

A nukleáris biztonsági követelmények építészeti és építőmérnöki vonatkozásai

Dr. Károlyi György
BME Nukleáris Technikai Intézet

Konténment

Konténment: Az atomreaktort és annak közvetlenül kapcsolódó rendszereit, rendszerelemeit magába záró nyomásálló, hermetikusan kialakított építmény, amelynek az a funkciója, hogy normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok esetén megakadályozza, vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását. (NBSZ 10).

Akkor van szerepe, ha az előtte levő fizikai gátak (**üzemanyagmátrix**, **üzemanyagburkolat**, **reaktorberendezés** nyomástartó kontúrja) megsérülnek.

El kell viselnie az üzemzavar vagy baleset utáni nyomást és hőmérsékletet, hermetikusnak és tömörnek kell maradnia. A sérülési valószínűségét minimalizálni kell, hogy a korai kibocsátásra vonatkozó követelmény ($< 10^{-6}$ /év gyakoriság) betartható legyen.

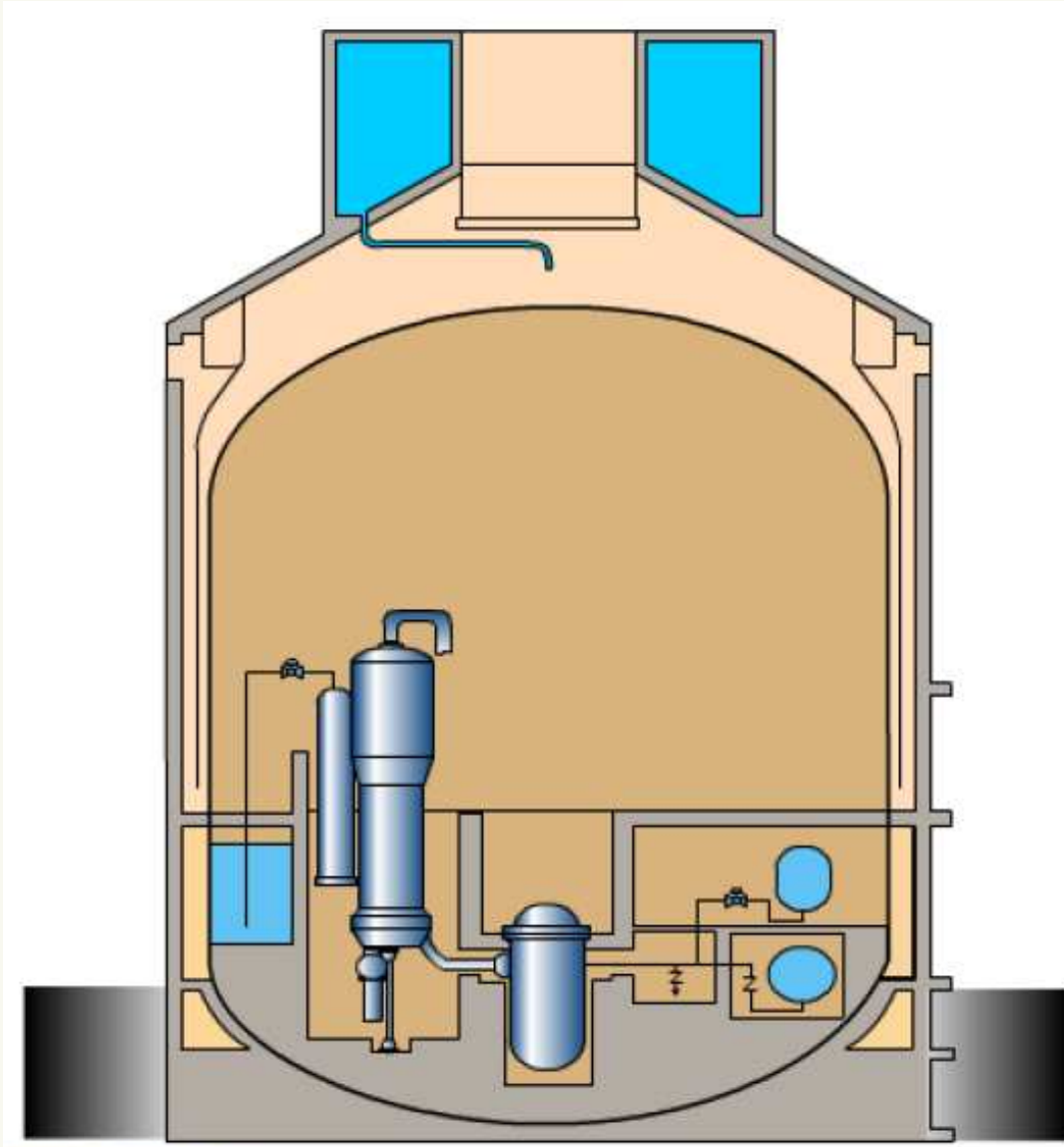
További szerepe, hogy védi a reaktorberendezést és az ahhoz közvetlenül kapcsolódó rendszereket a külső környezeti veszélyektől, hatásoktól.

Funkcionális követelmények

- A konténment az **utolsó gát** az aktív közeg és a környezet között.
- Korszerű konténment: követelmény, hogy a zónaolvadás és tartálysérülés esetén az **olvadék a konténmenten belül**, lehűtve megtartható legyen.
- A konténment **nemcsak passzív gát**, a hűtését és a nyomás csökkentését szolgáló rendszerek is beletartoznak. Következésképp a szilárdsági tervezést együtt kell kezelni pl. a nyomáscsökkentő és hidrogéneltávolító rendszerekkel.
- A **belső térkialakítás**nak is van biztonsági szerepe: belső veszélyekkel szembeni védelem (pl. repülő tárgy, robbanás, nagyenergiájú csőtörés, stb.). Biológiai védelem: nehézbeton reaktorakna.

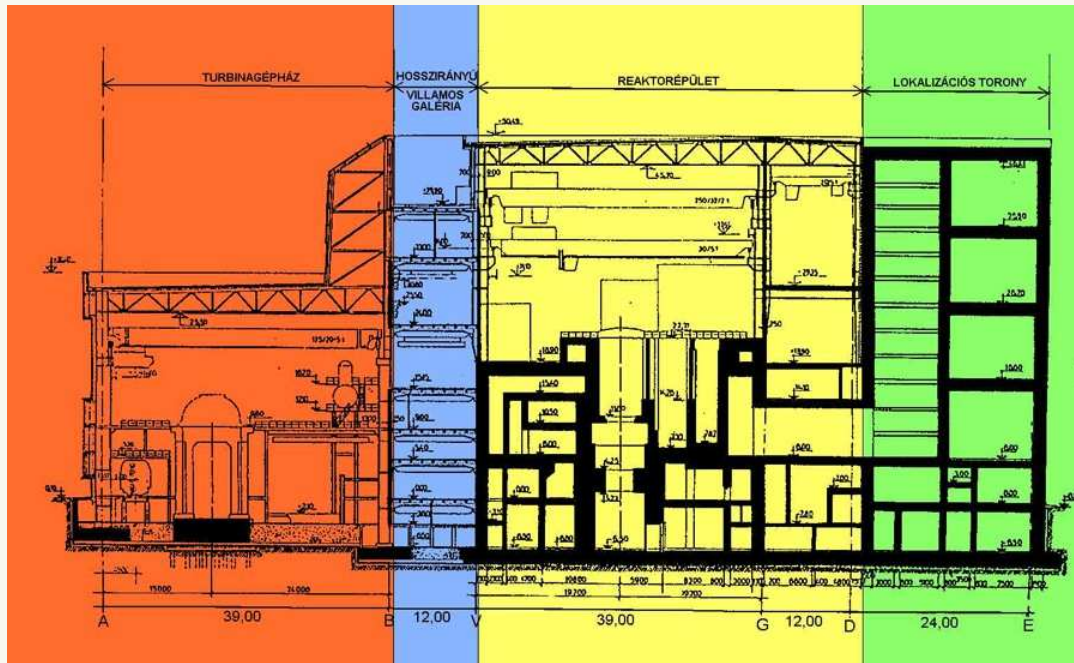
A B1 biztonsági osztályba, és legmagasabb szintű biztonsági funkciója alapján az ABOS 1 biztonsági osztályba tartozik a konténment (a fűtőelempálcák burkolatával és a primerkör nyomáshatárával együtt). (ABOS=Atomerőművi rendszerek Biztonsági Osztályba Sorolása). A konténment a 2. földrengés-biztonsági osztályba tartozik, mert a földrengéssel szemben passzív szerepe van (az aktív rendszerek kerülnek az 1. osztályba).

