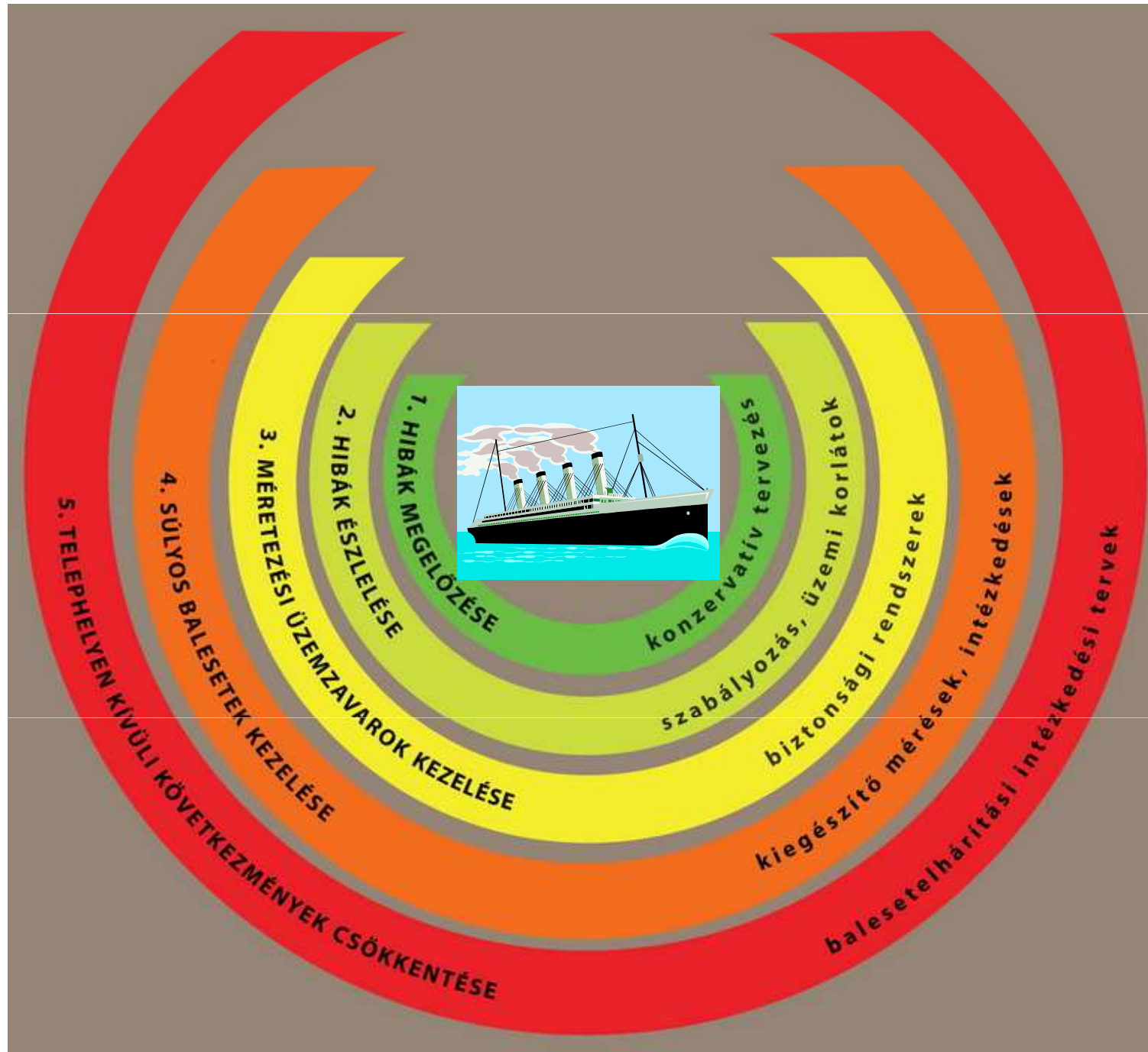
# MÉLYSÉGI VÉDELEM



# MÉLYSÉGI VÉDELEM

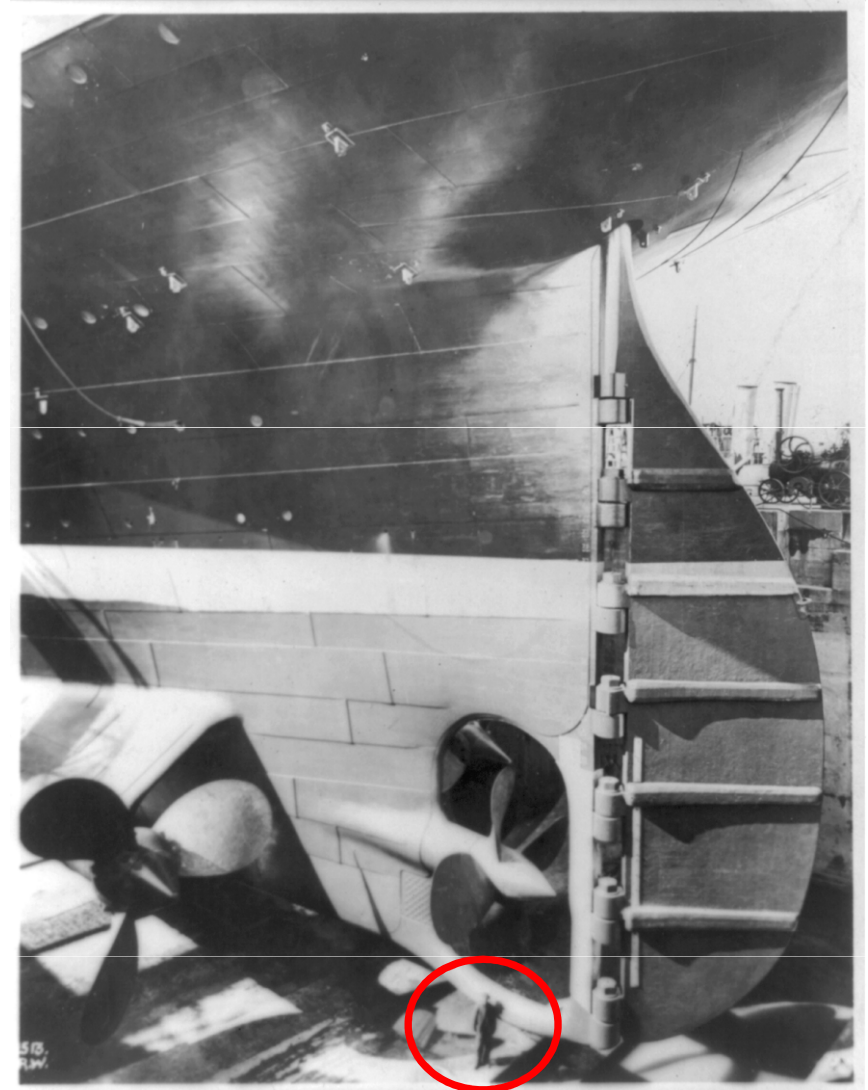
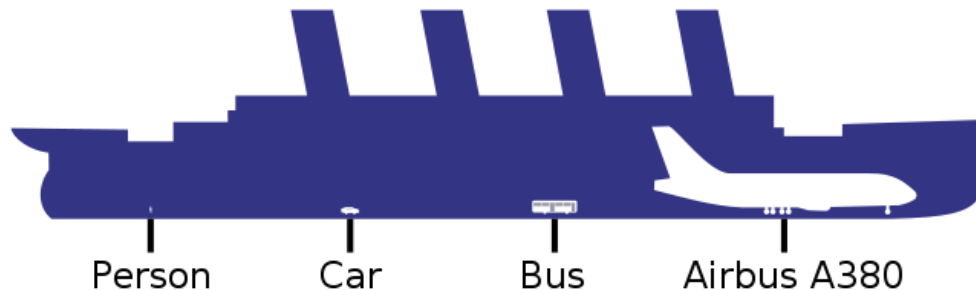


# A mélységi védelem elve - Titanic



# A mélységi védelem elve - Titanic

- Az RMS Titanic, a kor legnagyobb utasszállító gőzöse 1912. április 15-én süllyedt el, első útján, 2200 utassal a fedélzeten
  - 269 m hosszú, 46 000 tonnás hajótest
  - Engedélyezett utasszám: 3550
  - 20 mentőcsónak, összesen 1778 férőhellyel (eredetileg 64 csónakot terveztek 4000 férőhellyel)
- Modern biztonsági berendezések (két független rádió, kamrarendszer, stb.)
- 1507 halálos áldozat (az egyik legsúlyosabb polgári hajózási baleset)
- Hatalmas sajtófigyelem (első út, VIP utasok)



# A mélységi védelem elve - Titanic

|                                       |                                              |                                                                                         |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Méretezési<br>üzemzavarok<br>kezelése | Légrekeszek<br>kialakítása,<br>mentőcsónakok | De: rossz a tervezési alap! (A<br>jéghegy 6 rekeszt sértett fel,<br>4 a tervezési alap) |
|                                       | Jéghegyek figyelése,<br>több rádiós rendszer | De: üzemeltetési hibák! (A<br>jéghegy-riasztások egy része<br>nem jutott el a hídra)    |
|                                       | Lezárható légrekeszek                        | Rekeszek közötti átáramlás<br>lehetséges (válaszfal<br>magassága nem teljes)            |
| Súlyos balesetek<br>kezelése          | Segélykérő rendszerek<br>(rakéta, rádió)     | A Californian látta a<br>rakétákat, de nem értette,<br>rádiósuk aludt                   |
| Következmények<br>csökkentése         | Utassok, személyzet<br>mentése               | De: nem volt elég<br>mentőcsónak, rossz<br>szervezés (még 400 ember<br>befért volna)    |

- Hatás a biztonságra
  - Mentőcsónakok, hajótestek méretezése
  - Tűzijátékok betiltása
  - 24 órás rádiószolgálat

De senki nem  
követelte a polgári  
hajózás betiltását!



# Objektív kockázat / szubjektív félelem

## 14 halott az M43-ason

Szeged irányába tartó román kamion egy enyhe balra ívelő kanyar után átszakította a szalagkorlátot, oldalára borult, és a szembe lévő pályafestén frontálisan összeütközött egy Makó felé tartó szintén román kisbusszal.

A kisbuszban utazók közül tizennégyen meghaltak, olyan súlyos sérüléseket szenvedtek, hogy nem volt esélyük a túlélésre, köztük két gyermek és négy nő volt. Egy utas túlélte a balesetet, életveszélyes sérüléseket szenvedett, az állapota kritikus.

Az egy utason kívül a kamion sofőrje maradt életben, súlyos sérülésekkel a mentők őt is a szegedi traumatológiai klinikára szállították.

Az Arges megyei mikrobusz Valenciából Bukarestbe tartott, a kamion pedig az esti órákban Aradról indult, és Németország lett volna az úti cél.

A kamionsofőr hasmenésére kapott gyógyszert Aradon, ami álmodást okozhatott.

Forrás: Index, 2011.10.31., 2011.11.01.



Miért nem követeli senki a közúti áruszállítás, vagy az éjszakai vezetés betiltását?

# Objektív kockázat / szubjektív félelem

**8 halott, 131 sérült Rostocknál az autópályán egy homokviharban**

Forrás: n-tv.de, 2011.04.09.



**Miért nem követeli senki az autópályák melletti szántóföldek betiltását?**

„Im trockenen Klima von Mecklenburg-Vorpommern haben Sandstürme schon mehrfach den Verkehr behindert...”

# Objektív kockázat / szubjektív félelem

- USA adatok (Wikipedia, NHTSA)

|                                              |                               |
|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Halálos közúti közlekedési baleset kockázata | Halálos légibaleset kockázata |
| 1/ 94 millió km                              | 1/ 3,2 milliárd km            |

- A repülés tehát 33x (majdnem két nagyságrenddel) kevésbé kockázatos
- Miért félünk mégis ettől sokkal jobban?

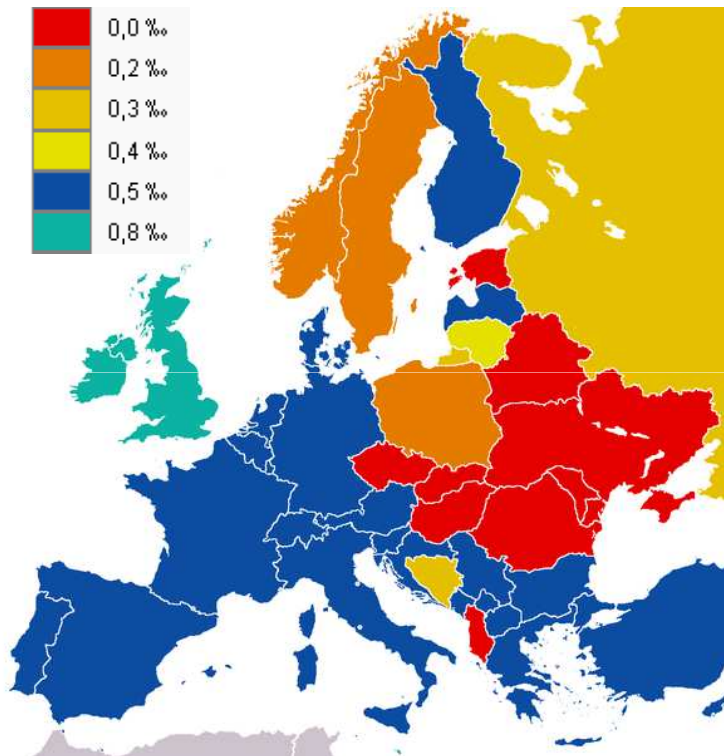
Szubjektív félelemérzet!



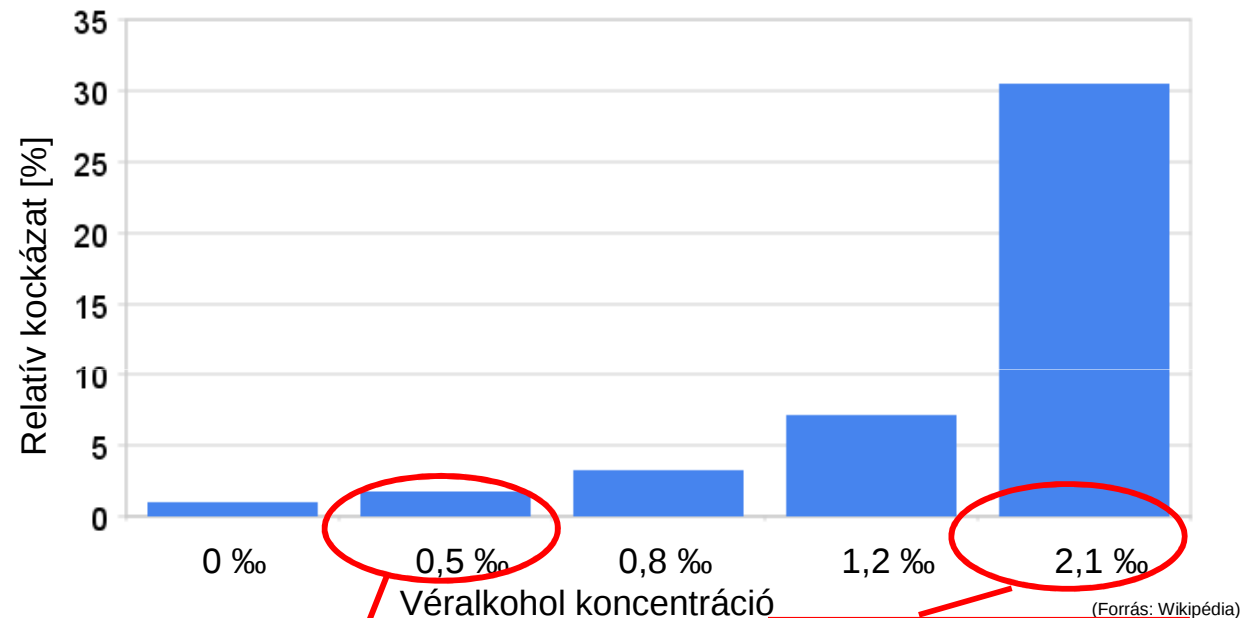
# Objektív kockázat / Szubjektív félelem

- Milyen többlet-kockázatot vagyunk hajlandóak vállalni?

Az egyes EU országokban az autóvezetők megengedett véralkoholszintje



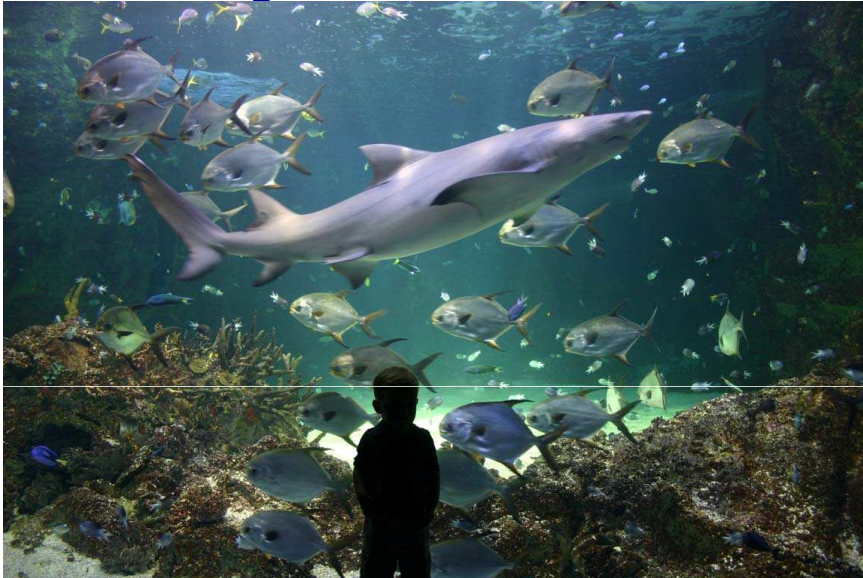
Közlekedési baleset relatív kockázata az autóvezető véralkoholszintjének függvényében



nyugat-európai limit  
(0,5‰, kb. 2 korsó sör)

S. András  
véralkohol-szintje  
2010-es balesetekor  
(1,5-2,5‰)

# Objektív kockázat / szubjektív félelem



| ACCIDENTAL CAUSES OF DEATH IN AUSTRALIA 1980-1990 |                |
|---------------------------------------------------|----------------|
| Activity                                          | Average / year |
| Car accident                                      | 2979.3         |
| Drownings                                         | 306.1          |
| Bee stings                                        | 1.8            |
| Lightning strikes                                 | 1.7            |
| Crocodile attack                                  | 0.7            |
| Shark attacks                                     | 1.0            |

Sydney, akvárium

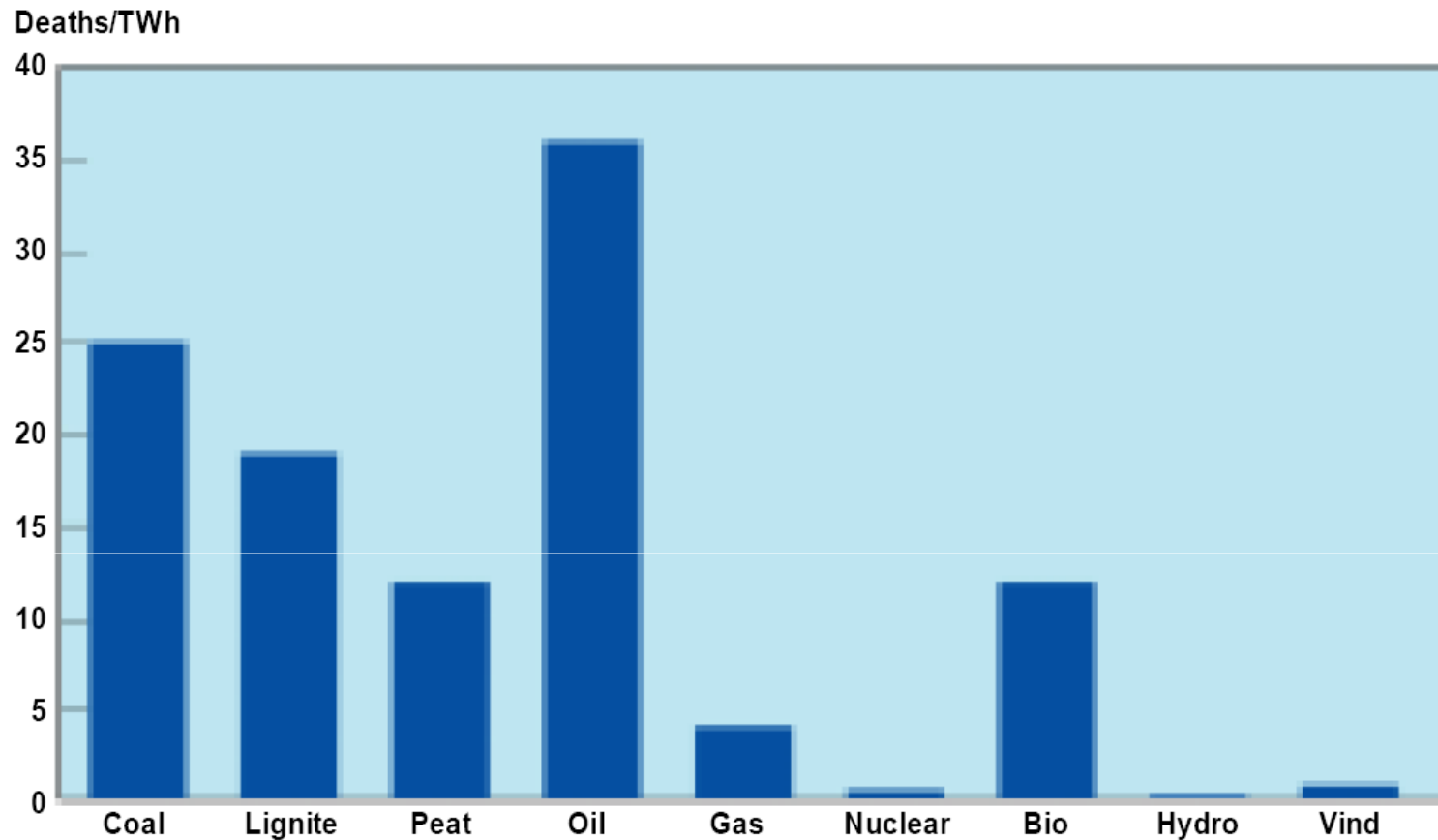
| Szempont                                 | Elutasítás                                                    | Elfogadás                                         |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Katasztrofális következmények lehetősége | Térben és időben koncentrált                                  | Térben és időben elszórt                          |
| Személyes irányítás szintje              | Az egyéntől független személy vagy szervezet által irányított | Az egyén által irányított                         |
| Félelem szintje                          | Nagy félelem övezi                                            | A társadalom közönyös                             |
| Önkéntesség                              | Nem önkéntes                                                  | Önkéntes                                          |
| Gyerekekre gyakorolt hatások             | Valószínűleg jobban érint gyerekeket                          | Kevésbé valószínű, hogy gyerekeket érint          |
| Médiafigyelem                            | Magas                                                         | Ritkán említve                                    |
| Eredet                                   | Mesterséges                                                   | Természetes                                       |
| Intézményi bizalom                       | Bizalmatlanság övezi                                          | A bizalom fennáll                                 |
| Balesetek története                      | Jól ismert balesetek a múltban                                | Nincsenek (ismert) balesetek                      |
| Áldozatok személyazonossága              | Közeli hozzátartozók                                          | Statisztikai áldozatok                            |
| Előnyök eloszlása                        | Az előnyök és a kockázatok eloszlása nem azonos               | A kockázatok és az előnyök kb. azonos eloszlásúak |

A társadalmi elutasítás néhány tipikus szempontja

Forrás: Regina Lundgren, Andrea McMakin: Risk communication, Batelle Press, 2004

# Objektív kockázat / Szubjektív félelem

- Milyen többlet-kockázatot vagyunk hajlandóak vállalni?

