



**N3a.46. sz. útmutató**

# **Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel független elemzések alapján**

Verzió száma:

**1.**

**2018. augusztus**

Kiadta:

---

Fichtinger Gyula  
az OAH főigazgatója  
Budapest, 2018

A kiadvány beszerezhető:  
Országos Atomenergia Hivatal  
Budapest

## FŐIGAZGATÓI ELŐSZÓ

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) az atomenergia békés célú alkalmazása területén működő, önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező, országos illetékességű központi államigazgatási szerv. Az OAH-t a Magyar Köztársaság Kormánya 1990-ben alapította.

Az OAH jogszabályban meghatározott közfeladata, hogy az atomenergia alkalmazásában érdekelt szervektől függetlenül ellássa és összehangolja az atomenergia békés célú, biztonságos és védett alkalmazásával, így a nukleáris és radioaktív hulladék-tároló létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok biztonságával, nukleárisveszélyhelyzet-kezeléssel, nukleáris védettséggel kapcsolatos hatósági feladatokat, valamint az ezekkel összefüggő tájékoztatási tevékenységet, továbbá javaslatot tegyen az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megalkotására, módosítására, és előzetesen véleményezze az atomenergia alkalmazásával összefüggő jogszabályokat.

Az atomenergia alkalmazása hatósági felügyeletének alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia békés célú felhasználása semmilyen módon ne okozhasson kárt a személyekben és a környezetben, de a hatóság az indokoltnál nagyobb mértékben ne korlátozza a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását. Az alapvető biztonsági célkitűzés minden létesítményre és tevékenységre, továbbá egy létesítmény vagy sugárforrás élettartamának minden szakaszára érvényes, beleértve létesítmény esetében a tervezést, a telephely-kiválasztást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemen kívül helyezést és a bezárást, radioaktív hulladék-tárolók esetén a lezárást követő időszakot, radioaktív anyagok alkalmazása esetén a szóban forgó tevékenységekhez kapcsolódó szállítást és a radioaktív hulladék kezelését, míg ionizáló sugárzást kibocsátó berendezések esetén azok üzemeltetését és karbantartását.

Az OAH a jogszabályi követelmények teljesítésének módját az atomenergia alkalmazóival egyeztetett módon, világos és egyértelmű ajánlásokat tartalmazó útmutatókban fejti ki, azokat az érintettekhez eljuttatja, és a társadalom minden tagja számára hozzáférhetővé teszi. Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó nukleáris biztonsági, védettségi és non-proliferációs követelmények teljesítésének módjára vonatkozó útmutatókat az OAH főigazgatója adja ki.

Az útmutatók alkalmazása előtt mindig győződjön meg arról, hogy a legújabb, érvényes kiadást használja! Az érvényes útmutatókat az OAH honlapjáról ([www.oah.hu](http://www.oah.hu)) töltheti le.

## ELŐSZÓ

Az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atv.) tartalmazza.

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló rendelkezéseket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Rendelet) és mellékletei, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban: NBSZ) határozzák meg.

A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések betartása mindazok számára kötelező, akik az Atv. 9. § (2) bekezdése szerinti folyamatos hatósági felügyelet alatt állnak, valamint e törvényben előírt hatósági engedélyhez kötött tevékenységet folytatnak, ilyen tevékenységben közreműködnek, vagy ilyen tevékenység folytatásához engedély iránti kérelmet nyújtanak be. A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések mellett a követelmények közé tartoznak az egyedi hatósági előírások, feltételek és kötelezettségek, amelyeket az OAH a nukleáris létesítmény nukleáris biztonsága érdekében határozatban állapíthat meg.

Az NBSZ-ben foglalt követelmények teljesítésére az OAH ajánlásokat fogalmazhat meg, amelyeket útmutatók formájában ad ki. Az útmutatókat az OAH a honlapján közzéteszi. Jelen útmutató az engedélyesek önkéntes alávetésével érvényesül, nem tartalmaz általánosan kötelező érvényű normákat.

A Rendelet 3. § (4) bekezdése alapján, ha a kérelmező a nukleáris biztonsággal összefüggő engedély iránti kérelmét az útmutatókban foglaltak szerint terjeszti elő, továbbá, ha az engedélyes a nukleáris biztonsággal összefüggő tevékenységét az útmutatókban foglaltak szerint végzi, akkor az OAH a választott módszert a nukleáris biztonság követelményei teljesítésének igazolására alkalmasnak tekinti, és az alkalmazott módszer megfelelőségét nem vizsgálja.

Az útmutatókban foglaltaktól eltérő módszerek alkalmazása esetén az OAH az alkalmazott módszer helyességét, megfelelőségét és teljeskörűségét részleteiben vizsgálja, ami hosszabb ügyintézési idővel, külső szakértő igénybevételével és további költségekkel járhat.