Konténmenttípusok



- **Acélfal:**
pl. AP1000
- **Vasbeton fal:**
pl. VVER-440/213
- **Feszített beton:**
pl. EPR

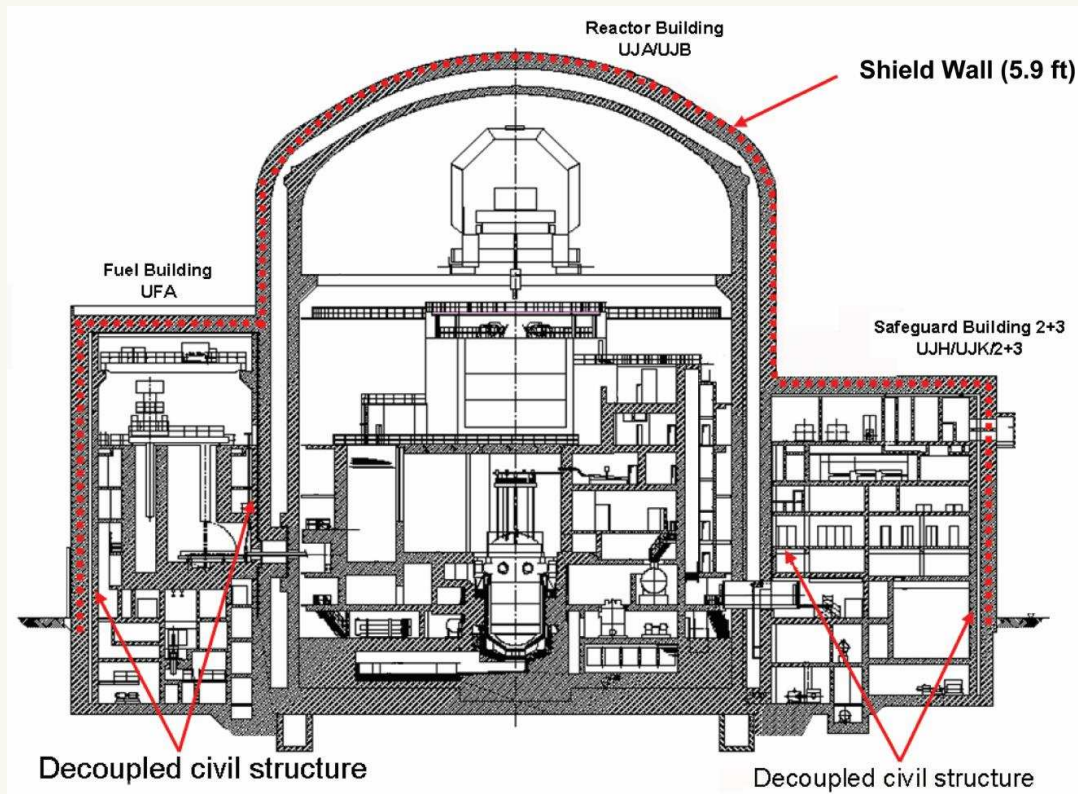
Konténmenttípusok



- **Acélfal:**
pl. AP1000
- **Vasbeton fal:**
pl. VVER-440/213
- **Feszített beton:**
pl. EPR

A vasbeton nem hermetizál, mindig van acélburkolat is, pl. EPR-nél 8 mm vastag

Konténmenttípusok

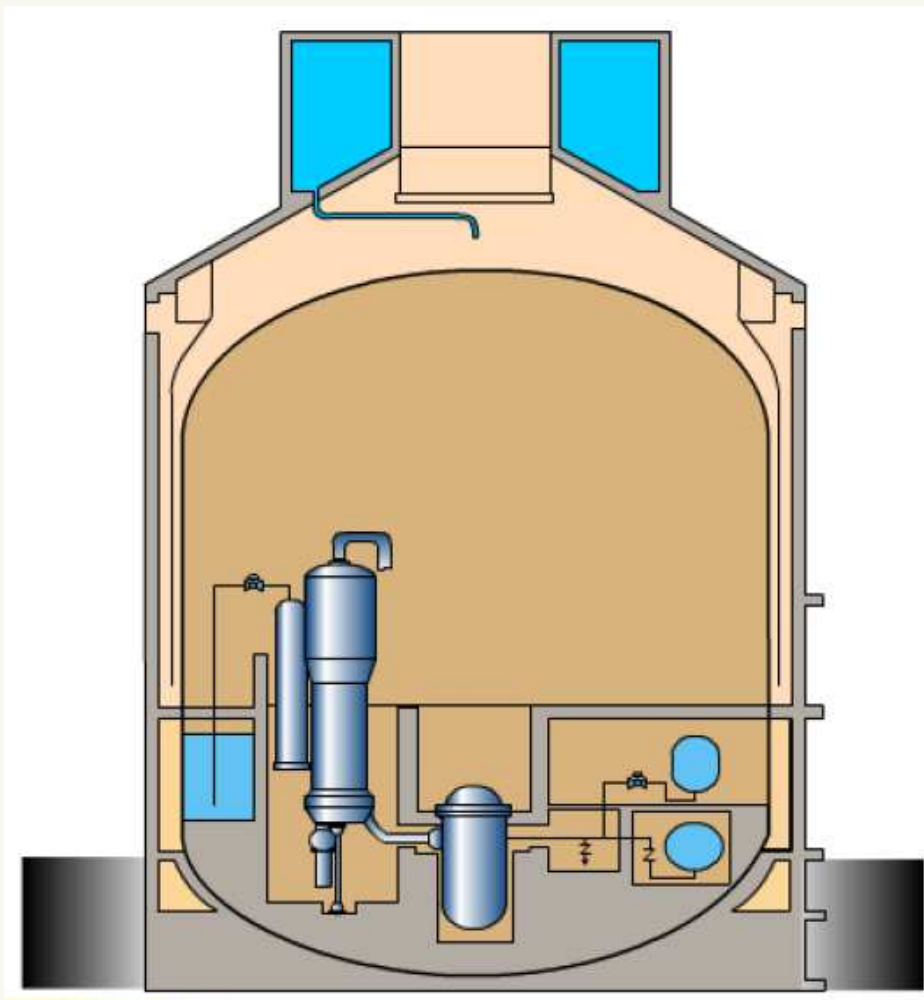


- **Acélfal:**
pl. AP1000
- **Vasbeton fal:**
pl. VVER-440/213
- **Feszített beton:**
pl. EPR