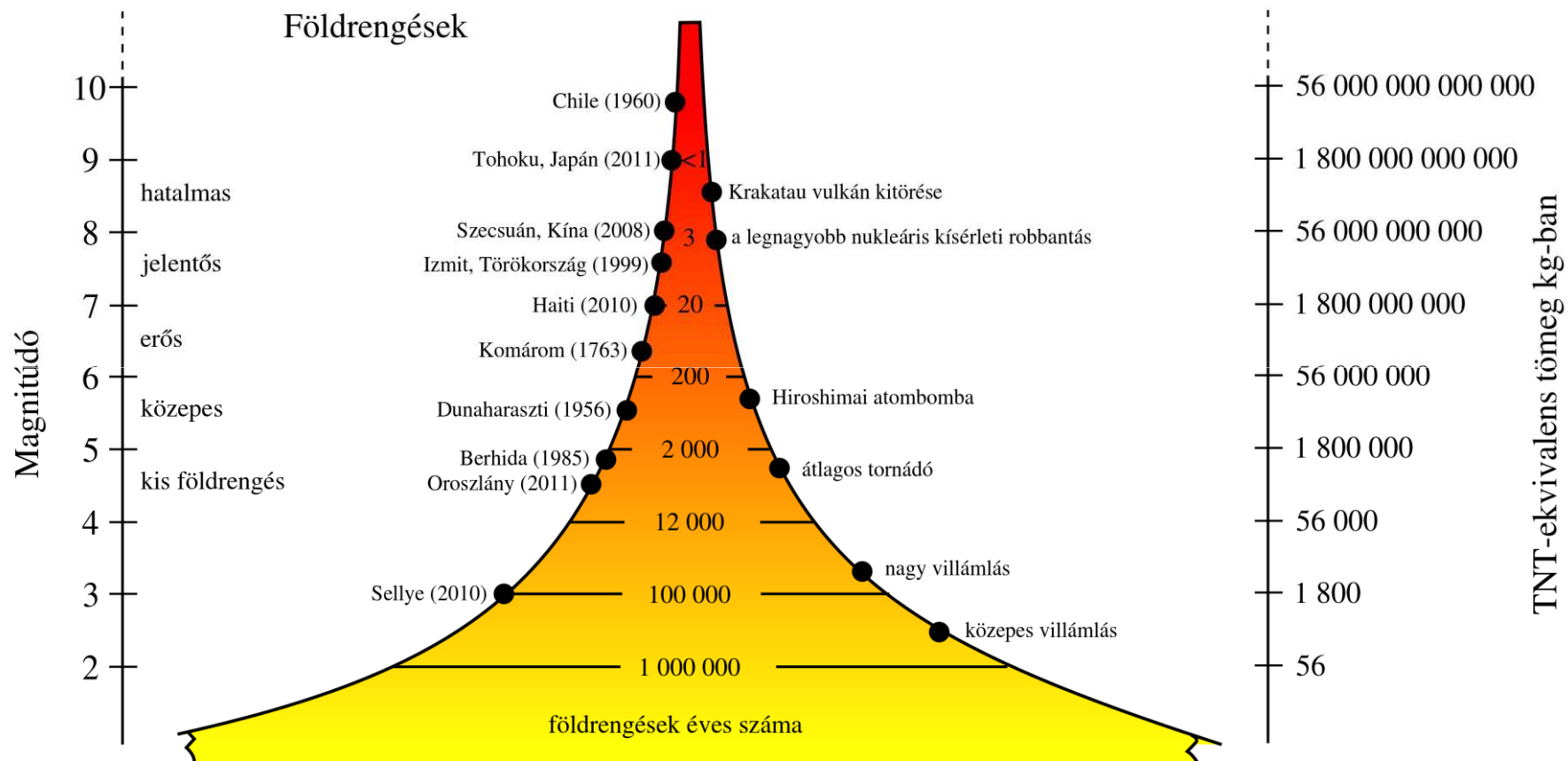


Forrás: Nils Starfelt, Carl-Erik Wikdahl: Economic Analysis of Various Options of Electricity Generation Taking into Account Health and Environmental Effects, International Conference on Ecological Aspects of Electric Power Generation, Warsaw, 2001



# Földrengés magnitúdó

- Magnitúdó - a rengés során felszabaduló energia mennyiségével áll összefüggésben.
- Richter definíciója: A magnitúdó a regisztrált amplitúdó mikronban (ezredmilliméter) mért értékének tízes alapú logaritmusa, ha a regisztrátumot 100 km távolságban standard Wood-Anderson-féle szeizmográfkal készítjük.
- A pusztítás nem csak a magnitúdó, hanem a földrengés helyének, lakott területtől való távolságának is függvénye.



# A földrengés és a cunami pusztítása



Iwaki, Fukushima prefektúra



Rikuzentakata, Iwate prefektúra



Kesennuma, Miyagi prefektúra



Higashi-Matsushima, Miyagi prefektúra

The Atlantic (theatlantic.com) / Reuters/Kyodo/Kim Kyung-Hoon/Toru Hanai/Files

**Áldozatok: 15 839    Eltűntek: 3632    Sérültek: 5950    Elpusztított/sérült épületek: >300 000    Sérült utak: 3559    Sérült hidak: 77**  
(Forrás: japán rendőrség, 2011. november 22.)

# A földrengés és a cunami pusztítása



Iwaki, Fukushima prefektúra



Rikuzentakata, Iwate prefektúra



Kesennuma, Miyagi prefektúra



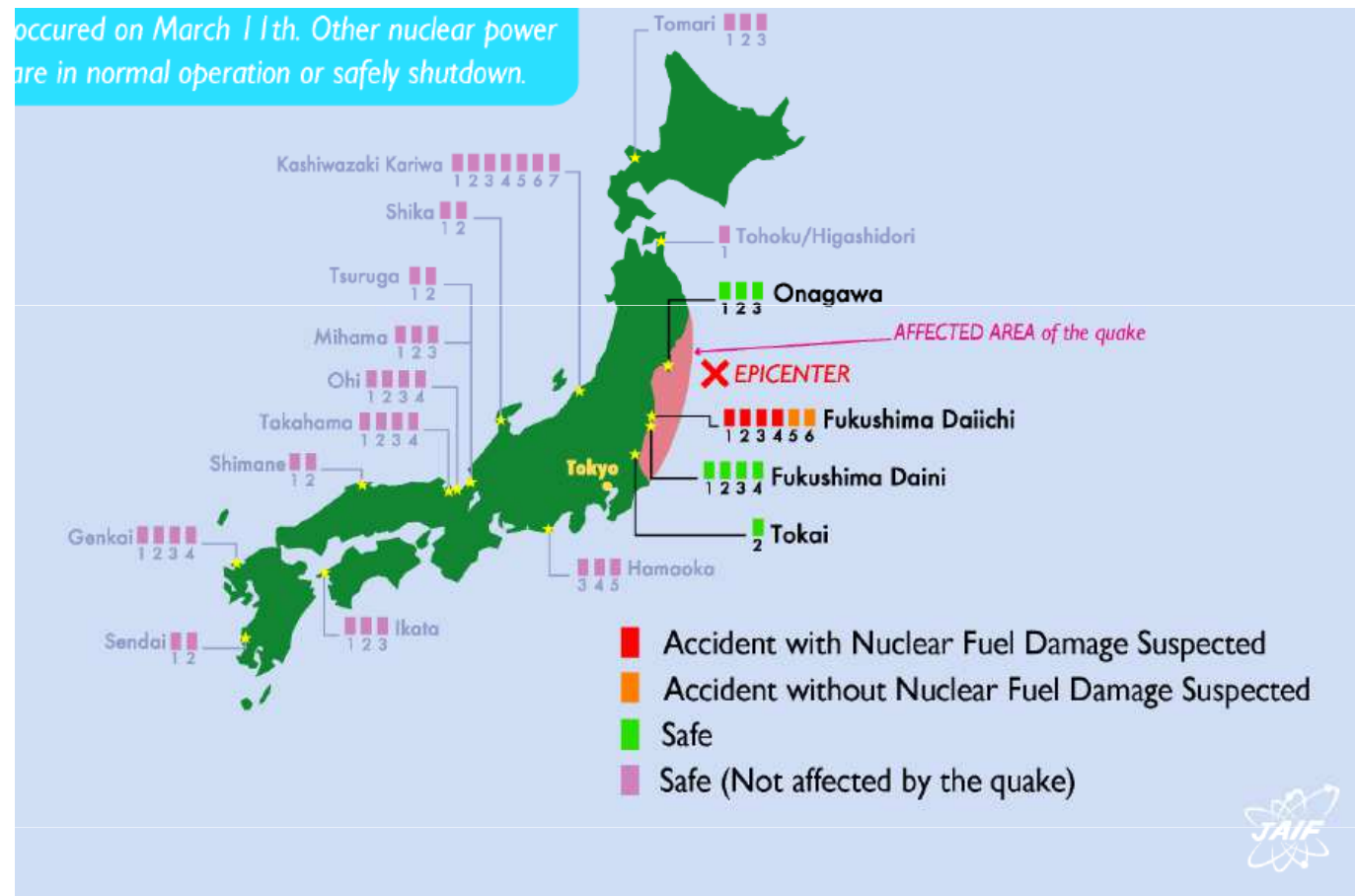
Higashi-Matsushima, Miyagi prefektúra

The Atlantic (theatlantic.com) / Reuters/Kyodo/Kim Kyung-Hoon/Toru Hanai/Files

**Áldozatok: 15 839    Eltűntek: 3632    Sérültek: 5950    Elpusztított/sérült épületek: >300 000    Sérült utak: 3559    Sérült hidak: 77**  
(Forrás: japán rendőrség, 2011. november 22.)

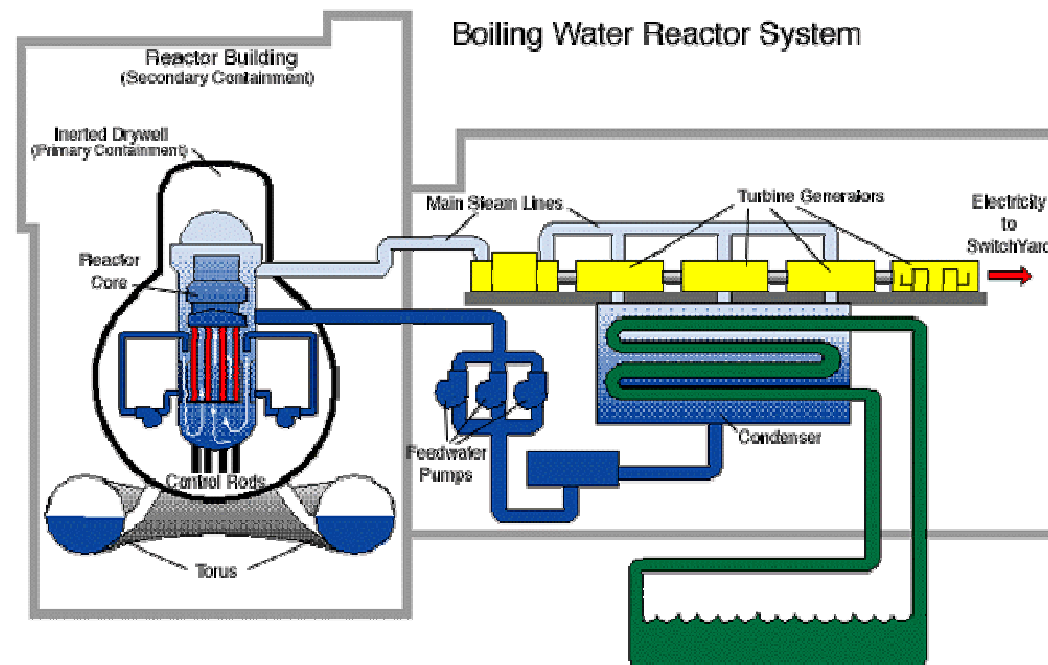
# A földrengés által érintett atomerőművek

- Onagawa
  - 3 BWR blokk (524 MW, 825 MW, 825 MW)
  - Automatikusan leállt a földrengés után
  - Tűz a turbinacsarnokban
- Fukushima Daini
  - 4 BWR5 blokk (4\*1100 MW)
  - Automatikusan leállt a földrengés után
  - Nukleáris veszélyhelyzet az 1., 2., 4. blokkokon a „nyomáscsökkentő medence funkcióvesztése miatt”
  - **Március 15-re minden blokk hideg leállított állapotban**



# A földrengés által érintett Fukushima I. atomerőmű

- Fukushima Daiichi
- 6 blokkos, forralóvíz-es



|                         | 1. blokk       | 2. blokk       | 3. blokk       | 4. blokk                        | 5. blokk       | 6. blokk        |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|-----------------|
| Típus / Konténment      | GE BWR3 Mark I | GE BWR4 Mark I | GE BWR4 Mark I | GE BWR4 Mark I                  | GE BWR4 Mark I | GE BWR5 Mark II |
| Teljesítmény            | 460 MW         | 784 MW         | 784 MW         | 784 MW                          | 784 MW         | 1100 MW         |
| Üzemanyag               | UO2            | UO2            | MOX            | UO2                             | UO2            | UO2             |
| Állapot a földrengéskor | Normál üzem    | Normál üzem    | Normál üzem    | Leállítva, teljes zóna kirakva! | Leállítva      | Leállítva       |

# Földrengés-védelem

- Maximális talajgyorsulás értékek a földrengés során a Fukushima Daiichi atomerőműnél:
  - 0,517 g a 3. blokknál,
  - 0,44 g a 6. blokknál.
- A blokkok a földrengést követően rendben leálltak
- Az országos villamosenergia-hálózat kiesése miatt a biztonsági hűtővízrendszereket dízel-generátorok látják el, ezek el is indultak.
- **A reaktorokban – az eddigi adatok szerint – nem okozott jelentősebb kárt, de az infrastruktúra károsodása jelentősen nehezíti az elhárítást**

Méretezési gyorsulás 0,45 g  
ill. 0,46 g ezekre a blokkokra!



# Cunami-védelem a Fukushima I-en

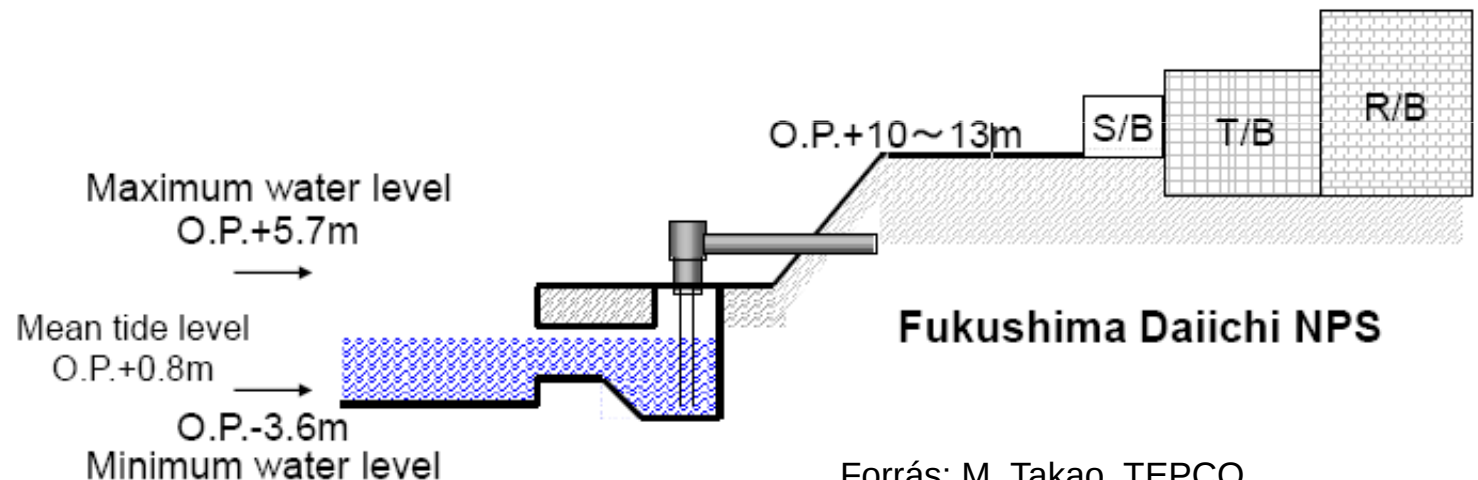
- Fukushima atomerőmű: történelmi cunamik alapján (+ modellezéssel):
  - Az üzemi szint fölött 5,7 m-es tervezési cunami
  - Épületek földszintje 10-13 m magasan

2011. október 3.:

Egy 2008-as kutatási jelentés új elképzelhető méretezési cunami magasságot jelzett: a 896-os nagy földrengéshez hasonló rengés esetén **8,4 – 10,2 m** hullámok is elérhetik az erőművet. A TEPCO az ellenőrizendő kutatási eredményről csak pár nappal 2011.03.11. előtt tájékoztatta a kormányt.

