

Dr. Katona Tamás János

A Paksi Atomerőmű földrengés-biztonsága

**a földrengés-veszély újraértékelésétől a
célzott biztonsági felülvizsgálatig**

A Paksi Atomerőmű földrengés-biztonsága

A Paksi Atomerőmű az ország villamosenergia-termelő kapacitásának 20%-át képviseli, de a rendkívül magas rendelkezésre állásának és a legalacsonyabb önköltségének köszönhetően az ország termelésének 43% adja.

A biztonság az üzemeltethetőség elementáris feltétele!

- A paksi atomerőművet nem tervezték és nem készítették fel a földrengések hatásaira.
 - Az erőművet meg kellett erősíteni, minősíteni kellett, és fel kellett készíteni a 10^{-4} /év gyakoriságú rengések biztonságos elviselésére.
- Előadásomban bemutatom,
- miként valósítottuk meg e stratégiai célt, s
 - milyen műszaki-tudományos eredményekkel szolgáltam e cél elérését

Mikor biztonságos az atomerőmű?

Ha az alapvető biztonsági funkciók, úgymint

- a reaktivitás szabályozása, reaktor leállítása és szubkritikus állapotban tartása, a pihentető medence szubkritikus állapotban tartása,
- a reaktorban, pihentető medencében keletkező hő elvonása,
- a radioaktív anyagok környezetbe jutásának megakadályozása vagy korlátozása

megvalósíthatók figyelembe véve

- ✓ a létesítmény telephelyével és annak környezetével kapcsolatos és természeti eredetű veszélyeket;
- ✓ szándékos, de nem célzottan a létesítmény ellen irányuló vagy szándékolatlan telephelyi és telephelyen kívüli emberi tevékenységek következményeként meglévő veszélyeket;
- ✓ a létesítmény üzemeltetéséből, ill. a rendszereinek, rendszerlemeinek véletlenszerű hibájából ered;
- ✓ (a szándékos/ellenséges emberi akciókból eredő veszélyeket).

A külső veszélyek

tervezési inputját képezik, vagy azért mert posztuláljuk, vagy azért, mert a tervezési alap valószínűségi intervallumába esik

- ✓ szélsőséges szél, hőmérséklet, csapadék hatásait,
- ✓ árvíz (beleértve a felvízi mű meghibásodását is) és aszályt,
- ✓ villámcsapást,
- ✓ szélsőséges víz-hőmérsékleteket, jegesedést,
- ✓ **földrengést**

- ✓ repülőgép rázuhanást, repülő tárgyak becsapódását,
- ✓ telephelyhez közeli szállítási és ipari balesetek,
- ✓ a külső villamos hálózat/rendszer összeomlását,
- ✓ veszélyt jelentő, telephelyen belüli tevékenységet

szűrési szint

10^{-4} /év, vagy a teljes élettartam alatt 0,005 valószínűséggel lehet csak nagyobb esemény, EUROCODE 8: 0,1

szűrési szint

10^{-7} /év

Földrengés-biztonsági program – mérföldkövek

Konceptcionális kérdések, amelyek helyes megválaszolása előfeltétele volt a biztonsági cél elérésének

1980-1990[?]

1

Telephely vizsgálat

előtanulmányok

1990-2000[?]

2

easy-fix, a biztonsági funkciók megvalósításának koncepciója

3

a tervezési alap követelményeinek teljesítése (1. IBF)

2000-2010[?]

4

Földrengés PSA és folyamányai

5

a 2. IBF és folyamányai

2010-

6

a CBF és eredményei

1. Milyen megrázottságot kell a tervezés alapjaként figyelembe venni?
A 10^{-4} /év gyakoriságú földrengés jellemzése.

2. Milyen rendszerekkel, technológiával tudjuk megvalósítani az alapvető biztonsági funkciókat – azaz a reaktor leállítását, lehűtését, hűtve tartását, s az aktivitás visszatartását – a 10^{-4} /év gyakoriságú földrengés esetére;

3. Milyen módszerekkel lehet elvégezni a felülvizsgálatot, a minősítést és a megerősítést, különös tekintettel arra, hogy egy földrengés hatásaira nem tervezett erőművet kellett, lényegében a tervezési alap követelményei szerint „újratervezni”

**A működő atomerőmű körülményeit
figyelembe véve a földrengés-
biztonság növelése**

megvalósíthatóságának feltétele

A MÓDSZERTAN HELYES MEGVÁLASZTÁSA

„A tigris előbb gondolatban kell elejteni – a többi
csak puszta formalitás” *Konfuciusz*

“Ha csak módszereket tanulsz meg, a módszereknek a
foglya leszel, míg ha elveket sajátítasz el, akkor saját
magad gondolhatod ki a módszereidet.”