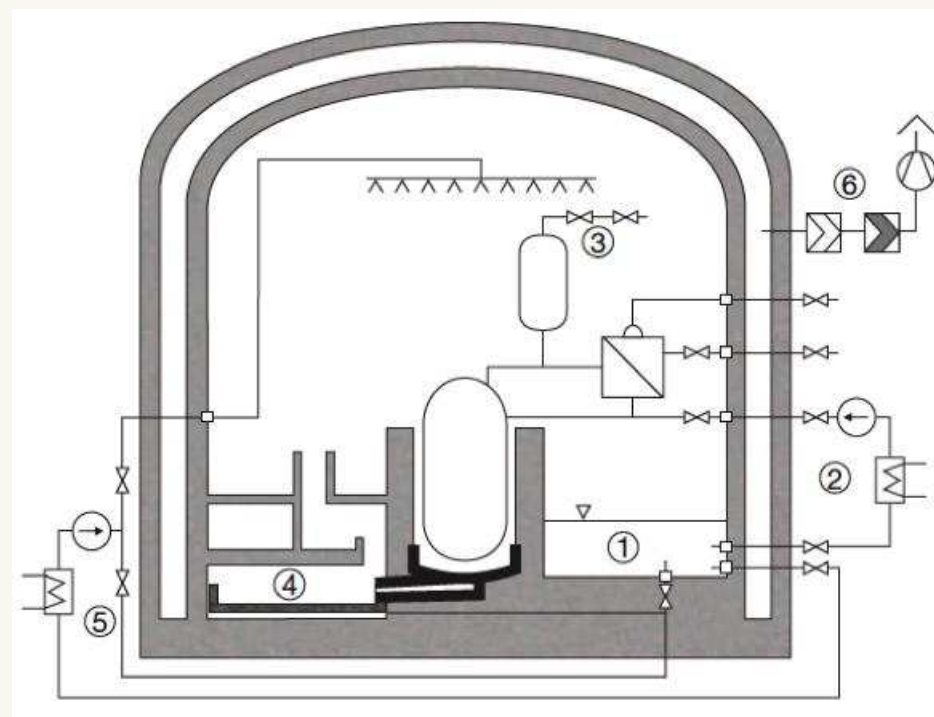
A vasbeton nem hermetizál, mindig van acélburkolat is, pl. EPR-nél 8 mm vastag

Konténmenttípusok

Egy falú, pl. AP1000



Kettős falú, séma



- (1) a konténment hűtésére szolgáló víz tartálya,
- (2) az üzemzavari zónahűtő rendszer,
- (3) reaktor biztonsági szelepe,
- (4) olvadékcsapda,
- (5) a konténment hűtőrendszere és
- (6) a gyűrűkamra lefúvató rendszere.

Kettős falú konténment

A funkciók meg vannak osztva a két fal között:

- **Belső:** kibocsátás visszatartása.
- **Külső:** védelem a külső hatásoktól (pl. repülőgépek-becsapódás).

A belső lehet **feszített beton**, a külső **vasbeton**.

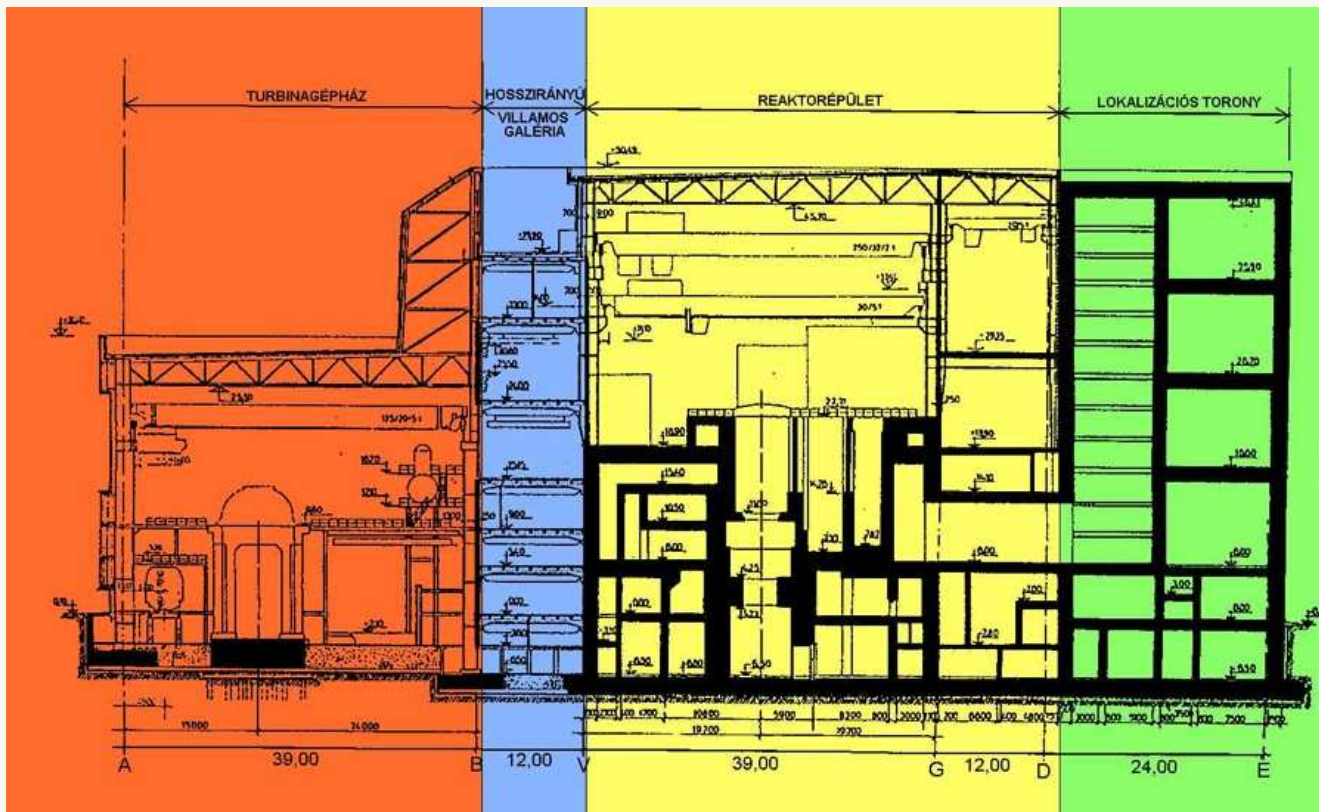
A két héj között **alacsony nyomás**: lehetővé teszi az esetleges szivárgás lokalizálását, ellenőrzését.

Konténmenttípusok

A konténment lehet **teljes** vagy **csökkentett nyomású**.

Korai konténmentek: a cél a 24 órás szivárgás csökkentése volt, ezért csökkentett nyomású konténmentet alkalmaztak (pl. buborékoltató kondenzátorral (VVER-440/213), vagy szárazjéggel csökkentették a nyomást).

Később: teljes nyomást elviselő konténment.



Konténmenttípusok

Építészeti kialakítását tekintve a konténment tipikusan félgömb vagy elliptikus héjjal fedett henger.

Kivétel: VVER-440, BWR Mark I, BWR Mark II.



Mark I (Browns Ferry, USA).

Mi tartozik még a konténmenthez?

Elvárás a konténment **hermetikussága**, de átvezetések, nyílások vannak rajta. Ezek megoldása is része a konténmentnek:

- Izoláló elemek (zsilipek, cső- és kábelátvezetések, a konténmentkontúron áthaladó csővezetékek kettős kizárása).
- Hermetizáló elemek.
- A konténment hűtőrendszere.
- A konténment légterének szellőztetése.
- A robbanóképes gázok kezelésének rendszere.
- A konténment túlnyomás elleni védelme.

A konténment terhei

Terhelési esetek:

teher	megjegyzés
próbák	próbanyomás és tömörségvizsgálat
normál üzemi terhek	tranziensek, daru változó terhei, biztonsági szelep, feszítés
várható üzemi események	10^{-2} /év-nél nagyobb gyakoriságú, normál üzemtől való eltérések
extrém környezeti terhek	10^{-5} /év gyakoriságú események, biztonsági földrengés, meteorológiai szélsőségek
rendellenes üzemi terhek	LOCA elemzések
LOCA utáni terhek	extrém hőmérsékletek, elárasztás a konténmentben
TAK1 terhek	TA1–4-nél rosszabb konténment állapot, repülőgép-rázuhanás
TAK2 terhek	olvadékcsapda, H-robbanás, súlyos balesetek

Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek

Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek

Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
 - önsúly, hasznos teher
 - nyomás és hőmérséklet
 - üzemi tranziensek terhei (nyomás, hőmérséklet-változás, dinamikus hatások, pl. biztonsági szelep)
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek

Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
 - LOCA nyomás- és hőmérséklet-eloszlás terhei
 - nagyenergiájú csőtörések által okozott belső nyomás és hőmérséklet, beleértve a tört cső ostromozásából és a vízszugártól származó hatások
 - belső veszélyek (repülő tárgy, nehéz teher leejtése)
 - tervezési alapba tartozó üzemzavarok reakcióerői, lokális terhei
 - post-LOCA terhek (nyomás, hőmérséklet)
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek

Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
 - rendkívüli környezeti hatások terhei (extrém hőmérséklet)
 - extrém környezeti terhek (pl. biztonsági földrengés, tervezési alapba tartozó tornádó, repülőgép-rázuhanás)
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek

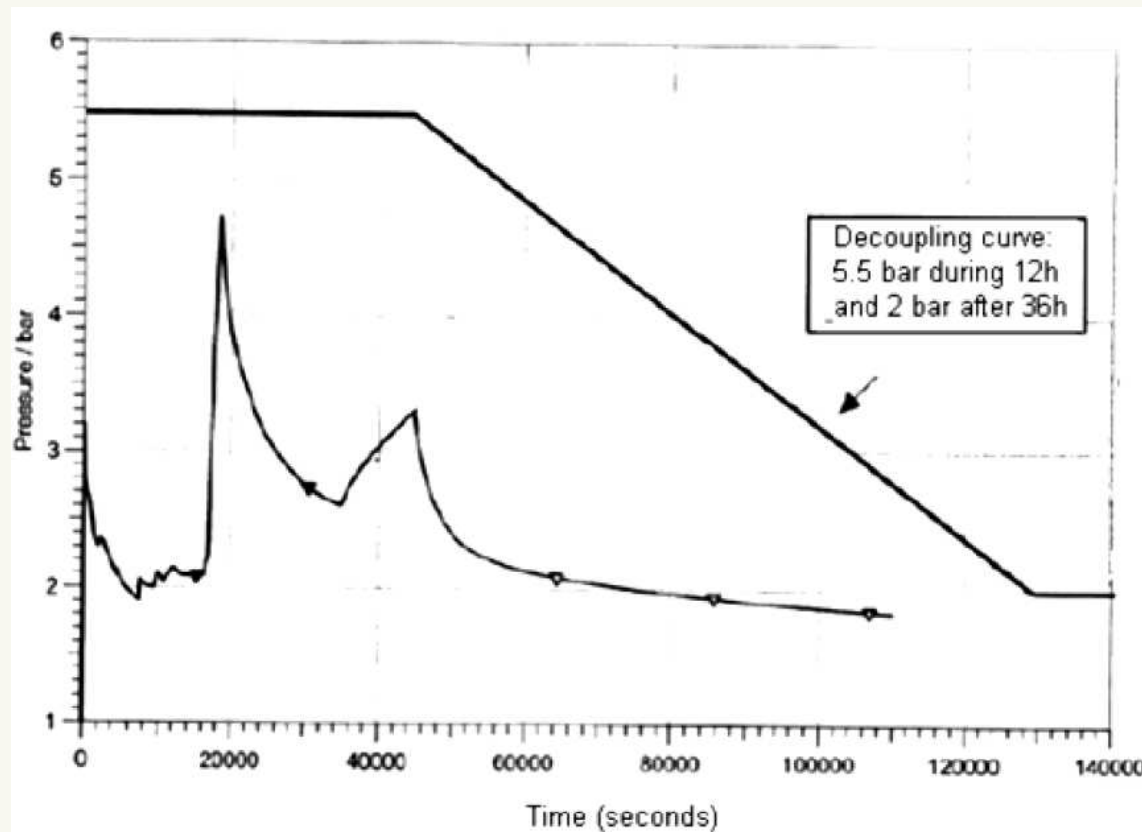
Terhek, hatások

- építési terhek
- üzembe helyezési próbák terhei
- a normálüzemi terhek, amelyek előfordulhatnak a TA1–3 üzemállapotokban
- a tervezési alapba tartozó belső események és az ebből eredő terhek
- a tervezési alapba tartozó külső veszélyek terhei
- tervezési alapon túli, komplex üzemzavarok és baleseti (TAK1 és TAK2) körülmények között a konténmentre ható terhek
 - baleseti hidrogénrobbanásból eredő terhek
 - nagy polgári légi jármű erőműre történő rázuhanásából eredő hatások
 - a zónaolvadás és az olvadék kezelésének hatásai

Funkcióból eredő terhek

Nyomás, nyomáskülönbség, hőmérséklet – a tervezési alap szerint. Ehhez vizsgálni kell a TA üzemzavarait, tranzienseket, majd **burkoló elv** alkalmazása.

Tipikusan a primerkörben a nagy LOCA vagy a gőzvezeték törése a mértékadó.



Burkoló elv alkalmazása EPR (UK) konténment esetén.

Funkcióból eredő terhek

Ehhez **termohidraulikai számítások** kellenek, az így kapott nyomásértékeket 10–25 %-kal, a nyomáskülönbségeket 15–40 %-kal növelni kell.

A **nyomáscsökkentő rendszer** hibás működése miatt akár csökkenhet is a nyomás.

A **biztonsági szelepek** működése is okozhat nagy nyomás- vagy hőmérsékletváltozást, dinamikus hatásokat.

Ezen kívül a **súlyos baleseti elemzésekből** kaphatók terhek. Speciális kialakítást és tervezést igényel az **olvadékcsapda**, a corium hőtechnikai paraméterei kellenek ehhez. Az üzemzavari **hidrogénkezelés**, **hidrogénrobbanásra** való méretezés tervezési alapját a baleseti elemzésekből lehet meghatározni.

Külső veszélyekből eredő terhek

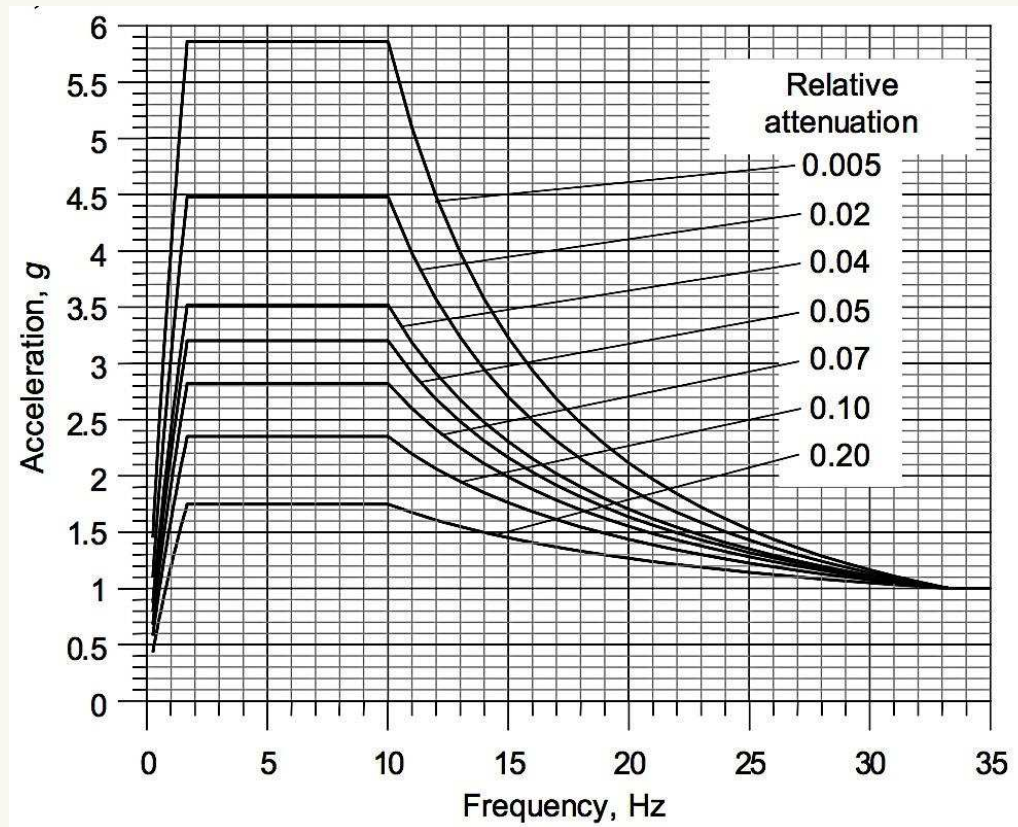
Cél ezzel kapcsolatban, hogy a konténment megőrizze integritását, tömörségét, megvédje a primerkört és a konténmenten belüli biztonsági rendszereket a TAK1 és TAK2 üzemállapotban is.