Ha az engedélyes által választott módszer eltér az útmutató által ajánlottól, akkor az eltérés indokolása mellett igazolni kell, hogy a választott módszer legalább ugyanazt a biztonsági szintet biztosítja, mint az útmutatóban ajánlott.

Az útmutatók felülvizsgálata az OAH által meghatározott időszakonként, vagy az engedélyesek javaslatára soron kívül történik.

A fenti szabályozást kiegészítik az engedélyesek, illetve más, a nukleáris energia alkalmazásában közreműködő szervezetek (tervezők, gyártók stb.) belső szabályozási dokumentumai, amelyeket az irányítási rendszerükkel összhangban készítenek.

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Az útmutató tárgya és célja</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások</b>	<b>7</b>
<b>2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Meghatározások</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Rövidítések</b>	<b>10</b>
<b>3. AZ ÚTMUTATÓ AJÁNLÁSAI</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Általános ajánlások</b>	<b>11</b>
3.1.1. A független biztonsági elemzések célja	11
3.1.2. A függetlenül elvégzendő elemzések kiválasztásának alapelvei	12
<b>3.2. Specifikus ajánlások</b>	<b>13</b>
3.2.1. Determinisztikus biztonsági elemzések	13
3.2.1.1. Az elemzési eszközök megválasztása	13
3.2.1.2. Modellépítés, verifikáció	14
3.2.1.3. A független és a tervezői elemzések eredményeinek összevetése	15
3.2.1.4. Az EBJ-vel együtt benyújtandó független determinisztikus elemzések	16
3.2.1.5. Az EVBJ-vel és VBJ-vel együtt benyújtandó független determinisztikus elemzések	17
3.2.1.6. Dokumentálás	20
3.2.2. Valószínűségi biztonsági elemzések	21
3.2.2.1. A PSA elemzésekhez szükséges független determinisztikus elemzések	21
3.2.2.2. A PSA elemzésekhez szükséges független determinisztikus elemzések tartalmi jellemzői	24
3.2.2.3. A független PSA elemzések terjedelme és tartalmi jellemzői	25
3.2.2.4. Dokumentálás	28
3.2.2.5. Az EBJ-vel együtt benyújtandó független PSA elemzések	28
3.2.2.6. Az EVBJ-vel együtt benyújtandó dokumentumok	28
3.2.2.7. A VBJ-vel együtt benyújtandó független PSA elemzések	29
3.2.2.8. Az egyes elemzések eredményeinek elfogadási kritériumai	29
<b>4. HIVATKOZÁSOK</b>	<b>31</b>

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. Az útmutató tárgya és célja

Az útmutató ajánlásokat tartalmaz a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok 3a. kötetben rögzített előírások teljesítésére.

Az útmutató célja, hogy – ajánlásokat adva az új atomerőművi blokkok biztonságának ellenőrzésére előírt eltérő számítási módszerekkel történő független elemzéseire vonatkozóan – egyértelművé tegye a hatósági elvárásokat, és ezzel elősegítse az érvényes előírásokban meghatározott nukleáris biztonsági kritériumok teljesülését, az alkalmazott műszaki megoldásoknak megfelelően, a nukleáris biztonság szempontjából.

### 1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások

A nukleáris biztonsági követelmények jogszabályi háttérét az Atv. és a Rendelet biztosítja.

*3a.2.3.0100. „A tervezési alapra vonatkozó általános biztonsági követelmények teljesülésének bizonyítására használt tervező és elemző eszközöket, modelleket és modellrészeket, valamint a bemenő adatokat validálni és validálni kell. Az elemzési eszközök validációját a megfelelő nemzetközileg elérhető adatok - kísérleti eredmények - alapján kell bemutatni. Az elemzési modellek validációját az elemzést, tervezést végrehajtó személytől, munkacsoporttól független személynek, munkacsoportnak is el kell végeznie”*

*3a.2.3.0200. „El kell végezni a tervek biztonsági szempontból meghatározó jellemzőit tartalmazó elemzések független ellenőrzését eltérő számítási módszerekkel is.”*

*3a.2.3.0400. „Érzékenységi vizsgálatokat kell végezni a feltételezések, a felhasznált adatok és számítási módszerek bizonytalanságának értékelésére. Ahol az elemzés eredményei érzékenyeknek bizonyulnak a modell feltételezéseire, ott további elemzéseket kell végezni az előzőtől független módszerek és eljárások használatával.”*

*3a.2.3.0700. „A tervezési alapot, a tervezési alap kiterjesztését és ezek igazolását a tervezés lezárásakor, valamint az atomerőmű teljes élettartama során, rendszeres időközönként, továbbá lényeges új hazai vagy nemzetközi biztonsági információk felmerülése esetén felül kell vizsgálni, és szükség esetén módosításokat kell végrehajtani a determinisztikus és valószínűségi számítások eredményei, illetve mérnöki megfontolások alapján. Az azonosított*

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

---

*hiányosságokat és biztonságnövelő intézkedéseket értékelni kell, és időben meg kell tenni a szükséges intézkedéseket.”*