Ralph Waldo Emerson

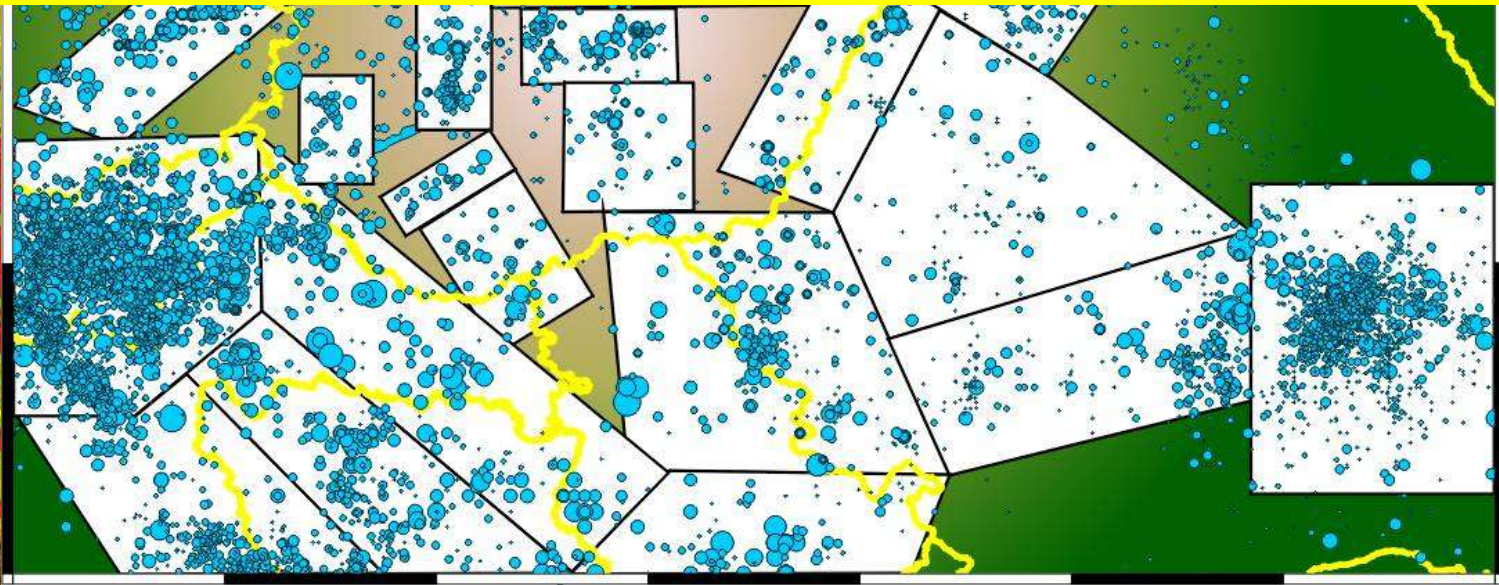
A források azonosítása

Öv-ADUP's Model

Öv-ADUP's Model

Zsíros T. nyomán

**Jelentős (episztemikus)
bizonytalanság tapasztalható**



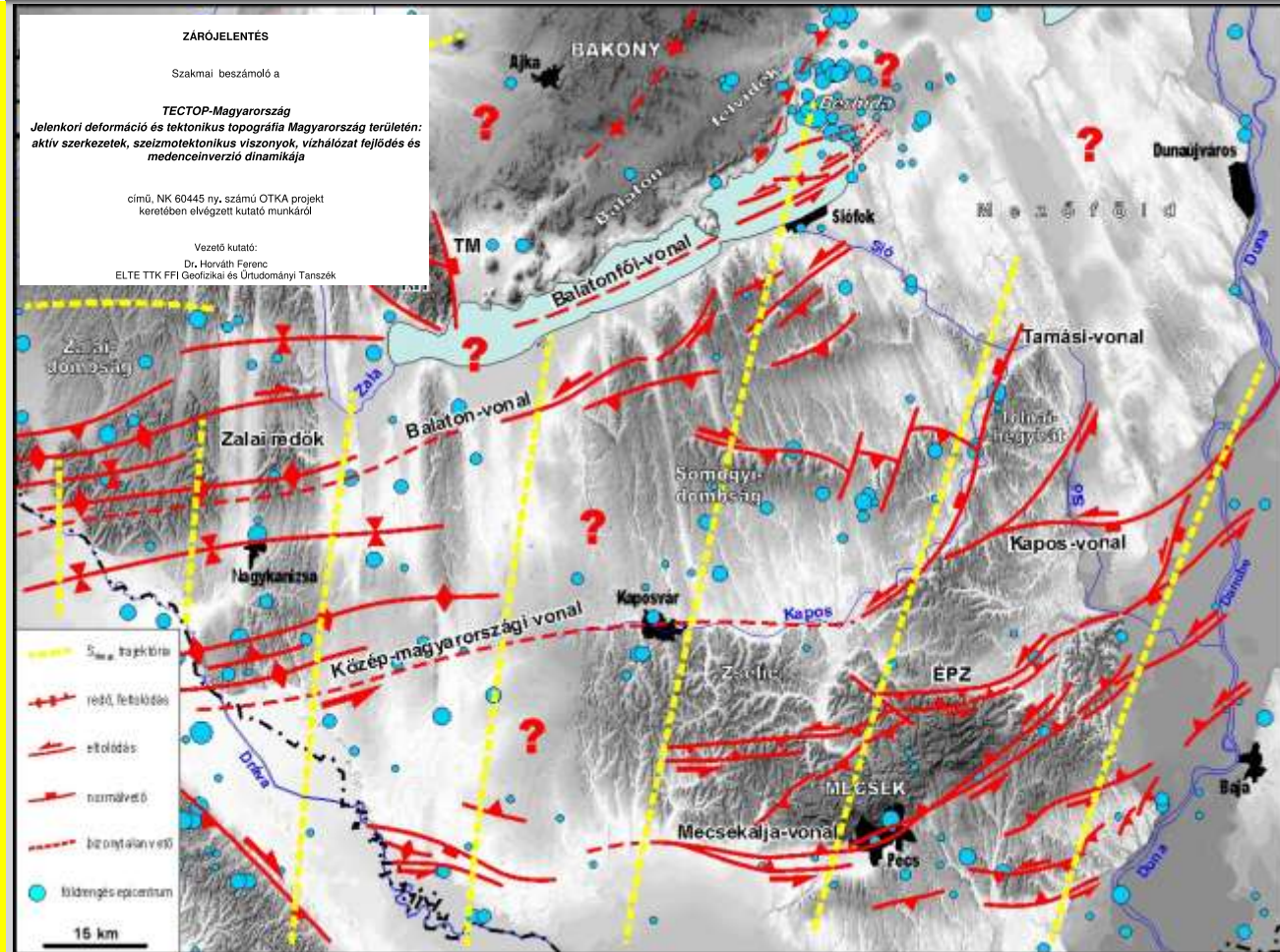
1. probléma

11/12/2012

Minél kevesebb az adat, s minél kisebb valószínűségű eseményt kell jellemezni, annál nagyobb a bizonytalanság és annál több éretelmezés lehetséges.

A tervezés alapját képező rengés meghatározásának módja (10-4/év)

8



Aktív szerkezetek

1. tétel: „Amíg az ellenkezőjét be nem bizonyítjuk, minden elmélet helyes lehet”

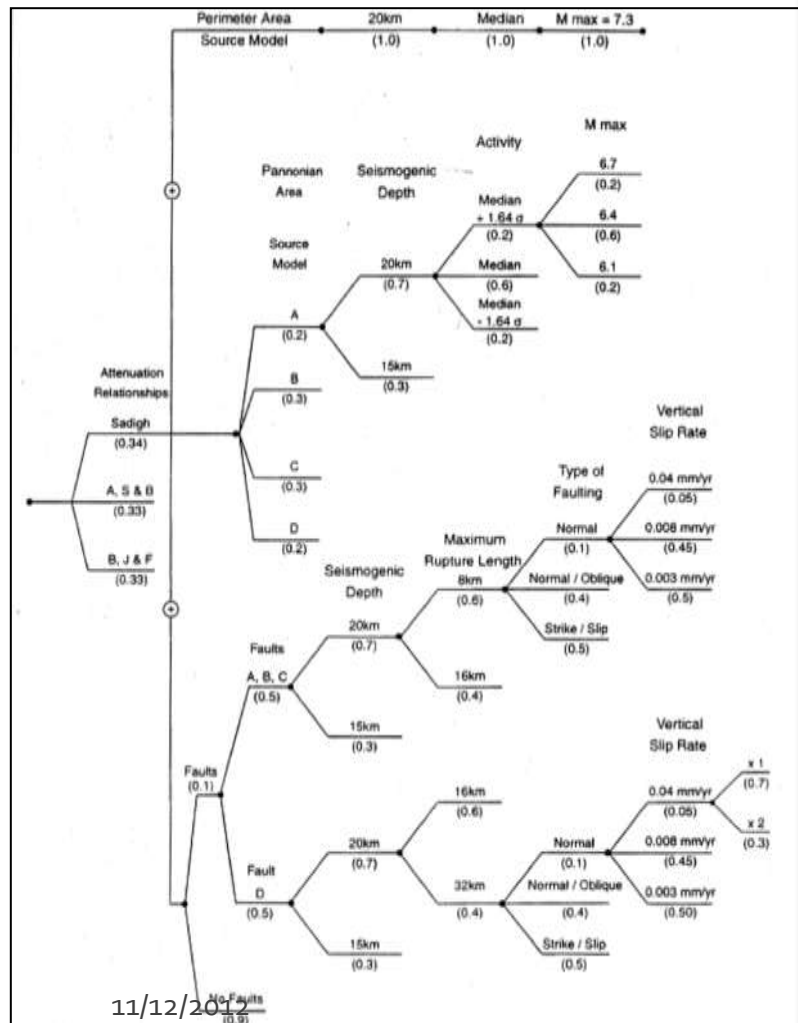
ELSŐ ELV

Ha nem lehet az értelmezések sokféleségét kizárni evidenciák alapján, akkor olyan módszert kell találni, amely módot ad ezek figyelembe vételére.

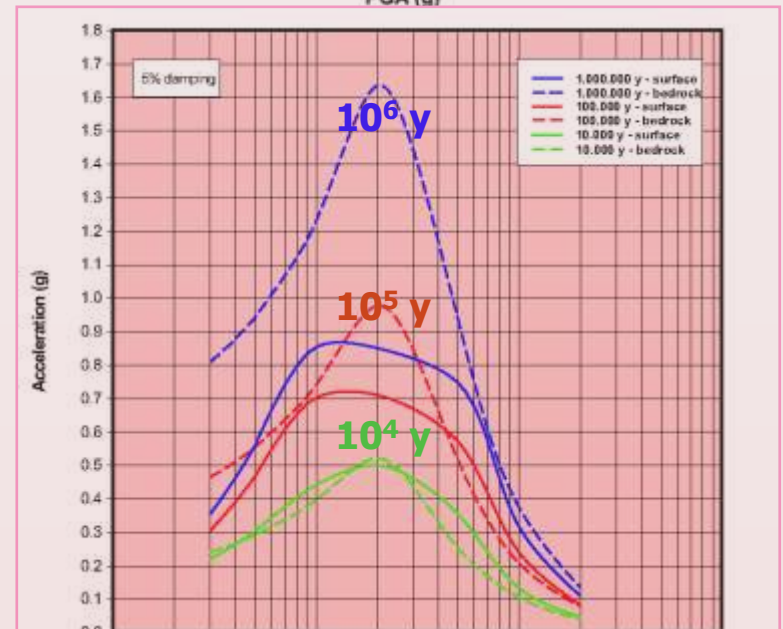
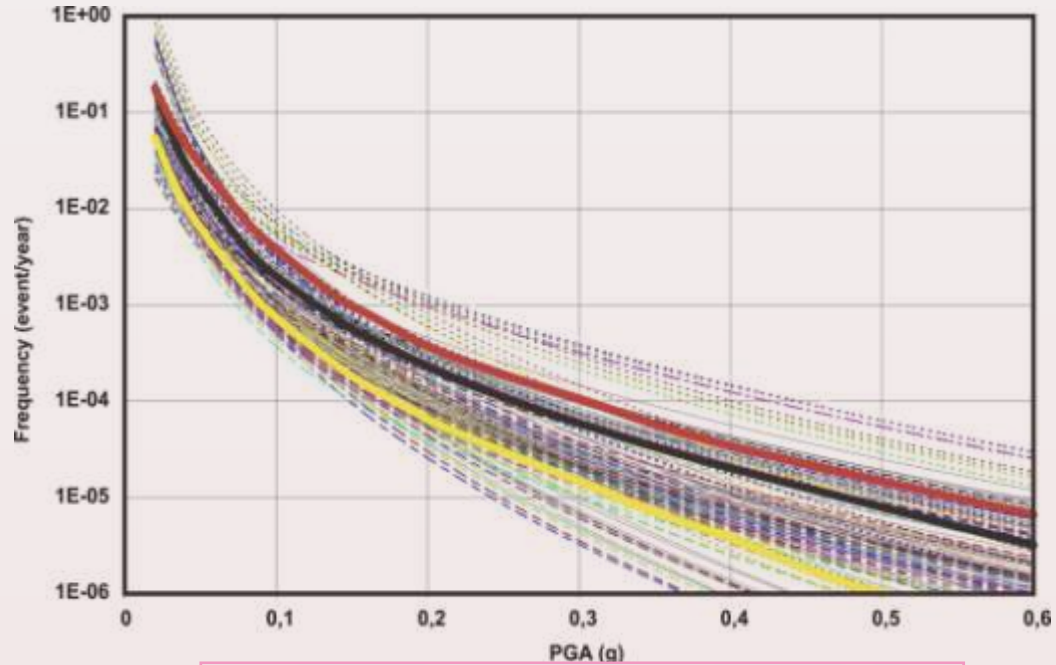
ELSŐ STRATÉGIAI DÖNTÉS

Valószínűségi földrengés-veszély elemzést kell alkalmazni

Logikai fa – a nézetek, elméletek integrálása



és az eredmény



Van-e capable fault (felszínre kifutó permanens elvetődést okozni képes aktív szerkezet)?

MITTEKINTÜNK ANNAK?



MIÉRT KIZÁRÓ KÖRÜLMÉNY?

Mert ilyen hatásra
nem tudunk
biztonságosan
tervezni.



2. probléma

Miként valósítsuk meg, milyen koncepció szerint az alapvető biztonsági funkciókat (reaktor leállítás, hűtés és visszatartás)

Mi függ ettől?

1. Milyen szerkezetek épségét és milyen rendszerek működőképességét kell biztosítani.
2. A feladatok volumene, s a megvalósíthatóság.
3. Meghatározza azt az eljárást és műszerezést, ami szerint az operator tevékenykedik földrengés esetén.

- Szisztematikusan minősítsük az erőművet, vagy
- csak a funkcióhoz szükséges legkisebb terjedelmet, egy minimális konfigurációt, amelyet biztonsági rendszerek eléggé drasztikus átalakításával teszünk e feladatra alkalmassá?