Forrás: NHK, [http://www3.nhk.or.jp/daily/english/03\\_21.html](http://www3.nhk.or.jp/daily/english/03_21.html)

Maximum water level =  $4.4\text{m} + \text{O.P.} + 1.3\text{m} = \text{O.P.} + 5.7\text{m}$   
Minimum water level =  $-3.6\text{m} - \text{O.P.} \pm 0.0\text{m} = \text{O.P.} - 3.6\text{m}$

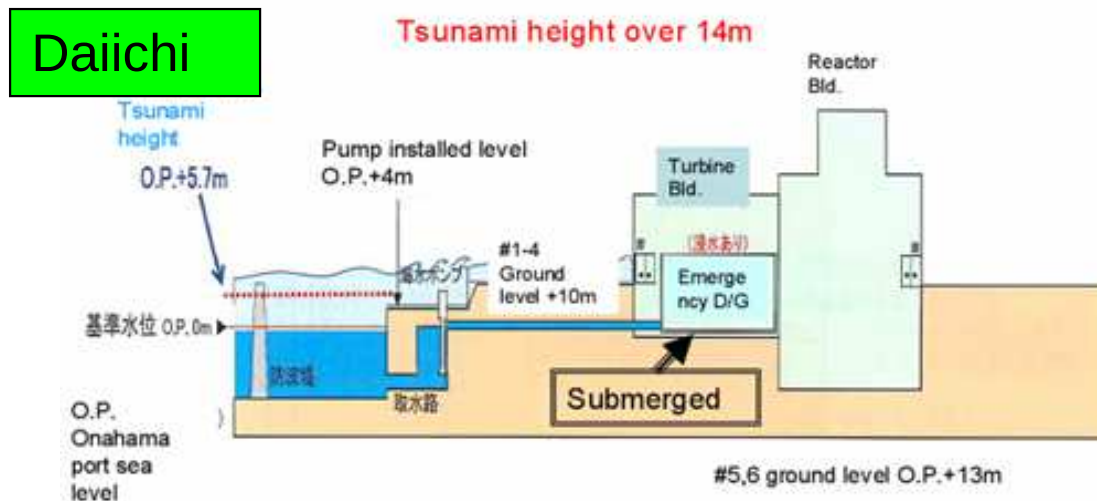


Forrás: M. Takao, TEPCO

<http://www.jnes.go.jp/seismic-symposium10/index.html>

# A Fukushima atomerőmű földrengés- és cunami- állósága

- A Daiichi (I) és a Daini (II) kiépítéseknel eltérő a dízelgenerátorok elhelyezése!
- A cunami minden turbinacsarnokot elárasztott, reaktorépületet csak egyet.
- A tervezési cunami-magasság 5,7 m volt (ez már módosított, növelt érték)



Forrás: Tatsuhiro Yamazaki, Japan Nuclear Technology Institute, 2011.4.13, IAEA ISSC EBP WA3

# Fukushima Daiichi



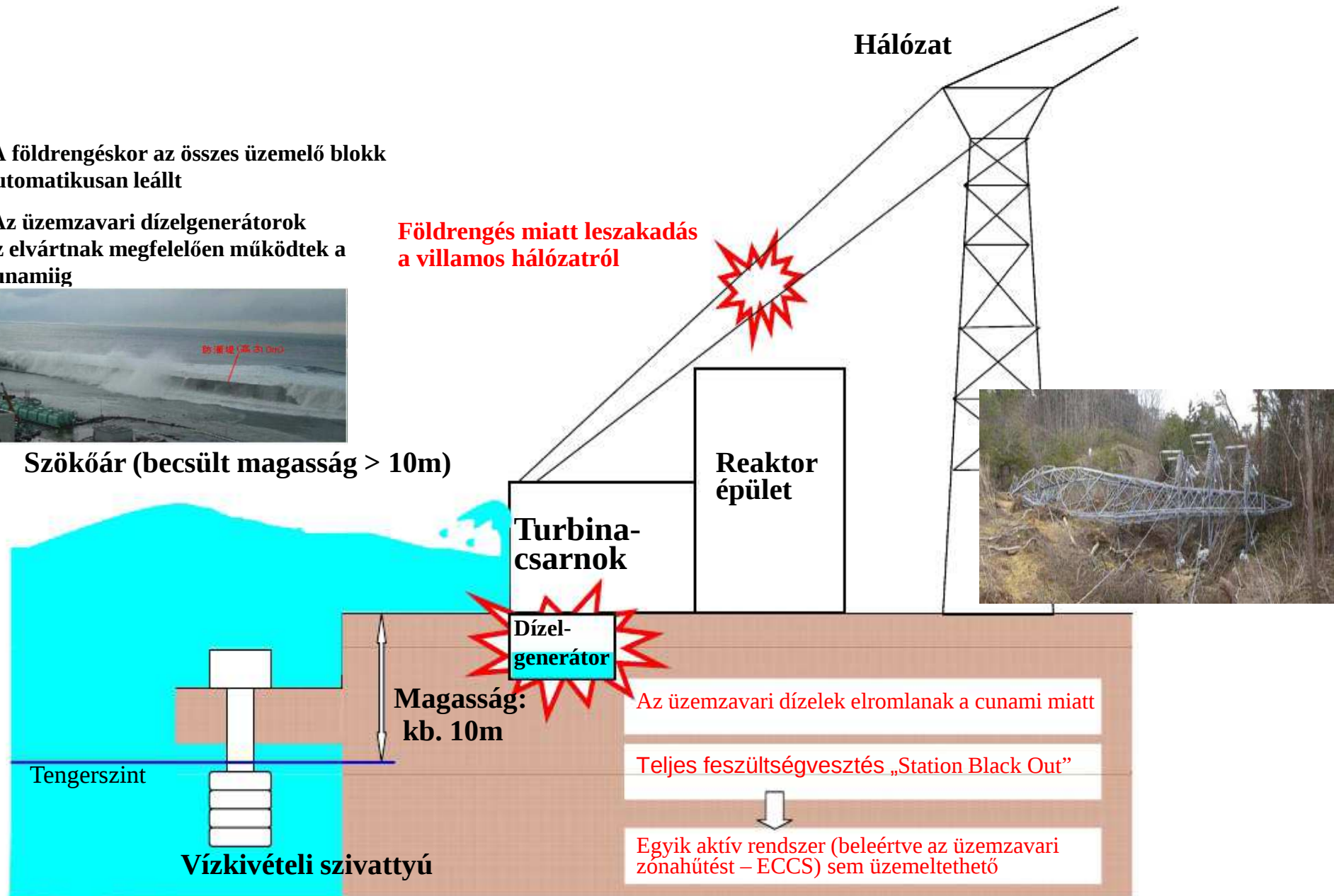
# A fő kiinduló ok

-A földrengéskor az összes üzemelő blokk automatikusan leállt

-Az üzemzavari dízelgenerátorok az elvártnak megfelelően működtek a cunamiig



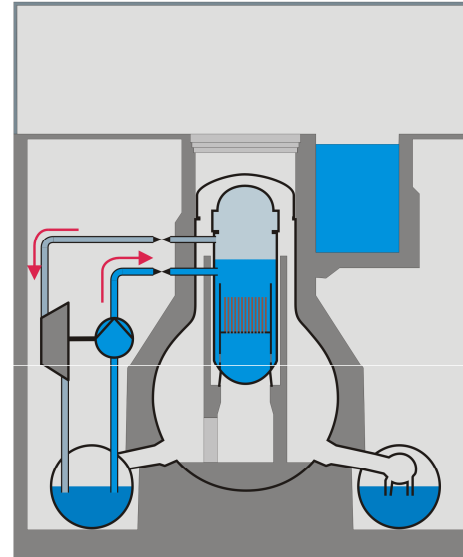
Szökőár (becsült magasság > 10m)



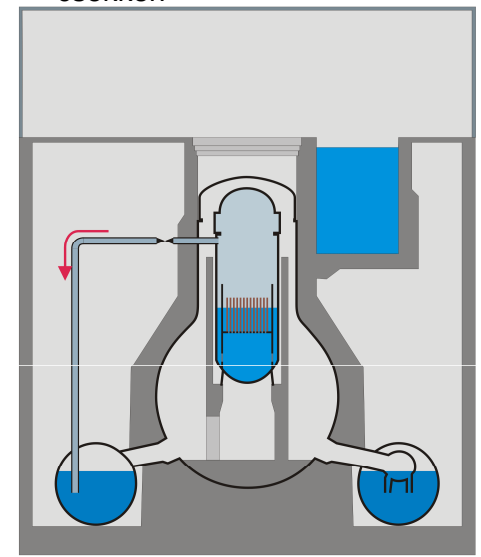
# Az esemény lefolyása

- Nincs hőelvonás az épületből, így az izolációs hűtés (IC/RCIC) előbb-utóbb leáll
  - 1. blokk: március 11. 16:36 (akkumulátor lemerült)
  - 2. blokk: március 14. 13:25 (szivattyú meghibásodott)
  - 3. blokk: március 13. 2:44 (akkumulátor lemerült)
- Reaktorok lefűtatása
  - Gőz kieresztése a nedvesaknába
- Csökkenő folyadékszint a reaktortartályokban
  - Zóna fokozatos kiszáradása
  - **Fűtőelem-sérülés:** burkolat hőmérséklet meghaladja az 1200 °C-ot
  - A burkolat Zr-tartalma gőz atmoszférában oxidálódik
  - $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$
  - Exoterm reakció, tovább fűti a zónát
  - **Hidrogén termelődik**
    - 1. blokk: 300-600kg
    - 2-3. blokk: 300-1000kg
  - Hidrogén a gőzzel a nedvesaknába, majd a szárazaknába jut
- Konténment tartály nyomása 8 bar-ig nőtt (tervezési érték ~ kétszerese)
  - Inert töltőgáz (nitrogén)
  - **Hidrogén a zóna oxidációból**
  - Forrás a kondenzációs kamrában
- **Konténment tartály nyomáscsökkentés**
  - 1. blokk: március 12. 04:00
  - 2. blokk: március 13. 00:00
  - 3. blokk: március 13. 08:41

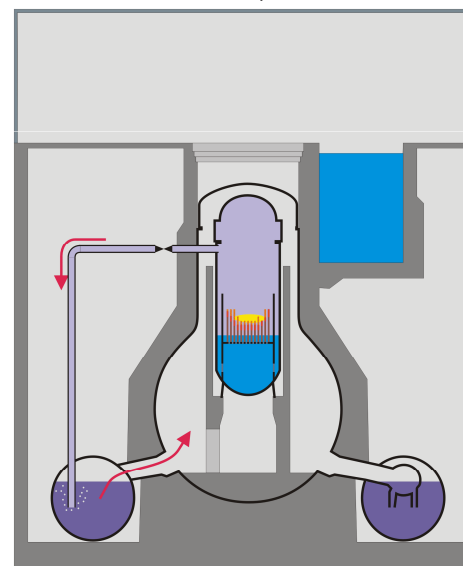
Izolációs hűtés



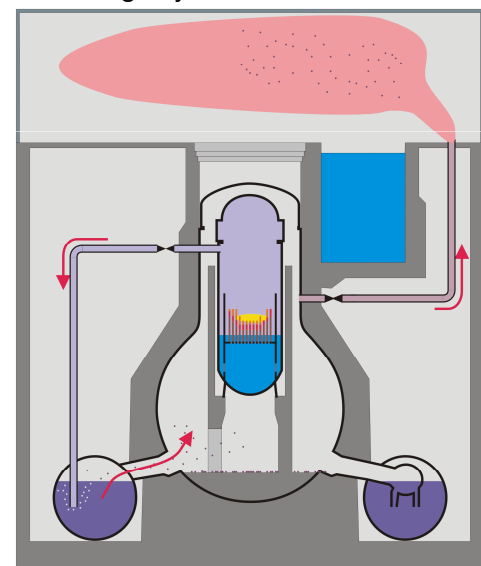
Lefűtatás, reaktor vízszint csökken



Vízszint csökken, zónasérülés



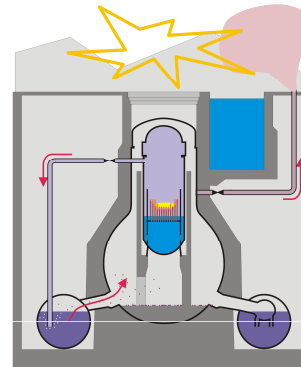
Hidrogén jut a csarnokba



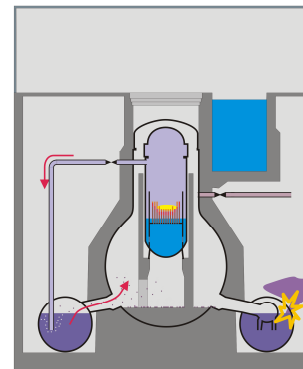
# Az esemény lefolyása

- Konténment nyomáscsökkentés előnyei és hátrányai
  - Energiaelvitel a reaktorépületből (már csak így lehetett)
  - Nyomás 4 bar-ra csökken
  - Kis mennyiségű légnemű kibocsátás (jódot, cézium, nemesgázok teljesen)
  - **Hidrogén-kibocsátás**
- A gáz a reaktorcsarnokba kerül
- 1. és 3. blokk
  - **A hidrogén a reaktorcsarnokban berobban**
  - Blokkonként változó mértékű épületsérülések
- 2. blokk
  - **A hidrogén a reaktorépületen belül robban be**
  - **A nedvesakna (szennyezett vízzel tele) megsérül**
  - Nem ellenőrzött gázkibocsátás, hasadási termékek kibocsátása (erőmű ideiglenes evakuálása magas telephely dózisteljesítmények)
  - Még nem világos, miért viselkedett másként a 2. blokk
- Kiegészítő üzemanyagot a pihentető medencékben
  - 4. blokk: karbantartás miatt az egész zóna kirakva
  - A medencék becsült kiszáradási ideje:
    - 4. blokk: 10 nap alatt
    - 1, 2, 3, 5, 6 blokk: néhány hét alatt
  - **Jelenlegi adatok alapján a pihentető medencék nem száradtak le, de a beeső szerkezeti elemek károsodásokat okozhattak (legsúlyosabb a 3. blokkon).**
  - Üzemanyag a „szabadban”
  - **Hasadási termékek útjában nincs mérnöki gát, épületfal**

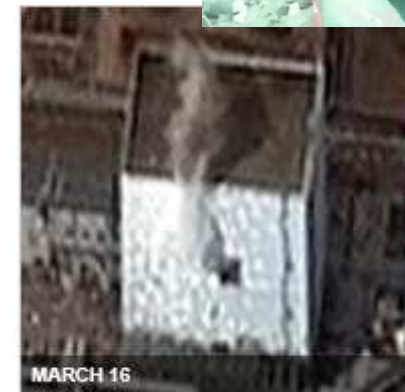
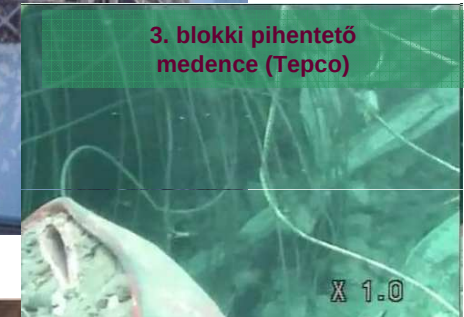
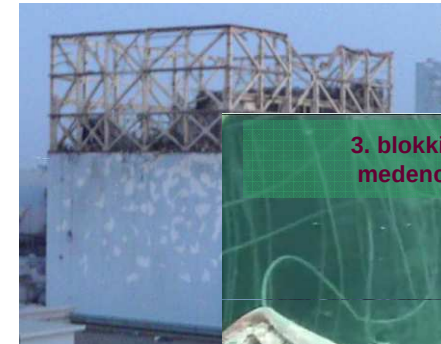
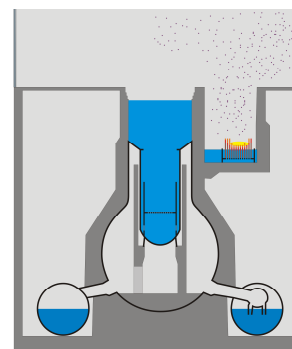
## 1., 3. blokk



## 2. blokk



## 4. blokk



Digital Globe



TEPCO

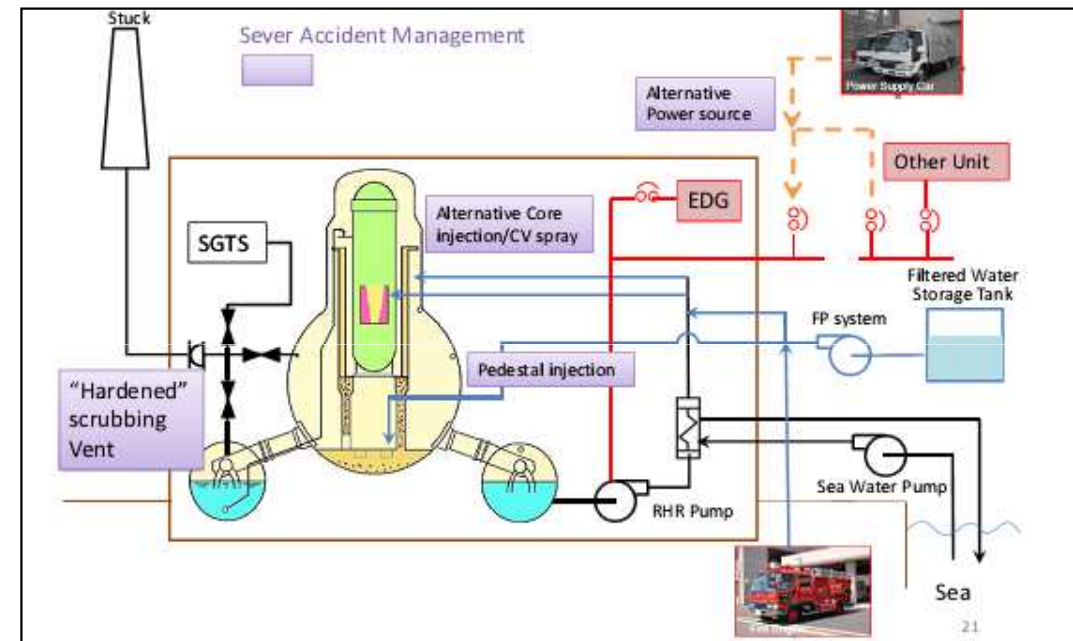
# F.1.: súlyos baleseti intézkedések, eljárások

## Overview of Severe Accident Countermeasures

| Severe Accidents                                                       | Countermeasures                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anticipated Transient Without Scram (ATWS)                             | Alternative Reactivity Control System (Alternative Rod Insertion System and Recirculation Pump Trip System) |
| SA events with loss of core cooling and/or loss of molten core cooling | Alternative Water Injection System (Utilizing Fire Protection System etc.)                                  |
| Hydrogen Generation                                                    | Inerting Primary Containment Vessel by nitrogen                                                             |
| Loss of decay heat removal                                             | Hardened Containment Venting System                                                                         |
| Station Blackout                                                       | Alternative Electric Supply System (Inter-connections with adjacent unit)                                   |

In Japan, all units installed SA Countermeasures in late 1990s

Forrás: K. Sato (Hitachi-GE)



A Fukushimaiban alkalmazott súlyosbaleset-kezelési eljárások (Omoto, ICAPP)

# Teljes feszültségkiesés (TFK) feltételezések – és a tények

- A teljes feszültségkiesés kezelésének feltételezései
  - AC visszaállítható néhány órán belül (külső betáplálás vagy dízelek)
  - Hosszú idejű DC vesztést nem tételeztek fel
  - Súlyosbaleset-kezelési utasításoknak megfelelő beavatkozások
  - Vezénylő teljes feszültség kiesés esetében is használható marad, fő paraméterek monitorozhatóak

- Ez a valóságban:
  - Külső betáplálás napokig nem áll vissza, dízelek nem állíthatók helyre, a cunami teljesen tönkretette a tengervizes hűtőrendszert
  - DC ellátás nem volt elegendő
  - A cunami miatti károk következtében késleltetett beavatkozások (nem lehet hozzáférni a rendszerekhez)
  - Vezénylőből nem lehet irányítani, csak néhány paraméter monitorozható

A cunami következménye a korábban feltételezettnél jóval hosszabb idejű, nem ellenőrzött teljes feszültség kiesés lett

*Forrás: K. Sato (Hitachi-GE)*

# Valószínűsíthető hibák Fukushima-ban

- Túlzott bizalom a technológiában (természeti veszélyek alábecsülése)
- Túlzott megalégedettség, a kellő szigor hiánya a TEPCO és a szabályozó hatóság között
  - Hatóság nem követel szigorúbb súlyos baleset kezelést, rábízta az engedélyesre
  - Nem voltak súlyos baleseti és veszélyhelyzeti eljárásrendek hosszú idejű teljes feszültségkiesésre
  - Az 1990-es japán útmutató explicit kimondja, hogy a villamos betáplálás hosszú idejű elvesztése kizárható (a tartalék rendszerek miatt), ezt most felülvizsgálják.
- Mélységi védelem hiánya a cunami ellen
  - Nem készültek a legrosszabb forgatókönyvnél súlyosabb balesetre (TFK+VHTE)
- Túlzottan tagolt hatósági rendszer hiányosságai (NSC-NISA-MEXT)
- Információáramlás korlátozott



Forrás: Tepco



Forrás: Hisashi Ninokata: Inside Information of the Accident, Environmental and Economical Impacts; Lessons Learned in Japan, NURETH-14, September 2011

# Valószínűsíthető hibák Fukushima-ban

## Hibák a baleset kezelésében

- Alternatív zóna hűtés biztosítása kellett volna az üzemanyag kiszáradása előtt (több tűzoltó-szivattyú, stb. alkalmazása, miután a reaktortartály nyomása 6-7 bar-ra csökkent)
- Primer konténment tartály meghibásodása ill. radiológiai kibocsátások a szűrt leeresztés késlekedése miatt
- Noha a külső villamos betáplálást 10 nap múlva helyreállították, az SC/RHR maradékhő elvonó rendszereket nem. Alternatív végső hőnyelő hiányában csak a reaktor- illetve a turbina épület irányába történő szivárgás vitte el a hőt.