Ilyen külső veszélyek különösen:

- Földrengés
- Repülőgép-rázuhanás
- Robbanás
- Repülő tárgy
- Meteorológiai szélsőségek

Külső veszélyek – földrengés

Lényeges mértékben befolyásolja a konténment tervezését a földrengésre való tervezés. Bemenő adat a **maximális vízszintes gyorsulás** és a **válaszspektrum**. Számít még a talaj állékonysága is. Megjegyzés: a gyakorlatban típusterv van, nem telephely-specifikus a tervezés, hanem szabványos válaszspektrum alapján zajlik.



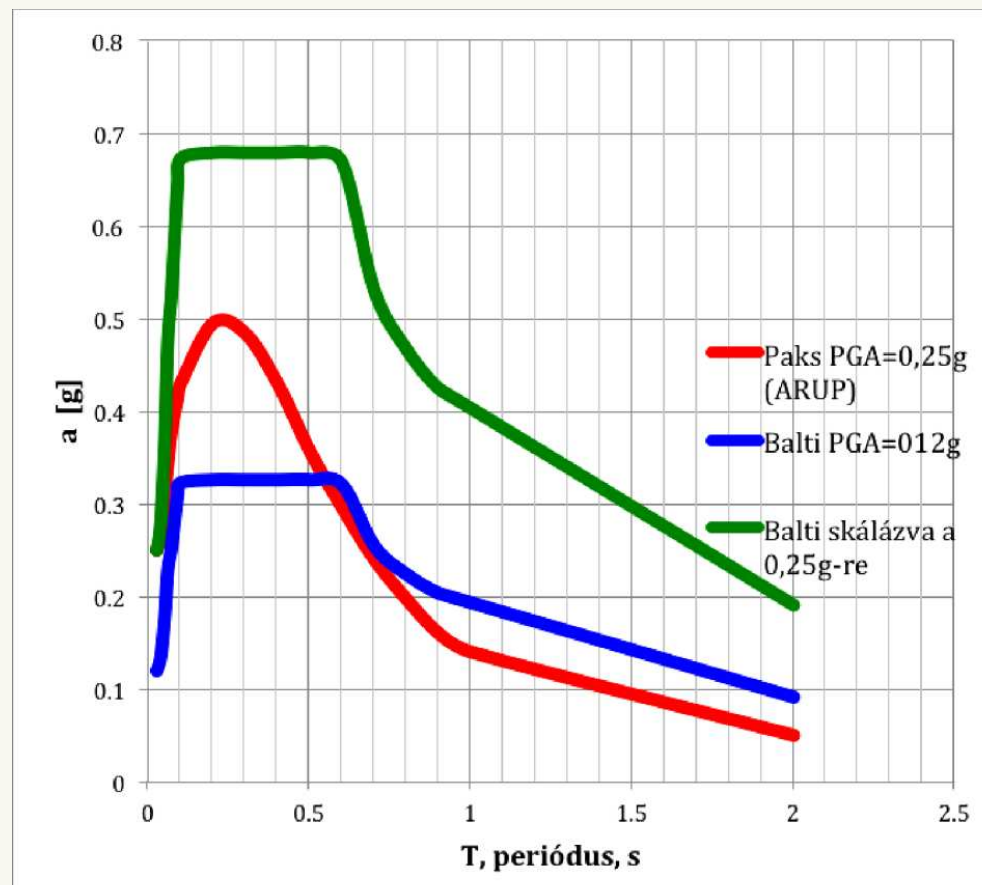
Szabványos (orosz) válaszspektrum.

Külső veszélyek – földrengés

(Rossz) példa: A balti erőművet 0,12g-re méretezték az oroszok (kék vonal, burkoló válaszspektrum).

De a reaktor főberendezéseit 0,25g-re átskálázták (zöld vonal).

Azaz az atomerőmű nem **egyenszilárdságú** a földrengés szempontjából. Összehasonlításképpen, a piros vonal a paksi válaszspektrum (0,25g, a 10^{-5} /év gyakoriságú földrengés).



Külső veszélyek – földrengés

Nemcsak az épületet, hanem a hozzá rögzített technológiai elemeket is méretezni kell. Ehhez az elemek rögzítésének helyén ismerni kell a szerkezet dinamikai válaszát (válaszspektrum vagy padlóspektrum).

A **szakadékszél-jelenség** kiküszöbölésére gyakorlat 40 % tartalékot biztosítani.

A földrengés szempontjából előnyös kialakítás:

- egyenletes tömeg- és merevségeloszlás
- szimmetria
- merev alapozás
- mély alapozás
- konténment dilatált a környező épületektől

Az orosz konstrukció nem rossz e szempontok szerint, bár az alapozása nem túl mély (-9,8 m) és magasan van a tömegközéppont.

Ebből a szempontból az AP1000 rosszabb, magasan van a súlypontja, a védőépület tetején van a 3000 m³-es víztartály.

Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

Habár a Paksi Atomerőmű körül 3 km sugarú, 5950 m magas **tiltott légtér** van, ez nem véd meg a véletlen balesetektől.

Tervezési alap: arra a géposztályra kell méretezni, amelynek rázuhanási gyakorisága meghaladja a 10^{-7} /év gyakoriságot (ezt a célfelület is befolyásolja!).

A legfontosabb épületek Pakson ebből a szempontból: reaktor, primerkör, pihentető medence tömbje: 75 m×52 m×18,9 m.

A jelenlegi blokkok tekintetében a 10^{-7} /év baleseti gyakoriság felett csak a könnyű repülőgép és a helikopter van.

Az új blokkok esetén a helyzet bonyolultabb. Más a célterület, és TAK1-ben figyelembe kell venni ma már a legnagyobb polgári gép rázuhanását (ez posztulált, vizsgálandó baleset).

Kiderült, hogy a **tervezési alapban figyelembe kell venni a 2,3–20 t közé eső katonai és polgári szállítógépeket.**

Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

típus család	max. tömeg	hajtómű tömege	üzem- anyag	max. seb.	utas- szám	szárny fesztáv
An-2	5500 kg	1 × 579 kg	900 kg	258 km/h	2	18,2 m
An-26	24000 kg	2 × 600 kg	6000 kg	500 km/h	40	29,2 m
L-39 Albatros	4700 kg	1 × 350 kg	280 kg	750 km/h	2	9,5 m
Lear Jet-23	5670 kg	2 × 200 kg	3026 kg	904 km/h	5–8	10,85 m

A **tervezési alap** esetén követelmény, hogy a konténment megvédje a reaktort és zónaolvadást megakadályozó rendszereket.

Megjegyzés: **nem** a maximális sebességre kell méretezni!

Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

TAK1: Nagy utasszállító gépre kell tervezni, és biztosítani kell:

- aktív zóna hűtése megmarad, vagy a konténment nem sérül, és
- a pihentető medence hűtése vagy integritása fennmarad.