Az előbbi választása eltér a nemzetközi gyakorlattól, de biztosítja, hogy formálisan és műszaki értelemben is teljesítsük a tervezési alapra vonatkozó követelményeket, bár látszólag nagyobb ráfordításokkal.

2. tétel: „A szokványos csak egy viszonyítási pont”

MÁSODIK ELV

El lehet térni a szokványos koncepcióktól, s a „bevált” módszerektől, ha az egy teljesebb megoldást kínál.

Elvek, amelyek a fenti alapelv érvényesülését segítik:

- meg kell alapozni a „bátorságot”, s itt „nincs praktikusabb dolog, mint egy jó elmélet”,
- fel kell ismerni a szinergiákat.

MÁSODIK STRATÉGIAI DÖNTÉS

Az erőmű egészét, azaz a biztonsági funkcióval rendelkező rendszerek mindegyikét a vizsgálat és megerősítés tárgyává kell tenni, s nem csak a minimális konfigurációt, így azokat a rendszereket alkalmazhatjuk földrengés esetén is, amelyeket az egyéb üzemzavari helyzetekben, esetleg minimális átalakításokkal.

Ez új megközelítésnek számított a nemzetközi gyakorlathoz képest, de így teljesítettük az új tervezési alapra vonatkozó követelményeket.

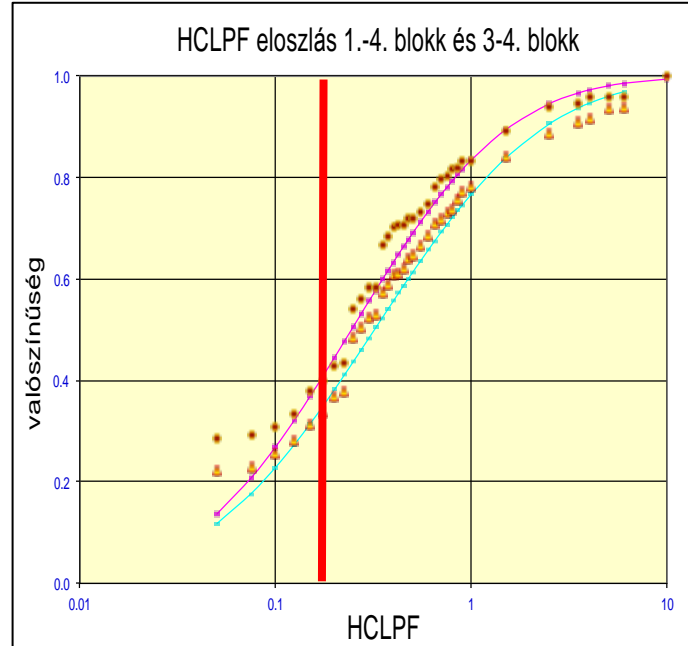
(Katona, 1995a, 1997)

A biztonsági koncepció

Mennyivel több csővezeték és komponens megerősítésével kell számolni?

- ◆ Ha a lehűtő rendszert alkalmazzuk, mint egyéb esetben, akkor több csővezeték és komponens kell megerősíteni, mint a minimál-konfiguráció választása esetén.
- ◆ Vajon mennyivel többet? „Nincs praktikusabb dolog, mint egy jó elmélet.”
Segített a centrális határeloszlás tétele.

Hogyan értékelhető a nagyszámú csővezeték szakasz szeizmikus kapacitása és megerősíthetősége?

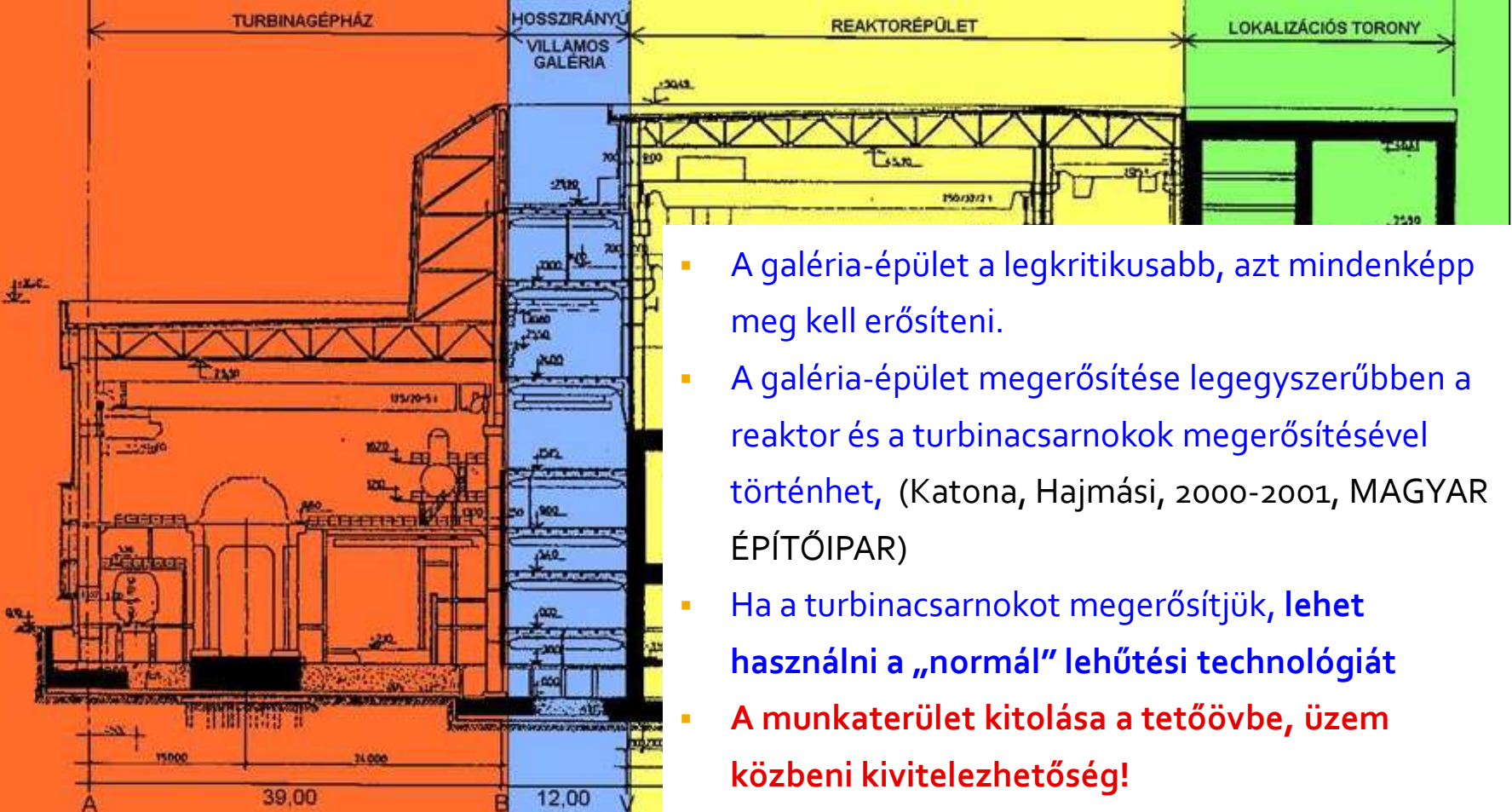


Ha a csővezeték szakaszok szeizmikus teherviselő képessége (a HCLPF) véletlen tényezők szorzataként képzelhető el, akkor annak logaritmusa véletlen változók összege, amelyek elegendő nagyszámú s tetszőleges eloszlású változó esetén lognormális eloszlást mutatnak.

a csővezeték szakaszok zöme alig igényelt megerősítést

A szinergia az épület megerősítés és a technológia koncepciójának megválasztása között

A galéria a kritikus szerkezet



- A galéria-épület a legkritikusabb, azt mindenképp meg kell erősíteni.
- A galéria-épület megerősítése legegyszerűbben a reaktor és a turbinacsarnokok megerősítésével történhet, (Katona, Hajmási, 2000-2001, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR)
- Ha a turbinacsarnokot megerősítjük, lehet használni a „normál” lehűtési technológiát
- **A munkaterület kitolása a tetőövbe, üzem közbeni kivitelezhetőség!**

3. probléma

Milyen módszertant alkalmazunk a földrengésállóság felülvizsgálatára és az újraminősítésre?

Mi függ ettől?

1. A számítási-elemzési munka volumene, költsége.
2. Az aktív, illetve a villamos és irányítástechnikai rendszer elemek minősítése.
3. A tervezési munka volumene.
4. A megerősítések kivitelezhetősége.
5. A folyamatos üzemeltethetőség.

Tekintettel arra, hogy a Paksi Atomerőművet nem tervezték, minősítették földrengésre, gyakorlatilag egyfajta újratervezést kellett megvalósítani, méghozzá egy jelentős földrengésre.

Ez példa nélküli feladat volt.

Haa feladatot rosszul értelmezzük, akkor az óriási mérnöki munkavolumenhez, s egy üzemelő atomerőműben ésszerű keretek között kivitelezhetetlen megerősítésekhez vezethetett volna.

3. tétel: „Ágyúval nem lövünk verébre”

HARMADIK ELV

Az atomerőműben elsődleges a biztonság.

A rendszerek, rendszerelemek biztonsági relevanciája szabja meg, milyen eljárást, mennyire konzervatív módszereket kell alkalmazni.

Ez a biztonság szerinti fokozatosság elve.