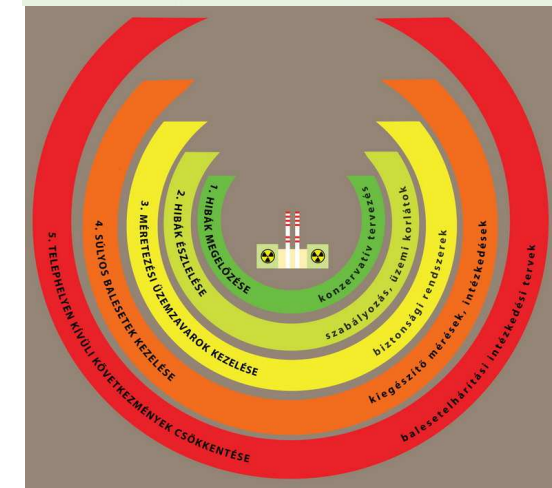
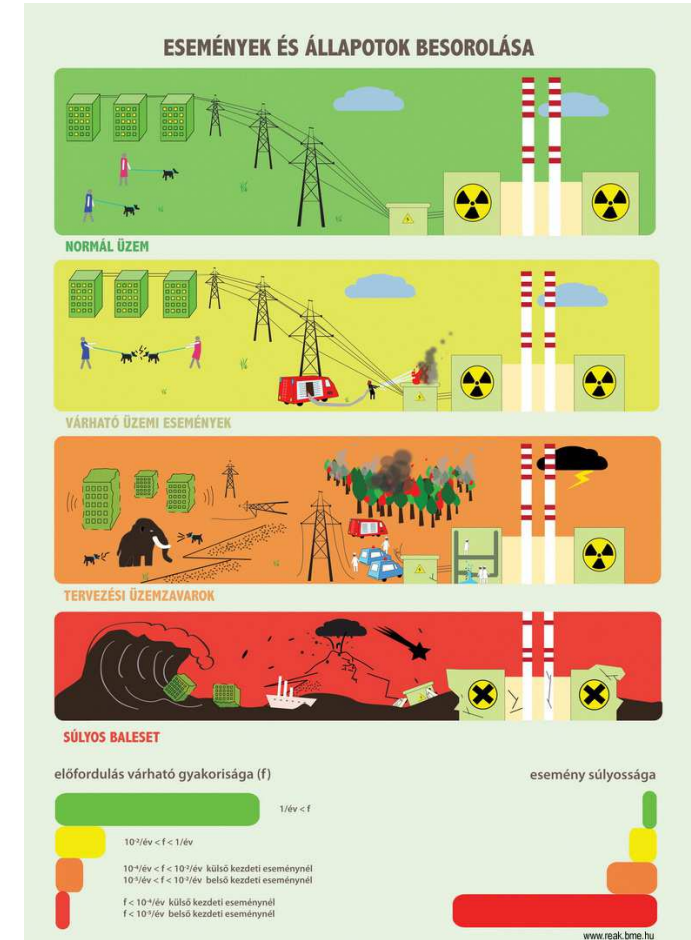
4. blokki hidrogénrobbanás  
épületen belüli következményei  
Forrás: Tepco

Forrás: Hisashi Ninokata: Inside Information of the Accident, Environmental and Economical Impacts; Lessons Learned in Japan, NURETH-14, September 2011



# Jól vizsgázott-e az erőmű?

- Jócskán a tervezési alapon túli szökőár (a telephelyen 15 m)
  - Dilemma: a cunami elleni méretezés csak pénzkérdés? (civil példák)
- A konténment-filozófia igazolása (TMI után másodszorra)
  - Az acél belső konténmentek kibírták: földrengés + cunami + hőszugárzás + hideg vizes befecskendezés + robbanások
  - Az üzemanyag-leltár nagy része bent maradt
  - Korlátozott kibocsátás
- Teljes feszültségvesztéses baleset – a „nagy mumus”

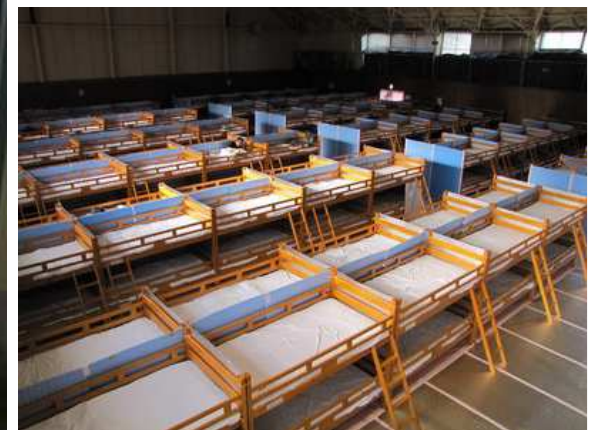


# Jól vizsgázott-e az erőmű?

- A védelemi rendszerek további megerősítése
  - Dízelgenerátorok meghibásodása függött a típustól, még inkább az elhelyezéstől
  - Vízkivételi mű súlyos sérülése
  - Pihentető medencék hűtésének és fizikai védelmének átgondolása szükséges
  - Hidrogénkezelés nem volt megfelelő
- Kommunikáció
  - Nem világos, hogy tudták-e a TEPCO-nál az első 2-3 napban, hogyan is kommunikáljanak
  - Komoly nehézségek a tokiói TEPCO központ és az erőmű közötti kommunikációban (infrastrukturális és emberi tényezők)
  - Sokáig csak minimális információ, szakmai tájékoztatás hiányos volt
  - Ma már bőséges és lelkiismeretes kommunikáció

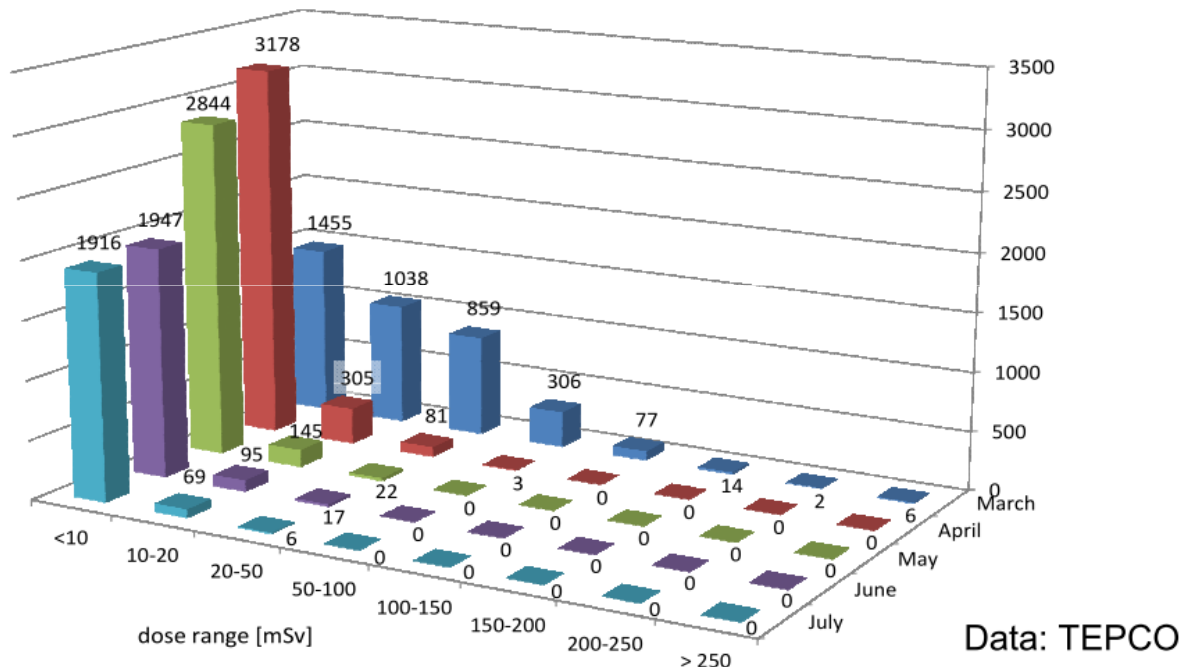
# Telephelyi hatások, elhárítók dózissai

- Telephelyen igen jelentős dózisteljesítmények, elhárítási munkák akadályozása
  - Robbanás miatt kikerülő ún. forrópontok (mérték 1 Sv/óra dózisteljesítményt!)
  - Dolgozók rendkívüli éves dóziskorlátját 250 mSv-re emelték, eddig hatan lépték túl
- Különböző kibocsátási útvonalak
  - Légnemű kibocsátás: nemesgázok, illékony hasadási termékek (főleg jód) pihentető medencékből
  - Folyékony kibocsátás: szivárgások a sérült szerkezeteken keresztül közvetlenül a tengerbe



# Telephelyi hatások, elhárítók dózisa

- Összesen ~10 700 ellenőrzött személy
  - 250 mSv<: 6 fő (309-678 mSv)
  - 200-250 mSv: 2 fő
  - 150-200 mSv: 14 fő
  - 100-150 mSv: 81 fő



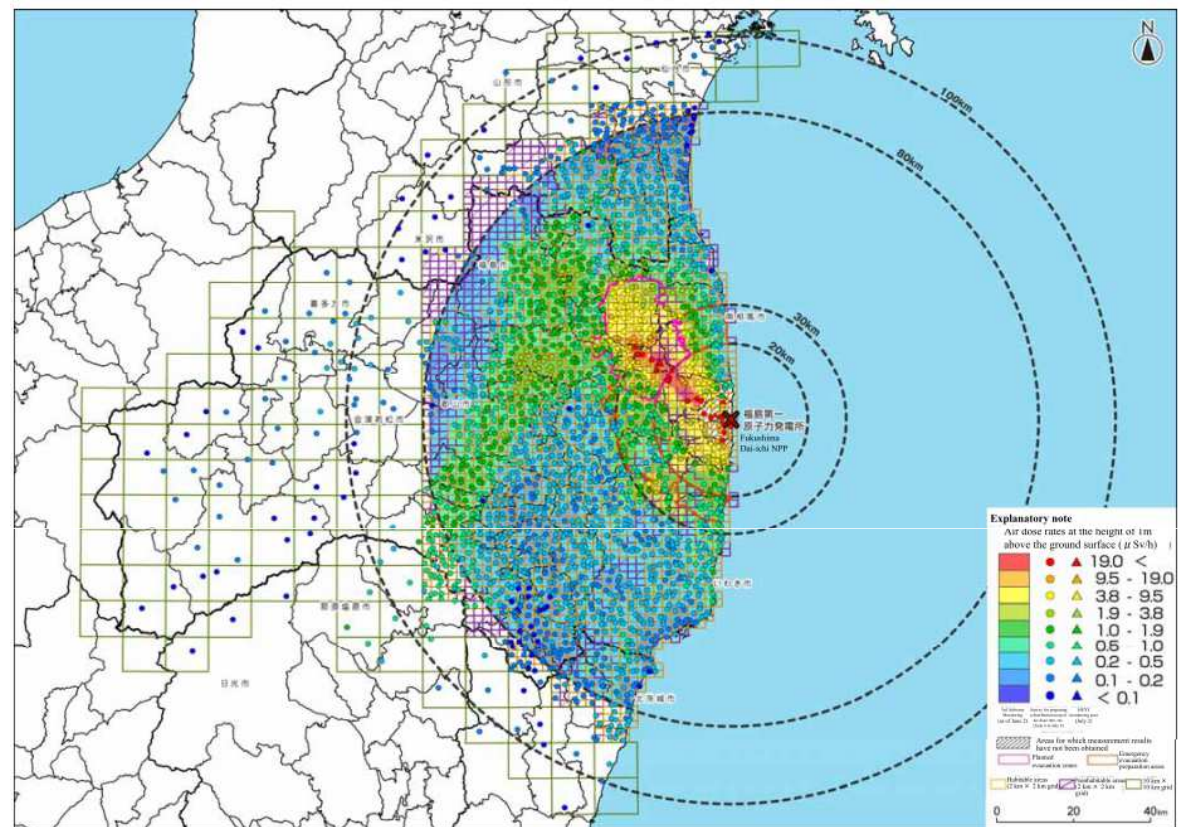
Thielen et al. (GRS): Experience feedback on the Fukushima NPS accident - Sanitary and environmental consequences; EUROSAFE 2011



[http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11\\_e/images/111031e12.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111031e12.pdf)

# Környezeti hatások

- Kitelepítések már március 11-én megkezdődtek (3 km-es körben), március 12-én már 20 km-es körzetben
  - Később dózisviszonyok alapján további településekből
  - Egyes területeken hamarosan visszaköltözhetnek
  - Több területen is korlátozásokat kellett elrendelni:
    - Tokióban néhány napra meghaladta a gyermekekre vonatkozó határértéket a csapvíz I-131 tartalma
    - Sugárszennyezett friss zöldségek Fukushima és Ibaraki prefektúrában
    - Tengervíz – I-131 koncentráció egy ideig határérték fölött

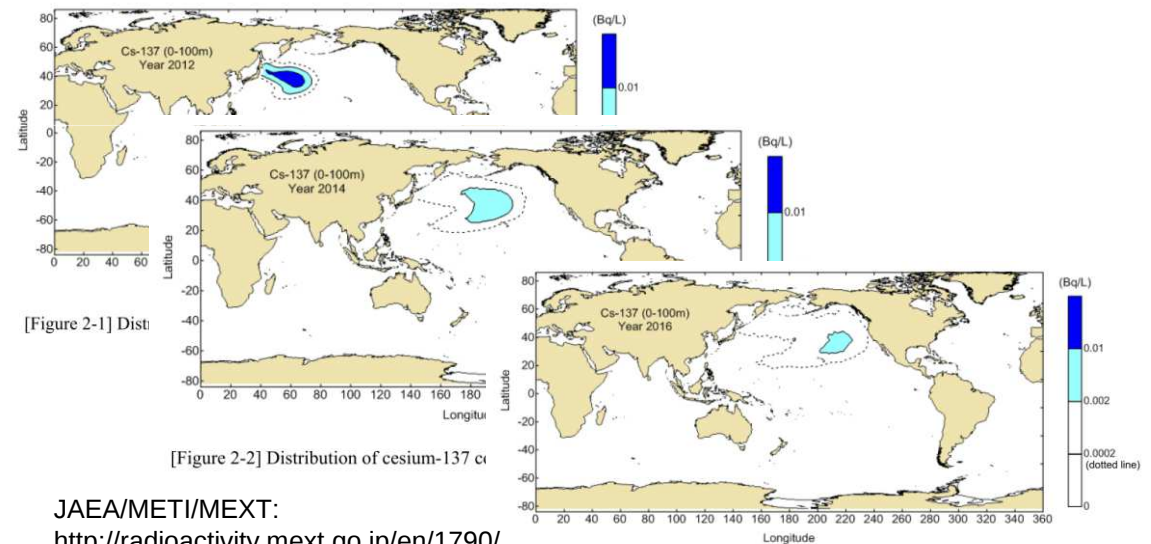
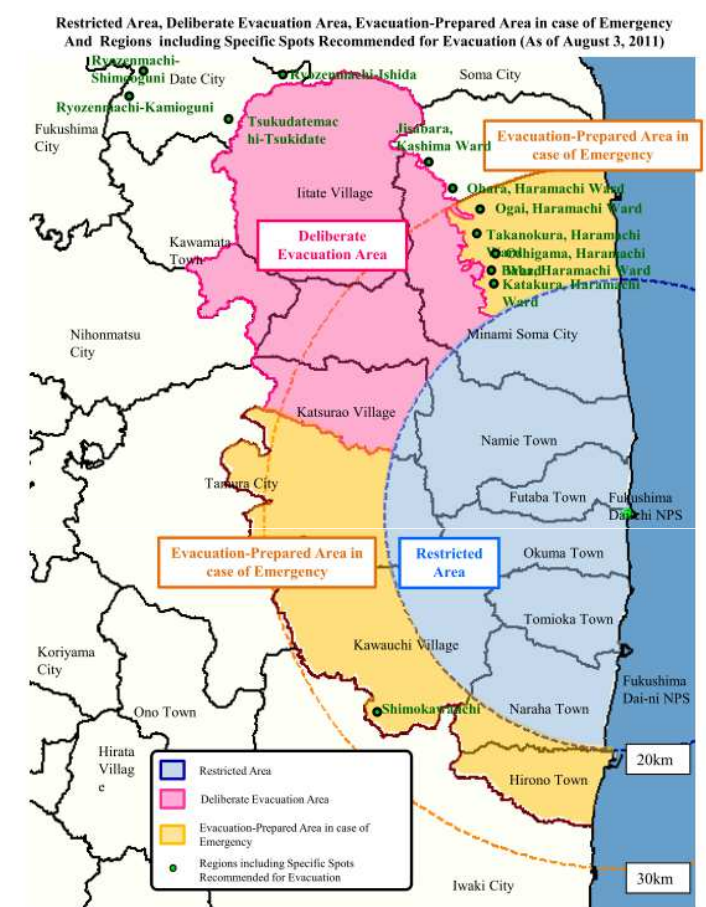


Jelen ismereteink alapján nem várható a lakosság egészségügyi károsodása!

# Környezeti hatások

- Szeptember 30.: a 20-30 km-es sávban öt településen feloldották a kitelepítési előírást
- A kibocsátás szintje mostanra nagyságrendekkel csökkent, de az elszennyezett területeket meg kell tisztítani a korlátozások feloldása előtt

Additional Report of the Japanese Government to the IAEA (Second Report) September 2011

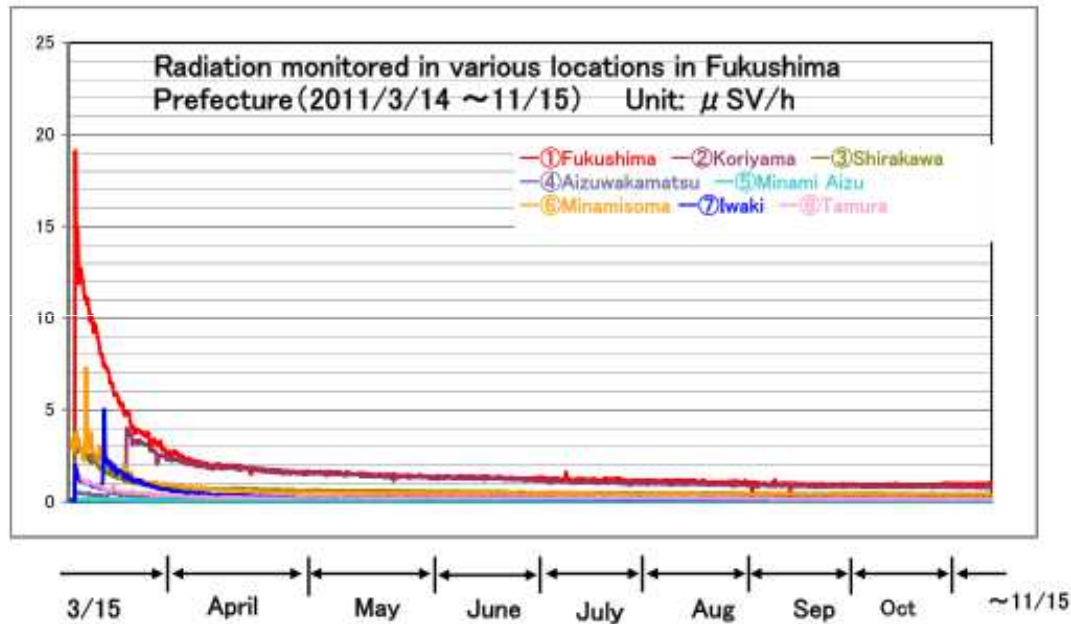


JAEA/METI/MEXT:  
[http://radioactivity.mext.go.jp/en/1790/2011/06/1305757\\_0721.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/en/1790/2011/06/1305757_0721.pdf)

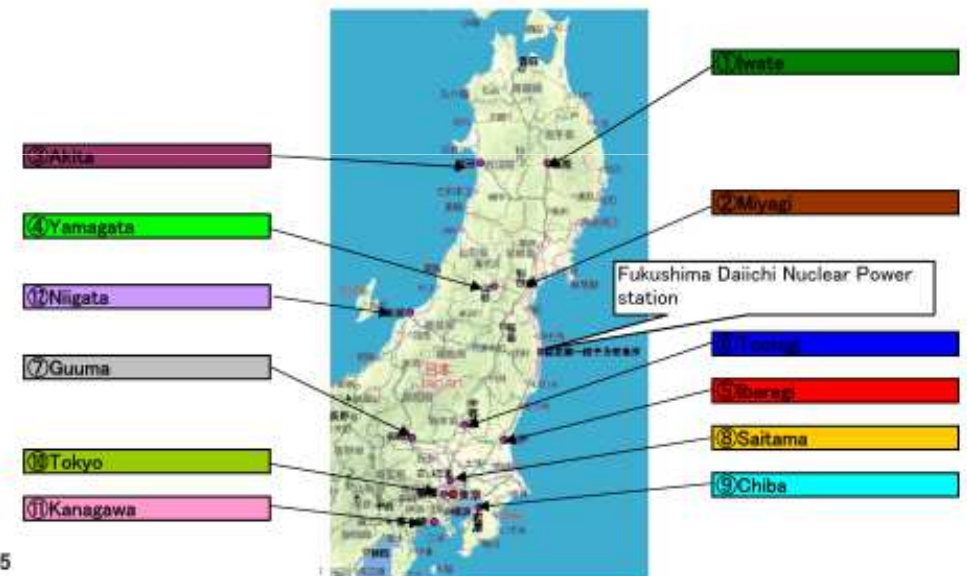
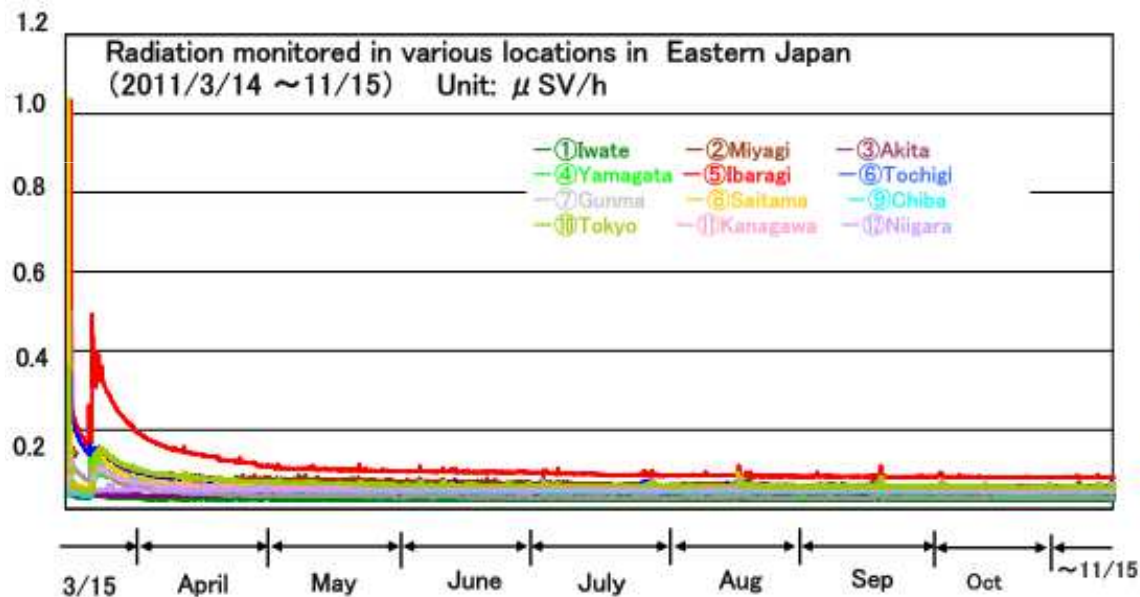
[Figure 2-3] Distribution of cesium-137 concentration in the seawater – 5 years later –