*3a.2.3.0800. „A felülvizsgálat során figyelembe kell venni:*

*a) az atomerőművi blokkot vagy a működését érintő változásokat a tervezés vagy a megvalósulás fázisában, és működése során;*

*b) bármely a biztonságot szignifikáns módon befolyásoló, érintő új műszaki és tudományos ismeretet az atomerőművi blokk viselkedéséről és a hibalehetőségekről;*

*c) bármely olyan anyagi tulajdonság megváltozását öregedés vagy más hatás miatt, amelyet nem vettek figyelembe;*

*d) a biztonsági szabványok nemzetközi fejlődését; valamint*

*e) jelentős, új hazai vagy nemzetközi biztonsági információ felmerülését.”*



## 2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK

### 2.1. Meghatározások

Az útmutató az Atv. 2. §-ában, valamint a Rendelet 10. számú mellékletében ismertetett meghatározásokon kívül az alábbi definíciókat tartalmazza.

#### ***Gyakorlatilag kizárható esemény, eseménylánc***

Olyan esemény, vagy eseménylánc, amelyről bizonyítható, hogy megvalósulása fizikailag kizárható vagy a gyakorisága bizonyosan kisebb, mint  $10^{-7}$ /év. Egy gyakoriság értékét akkor tekintjük „bizonyosan kisebbnek”, mint egy adott érték, ha a meghatározás bizonytalanságát figyelembe véve a kapott gyakoriság értékre 95%-os megbízhatósági szinttel (konfidenciaszinttel) igaz ez az egyoldalú alternatív hipotézis.

#### ***Kezdeti esemény***

Az erőmű valamely biztonság szempontjából fontos rendszerének, rendszerelemének olyan állapotváltozása, amely az erőmű normál üzemi (TA1) állapotától eltérő TA2-4 vagy TAK1-2 üzemállapotot eredményez.

#### ***Nodalizáció***

Egy- vagy többdimenziós geometriai alakzat részekre való felosztása.

#### ***Veszélyeztető tényező***

Olyan külső vagy belső eredetű hatás (lehet hirtelen esemény: pl. villámcsapás, földrengés, belső tűz; vagy lehet időben elhúzódó állapot: pl. szárazság, extrém meleg, alacsony vízállás), amely veszélyezteti az erőmű biztonságát azáltal, hogy potenciálisan megakadályozza egy vagy több, biztonság szempontjából fontos rendszer, rendszerelem biztonsági funkcióinak teljesítését, vagy potenciálisan olyan állapotváltozást okoz azokon, amely kezdeti eseményt jelent.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett  
független elemzések alapján**

---

## **2.2. Rövidítések**

ATWS:	Anticipated Transient Without Scram - Várható üzemi esemény a reaktor védelmi leállításának elmaradása esetén
CFD:	Computational Fluid Dynamics – Numerikus áramlástan szimuláció
EBJ:	Előzetes Biztonsági Jelentés
EVBJ:	A Végleges Biztonsági Jelentés előzetes verziója, amelyet az erőmű üzembe helyezése iránti kérelem mellékleteként kell a hatósághoz benyújtani
NBSZ:	Nukleáris Biztonsági Szabályzat
PSA:	Probabilistic Safety Assessment – Valószínűségi biztonsági elemzés
TA:	Tervezési Alap
TAK:	Tervezési Alap Kiterjesztése
VBJ:	Végleges Biztonsági Jelentés

### **3. AZ ÚTMUTATÓ AJÁNLÁSAI**

#### **3.1. Általános ajánlások**

##### *3.1.1. A független biztonsági elemzések célja*

Az engedélyes a nukleáris biztonsági követelmények teljesülését biztonsági elemzésekkel igazolja. Az erőmű tervezését és a tervezés megfelelőségét bizonyító elemzéseket azonban tipikusan nem az engedélyes és általában nem is az engedélyeshez közelálló szervezet végzi, így az elemzések rendkívül alapos és mély ellenőrzése alapvető fontosságú. Ennek egyik leghatékonyabb eszköze, ha az engedélyes közvetlen megbízásából, az általa szolgáltatott részletes adatok alapján végez el ellenőrző elemzéseket valamely, a tervezőtől, az eredeti elemző szervezettől független és kompetens szervezet. Célszerű, de nem kizárólagos lehetőség az ellenőrző elemzések elvégeztetésére, ha az engedélyes saját szervezete végzi azokat, vagy olyan hazai háttérintézmény, amely szoros kapcsolatban van az engedéllyessel. A független számítások elvégzése az elemzési eredmények validációjának is fontos eleme, tehát ez a megoldás komplex módon vizsgálja, ellenőrzi az elemzési eredmények megfelelőségét.