HARAMADIK STRATÉGIAI DÖNTÉS

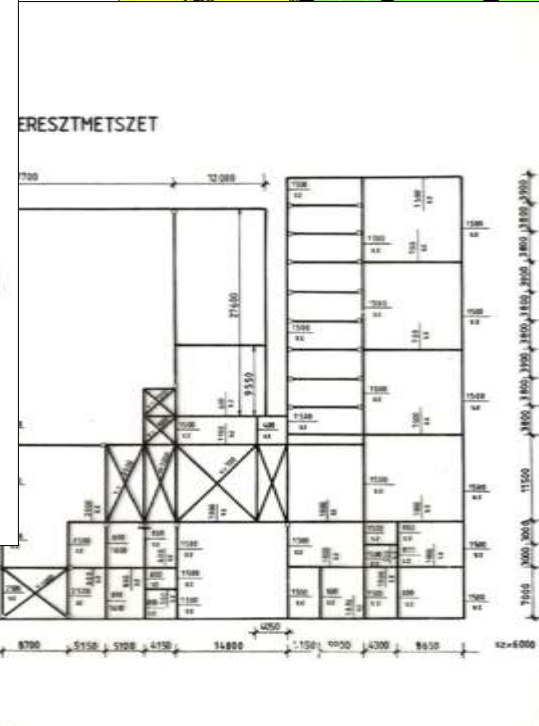
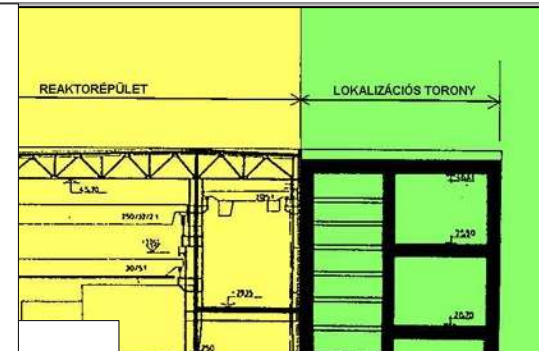
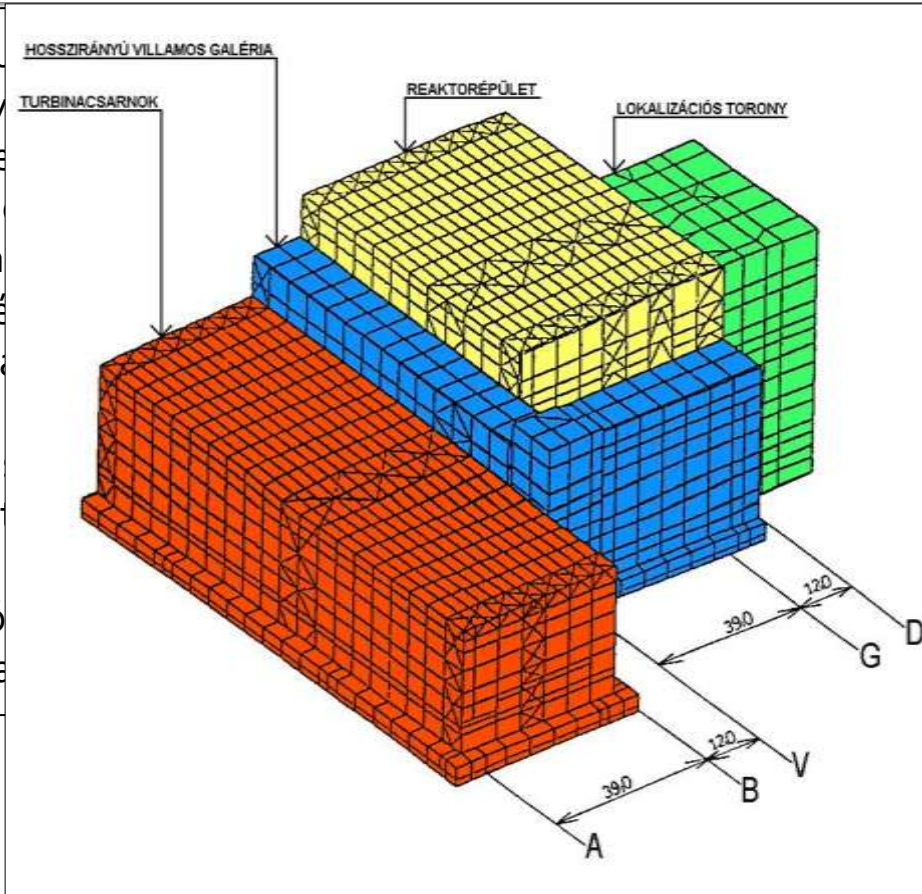
A biztonság szerint gradált módszereket kell alkalmazni a felülvizsgálat és az újraminősítés során, s ennek megfelelő voltát igazolni kell.

(Katona, 1995a, 1997)

A főépület vizsgálatának módszertana

A tesztek és a numerikus

- az egymástól igen
- mechanikai jellemző
- rendelkező, s egym
- konténmentet, galéri
- reaktor- és a turbina
- egy modellben kell
- főépület dinamikai
- illetve a frekvencia
- célszerű végezni a
- válaszspektrum mó
- (Katona et al, 1995a)



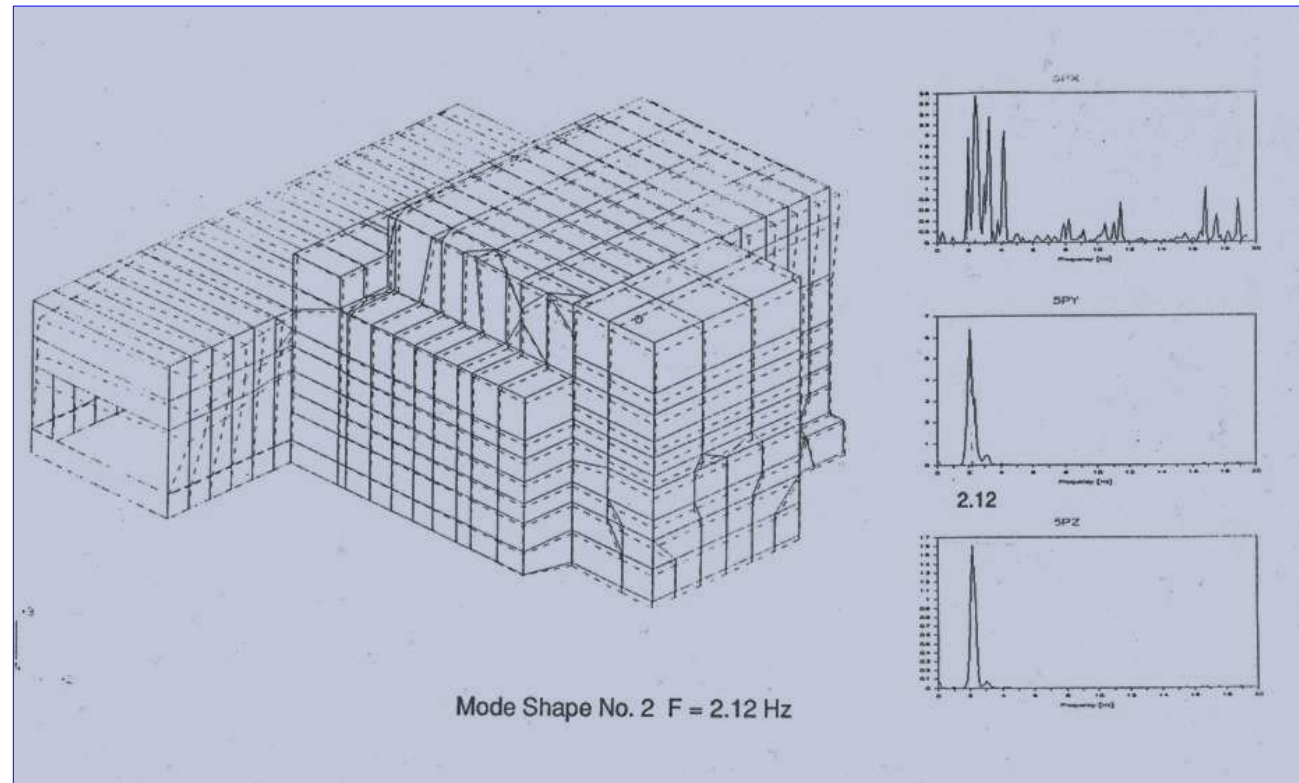
Az igazolás

Kísérleti modálanalízis robbantásos gerjesztéssel

Egyedülálló, az egész erőművet gerjesztő robbantásos kísérleti modálanalízist végeztünk.

A rezonancia frekvenciákat és a lengésalakokat összehasonlítottam az előzetes dinamikai számítások eredményével a model és a számítási feltételezések hitelesítése céljából.

(Katona et al 1992; Katona et al, 1993; Halbritter et al, 1993a; Katona et al, 1997).



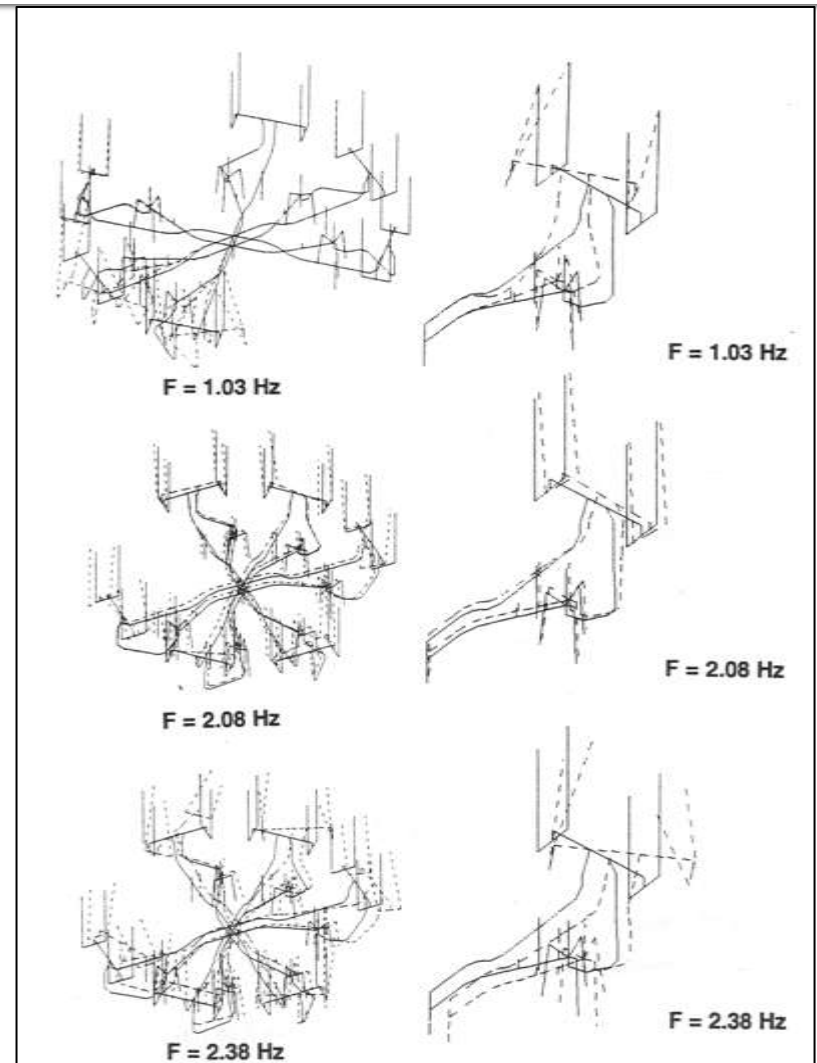
A primerkör vizsgálatának módszertana

Már az előkészítés igen korai szakaszában az üzemi háttér-gerjesztést kihasználva vizsgáltuk a primerkör dinamikai tulajdonságait (Katona, Turi, Rátkai, 1989).