# Környezeti hatások

## Trend of radiation in the environment at various locations



Locations for monitoring



# Kibocsátások, INES-7

Április 12-én a japán hatóságok 7-esre emelték az esemény INES-besorolását

- Korábban: 3 db 5-ös besorolás az 1-3 blokkoknak, 3-as besorolás a 4. blokki pihentető medencének
- Most: 1-3 blokkok összevonva (1 db 7-es besorolás), a 4. blokki pihentető medence továbbra is 3-as besorolású
- Indoklás: összesített környezeti aktivitás-kibocsátás I-131 ekvivalensben eléri a több tízezer TBq-t (INES manual)

Total inventory of radio nuclides of the Fukushima Daiichi NPP with radiological relevance averaged over the different reactor and spent fuel pool loads with respect to 11 March 2011

| Fission products |               | Actinides    |               |
|------------------|---------------|--------------|---------------|
| Nuclide          | Activity [Bq] | Nuclide      | Activity [Bq] |
| KR 85            | 2,584E+17     | PU238        | 7,917E+16     |
| SR 89            | 9,796E+18     | PU239        | 8,367E+15     |
| SR 90            | 2,102E+18     | PU240        | 1,464E+16     |
| Y 90             | 2,148E+18     | PU241        | 3,429E+18     |
| ZR 95            | 1,908E+19     | AM241        | 8,677E+15     |
| NB 95            | 1,965E+19     | AM243        | 5,533E+14     |
| RU106            | 9,603E+18     | CM242        | 8,949E+17     |
| SB125            | 1,826E+17     | CM243        | 5,698E+14     |
| TE132            | 1,666E+19     | CM244        | 6,320E+16     |
| I 131            | 1,186E+19     |              |               |
| XE133            | 2,378E+19     |              |               |
| CS134            | 3,801E+18     |              |               |
| CS137            | 2,988E+18     |              |               |
| CE144            | 1,720E+19     |              |               |
| PM147            | 3,509E+18     |              |               |
| EU154            | 1,419E+17     |              |               |
| Total Activity   |               | 2,586E+21 Bq |               |

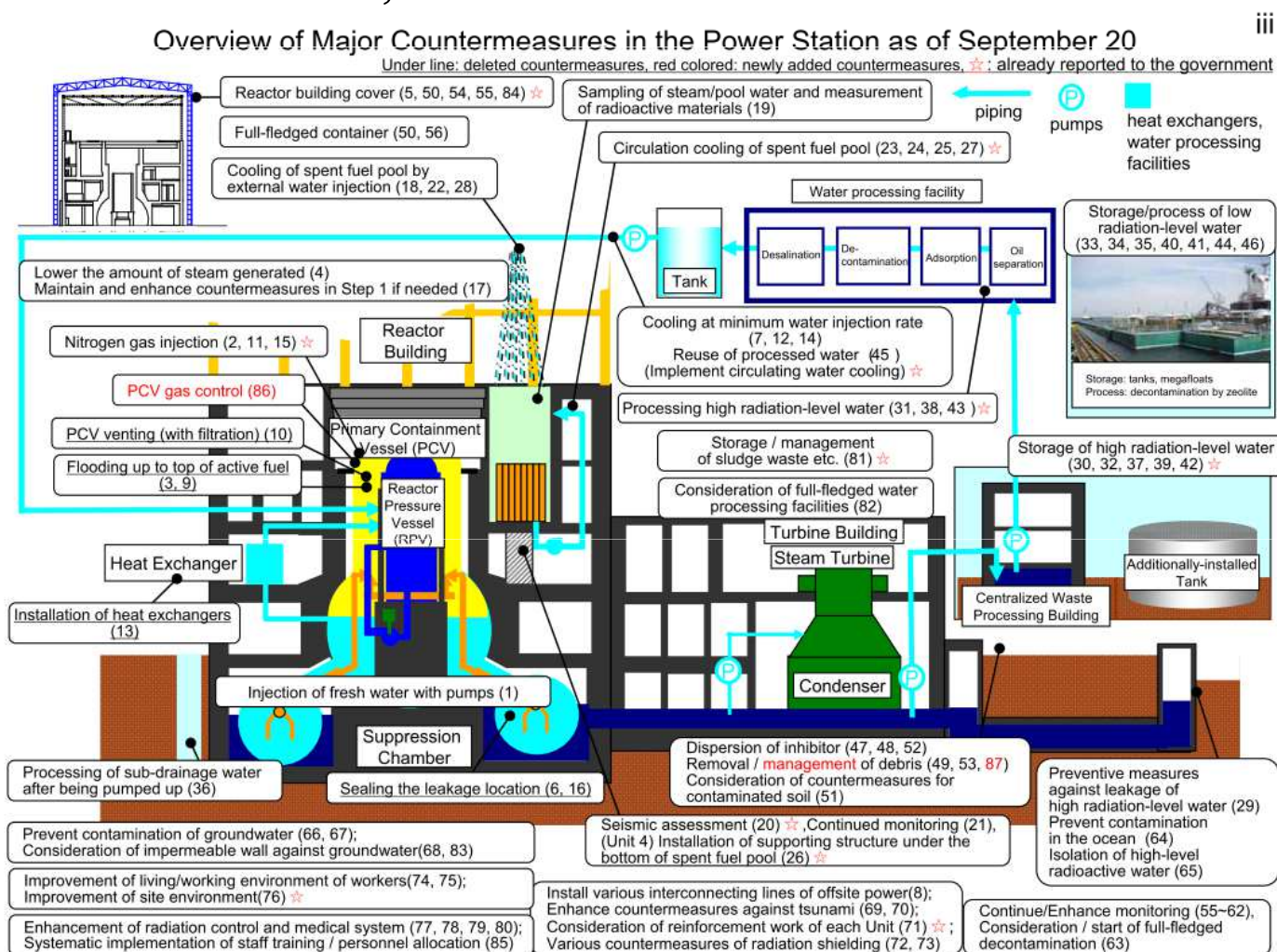
Teljes fukusimai izotópleltár. Forrás: Pretzsch et al. (GRS): Radioactive Inventory at the Fukushima NPP; EUROSAFE 2011

| Izotóp                  | Fukushima kibocsátás (NISA)               | Fukushima kibocsátás (NSC - 20110824)     | Fukushima kibocsátás (IRSN)* | Csernobil kibocsátás                   | Fukushima / Csernobil arány (%) |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| I-131                   | $1,3 \times 10^{17}$ Bq                   | $1,3 \times 10^{17}$ Bq                   | $1,1 \times 10^{17}$ Bq      | $1,8 \times 10^{18}$ Bq                | 7,22%                           |
| Cs-137                  | $6,1 \times 10^{15}$ Bq                   | $1,1 \times 10^{16}$ Bq                   | $1,1 \times 10^{16}$ Bq      | $8,5 \times 10^{16}$ Bq                | 12,9%                           |
| Üzemanyag törmelék      | ? (eddiggi adatok szerint elhanyagolható) | ? (eddiggi adatok szerint elhanyagolható) |                              | Üa. ~1,5%-a<br>~ $7 \times 10^{17}$ Bq | ?                               |
| Összesen (I egyenérték) | $3,7 \times 10^{17}$ Bq                   | $5,7 \times 10^{17}$ Bq                   | $5,5 \times 10^{17}$ Bq      | $5,2 \times 10^{18}$ Bq                | <b>7-17%</b>                    |

\*: összes nemesgáz:  $4,5 \times 10^{18}$  Bq. Forrás: Isnard et al. (IRSN): Radioactive source term and release in the environment; EUROSAFE 2011

# Elhárítási lépések

- Az elhárítási-helyreállítási munkálatokat három fázisra osztották  
1.: 3 hónap (április közepétől) / 2. : 3-6 hónap az 1. fázist követően / 3.: 3 év
- Végső cél: kitelepítettek mihamarabb visszaköltözhessenek (dózisviszonyok)
  - Fő célok: reaktorok stabil hideg leállított állapotba hozása (ehhez hűtés stabilizálása), kibocsátások csökkentése/megszüntetése, felgyűlt szennyezett víz mennyiségének csökkentése, hulladékok kezelése és tárolása



# Elhárítási lépések (2011. szeptember)

- Eddig megvalósult:
  - Bejutás a reaktorépületekbe, dózisviszonyok feltérképezése (folyamatos)
  - Pihentető medencék független hűtőköre (hőcserélővel)
  - Reaktorok független hűtőköre
    - Zóna spray: 2. és 3. blokk
  - Reaktorok hűtővizének tisztítórendszere, a blokkokban összegyűlt szennyezett víz tisztítórendszere, sótalánító-rendszer
  - Nitrogénatmoszféra fenntartása az 1-3. blokk konténmentben
  - Kevésbé szennyezett radioaktív víz átemelése (Megafloat)
  - Épül az 1. blokk fölé az ideiglenes védőépület
  - Kibocsátás jelentős csökkenése
  - Folyamatos: telephelyi kihullás megkötése, összegyűjtése, törmelék, károk felszámolása
- Legközelebbi fő cél:
  - 1-3. blokk hideg leállított állapot (2011. december)



Törmelék felszámolás, inhibitor



1. blokk védőépület



Sótalánító-rendszer tartályai



3. blokk mintavételezés

Before  
Removal



Photo taken on November 2, 2011



After  
Removal

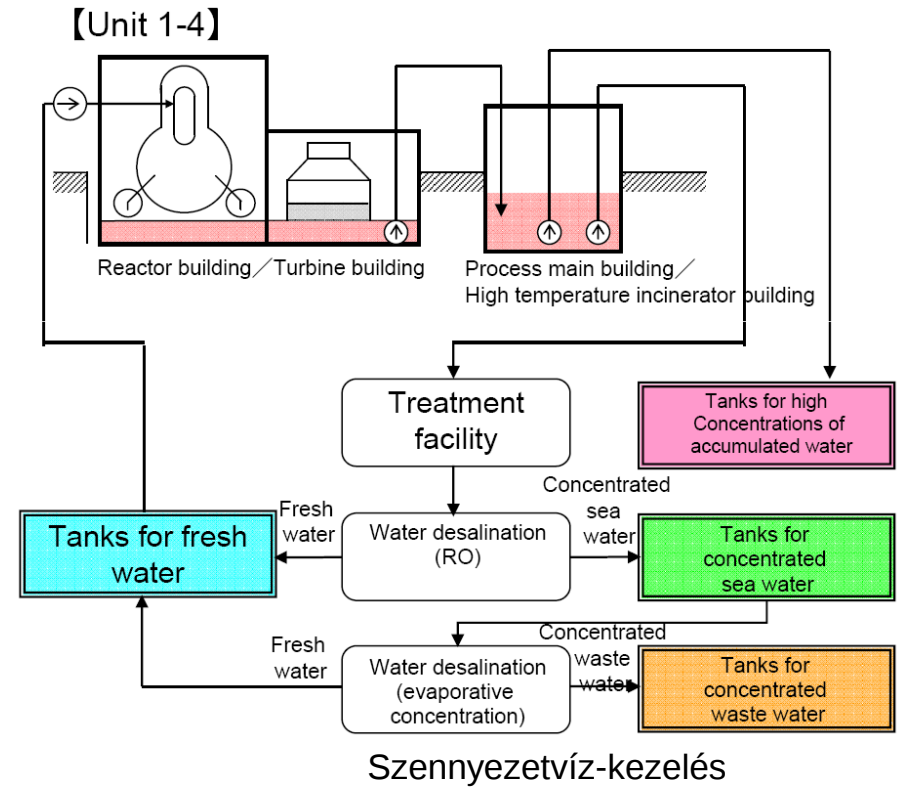


Photo taken on November 3, 2011

< ① In Front of the Equipment

Hatch at North-East Area >

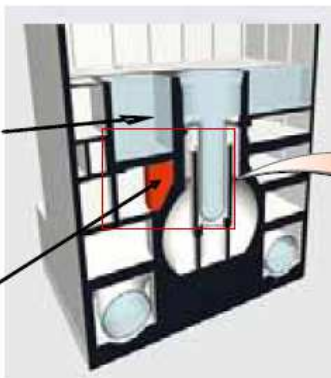
# Elhárítási lépések (2011. november)



Cross section  
view

Spent Fuel Pool

Concrete wall



<Before filling concrete>

<After filling concrete>

Concrete wall



Steel support pillars



Photos taken: Tokyo Electric Power Company

4. blokki pihentető medence alátámasztása

BME ESZK, 2011. november 24.

Prof. Dr. Aszódi Attila, BME NTI

Forrás: Tepco

# Elhárítási lépések (2011. november)

Eddig megvalósult:

- Bejutás a reaktorépületekbe, dózisviszonyok feltérképezése (folyamatos)
- Pihentető medencék független hűtőköre (hőcserélővel)
- Reaktorok független hűtőköre
  - Zóna spray: 2. és 3. blokk
- Reaktorok hűtővizének tisztítórendszere, a blokkokban összegyűlt szennyezett víz tisztítórendszere, sótalánító-rendszer
- Nitrogénatmoszféra fenntartása az 1-3. blokk konténmentben
- Kevésbé szennyezett radioaktív víz átemelése (Megafloat)
- 1. blokki ideiglenes védőépület
- Kibocsátások jelentős csökkenése
- Folyamatos: telephelyi kihullás megkötése, összegyűjtése, törmelék, károk felszámolása
- Megkezdődött a telephelyen kívüli dekontamináció

Legközelebbi fő cél:

- 1-3. blokk hideg leállított állapot (2011. december)

BME ESZK, 2011. november 24.

Prof. Dr. Aszódi Attila, BME NTI

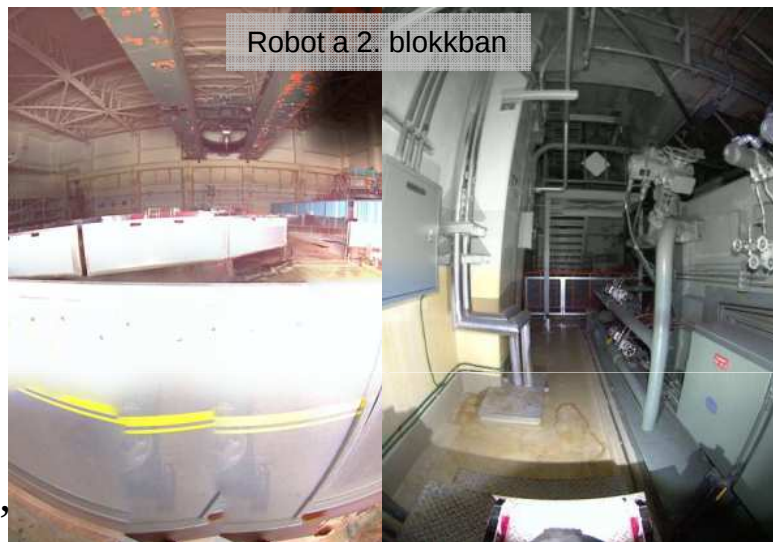
Forrás: Tepco



1. blokk védőépület



Törmelék felszámolás, inhibitor



Robot a 2. blokkban



Sótalánító-rendszer tartályai



3. blokki elárasztott rendszerek helyreállítása (március-szeptember)



# Elhárítási lépések – középtávú feladatok

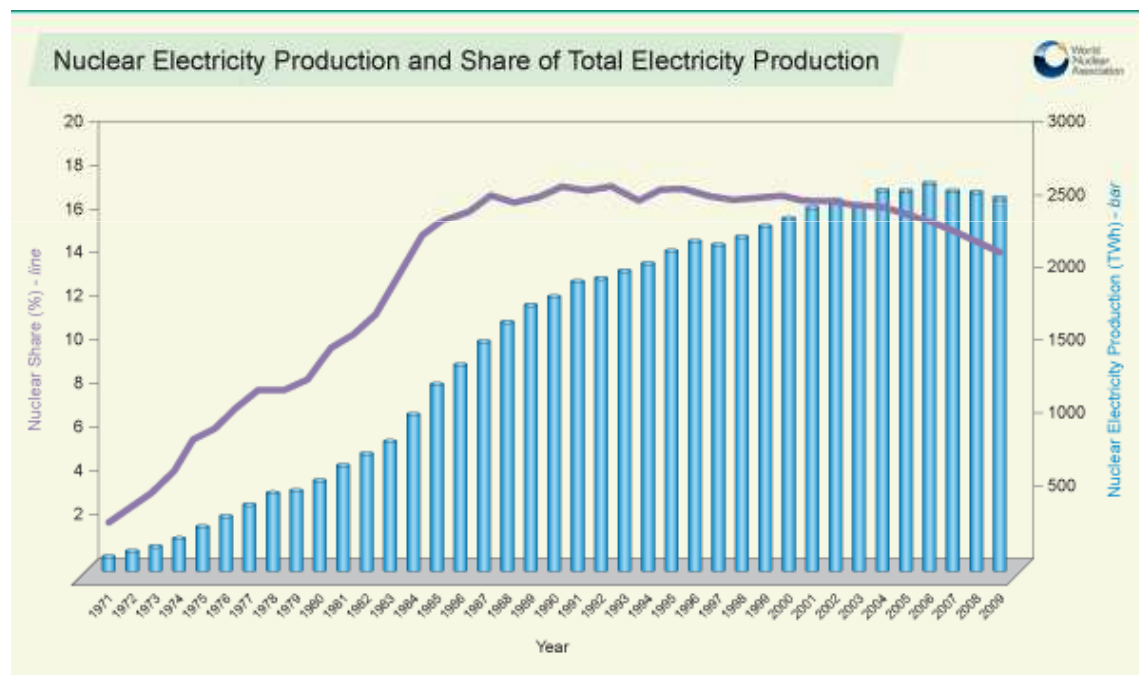
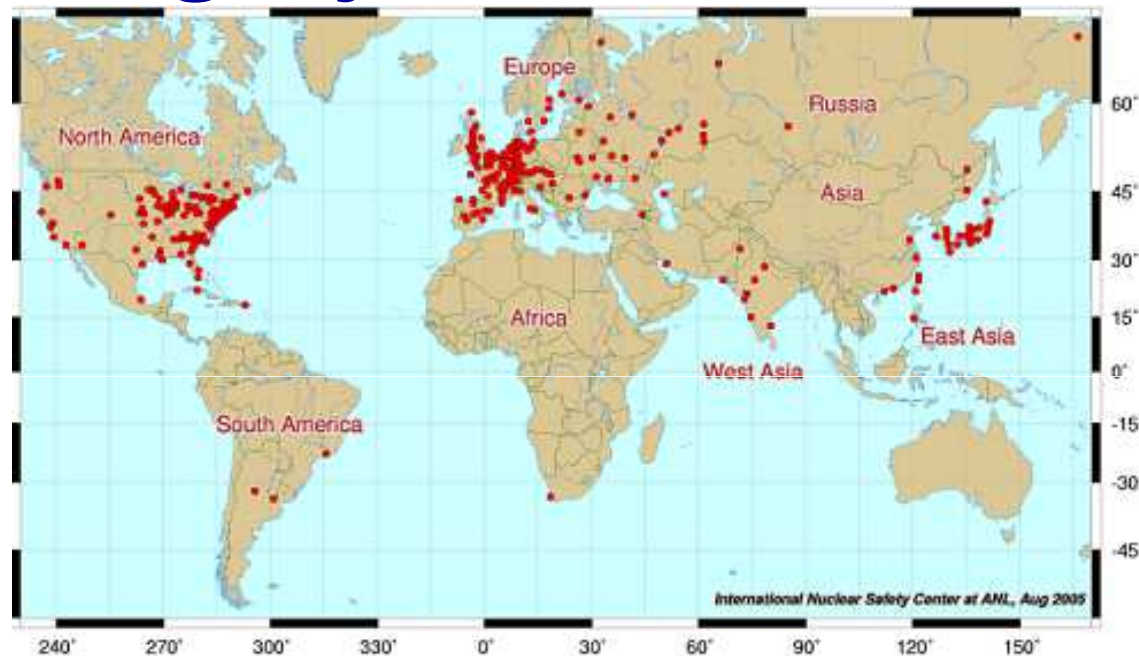
3 éves távlatban:

- Reaktorok és pihentető medencék stabil hűtésének fenntartása
- Reaktorok további degradációjának megelőzése
- Üzemanyag eltávolítása a pihentető medencékből
- Telephelyi helyreállítás
  - Szennyezet víz kezelése bővített kapacitással
  - Tenger és talajvíz szennyezés megelőzése
  - Törmelékek, roncsok eltávolítása
  - Sugárvédelem erősítése (pl. árnyékolások)
  - Munkakörnyezet, munkakörülmények további javítása
- Környezet
  - Folyamatos monitorozás, tisztítás, dekontaminálás és helyreállítás