Az engedélyes által elvégeztetett független biztonsági elemzések célja kettős:

1. Az engedélyes és a hatóság a tervezői elemzéseket megerősítő, független eszközökkel, módszerekkel végzett elemzések alapján meggyőződik a biztonsági kritériumok teljesüléséről.
2. A független elemzések támogatják az engedélyest abban, hogy felelősséget tudjon vállalni az általa üzemeltetett erőmű biztonságáért, mivel az általa elvégzett vagy megrendelt, a tervezőtől független elemzések alapján alaposabban meggyőződik az erőmű biztonsági megoldásainak megfelelő voltáról és mélyebben megérti az erőmű biztonsága szempontjából legfontosabb megoldások működését.

A független biztonsági elemzések úgy segítik az 1. cél teljesülését, hogy a hatóság a döntését nem kizárólag a tervezői, beszállítói elemzésekre kell, hogy alapozza, hanem a független elemzésekkel – amennyiben azok megerősítik a tervezői elemzések megállapításait – a hatósági döntés erős megalapozást nyer.

A 2. cél teljesítése támogatja, hogy az engedélyes teljesíteni tudja a biztonságért való elsődleges felelősség vállalását. Ezt a felelősségvállalást akkor tudja az engedélyes teljesíteni, ha kellő mélységben és a lehető

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

legközvetlenebb módon meggyőződött a tervek megfelelő biztonságos voltáról. A biztonságért való felelősségvállalás más aspektusai (pl. a biztonság fenntartása) az üzemeltetéshez kapcsolódnak, amelyek kívül esnek jelen útmutató témakörén.

Az engedélyesnek törekednie kell arra, hogy a létesítési folyamattal párhuzamosan a biztonsági elemzések megfelelőségének igazolásához szükséges összes meghatározható determinisztikus és valószínűségi biztonsági elemzést független eszközökkel és a tervezőtől független elemzői csoportokkal elvégeztesse, és az eredményeket megossza a hatósággal, legkésőbb az üzemeltetési engedély iránti kérelem benyújtásáig.

### 3.1.2. A függetlenül elvégzendő elemzések kiválasztásának alapelvei

*3a.2.3.0200. „El kell végezni a tervek biztonsági szempontból meghatározó jellemzőit tartalmazó elemzések független ellenőrzését eltérő számítási módszerekkel is.”*

*3a.2.3.0400. „Érzékenységi vizsgálatokat kell végezni a feltételezések, a felhasznált adatok és számítási módszerek bizonytalanságának értékelésére. Ahol az elemzés eredményei érzékenyeknek bizonyulnak a modell feltételezéseire, ott további elemzéseket kell végezni az előzőtől független módszerek és eljárások használatával.”*

Az engedélyesnek független elemzéseket kell végeznie eltérő számítási módszerekkel a tervek biztonsági szempontból meghatározó jellemzőit tartalmazó elemzéseire, valamint az érzékenységi vizsgálatok alapján azon elemzésekre, ahol az elemzés eredményei érzékenyek a modell feltételezéseire.

A független elemzéseknek a következő esetekre kell kiterjedniük:

1. Az egyes kezdetiesemény-csoportokból legalább a burkolónak tekintett események elemzése, az események burkoló jellegének megvizsgálásával együtt.
2. A szokatlan, újszerű, egyedi megoldások megfelelőségét igazoló elemzések. Ide elsősorban az olyan megoldások tartoznak, amelyeket a tervező szervezeten kívül még más, független szervezet korábban nem elemzett és gyakorlati tapasztalat, kísérleti eredmény is csak korlátozottan áll rendelkezésre (tipikusan ilyenek lehetnek egyes passzív rendszerek).
3. Azon elemzések, ahol a tervezői elemzés kevés tartalékot mutat a kritériumokhoz képest. Ezek kiválasztása a gyakorlatban annak alapján

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

lehetséges, ha az egyes eredményeknek a kritériumoktól való távolsága a becsült vagy kiértékelhető bizonytalanságokkal összemérhető.

4. A független ellenőrzésre kiválasztott kezdeti eseményekhez tartozó megalapozó számítások (reaktorfizika, forrócsatorna-számítás, korrelációk megalapozása stb.), valamint a végső kritériumok vizsgálatához szükséges számítások (konténment-folyamatok, aktivitásterjedés és kibocsátás stb.).
5. Azon elemzések, ahol szokatlan, nem meggyőzően megindokolt közelítés, egyszerűsítés van a tervezői elemzésben, valamint, ha az alkalmazott elemzési modellben olyan feltételezések vannak, amelyekről erősen függ a vizsgálandó kritériumok teljesülése.
6. Azok az esetek, amelyek során a négy fizikai gát valamelyikére bizonyítják, hogy az valamely fizikai paraméter szerinti (nyomás, hőmérséklet, teljesítménysűrűség stb.) maximális terhelést elvisel.
7. Mindegy egyes biztonsági rendszerre legalább egy szcenárióra vonatkozó elemzése.