(szinergia: diagnosztikai célú lengéstani vizsgálatok felhasználása)

A tesztek és a numerikus vizsgálatok alapján született meg a döntés, hogy a fővízkör esetében a dinamikai számítás csatolt modellel történjen, s [a főépület speciális modelljébe építettük be a reaktort és a primerkört, amit igen alapos előzetes vizsgálatok indokoltak](#) (Halbritter, 1993b; Katona et al, 1994a).

Később ezt továbbvíve: Numerikus kísérleteket alkalmaztam (Katona et al, 1994a; Halbritter et al, 1993b; Katona et al, 1999) a megerősítések módjára vonatkozó döntés megalapozására.



Az eredmény

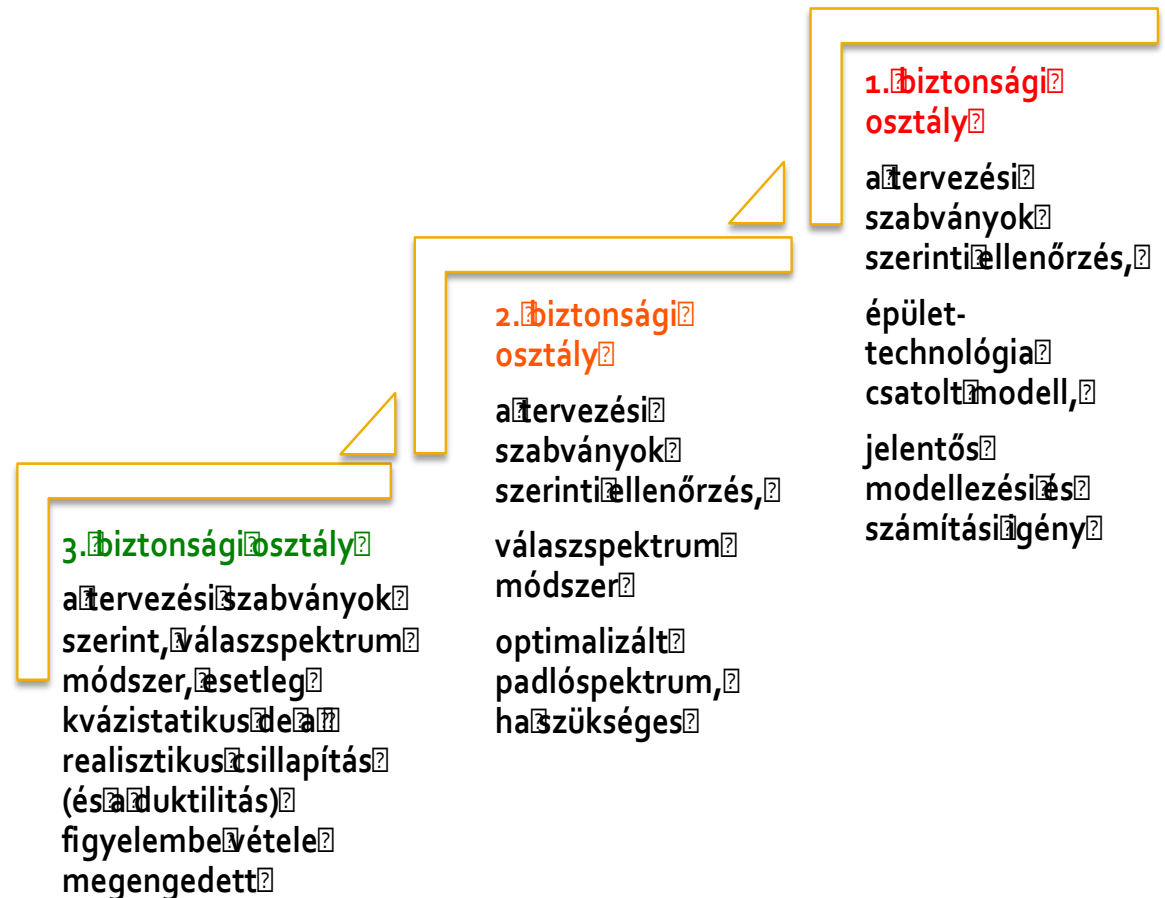
A biztonság szerinti fokozatosság elvére épülő, a tervezési alap követelményeit teljesítő, s megvalósítható elemzési módszer

Mit jelent a a biztonság szerinti fokozatosság elvének alkalmazása?

- ◆ A MODELLEZÉS (pl. csatolt épület-technológia modell, talaj-épület kölcsönhatás modellezése),
- ◆ A SZÁMÍTÁS-IGÉNYESSÉG (pl. megoldás a frekvencia-térben, válaszspektrum analízis),
- ◆ A CSILLAPÍTÁS ÉS A DUKTILITÁS FIGYELEMBEVÉTELE

ILLESZKEDIK A BIZTONSÁGI OSZTÁLYHOZ.

11/12/2012



Az eredmény

A biztonság szerinti fokozatosság elvére épülő, a tervezési alap követelményeit teljesítő, s megvalósítható elemzési módszer

ASME Class	1. szeizmikus osztály – működőképesség	2. szeizmikus osztály – szerkezeti integritás, tömörség	3. szeizmikus osztály – a kölcsönhatás szerint
Class 1	Nincs aktív elem ebben a kategóriában	dinamikai elemzés; csatolt épület-primerkör modell, dinamikai számítás az idő vagy frekvencia tartományban, szabványos ellenőrzés	Nincs ilyen elem
Class 2	<i>A nyomáshatároló rész Class 2. A rendszerelem működőképességének minősítése empirikus módszerekkel</i>	dinamikai elemzés vagy konzervatív padlóspektrumokat felhasználó egyszerűsített konzervatív értékelés, optimalizált padlóspektrumok	dinamikai elemzés vagy egyszerűsített konzervatív értékelés; optimalizált padlóspektrumok, CDFM alkalmazható
Class 3	<i>A nyomáshatároló rész Class 3. A rendszerelem működőképességének minősítése empirikus módszerekkel</i>	dinamikai elemzés vagy konzervatív padlóspektrumokat felhasználó egyszerűsített konzervatív értékelés, optimalizált padlóspektrumok, CDFM alkalmazható	dinamikai elemzés vagy egyszerűsített konzervatív értékelés; optimalizált padlóspektrumok, CDFM alkalmazható

A végeredmény

Mindenki tudja, hogy bizonyos dolgokat nem lehet megvalósítani, mígnem jön valaki, aki erről nem tud, és megvalósítja.

Albert Einstein

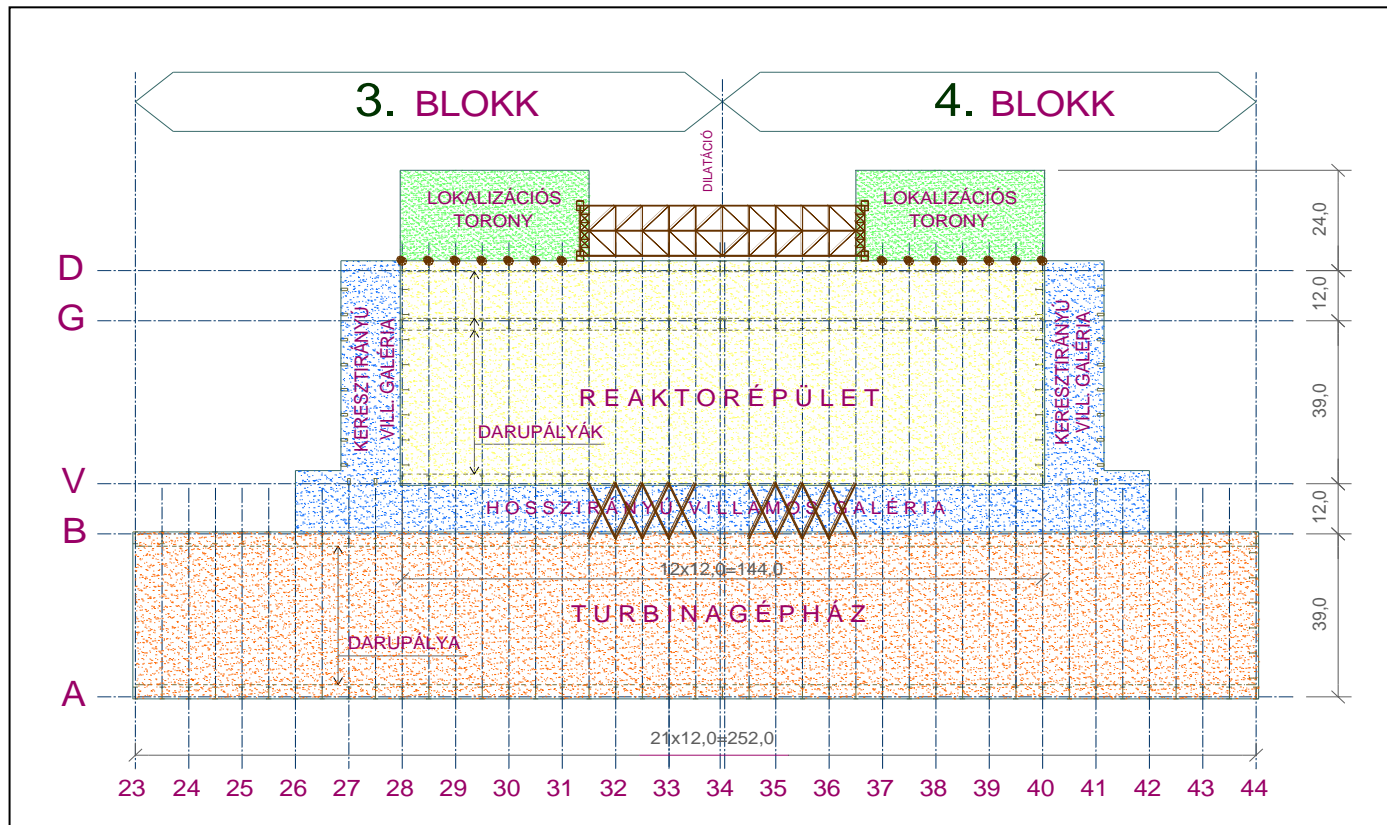
Egy olyan atomerőművet tudtunk lényegében a tervezési követelmények szerint megerősíteni, minősíteni és felkészíteni, amelyet eredetileg földrengésre nem terveztek.