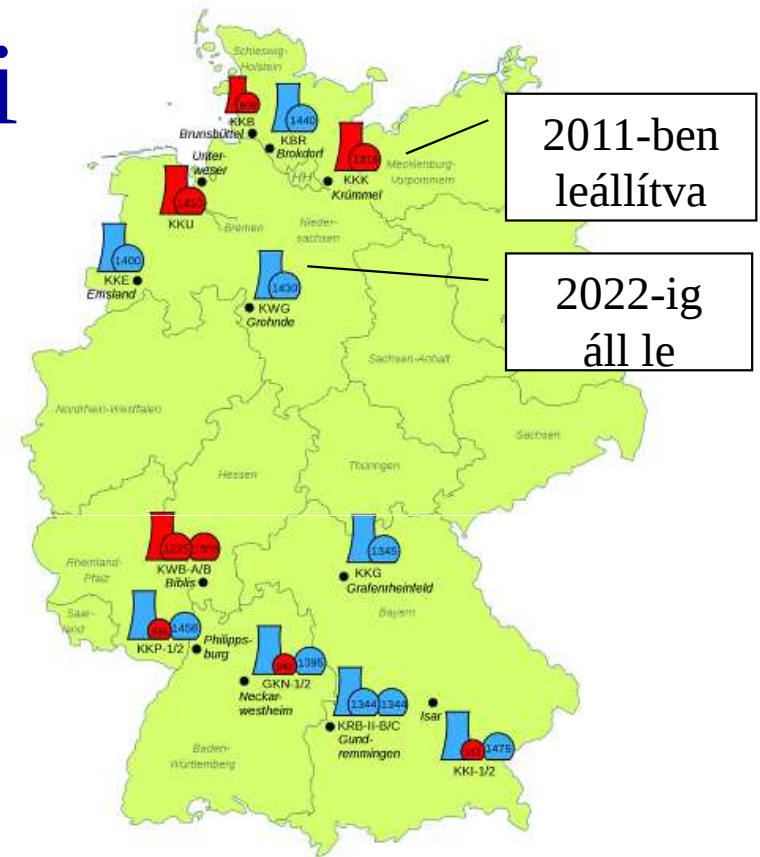
# Az atomenergia jelene

- Jelenleg 432 atomerőművi blokk üzemel a világon
- 65 atomerőmű blokk áll építés alatt
- Az atomerőmű-építési láz Csernobil után megtorpant, atomerőművek részesedése csökkent
- 2000 után „nukleáris reneszánsz”: új lendület az építésekben (főleg Kína és Oroszország hajtja)
- Európai építések jelenleg: Finnország, Franciaország, Szlovákia
- További európai tervek: Litvánia, Csehország, Lengyelország, Románia, Magyarország



# Fukushima politikai hatásai

- Németország: 2011 elején 17 atomerőművi blokk üzemelt 20 300 MW kapacitással
  - Hagyományosan antinukleáris ország
  - Korábbi terv: teljes leállítás 2022-ig, ezt Merkel módosította
  - 2011. március: 3 hónapos azonnal leállítás a legrégebbi 7 blokknak
  - 2011. május 30.: a 7 blokk (+Krümmel) végleg leáll, a többi 2022-ig fokozatosan
  - Eddig Németország volt Európa egyik legnagyobb áramexportőre



# Fukushima hatásai az atomenergiára

- Olaszország:
  - Népszavazás: 92% döntött az atomenergia ellen (korábban is antinukleáris ország)
- Kína és Oroszország bejelentették, tovább folytatják az atomprogramot
  - Oroszország: biztonsági felülvizsgálat minden atomerőműben, EU stressz-tesztekhez is csatlakoznak
- A jelenleg zajló építési, engedélyezési munkákat lelassíthatja az újonnan felmerült biztonsági szempontok figyelembe vétele (biztonsági elemzések, konstrukciós módosítások, engedélyezés)



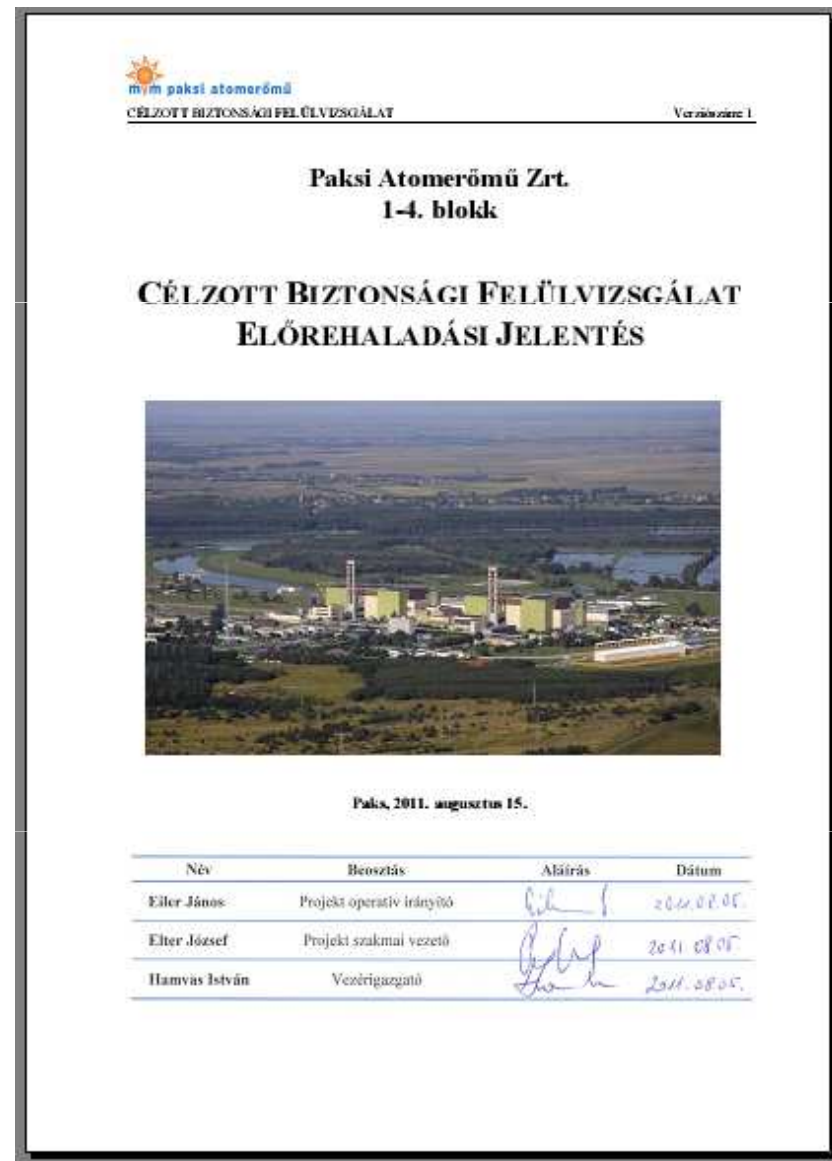
Róma



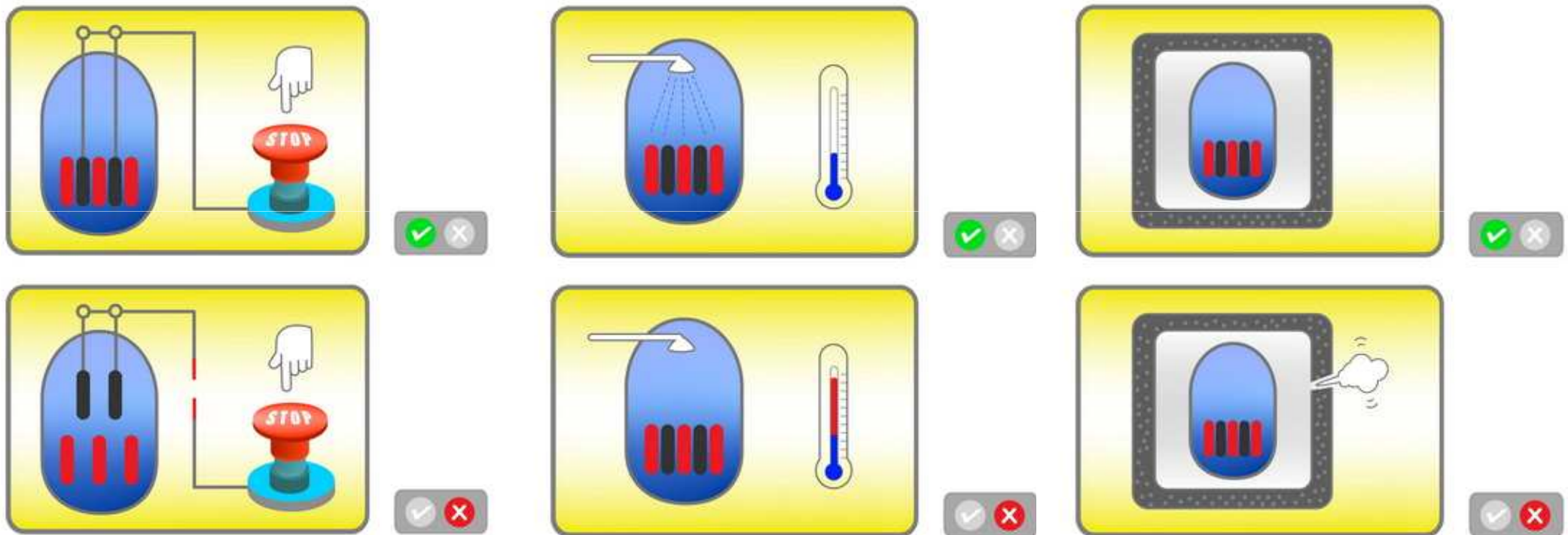
Quinshan,  
Kína

# Fukushima hatásai – stressz tesztek

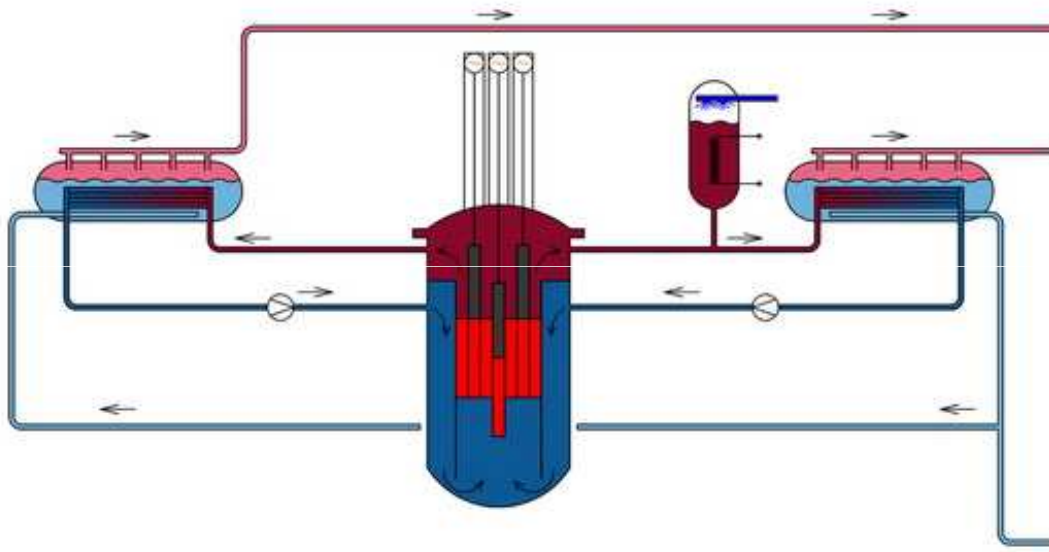
- EU: üzemelő atomerőművekre (143) célzott biztonsági felülvizsgálatot (CBF) kell elvégezni, ez a stressz teszt
- Csatlakozott Svájc, (Oroszország), Ukrajna, Örményország is
- Rendelkezésre álló adatok alapján kell elemezni:
  - az atomerőmű reakcióját bizonyos külső eseményekre
  - a megelőző és javító intézkedések vizsgálata a kezdőesemények, a biztonsági funkciók elvesztése és a súlyos baleseti folyamatok során
- Hasonló felülvizsgálatokat végeznek a világ többi atomerőművére is

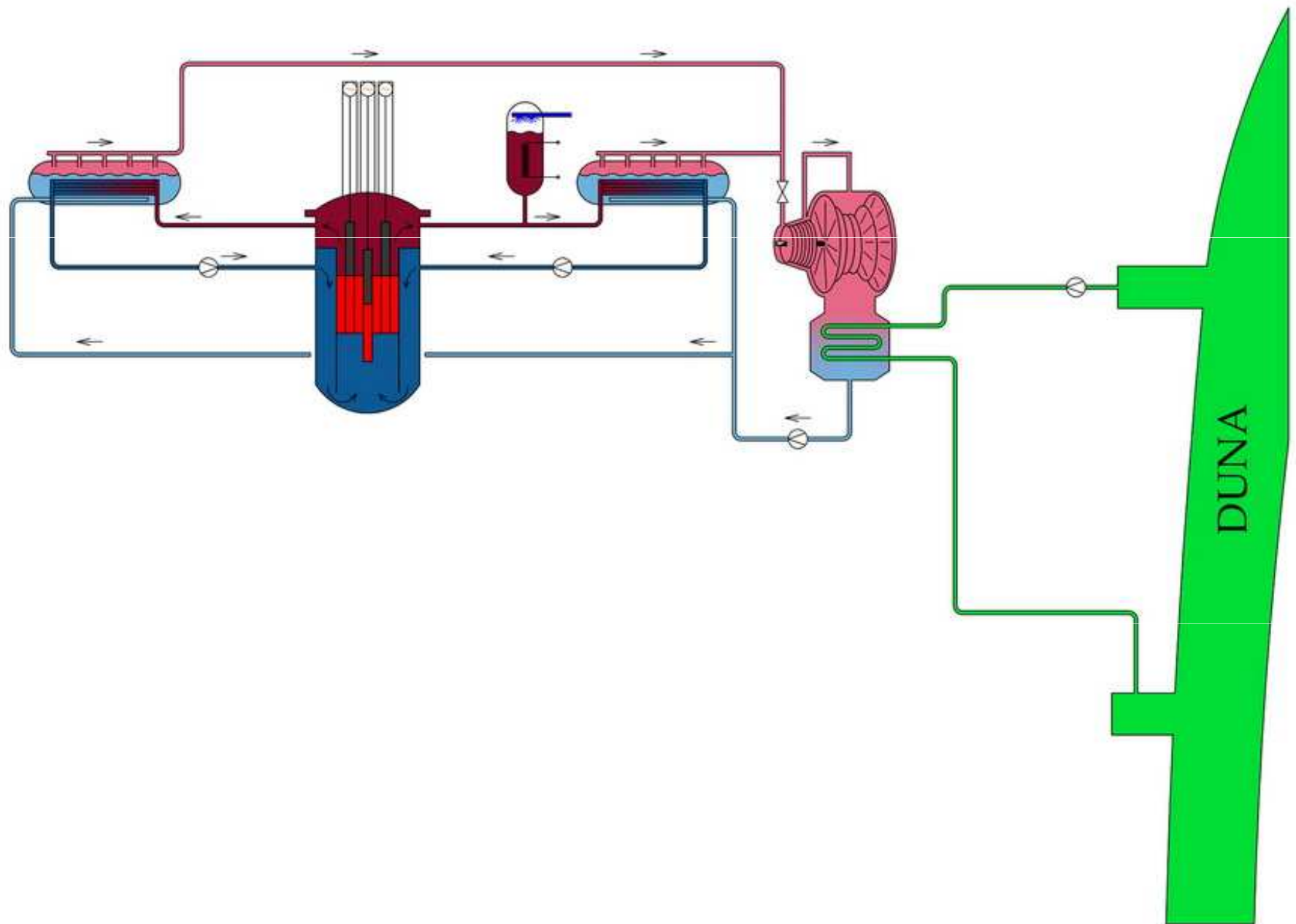


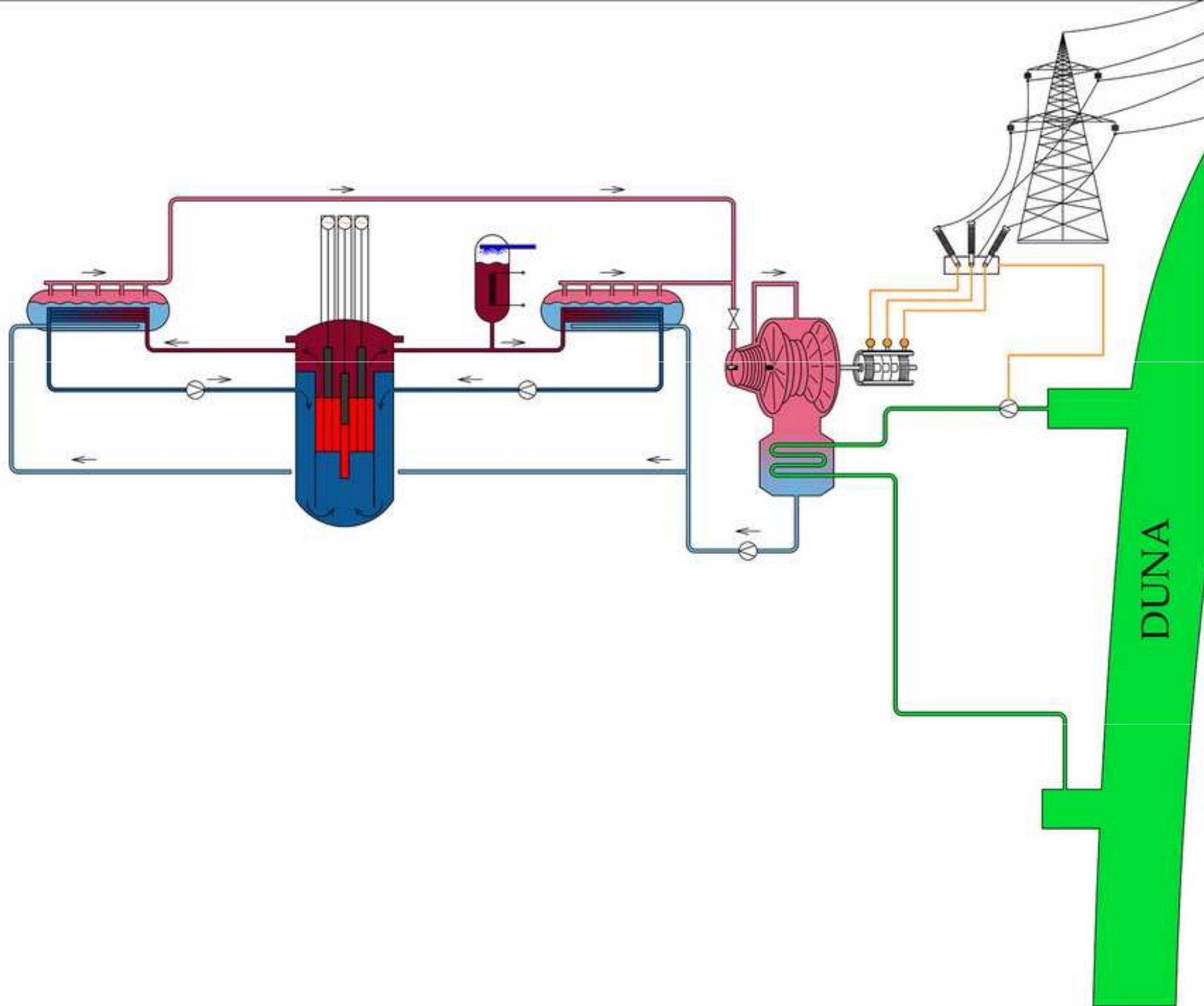
# Biztonsági funkciók megvalósítása VVER-440/213 blokkokon