Mértékadó gépek:

típus család	max. tömeg	hajtómű tömege	üzem- anyag	max. seb.	utas- szám	szárny fesztáv
Gripen JAS-39	16,5 t	1×1055 kg	2 t	2120 km/h	1–2	8,4 m
Airbus A380	590 t	4×6712 kg	262 t	1020 km/h	555	79,8 m

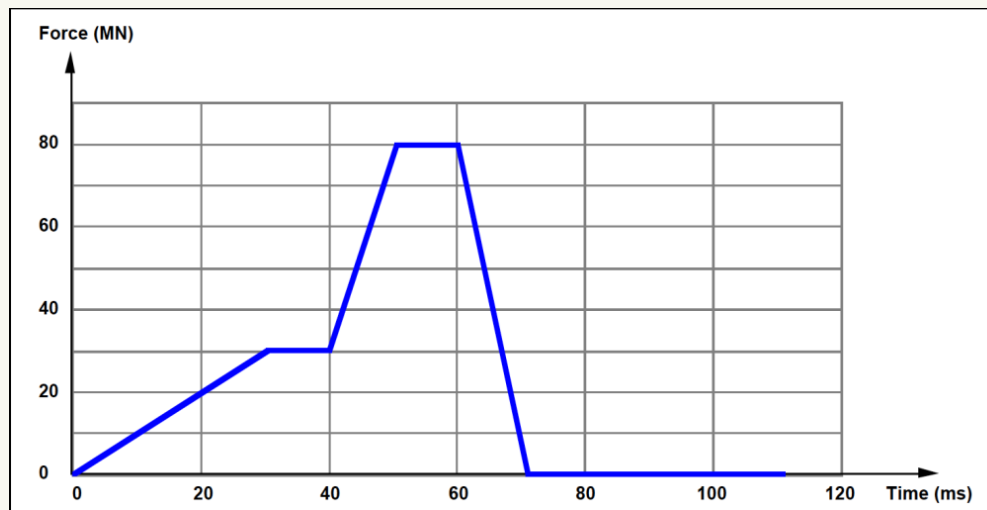
Hatások:

- Globális hatás (összeomlás, szerkezeti károk, felborulás, túl nagy igénybevétel)
- Lokális hatás (penetráció, repedések, mállás, átfúródás)
- Ütközés keltette rezgések
- Üzemanyagtűz és robbanás

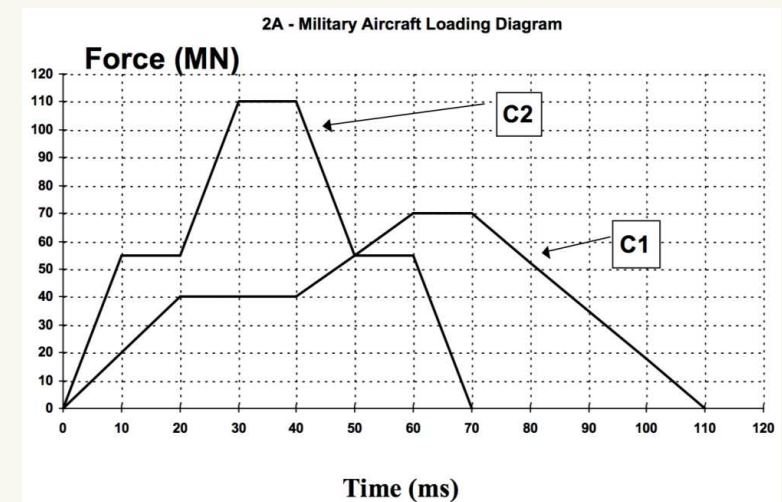
Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

Teher meghatározása:

- Szerkezetet merevnek tekintve számítás a repülő paramétereiből:
$$F(t) = P(x(t)) + \mu(x(t))v(t)^2$$
 (Riera-képlet)
- Az ütközés dinamikai szimulációja
- Szabványos (tipizált) $F(t)$ erő lefutás (burkoló)



EUR ajánlás



EPR-nél alkalmazott

Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

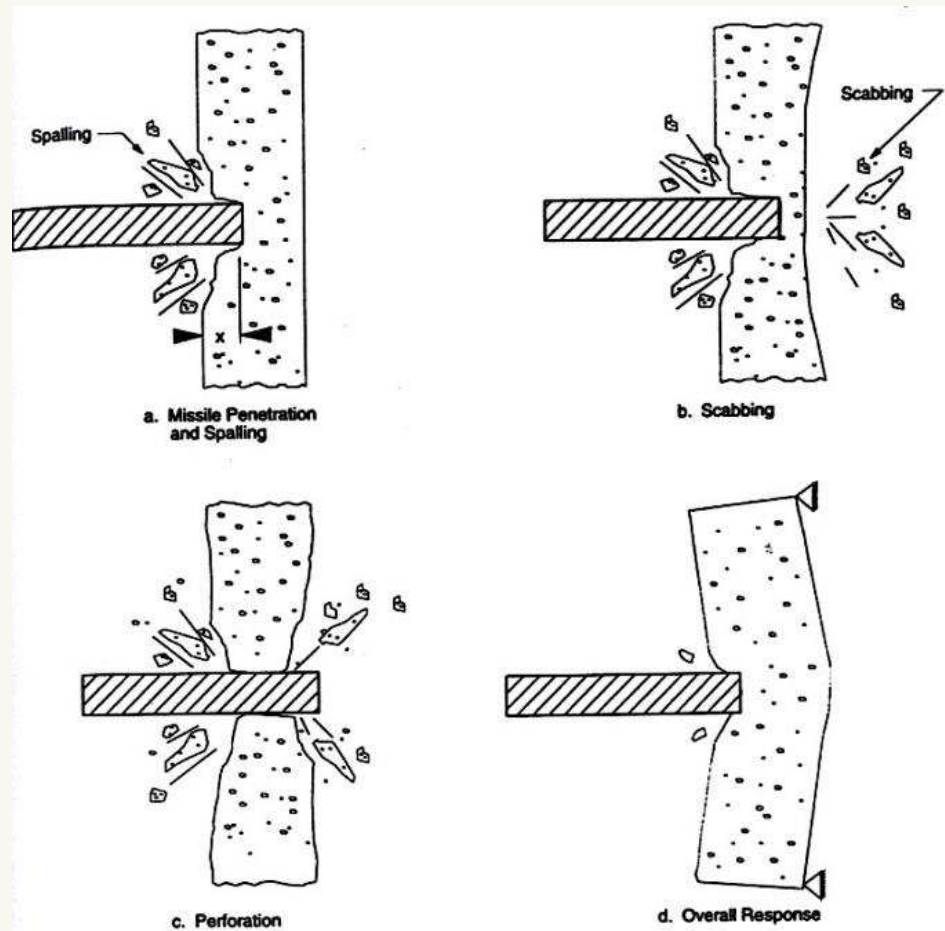
A repülőgép-törzs puha, kicsi a merevsége a konténmenthez képest. Ezért főleg globális hatást okoz.



Sugano, 1993

Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

A **repülőgép-hajtómű** sokkal keményebb, lokális hatást okoz. Ezek számítására sok (fél)empírikus képlet, különféle paramétertartományokon érvényesek.



Külső veszélyek – repülőgép-rázuhanás

Másodlagos hatások:

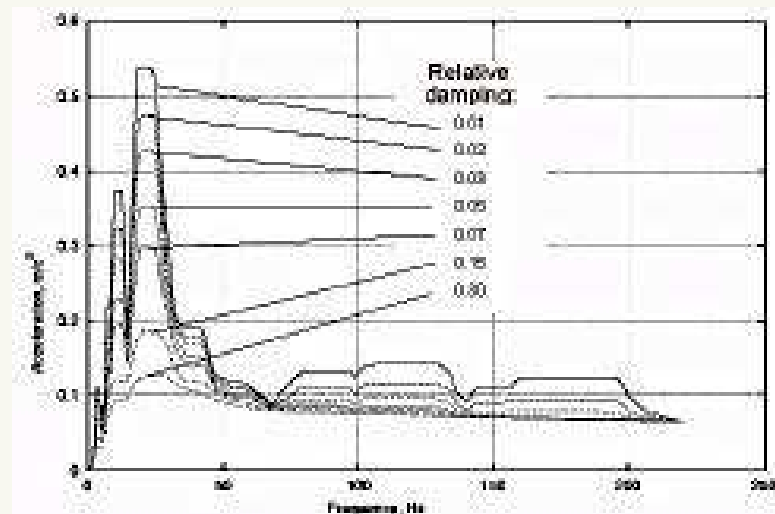
Üzemanyagtűz: különféle előírások, például el kell viselnie a konténmentnek:

- 2 percig egy 90 m átmérőjű, 1200 °C tűzgömböt, és
- fél óráig 800 °C tartós tüzet.

Továbbá, az üzemanyag nem juthat be az épületbe.