Ezigen komoly előnyt jelentett a Célzott Biztonsági Felülvizsgálat során, hiszen ott a tervezési alapon túli képességeket kellett igazolni.

Minősítés és megerősítés	A beépített mennyiség
A primerkör nagyenergiájú csővezetékei és berendezései	250 megerősítés
A főépületi csarnokok (reaktor, turbina) megerősítése	1360 t acélszerkezet
Tartószerkezetek a reaktorépületben a lokalizációs toronyban	300 t acélszerkezet
A primerkör más csővezetékei és berendezései	760 megerősítés
Biztonsági osztályba sorolt csővezetékek és berendezések a szekunder körben, megerősítések és turbina csarnoki acél tartószerkezetek megerősítése	160 t acélszerkezet
Biztonsági osztályba sorolt csővezetékek a primerkörön kívül	1500 megerősítés
Egyéb osztályba sorolt csővezeték és berendezés	80 megerősítés
A valószínűségi biztonsági elemzés (földrengés PSA) eredményeként meghatározott intézkedések	például a csomópontok megerősítése

A főépület megerősítése

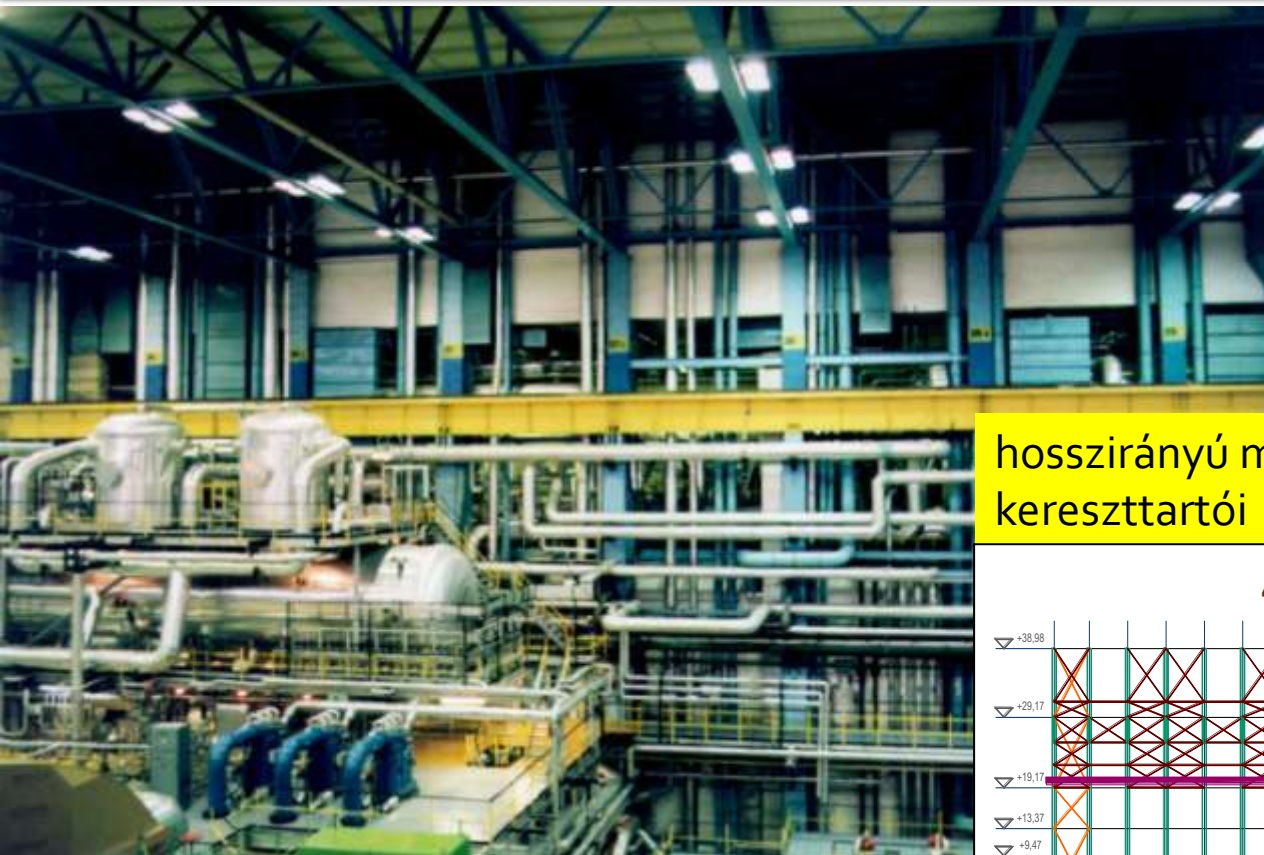
keresztirányú megerősítés: teherlevezetés a lokortonyokra



A főépület megerősítése

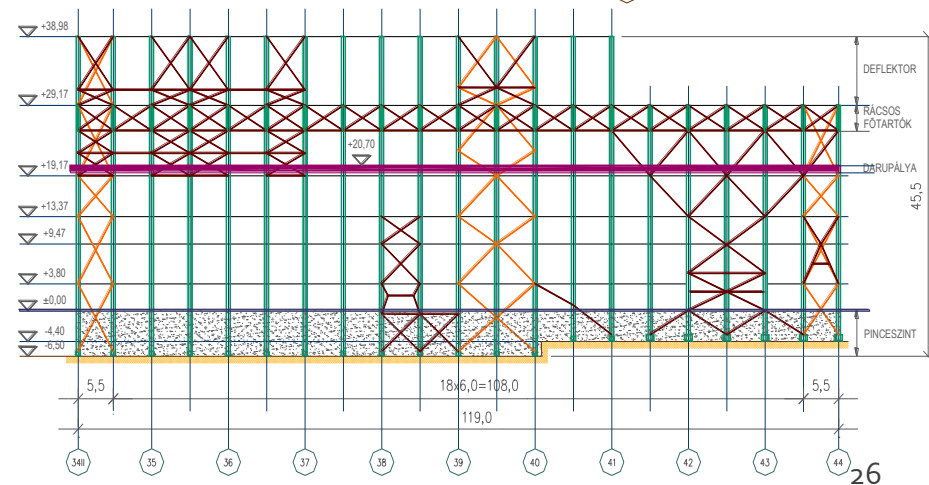


A főépület megerősítése



hosszirányú megerősítés: a pillérsor keresztartói

4. BLOKK TURBINAGÉPHÁZ (B) SOR/7.





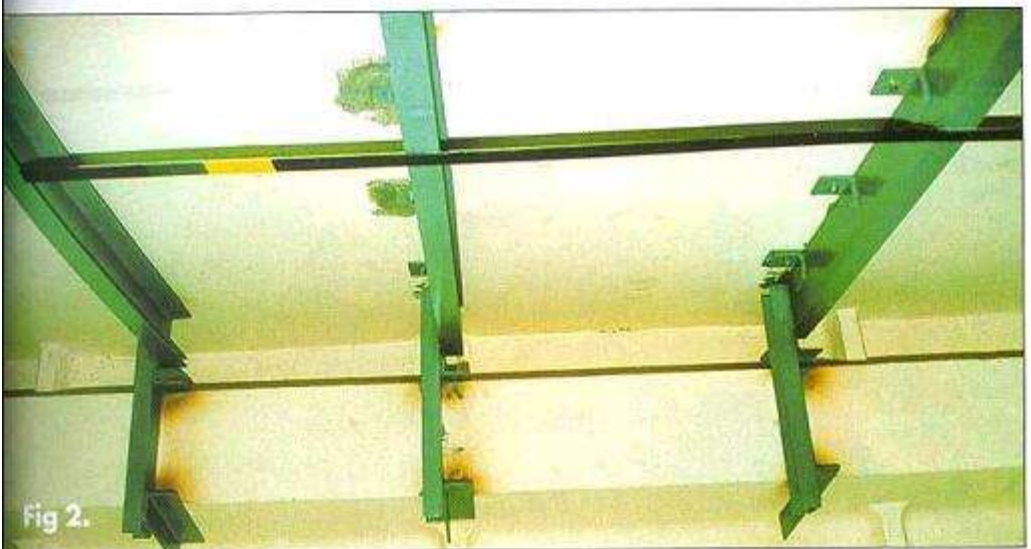
A tetőöv megerősítése



“Brittle”, nem duktilis csomópontok megerősítése



Easy-fix: téglafal és irányítástechnikai szekrény megerősítés



ABRA2.JPG

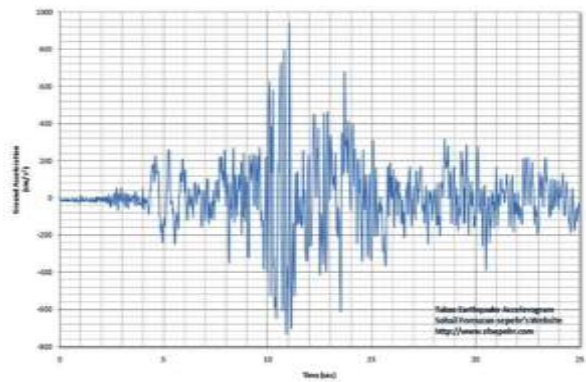
A technológia megerősítése



Mekkora rengésnél állítsuk le a reaktort?