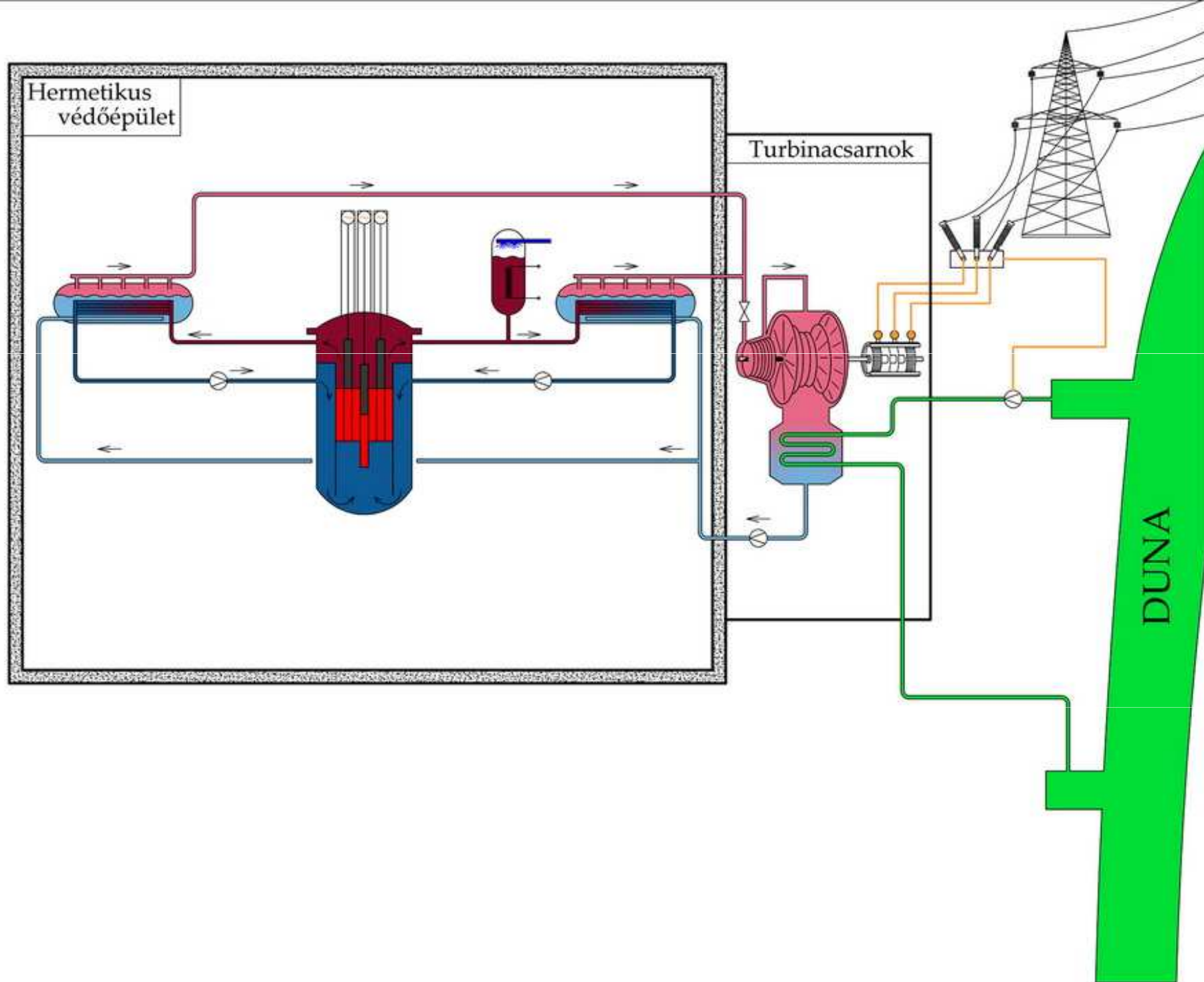


# VVER-440/213 erőművek biztonsági filozófiája

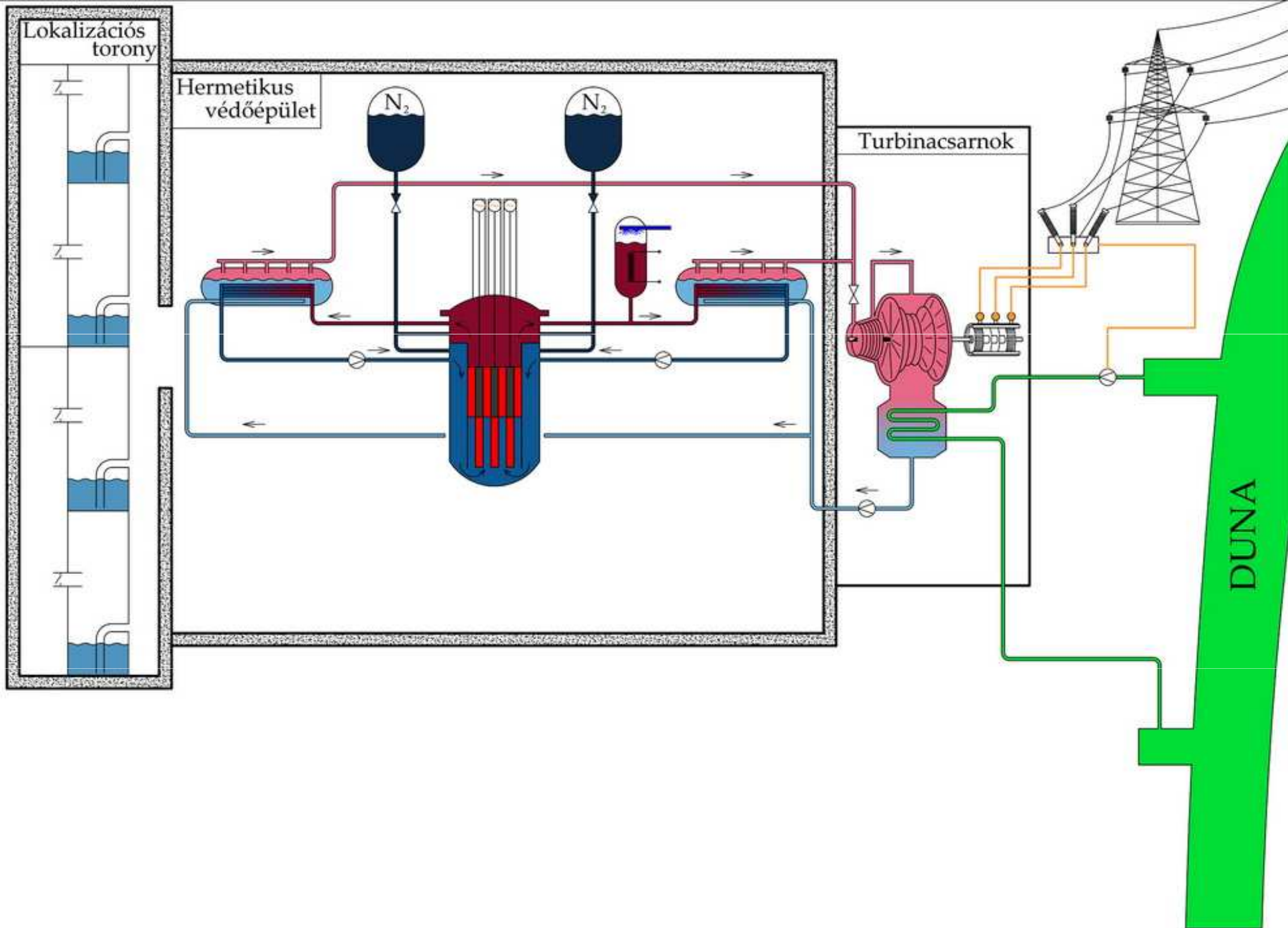


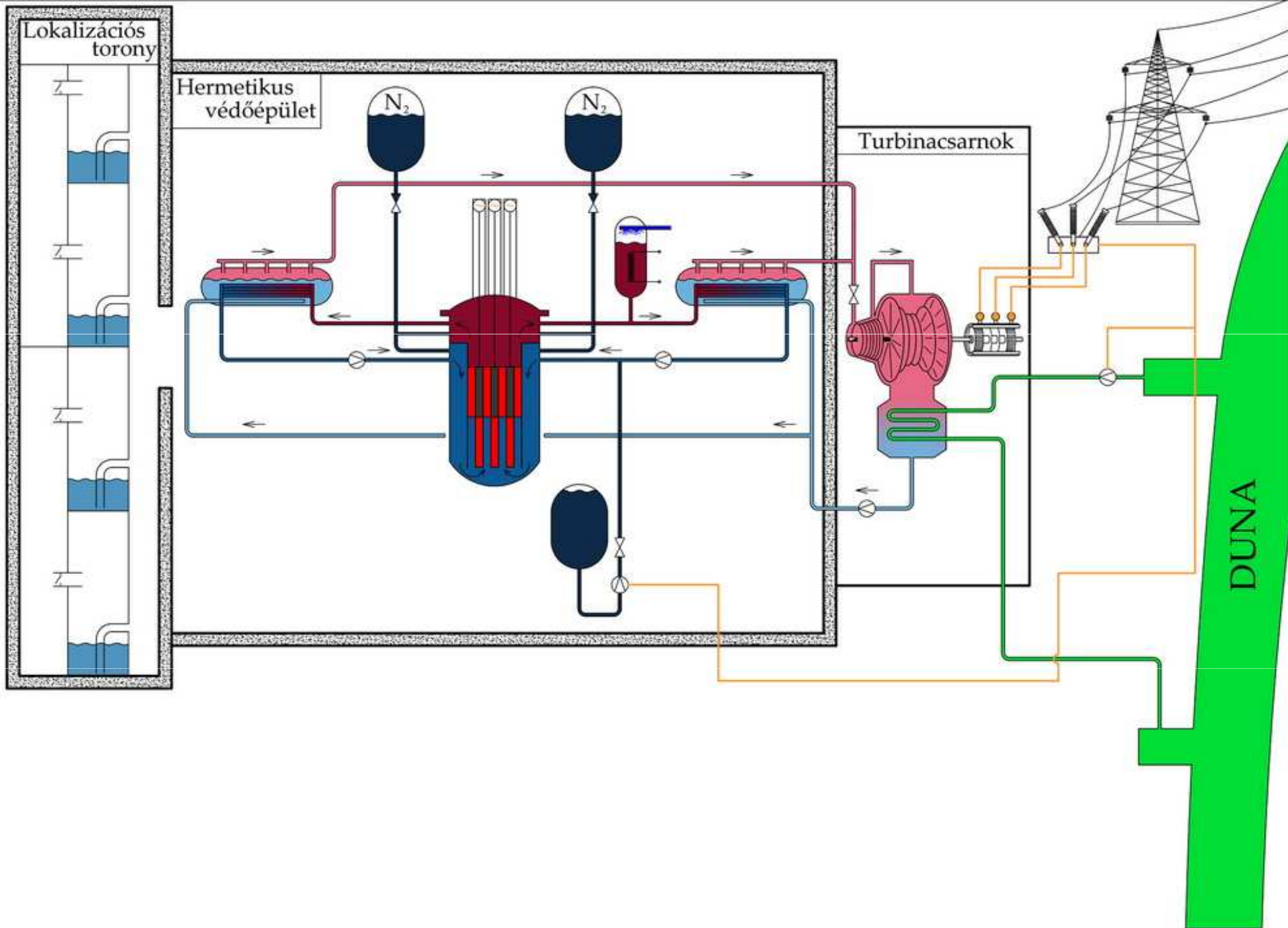


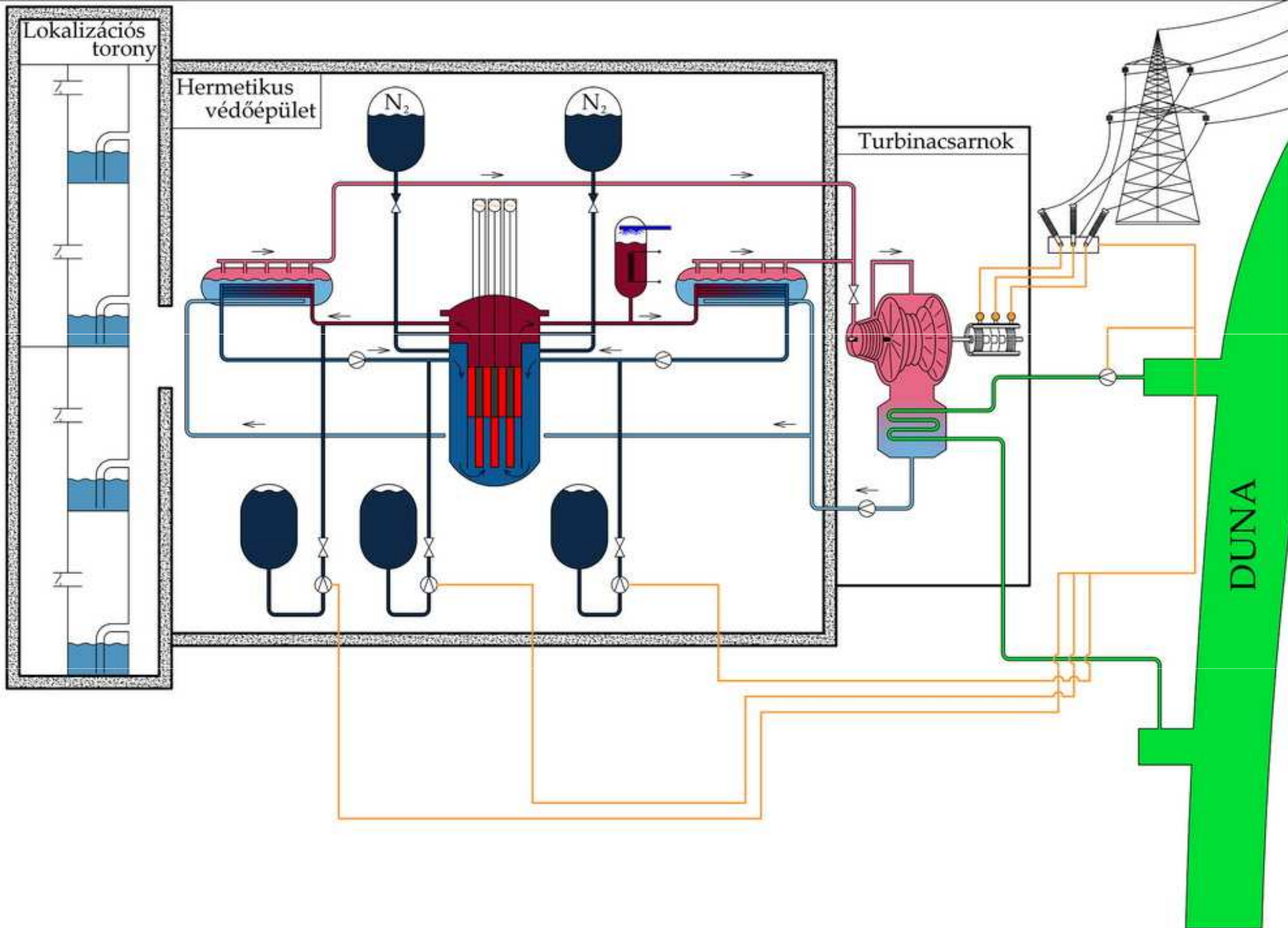


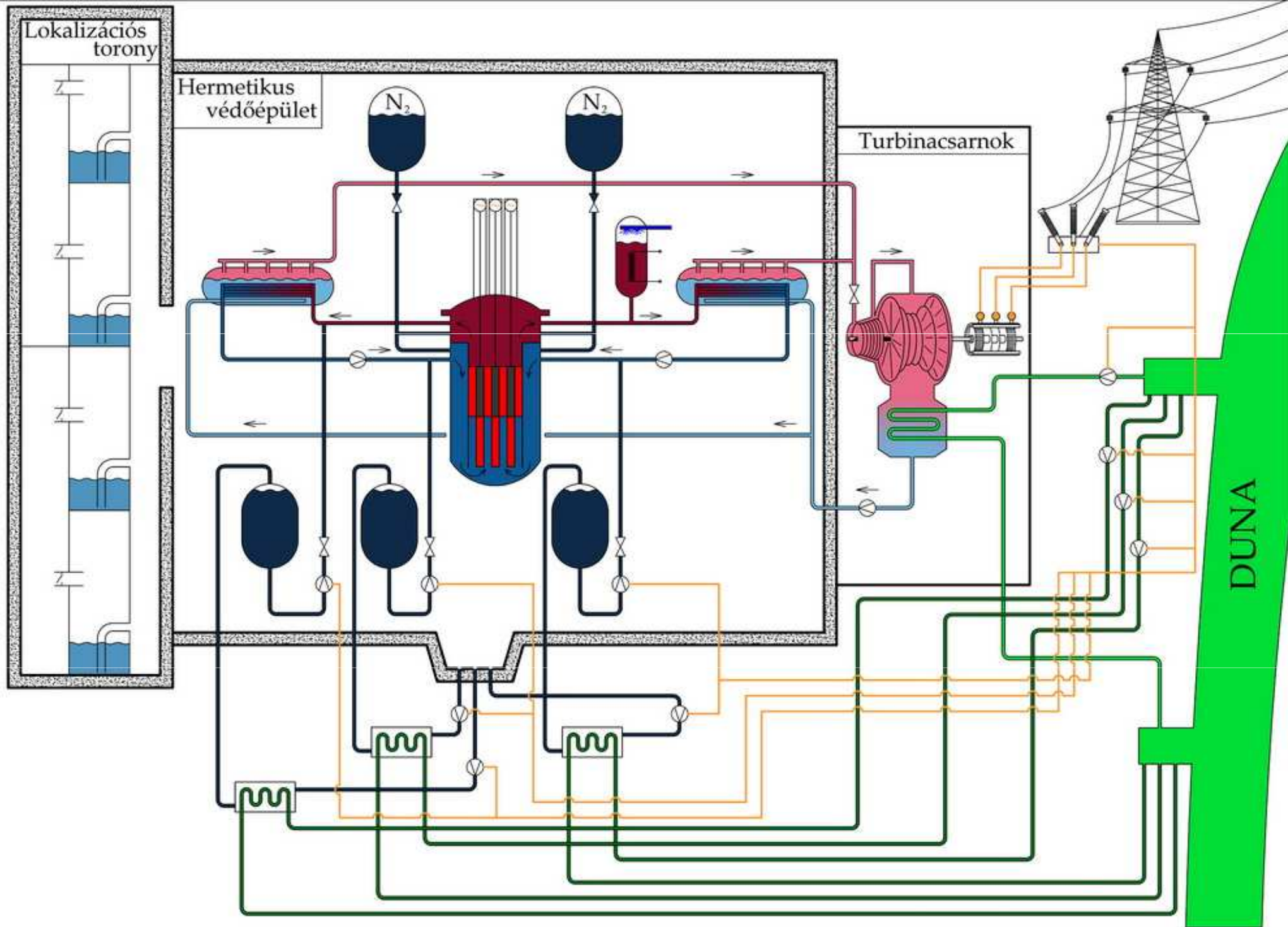


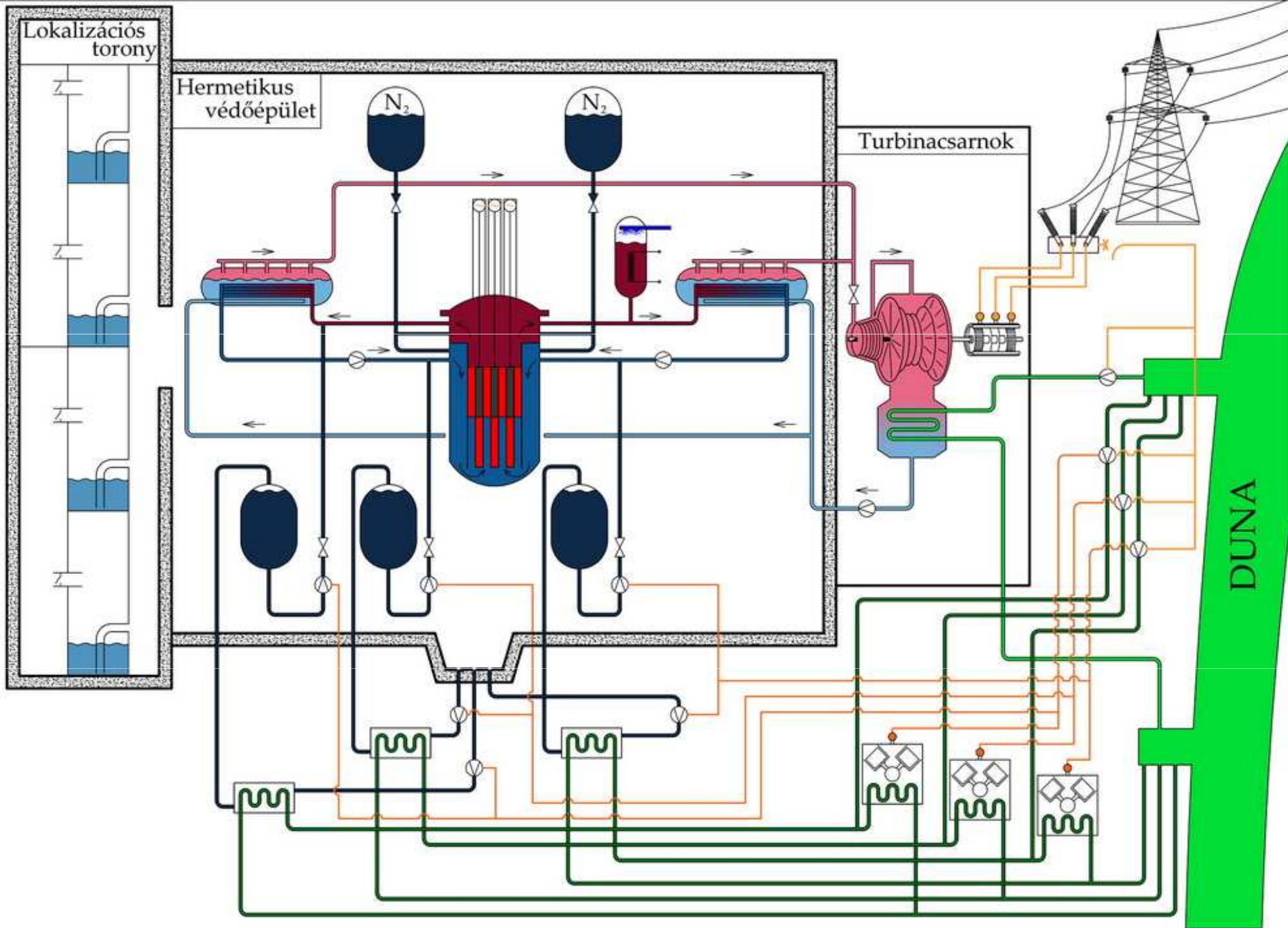




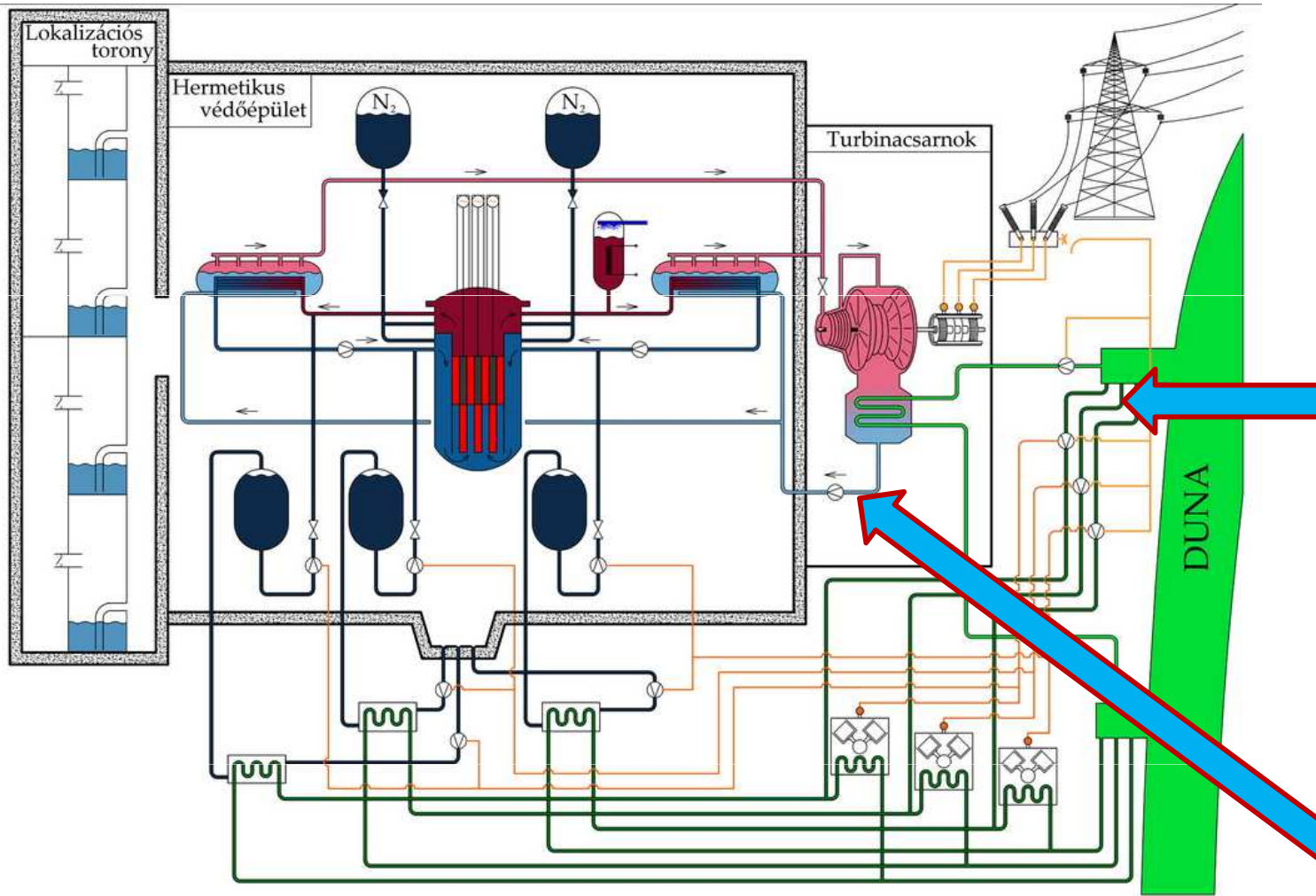








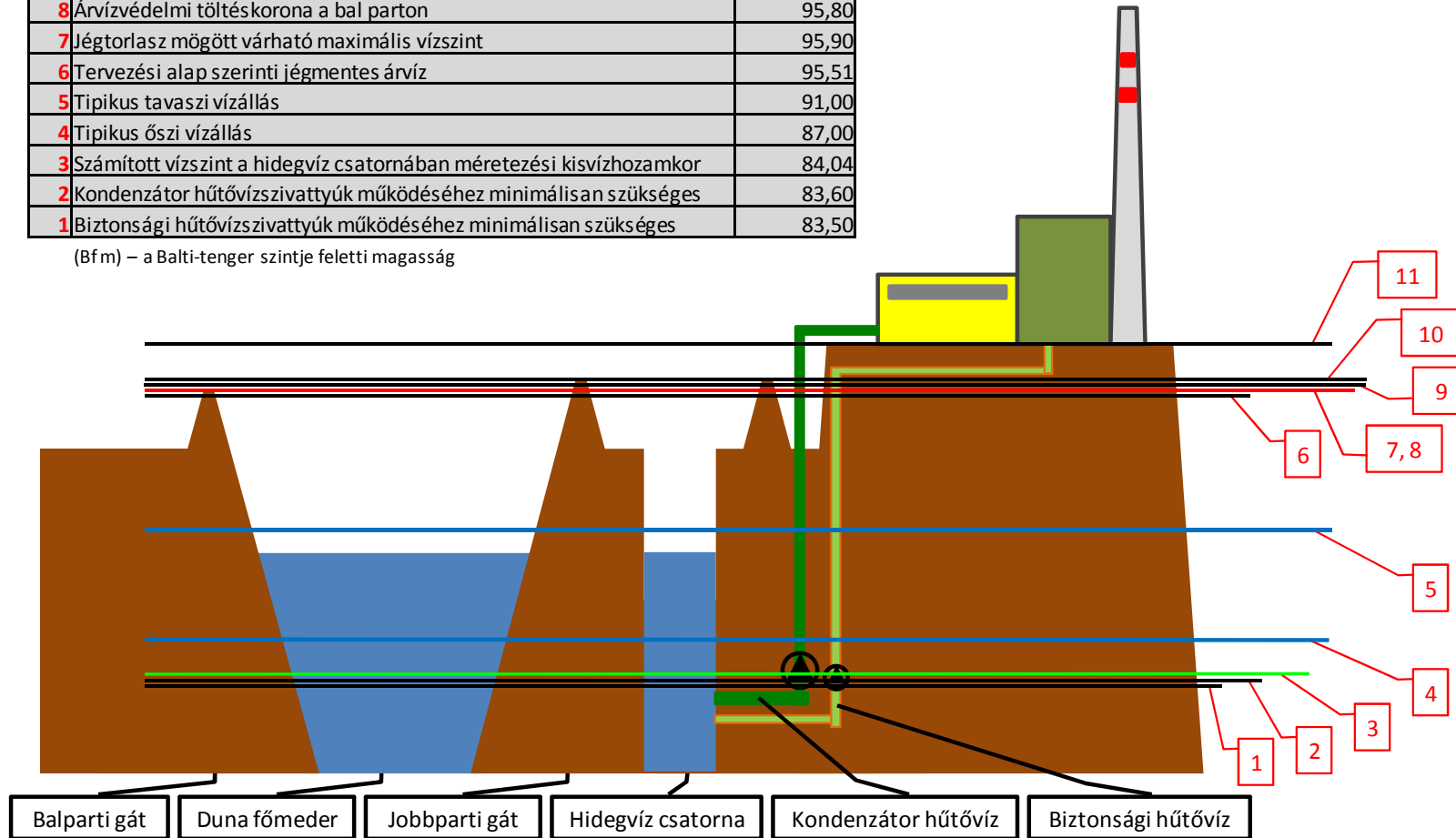
# CBF Pakson – Végző hőnyelő pótlása



# CBF Pakson – elárasztás

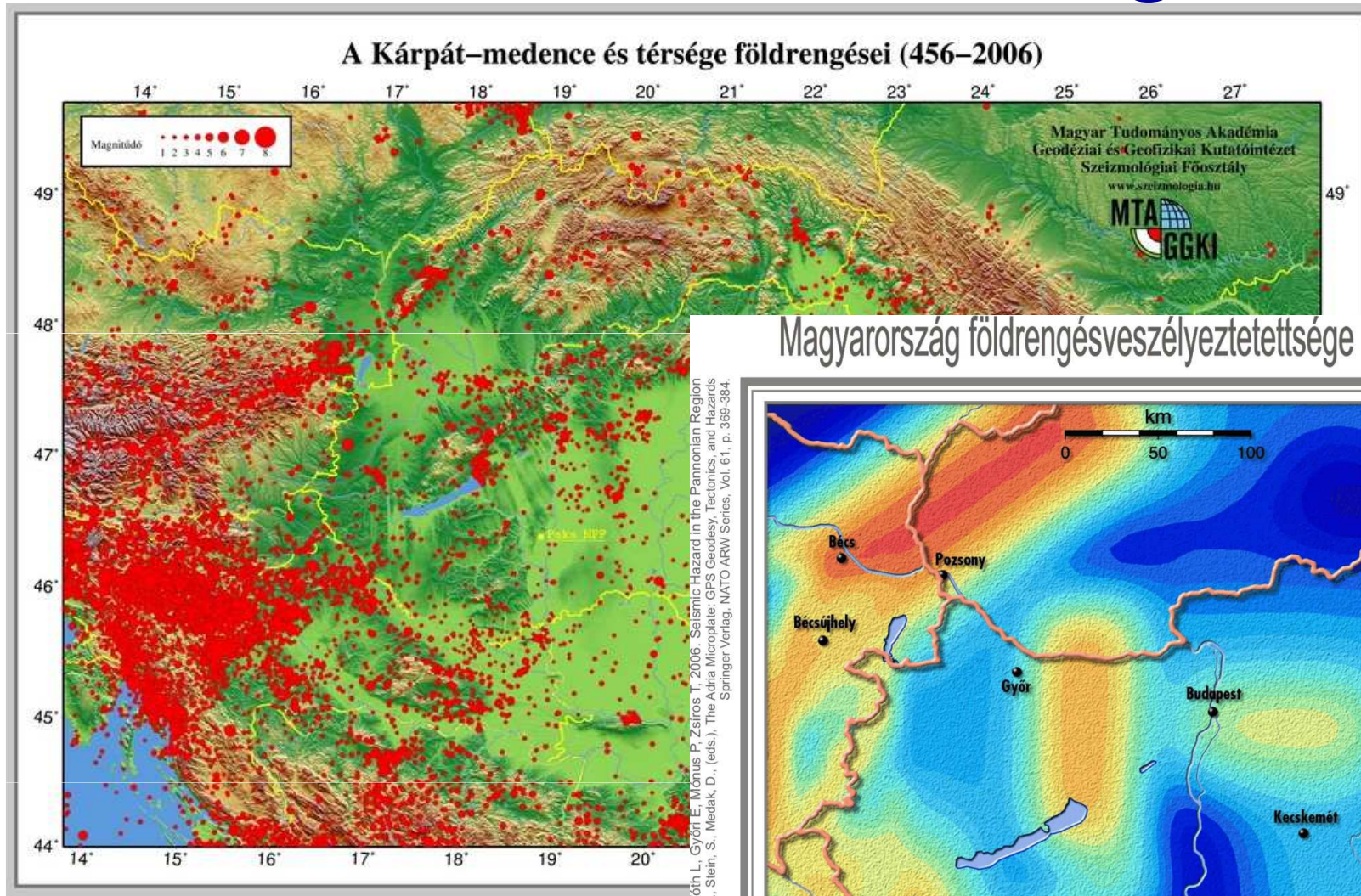
| No. | Megnevezés                                                          | Szint (Bf m) |
|-----|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| 11  | Atomerőművi telephely feltöltési szintje                            | 97,15        |
| 10  | Árvízvédelmi töltéskorona a jobb parton                             | 96,30        |
| 9   | Tervezési alap szerinti jegesárvíz                                  | 96,07        |
| 8   | Árvízvédelmi töltéskorona a bal parton                              | 95,80        |
| 7   | Jégtorlasz mögött várható maximális vízszint                        | 95,90        |
| 6   | Tervezési alap szerinti jégmentes árvíz                             | 95,51        |
| 5   | Tipikus tavaszi vízállás                                            | 91,00        |
| 4   | Tipikus őszi vízállás                                               | 87,00        |
| 3   | Számított vízszint a hidegvíz csatornában méretezési kisvízhozamkor | 84,04        |
| 2   | Kondenzátor hűtővízszivattyúk működéséhez minimálisan szükséges     | 83,60        |
| 1   | Biztonsági hűtővízszivattyúk működéséhez minimálisan szükséges      | 83,50        |

(Bf m) – a Balti-tenger szintje feletti magasság



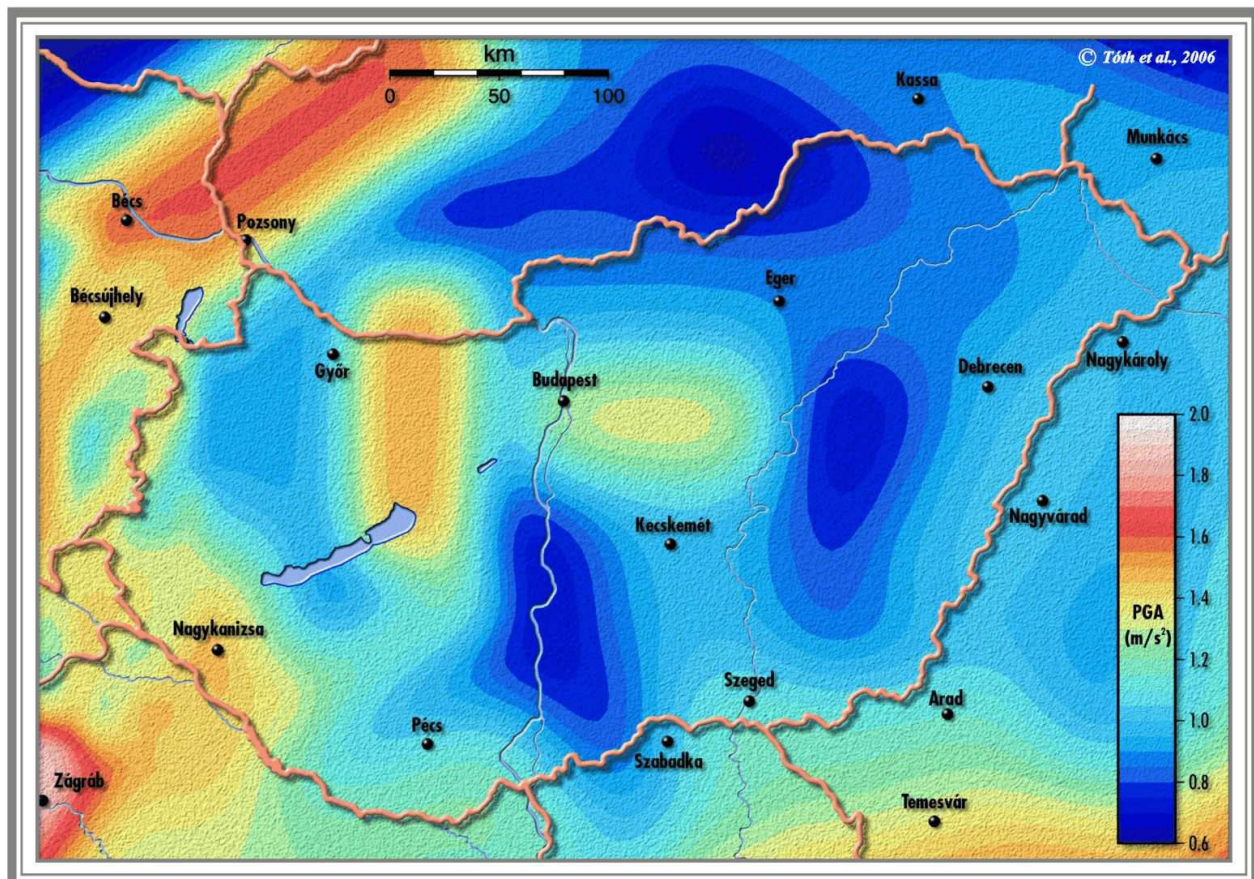