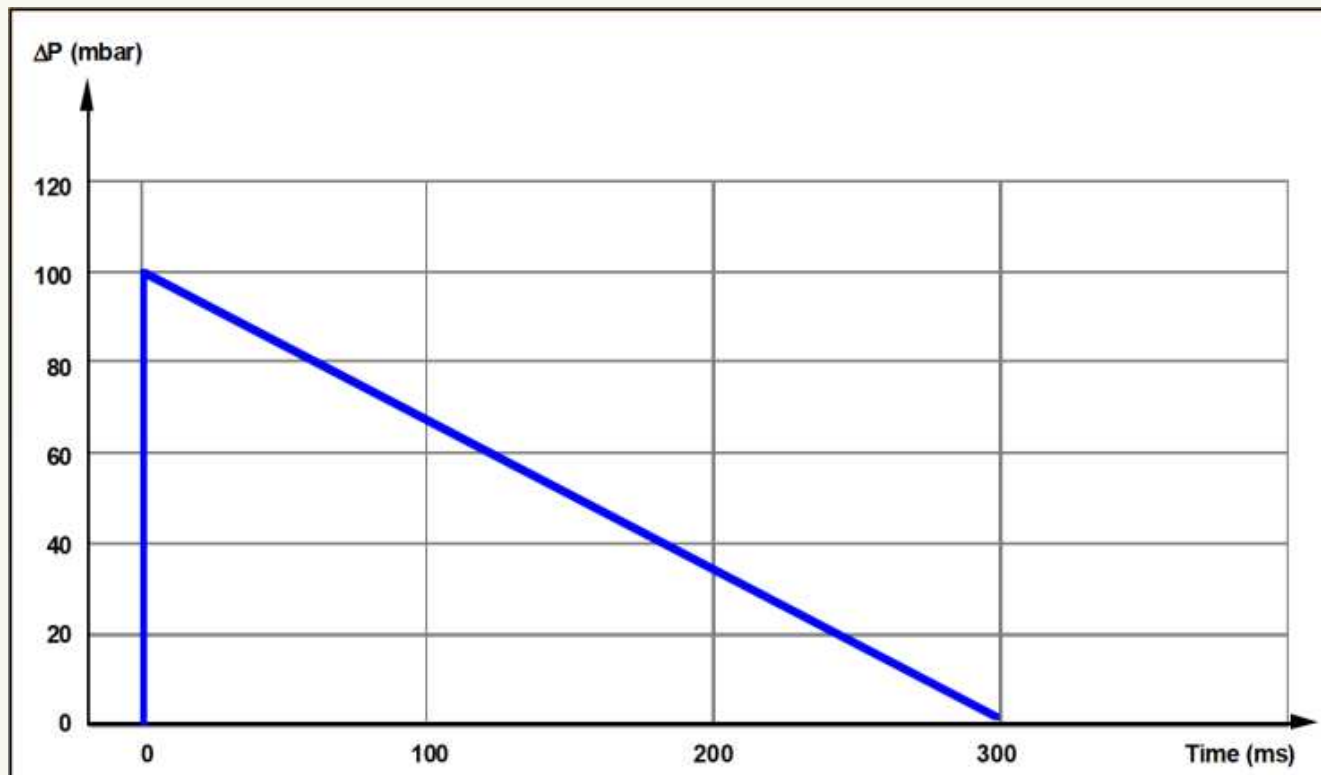
Rezgések: a biztonság szempontjából fontos rendszereket tervezni, minősíteni kell a repülőgép-beecsapódás által keltett rezgésekre.

A **válaszspektrum** eltér a földrengésétől (pl. Balti EBJ).



Külső veszélyek – robbanás

Paks 2 esetén ki lehetett szűrni ennek a veszélyét.
Válaszspektruma hasonló a repülőgép-becsapódáshoz.
Méretezés általánosított (burkoló) **terhelési diagram** alapján.



EUR ajánlás

Külső veszélyek – repülő tárgyak

Kívülről: ipari balesetből, robbanásból származó, tornádó által szállított repülő tárgyak hatása, illetve repülőgép-hajtómű.

Pl. turbinalapát nagy energiájú törése: általában olyan az elrendezés, hogy ne tudjon a konténment felé repülni, de Paks 1 esetén ez rosszul van.

Belső: például robbanás, nyomástartó edények törése. A repülő tárgyak hatását megfelelő elrendezéssel ki kell védeni.

Külső veszélyek – meteorológiai szélsőségek

	Paks 1, VBJ $10^{-4}/\text{év}$	Paks 2 $10^{-5}/\text{év}$	Balti $10^{-4}/\text{év}$	EUR
max. hőm., °C	45,3	48,2	46/52	42
min. hőm., °C	-47,9	-57,6	-52/-61	-35
hó, kPa	1,5 (108 cm)	1,81	2,5 (110 cm)/4,3	1,5
szélseb., m/s	42 (48,8)	47,3	53/61	70
napi csap., mm	132	155,7	156	400 (100/h)

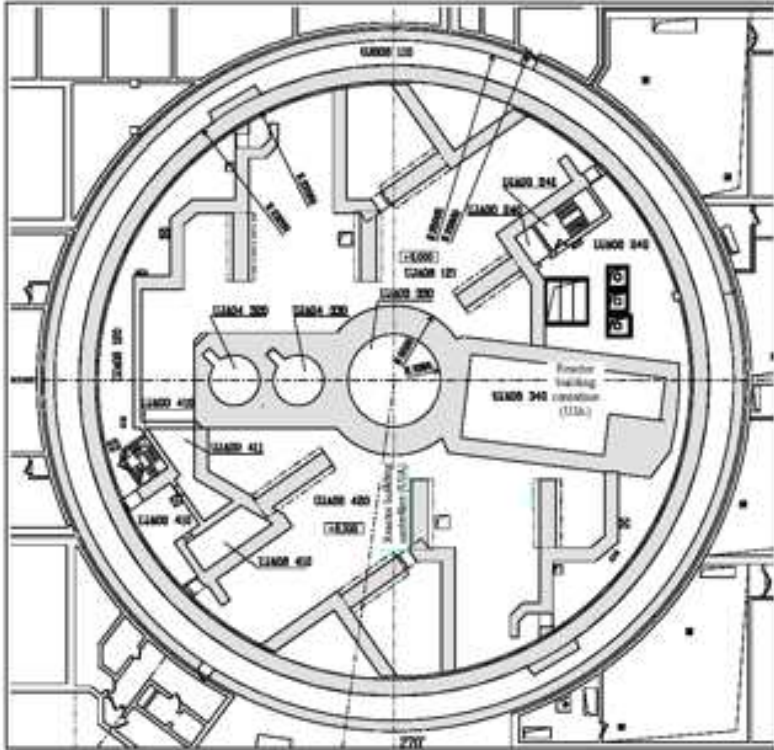
A **tornádót** is figyelembe kell venni: szélnyomás, ütközés, kinti és benti nyomáskülönbség. A nemzetközi gyakorlatban erre is sokféla ajánlás van.

Paks 2 adatszolgáltatás: nem kell tornádó által sodort tárgy ütközésével számolni. Valószínűleg egyéb hatások burkolják.

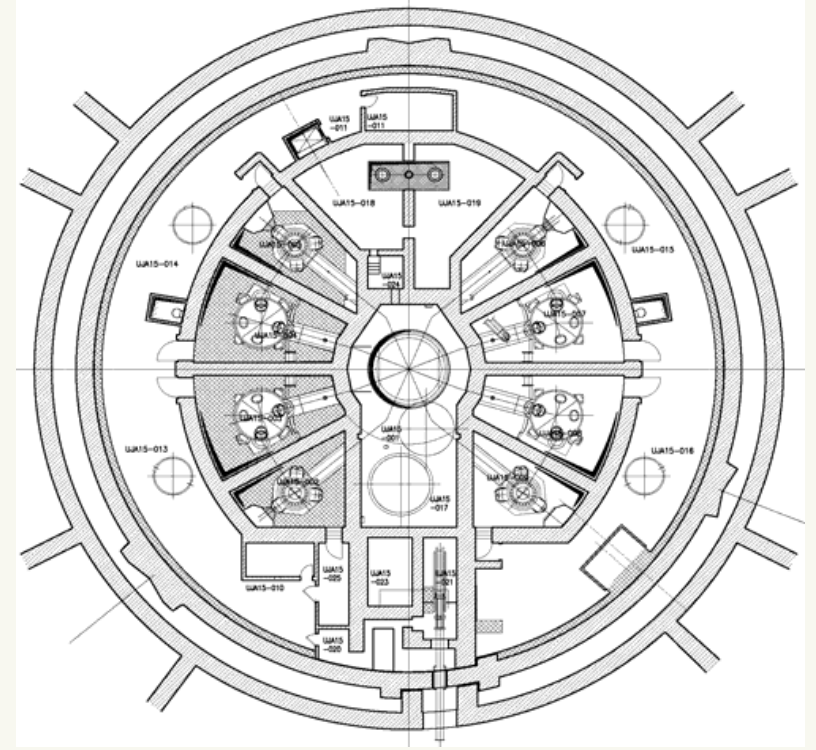
Belső veszélyek

Megfelelő tervezéssel ki kell zárni a konténment integritását veszélyeztető hatásokat, például a **nehéz teher leejtését**.