A fenti eseteken kívül, amennyiben bármilyen más okból az engedélyesnek kétségei, bizonytalanságai merülnek fel valamely tervezői elemzéssel kapcsolatban, akkor az adott probléma tisztázására elvégzi az eset független elemzését.

## 3.2. Specifikus ajánlások

### 3.2.1. *Determinisztikus biztonsági elemzések*

Jelen útmutatóban determinisztikus biztonsági elemzések alatt csak azokat az elemzéseket értjük, amelyek meghatározott kezdeti eseményeket követően kialakuló üzemzavari, baleseti folyamatok következményeinek vizsgálatát szolgálják. Ez az értelmezés szűkebb, mint az NBSZ 10. kötetének 41. definíciója, mivel abba a különböző tervezői számítások is beleérthetők.

#### 3.2.1.1. Az elemzési eszközök megválasztása

Az ellenőrző elemzéseket a tervezői szervezet által alkalmazott elemző eszközöktől eltérő eszközökkel és függetlenül felállított elemzési modellezéssel kell elvégezni. Célszerű olyan eszközöket választani, amelyeket a tervezői elemzéseknél használt eszközökhöz képest más intézményben fejlesztettek ki és validáltak.

Ha a választott kód eredeti verziója nem rendelkezik minden olyan elemmel, amely az adott erőműtípus modellezéséhez szükséges (pl. vízszintes

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

gőzfejlesztő modellezése), akkor megfelelő kódfejlesztéssel ki kell alakítani a szükséges új elemeket. Ilyenkor természetesen, az új elemekkel együtt megfelelő kiterjesztett validációt kell végrehajtani, elsősorban a rendelkezésre álló mérési eredmények felhasználásával, másodsorban más kódokkal való összehasonlítás útján.

Az eltérő eszközökkel történő ellenőrző elemzések esetén arra kell törekedni, hogy az ellenőrző számítást végző szervezet az általa elérhető legfejlettebb, legkorszerűbb eszközöket, kódokat, módszereket alkalmazza. Ilyen esetben nem az az elsődleges cél, hogy a tervező elemzésekkel azonos struktúrában, hasonló modellezési megfontolások alapján építsék fel az elemzési modellt, hanem az, hogy az ellenőrző elemzések során a független elemzést végzők által legjobbnak, legpontosabbnak és leginkább megbízhatóbbnak ítélt megoldásokat alkalmazzák a technológiáról való legjobb ismereteik szerint. Ezt az indokolja, hogy az ellenőrző elemzéseknél nem elsősorban a tervezői számítások validációja a cél, hanem annak eldöntése, hogy a vizsgált folyamat esetén teljesülnek-e az előírt, vagy elvárt kritériumok. Ilyenre lehet példa, ha a tervező heurisztikus módszereket alkalmazott (pl. illesztett korrelációt alkalmaz a hőátadás számítására, vagy heurisztikus elvek alapján határozza meg a hidraulikai ellenállását valamely részrendszernek), az ellenőrző számításoknál viszont részletesebb véges-differencia kóddal (pl. CFD) határozzák meg a szükséges paramétereket, függvényeket, korrelációkat. Az eltérő hierarchiára lehet még példa az is, ha a tervező egy dinamikus probléma modellezésére külön-külön alkalmazza a neutronfizikai és a termohidraulikai számításokat, az ellenőrzést végzők viszont csatolt neutronfizikai-termohidraulikai kódot alkalmaznak.

Az ellenőrző számítások, elemzések végzésére tehát – amennyiben erre lehetőség van – az eredeti elemzésekhez képest eltérő, független fejlesztésű kódokat, eszközöket kell használni. Amennyiben alternatív kód nem áll rendelkezésre, akkor is biztosítani kell, hogy az ellenőrzési célból felépített modell az alapvető adatokra alapozva, az eredetitől függetlenül legyen felépítve.

### 3.2.1.2. Modellépítés, verifikáció

A modellépítés megfelelő megvalósítása érdekében az első lépés az adott technológia elveinek és részleteinek kellő mélységű megismerése kell, hogy legyen, mivel ez teszi lehetővé az elemzéshez szükséges modellek felépítését. A modellépítéshez szükséges bemenő adatokat a véglegeshez legközelebb álló, az engedélyesnek rendelkezésére álló tervdokumentációkból kell származtatni. Az adatokat a determinisztikus biztonsági elemzésekre

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

vonatkozó elveknek megfelelően kell a modellbe beépíteni (pl. az adatok konzervatív értékének megválasztási módja tekintetében).

Az engedélyeztetés különböző fázisaiban az ellenőrző számításokhoz a modellépítés is eltérő lehet: míg a létesítési engedélyeztetés fázisában a tervezői alapadatokról kell kiindulni, illetve a tervezői elemzések bemenő adatainak és modellezési megoldásainak közvetlen átvétele is elfogadható; az üzemeltetési engedély iránti kérelem fázisában (VBJ) már szigorúan követni kell a független modellépítés elveit.