Az atomerőmű a környék legmagasabb feltöltésére épült – a Duna nem tudja elárasztani a blokkokat.

# CBF Pakson – Földrengésvédelem



Horizontális gyorsulás értékek 50 évre,  
10% meghaladási valószínűség mellett  
(1/475 év gyakoriság) az alapkőzeten, m/s<sup>2</sup> egységben

Tóth L., Györi E., Mönus P., Zsáros I., 2006. Seismic Hazard in the Pannonian Region  
In: Pinter, N., Grenertzy, Gy., Weber, J., Stein, S., Medak, D., (eds.), The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards  
Springer Verlag, NATO ARW Series, Vol. 61, p. 369-384.



Paks földrengésbiztonsága: a blokkok 0,25 g (2,45 m/s<sup>2</sup>) talajfelszíni gyorsulásra vannak megerősítve.

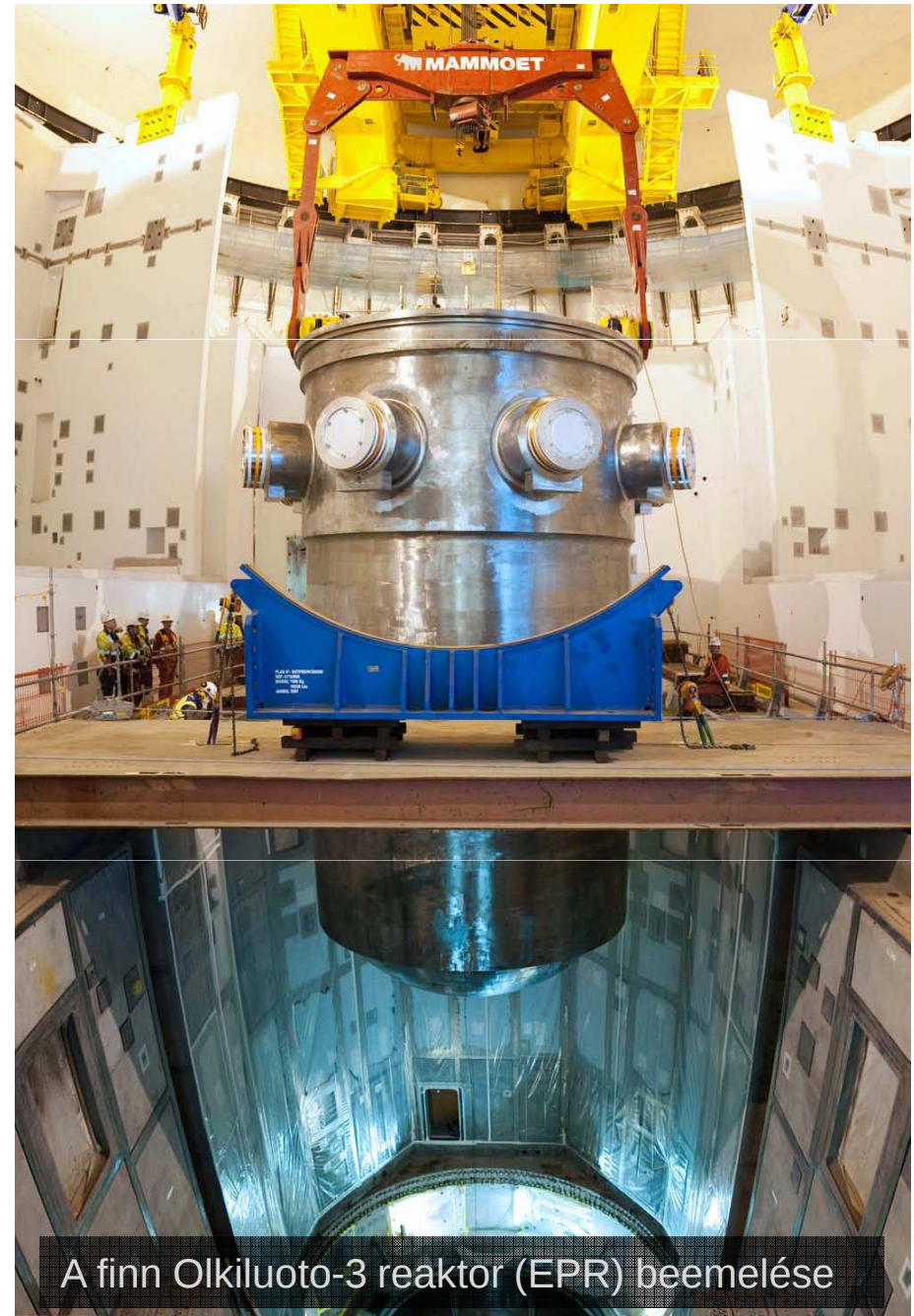
# CBF Pakson – Várható eredmények

- Fukusimából tanulni kell!
- Számos javító intézkedés várható Pakson is, és az összes atomerőműben, elsősorban a tervezési alapon túli balesetekre.
- További üzemzavari / baleseti dízelgenerátorok telepítése.
- Biztonsági hűtővízrendszer szűrői biztonsági áramellátása.
- Parti szűrésű tűzivíz kutak biztonsági áramellátása.
- Balesetelhárítási szervezet felkészítése több blokk egyidejű balesetének elhárítására.
- Talajfolyósodás hatásaival szembeni tartalék növelése.
- Tűzoltólaktanya és a blokki beléptetés épületének megerősítése földrengésre.
- Pihentető medencék tartalék vízbetáplálási útvonalának kiépítése.
- Stb.



# Van-e jövője az atomenergiának?

- Igen, ha
  - tanulunk a fukushimai tapasztalatokból...
  - továbbra is a biztonság folyamatos növelése a cél...
  - az értelem dönt a politikai érdekek és az érzelmek helyett...
- Hiszen az atomenergia
  - CO<sub>2</sub> mentesen termel áramot,
  - kis normál üzemi kibocsátás mellett,
  - kis mennyiségű és jól készletezhető primerenergia-hordozóból,
  - versenyképes áron.



A finn Olkiluoto-3 reaktor (EPR) beemelése