Nagyenergiájú csőtörés inkább a konténmenten belüli szerkezeteket veszélyezteti, ezen segít a térbeli szeparáció és védőfalak.



Balti terv



EPR (UK)

A **tűz** veszélyét minimalizálni, hatását lokalizálni kell.

Teherkombinációk

Az események minden **reális** kombinációját figyelembe kell venni a tervezés során, amelyek a TA3–4 üzemállapotokhoz vezethetnek. A **mérnöki megfontolások** és a **valószínűségi elemzések** alapján kell dönteni.

A terhelés **időtartama** is fontos. Például egy LOCA utáni hőmérsékletnövekedésből származó teher maximuma nem esik egybe a nyomásnövekedésből származó teherrel.

Kettős falú konténment esetén a belső falra (visszatartó funkció) és a külső falra (védő funkció) eltérő terhek és teherkombinációk hatnak.

Volume 2 Chapter 9 CONTAINMENT SYSTEM

Revision C State 05 April, 01

Section	Requirement	Section comment	Last change
---------	-------------	-----------------	-------------

2.9 3.1.4.5.3 Table 2: Load combinations and acceptance criteria for PWR primary containment structure

C-05

LOAD DESCRIPTION	Design	Test	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC10	LC11	LC12	LC13	LC14	LC15
Dead	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Live	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pre-stressing (1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Test Pressure		X														
Test Temperature		X														
Design Pressure	X															
Design Temperature	X															
Operating Loads			X	X		X	X	X	X						X	X
Operating Temperature			X	X		X	X	X	X						X	X
Normal Pipe Reaction			X	X	X	X	X	X	X						X	X
ADS Actuation Pressure					X			(1)	(1)						(1)	(1)
ADS Actuation Dynamic Load					X					X		X	X	X	(1)	(1)
ADS Actuation Temperature					X			(1)	(1)						(1)	(1)
Basic Wind				X												
Extreme Wind						X										
DBE							X									
DBA Pressure							(2)			X			X			
DBA Temperature							(2)			X			X			
Local Effects (DBA)							(2)						X			
DBA Pipe Reaction	X						(2)			X			X			
DEC Pressure											X	X		X		
DEC Temperature												X		X		
Local Effects (DEC)														X		
DEC Pipe Reaction												X		X		
Aircraft Crash															X	
External Explosion																X
ACCEPTANCE CRITERIA Structural Integrity	Design Allowable Stress	Test Limits	I	I	I	I	II	I	II	I	II	II	III (local)	III (local)	II	II
ACCEPTANCE CRITERIA Leaktightness	N/A	I	I	I	I	I	N/A	I	II	I	I	II (3)	N/A	N/A	N/A	N/A

key to load combinations	
design	See Section 2.9.3.1.4.6
test	See Section 2.9.3.1.4.6
LC1	Normal Operation (NO)
LC2	NO + Basic Wind
LC3	ADS Actuation
LC4	NO + Wind
LC5	DBE
LC6	External Press. (Low AP)
LC7	External Press. (Max. AP)
LC8	DBA
LC10	DEC (Pressure Load)
LC11	DEC
LC12	DBA (Local Effects)
LC13	DEC (Local Effects)
LC14	Aircraft Crash
LC15	External Explosion

- * Lower value
- ** Higher value
- (1) If applicable
- (2) No consequential DBA after DBE
- (3) If the demonstration required in Section 2.9.3.1.4.2 is impracticable, then level I of leaktightness shall be applied

Example of correlation between limit state definition and standard acceptance limits

Acceptance Criterion	Steel Structures	Concrete Structures
Level I	Service Level A	Service Level
Level II	Service Level C	Factored Loads
Level III (local)	Service Level D	Factored Loads

EUR ajánlás

Teherkombinációk

Table 3.7.3.1.1- Combinations of loads and impacts on structures referred to category I of responsibility for radiation and nuclear safety according to PiN AE 5.6 (except for the pre-stressed inner containment)

Load classification	Load number	Load type	Loads and impacts combination									
			Main	Special								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Constant	1	Dead weight	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2	Ground pressure	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	3	Groundwater pressure	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Continuous	4	Weight of stationary equipment, pipelines, etc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	5	Normal operating conditions (NOC) temperature	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Short-term	6	Short-term equipment load	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x
	7	Snow load	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x
	8	Wind load	x	-	x	x	-	-	-	-	x	x
Special	9	SSE seismic load	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	AOO pressure and temperature	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-
	11	Design-basis accident (DBA)	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
	12	Shockwave impact	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
	13	Load due to light aircraft crash	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
	14	Tornado impact	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
	15	Extreme wind load	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
	16	Extreme snow load	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
	17	Extreme climatic temperature	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Note – In the main combination snow load is also taken into account as constant load with a reduction factor, according to SNiP 2.01.07-85*												

Orosz előírások, Balti EBJ

Megfelelőség megítélése

A konténmentnél nem a teherbírás szokott mértékadó lenni, a határértékek **funkcionálisak**: **tömörség**, **szivárgás mértéke**, a kibocsátásból eredő **dóziskorlát**.

A NAÜ Safety Guide állapotokat definiál egyrészt **szilárdsági szempontból**:

- I rugalmas tartomány, integritás nagy tartalékkal biztosított
- II kis maradó alakváltozás, integritás elegendő tartalékkal
- III nagy maradó alakváltozás, TA-ot meghaladó esetben engedhető meg

másrészt **tömörségi szempontból**:

- C1** tömör, szivárgás határérték alatt és korrelál a nyomással
- C2** kismértékű, becsülhető szivárgásnövekedés
- C3** nagy szivárgásnövekedés, de a szerkezeti állékonyság megvan

Minden erőműállapothoz és teherkombinációhoz hozzá kell rendelni ezen elfogadási kategóriát: mit engedünk meg.

Például normál üzem és extrém szél esetén elvárt az I és C1 teljesülése.

Szakadékszél (cliff-edge) effektus

El kell kerülni a szakadékszél effektust a konstrukció megfelelő kialakításával és teherbírási tartalékokkal. **Minden** terhelési állapotban meg kell lennie a tartaléknak.

A **belső nyomással** szembeni tartalékot határterhelhetőségi vizsgálat adja meg. Az anyagmodellhez szükséges kísérleti alátámasztás.

A szakadékszél effektus elkerülése érdekében alkalmazott tartalék teszi lehetővé, hogy a tervezési alapba nem tartozó scenáriók esetén (TAK1) a konténment legalább 12 órán át, de lehetőleg 24 órán át ellenálljon.

Kísérleti tapasztalat: tönkremeneteli alakváltozás:

- Acél konténment: 2–3 %
- vasbeton konténment: 1,5–2 %
- feszítőpázmák: 0,9–1,4 %-nál sérül a fal.

Határterhelhetőségi vizsgálat

SANDIA „test to failure”.



Jelentős szivárgás: tervezési nyomás 2,5-szeresénél.

Felnyílás: tervezési nyomás 3,1-szeresénél.

A **nyomástartó-képességet** rendszeresen ellenőrizni kell.

Üzembehelyezés során: nyomáspróba.

Üzem közben: tömörségvizsgálat (átvezetések, zsilipek is).