Az ellenőrző elemzéseket végzők az adott kódok használatában nagy gyakorlattal és tapasztalattal kell, hogy rendelkezzenek. Az ilyen szakértők megválasztása az engedélyes felelőssége.

A modell verifikációja elsősorban azt jelenti, hogy a modellben alkalmazott adatokat, közelítéseket felülvizsgálják, összevetve azokat a technológiáról rendelkezésre álló legpontosabb ismeretekkel. A modellek felülvizsgálata, verifikációja a független modellt építőktől független szakértők által is meg kell, hogy történjen.

### 3.2.1.3. A független és a tervezői elemzések eredményeinek összevetése

Az eltérő eszközökkel és eltérő modellekkel készített számítások tipikusan eltérő eredményekre vezetnek, így az eredmények összevetésének önmagában kevés jelentősége van. Az összevetést elsősorban abból a szempontból kell megtenni, hogy – míg a tervezői számítások nyilván igazolják a kritériumok teljesülését – a független elemzések megerősítik-e a kritériumok maradéktalan teljesülését. Az elemzési eredmények és a kritériumok összevetésénél figyelembe kell venni az elemzések bizonytalanságát is. Ezt legjobb becslésű elemzések esetén közvetlenül értékelik ki és alkalmazzák, míg konzervatív elemzések esetén azt kell igazolni, hogy a becsléssel meghatározott bizonytalanságokat a konzervatív feltételezések hatása bizonyosan meghaladja. A legjobb becslés elve szerinti elemzések esetén megfelelő számítási sorozatokkal – a bemenő adatok variálása mellett – a bizonytalanságot explicit módon kell kiértékelni.

Elméletben előfordulhat, hogy a független ellenőrző számítás valamely kezdeti eseményre és a hozzá tartozó kezdeti és peremfeltételekre olyan eredményt hoz, amely nem felel meg bizonyos kritériumoknak. Ha az ellenőrző számítás felülvizsgálata nem talál hibát, akkor a tervezőhöz kell fordulni és fel kell tárni az eltérés okát, és meg kell állapítani, hogy melyik számítás tekinthető hitelesnek. Szükség esetén módosítani kell a terveket és ennek megfelelően mind a tervezői elemzéseket, mind a független ellenőrző számításokat meg kell ismételni. Ezt a tevékenységet a hatósági

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

engedélyezési eljárás előtt kell elvégezni annak céljából, hogy az engedélyes olyan elemzéseket nyújtson be a hatóságnak, amelyek egyrészt bizonyítják minden kritérium teljesülését, másrészt amelyekért az engedélyes felelősséget tud vállalni.

Más esetben, ha – amellet, hogy mind a tervező, mind az ellenőrző számítások eredményei megfelelnek a kritériumoknak – a két számítás szignifikánsan eltérő eredményt adott, szükséges, hogy az eltérést az engedélyes hitelt érdemlő módon meg tudja magyarázni. Ennek érdekében az engedélyes bevonhatja az ellenőrző számításokat végző, valamint a tervezői szervezeteket és szükség szerint további szakértőket. Amennyiben valamelyik elemzés adatai vagy modellezése nem megfelelők, akkor azt az elemzést a megfelelő korrekció után meg kell ismételni. Ha a két elemzés megengedett mértékű, de lényegesen eltérő konzervativizmust használ, és az eltérés világos módon ennek a következménye, akkor az elemzéseket nem kell megismételni. Ha az eredmények eltérése az elemzések ilyen vizsgálata alapján sem magyarázható, akkor mindkét elemzési eszköz (kódrendszer) validációját felül kell vizsgálni, figyelembe véve az adott feladat körülményeit. Az elemzési eredményeket csak a szignifikáns eltérések okainak megfelelő tisztázása, valamint ha az okok tervezési hiányosságokra, vagy nem megfelelő modellezésre vezethetők vissza, akkor az okok eliminálása után lehet benyújtani a hatóságnak. A validációról és annak a számítási bizonytalanságokkal való kapcsolatáról szóló vizsgálat elvégzése különösen akkor indokolt, ha az ellenőrző elemzés kedvezőtlenebb eredményeket adott, mint a tervezői elemzés.

Előfordulhat olyan eset is, hogy az ellenőrző számítás kedvezőbb eredményt, azaz szignifikánsan nagyobb tartalékot mutat a fontos kritériumokkal szemben. Ha ilyen esetben a vizsgálatok rámutatnak, hogy a tervező erősebben konzervatív feltételezéseket tett az ellenőrző számításhoz képest, akkor mindkét eredmény elfogadható, és úgy lehet tekinteni, hogy azok megerősítik egymást. Általánosságban tehát ha szignifikáns eltérés van a tervezői és az ellenőrző számítások eredményei között, akkor annak okait fel kell tárni és a vizsgálat eredményeit is meg kell osztani a hatósággal.