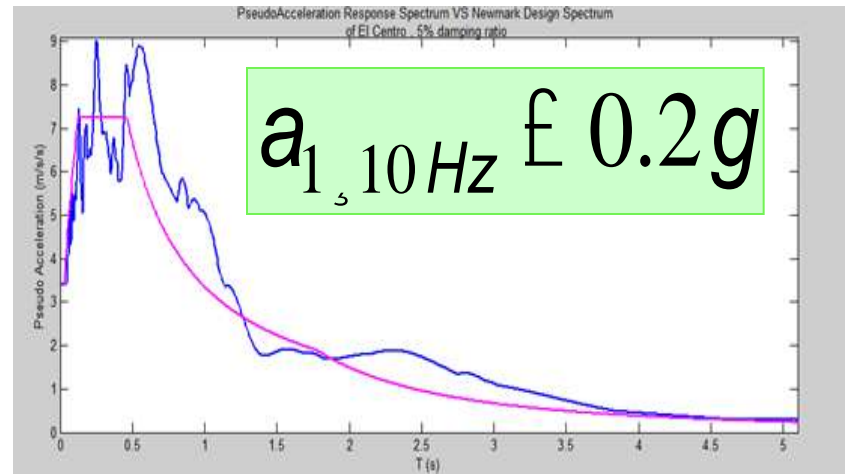
Automatikusan vagy sem? Mi legyen a kritériuma az üzemeltetési korlát túllépésének? El kell kerülni az indokolatlan üzemszünetet!

szabadszíni mért
gyorsulás (komponens)



Számoljuk ki a CAV értékét és a választékspektrumot

$$CAV = \int_0^T a(g) dt \leq 0,16gs$$



Döntés a leállításról

Milyen állapotok uralkodnak az erőműben?

Mire irányult a Célzott Biztonsági Felülvizsgálat (stressz-teszt)

éves gyakoriság	erőmű állapot	ASME Section III		EUROCODE
		plant condition	Service Conditions	
üzem	PCC-1	normal	Level A	normal
10^{-1}	PCC-2	upset	Level B	exepotional
10^{-2}	PCC-3	emergency	Level C	
10^{-3}		accidental		
10^{-4}	PCC-5	faulted	Level D	Nem értelmezett
10^{-5}				
10^{-6}				

Földrengés tervezési alap:

NUKLEÁRIS: 10^{-4} - 10^{-5} /év gyakoriság vagy 0.005 meghaladási valószínűség a teljes üzemidőre, ami 50 évet véve 1000 éves visszatérési időt jelent

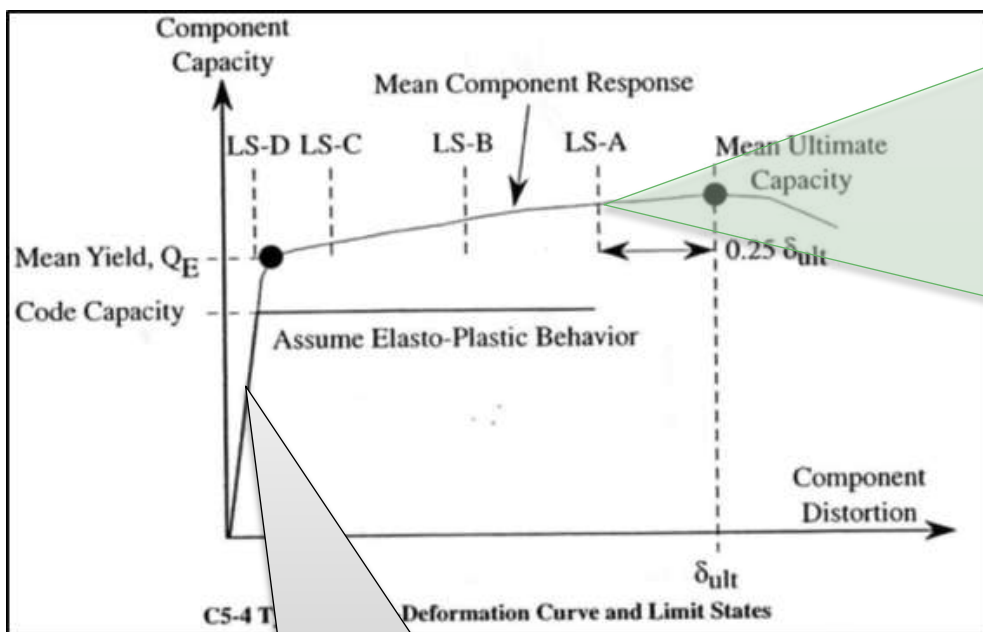
CIVIL – EUROCODE 8: 0.1 meghaladási valószínűség, ami 50 évet véve 475 éves visszatérési időt jelent

A CBF koncepciója:

Az, hogy valaminek igen kicsi a valószínűsége, nem mentesít attól, hogy eszközeink legyenek és felkészültek legyünk a rendkívüli helyzet kezelésére.

ez a tartomány a Célzott Biztonsági Felülvizsgálat tárgya

A tervezési alapon túli biztonság



tervezés: konzervatív,
nagy tartalék a
tönkremenetelig

A „hirtelen halál” cliff-edge
effektus elkerülése

A hűtés biztosítása rendkívüli
eszközökkel, amihez

Hűtőkör és hűtőközeg, tervezett vagy
rendkívüli eszköz
villamos energia kell – mobil dízelek,
provizor vízbevezetések

A konténment épségének
megőrzése

Szerkezeti integritás (nem
szabványos)

Baleseti hidrogén kezelés

Veszélyhelyzet kezelése

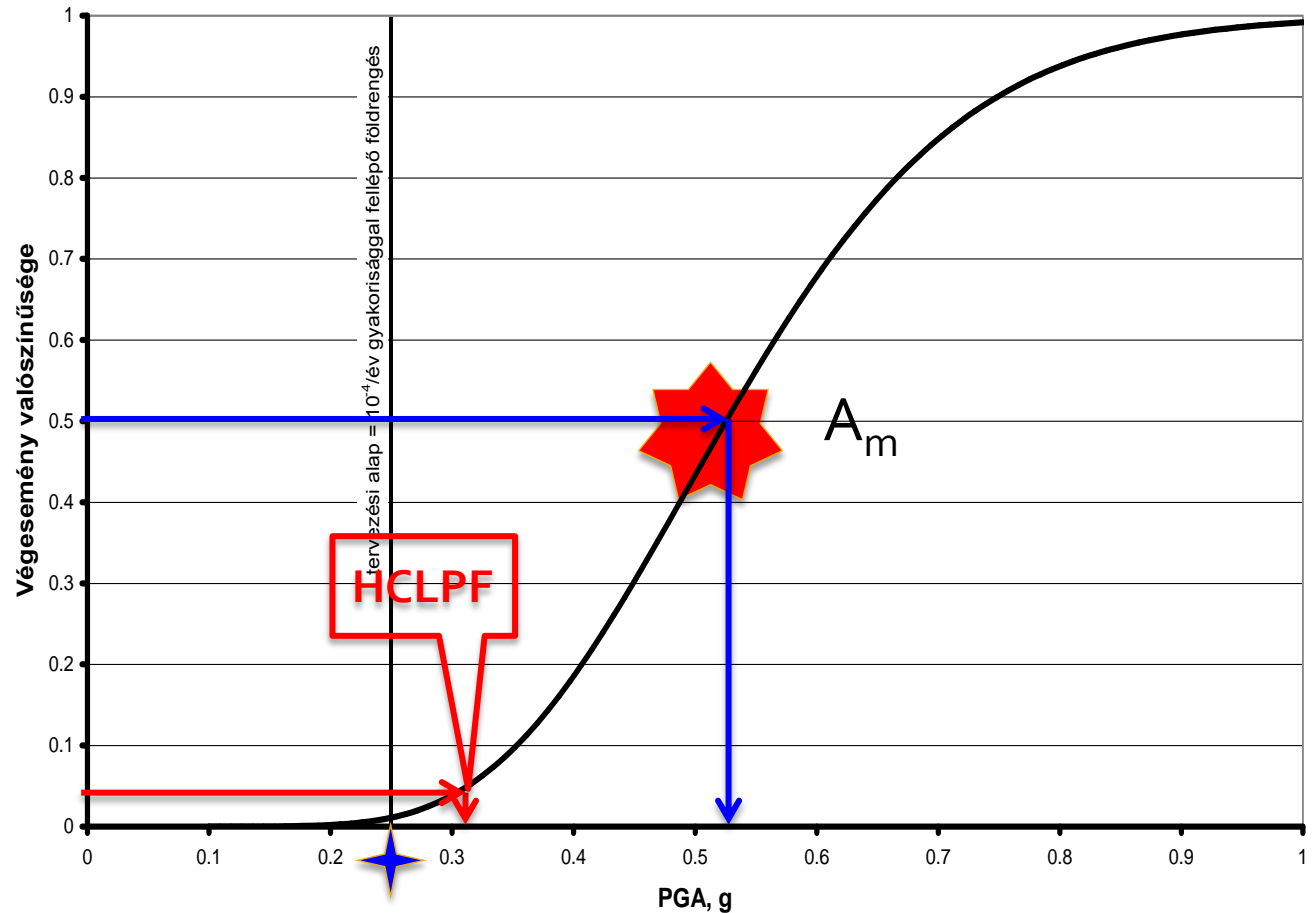
telephelyi és környéki logisztika,
kommunikáció, evakuáció, stb.

A célzott biztonsági felülvizsgálat és megállapításai

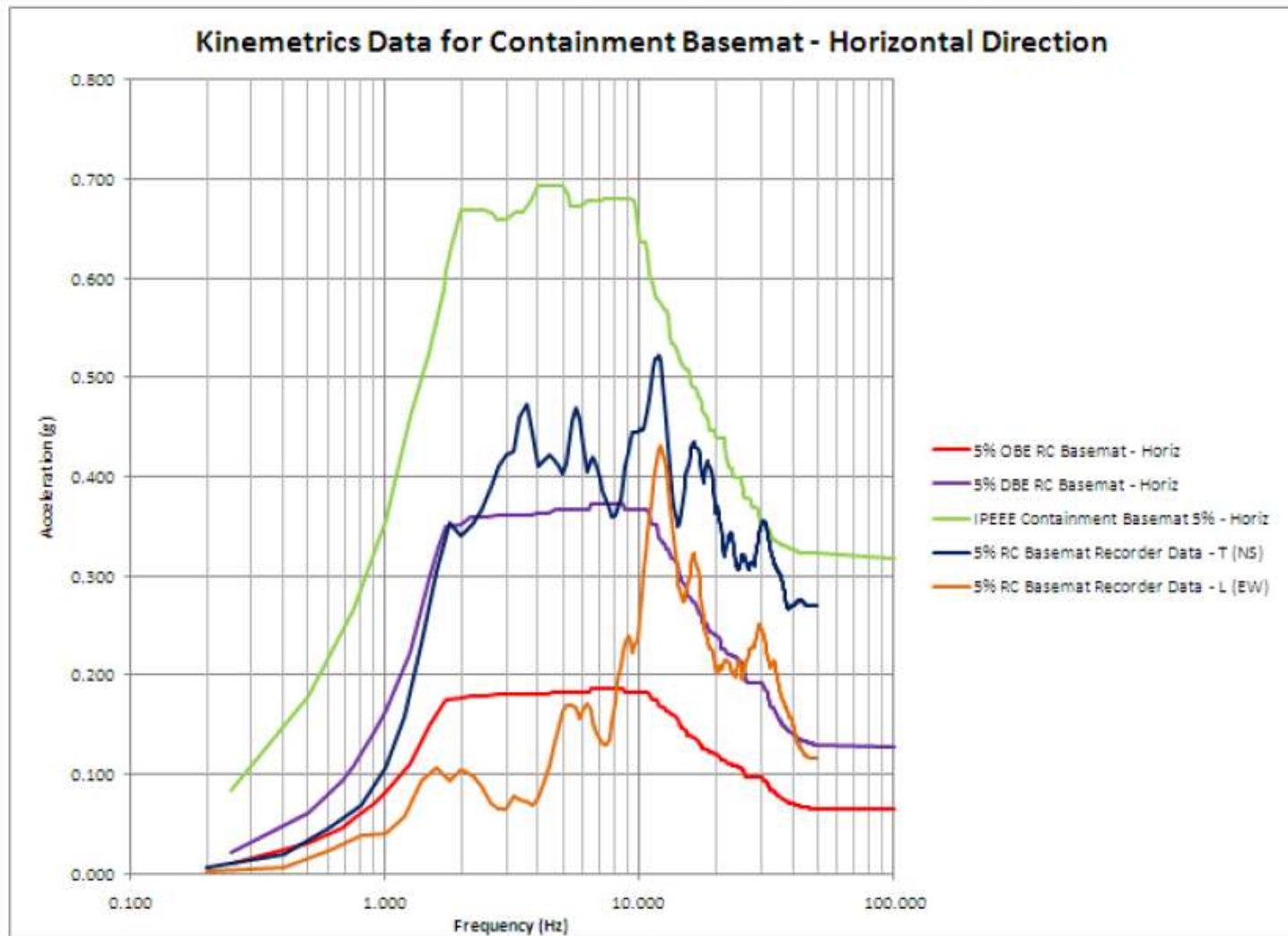
	a veszély jellemzése, a tervezési alap meghatározása	a tervezési alap követelményeinek való megfelelés	a tervezési alapon túli kapacitás, tartalék minősítése	intézkedések
földrengés	korszerű valószínűségi alapú földrengés-veszély elemzés, a tervezési alap meghatározása adekvát	földrengés-biztonsági megerősítések és minősítések megtörténtek	földrengés valószínűségi biztonsági elemzés: zónaolvadási valószínűség 10^{-5} /év nagyságrendű, a tartalékok minősítettek	egyreszerkezetek megerősítése a tervezési alapon túli terhekre, a baleset-elhárítás logisztikai objektumainak minősítése (tűzoltóság épülete, védett vezetési pont) a talajfolyósodás további vizsgálat

A tervezési alapon túli kapacitás minősítése: a konténment-sérülés feltételes valószínűsége

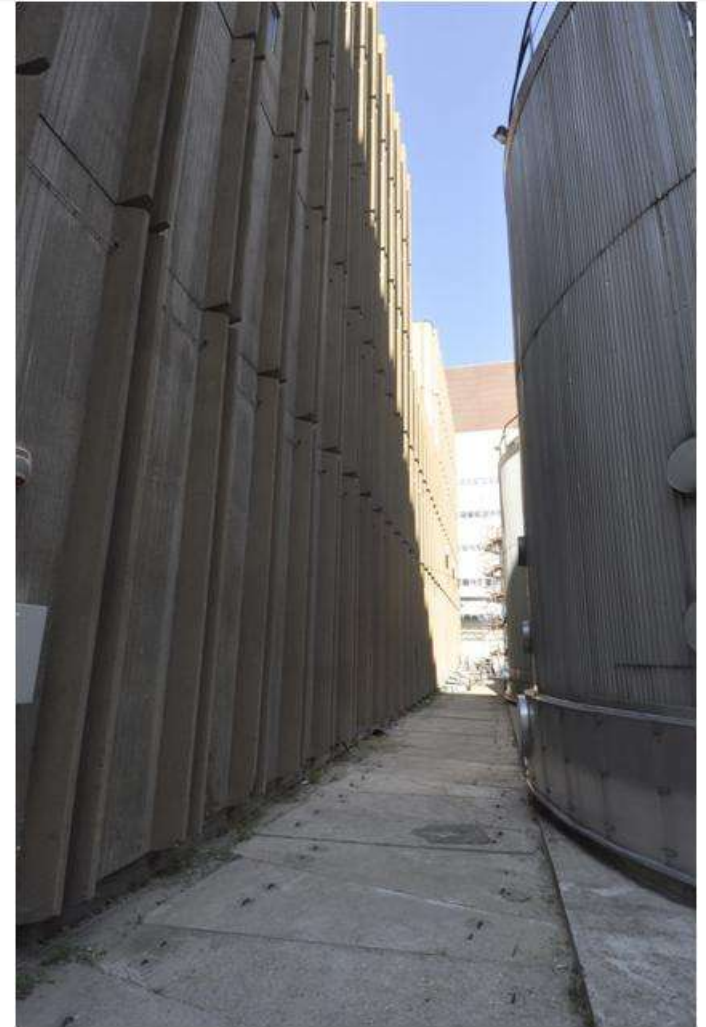
A konténment
elvesztésének
feltételes
valószínűsége



North Anna (USA) 2011



A sótalanvíz tartályok a laborépület fala mellett



Gyakorlat a Védett Vezetési Ponton



Jó érzés, ha az embert az élet igazolja

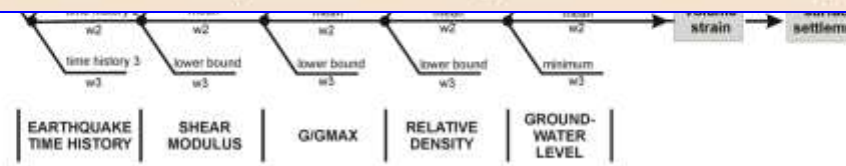
A biztonság nem statikus dolog, hanem egy törekvés, kultúra és igen sok ráfordítás –
A Célzott Biztonsági Felülvizsgálat

- az atomerőmű technológiáját tekintve a tervezési alpra vonatkozó követelmények teljesülnek
- egyes, biztos-ami-biztos



LIQUEFACTION
SETTLEMENT AS

E GYŐRI¹, L TÓTH¹, Z GRÁCZER¹,



Coupled site effect and liquefaction analysis

geotikai tárgyú szakcikkek elismerésére alapított Meskó Attila díjat.

Budapest, 2012. április 27

Késmárky István
Késmárky István
az Egyesület elnöke

Bodoky Tamás
Bodoky Tamás
a Tudományos Bizottság elnöke



További feladatok

- hozzájárulás a Célzott Biztonsági Felülvizsgálat következményeinek kezeléséhez,
 - a földrengés által kiváltott épület-süllyedés vizsgálata
 - a sérülékenység vizsgálata a tervezési alapot meghaladó nem szeizmikus külső hatásokra
- a sérülékenység modellezésének elméleti továbbfejlesztése



MYM paks nuclear power plant

Köszönöm
megtisztelő
figyelmüket!

Köszönetnyilvánítás

- Köszönettel tartozom vezetőimnek és kollégáimnak az MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-nél azért, hogy tudományos tevékenységemet jóindulattal és támogatólag kezelték, sőt több kollégám igen hasznos személyes hozzájárulással is segítette.
- Köszönettel tartozom azoknak a szakértőknek, vállalkozóknak, kül- és belföldieknek egyaránt, akik végrehajtóként részt vettek a földrengésbiztonsági és az üzemidő hosszabbítási projektek munkáiban azért, hogy engem együtt alkotó kollégaként kezeltek.

Hidrogén rekombinátorok a konténmentben



Súlyos baleseti dízelgenerátor