**3.2.1.4. Az EBJ-vel együtt benyújtandó független determinisztikus elemzések**

A létesítési engedély iránti kérelemmel beadandó EBJ-ben lévő tervezői elemzések a megépíteni szándékozott erőműnek az adott fázisban rendelkezésre álló terveire vonatkoznak, amelyek az erőmű típustervéből kiindulva figyelembe veszik a konkrét telephelyi jellemzőket és a magyar hatósági követelményeket. Ugyanakkor a tervek bizonyos részletei még



**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

feltehetően nincsenek kidolgozva. Az ebben a fázisban elvégzendő ellenőrző számításokra egyrészt csak korlátozott időszak áll rendelkezésre, másrészt az általános típusú biztonság szempontjából való megfelelő voltára a benyújtott elemzéseken túl az NBSZ által megkívánt referenciák bemutatása is garanciát jelent. Így elfogadható, hogy ebben a fázisban az engedélyes csak a legfontosabb, illetve a potenciálisan problematikus esetekre végeztesse ellenőrző elemzéseket. A részletes tervek hiányában és a rendelkezésre álló korlátozott időtartam miatt elfogadható, ha egyes ellenőrző elemzések lényegében a tervezői elemzések bemenő adataiból indulnak ki. A 3.1.2. fejezetben leírt kiválasztási szempontok közül ebben a fázisban elsősorban a 2., 5. és a 7. szempontokat kell alkalmazni. Engedményeket lehet tenni az 1., 3. és 6. szempontokat illetően, valamint – megfelelő indoklások mellett – egyes esetekben el lehet tekinteni az elvégzett elemzésekhez tartozó megalapozó számítások (4. szempont) teljes megismétlésétől, azaz egyes bemenő adatok független meghatározásától.

Természetesen az engedélyes dönthet úgy, hogy minden kezdetiesemény-csoportból a burkolónak tekintett esemény független elemzését elvégezteti (3.1.2 fejezet 1. szempont), de ha felmerülnek olyan esetek, amelyek a 2. vagy az 5. szempontnak megfelelnek, akkor azok független elemzése kiemelten fontos.

#### 3.2.1.5. Az EVBJ-vel és VBJ-vel együtt benyújtandó független determinisztikus elemzések

Amennyiben a létesítési engedélyeztetés folyamán a különböző determinisztikus biztonsági elemzéstípusok mindegyikéből történt elemzés, akkor az engedélyes lényegében már akkor kiépítette a teljes elemző kapacitást bármilyen elemzés elvégzésére. Tehát az elemző csoportok már létrehozták az erőművi blokk elemzéséhez szükséges összes modellt az alkalmazott elemző eszközöknek, kódoknak megfelelően és ezekkel el is végezték a legfontosabb elemzési feladatokat. Amennyiben ez nem volt még teljes, akkor a létesítés folyamatával párhuzamosan teljessé kell tenni a biztonsági elemzések összes típusához szükséges emberi és eszközkapacitást és létre kell hozni a szükséges elemzési modelleket. Az erőmű engedélyeztetési folyamatában az üzembe helyezési engedély iránti kérelem beadásáig el kell érni, hogy a 3.1.2. fejezetben leírt összes szempontnak megfelelően megvalósuljanak a szükséges ellenőrző biztonsági elemzések. Szintén lényeges, hogy ebben a fázisban már minden ellenőrző elemzés részleteiben is feleljen meg a részletes, megvalósult terveknek és az elemzők a modelleket a tervezői elemzésektől függetlenül építsék fel.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

Az engedélyes érdeke, hogy ezt az elemzési kapacitást fenntartsa és fejlessze a létesítési időszak folyamán, annak érdekében, hogy az üzembe helyezési, illetve az üzemeltetési engedélykérelem benyújtását megelőzően már bármilyen típusú ellenőrző elemzési számítást el tudjon végezteni. Mindez azért fontos, mert a létesítés során jelentős esélye van annak, hogy lényeges módosítások történjenek az eredeti tervekhez képest, illetve, hogy a részletes tervezés során újabb problémák, bizonytalanságok, tisztázandó kérdések merülnek fel. Ilyen esetekben fontos, hogy a megfelelő ellenőrző számítások is elkészüljenek.

A fentiekkel összhangban, ebben a fázisban elvégzendő ellenőrző elemzések kiválasztásánál tekintettel kell lenni az alábbi követelményekre is:

*3a.2.3.0700. „A tervezési alapot, a tervezési alap kiterjesztését és ezek igazolását a tervezés lezárásakor, valamint az atomerőmű teljes élettartama során, rendszeres időközönként, továbbá lényeges új hazai vagy nemzetközi biztonsági információk felmerülése esetén felül kell vizsgálni, és szükség esetén módosításokat kell végrehajtani a determinisztikus és valószínűségi számítások eredményei, illetve mérnöki megfontolások alapján. Az azonosított hiányosságokat értékelni kell, és időben meg kell tenni a szükséges intézkedéseket.”*

*3a.2.3.0800. „A felülvizsgálat során figyelembe kell venni:*

*a) az atomerőművi blokkot vagy a működését érintő változásokat a tervezés vagy a megvalósulás fázisában, és működése során;*

*b) bármely a biztonságot szignifikáns módon befolyásoló, érintő új műszaki és tudományos ismeretet az atomerőművi blokk viselkedéséről és a hibalehetőségekről;*

*c) bármely olyan anyagi tulajdonság megváltozását öregedés vagy más hatás miatt, amelyet nem vettek figyelembe;*

*d) a biztonsági szabványok nemzetközi fejlődését; valamint*

*e) jelentős, új hazai vagy nemzetközi biztonsági információ felmerülését.”*

Lényeges, hogy a VBJ számára készített ellenőrző elemzések minden változást vegyenek figyelembe, ami az eredeti tervekhez képest kialakult az üzembe helyezést megelőzően, illetve annak folyamán. Az üzembe helyezési mérések és tesztek számos tervezői paramétert pontosíthatnak (pl. térfogatok, válaszdők, hozamok stb.), ilyen esetben célszerű a névleges tervezői paraméterek helyett a tényleges mért értékeket figyelembe venni. Természetesen a mérések hibájára is tekintettel kell lenni, és a

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

hibatartománynak megfelelően a legkedvezőtlenebb értékeket kell alkalmazni az elemzések során.

A fentieknek megfelelően az EVBJ fázisáig (az üzembe helyezési engedély iránti kérelem benyújtásáig) már a 3.1.2. fejezet szerint kiválasztott összes ellenőrző elemzésnek el kell készülnie, figyelembe véve a részletes tervezés és a létesítés során bevezetett módosításokat, pontosításokat is. Ennek érdekében a korábbi számításoknál még hiányzó modelleket ki kell alakítani, ha szükséges megfelelő kódfejlesztés alkalmazásával. Szintén alapvető, hogy a modellek és az elemzési eszközök validációját is teljessé kell tenni.

A VBJ lezárásának fázisáig (az üzemeltetési engedély iránti kérelem beadásáig) az előző engedélyezési fázisban már teljessé tett ellenőrző számítási csomagot csak annyiban kell módosítani, kiegészíteni, amennyiben ezt az üzembe helyezési mérések eredményei indokolják, illetve az esetlegesen ezen eredmények alapján bevezetett módosítások, átalakítások szükségessé teszik.

Összefoglalva, az EVBJ/VBJ fázisában:

- a) Az engedélyes végeztesse el azokat az elemzéseket és a hozzájuk tartozó megalapozó számításokat, amelyek megfelelnek a 3.1.2. fejezetben leírt szempontok bármelyikének. Lehetőleg a megalapozó számítások összes típusa szerepeljen az ellenőrző számítások között (például: reaktorfizikai sokcsoport, spektrális és Monte-Carlo számítások, reaktorfizikai keretparaméterek meghatározása, szubcsatorna-számítások, CFD modellezés keveredésre, hőátadásra stb.). A tervezői megalapozó számítások és az ellenőrző számítások eredményei közötti szignifikáns eltérések további szempontokat adhatnak a tényleges elemzések kiválasztására.
- b) A [2] dokumentum 7. fejezetében leírt determinisztikus biztonsági elemzéstípusok mindegyikéből legyen néhány speciális eset kiválasztva, elsősorban olyanok, amelyek megfelelnek a 3.1.2. fejezetben bemutatott valamelyik szempontnak. A fő elemzési típusokon belül még több fontos kategória különböztethető meg, amelyeket a [2] és [3] útmutatók részleteznek. Lehetőség szerint ezeket a kategóriákat is fedje le az ellenőrző elemzések csomagja. Ahol az a) pont szerinti megalapozó számítások szignifikáns eltérést eredményeztek a tervezői számításokhoz képest, ott az ezekre támaszkodó elemzések is szerepeljenek a csomagban, természetesen a módosított adatok felhasználásával.
- c) Az ellenőrző elemzések – legkésőbb ebben a fázisban – terjedjenek ki a tervezési alap (TA2-4) keretein túl a tervezési alap kiterjesztésére (TAK1-2).

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

A TAK1 folyamatok közül külön kiemelten kell foglalkozni az ATWS folyamatokkal, a primer-szekunder átfolyással vagy más by-pass helyzettel kapcsolatos komplex esetekkel, valamint a teljes feszültségvesztés eseteivel.

A súlyos balesetekkel kapcsolatban kiemelendők az olyan helyzetek elkerülését bizonyító elemzések determinisztikus elemei, amelyeket a tervező gyakorlatilag kizárhatónak minősít, azaz annak megalapozásáról, hogy ezek a folyamatok egyáltalán nem, vagy csak rendkívül alacsony valószínűséggel alakulhatnak és ezért fogadható el, hogy az ilyen helyzetekre nincs megtervezett kezelési mód (pl. a nagynyomású zónaolvadási folyamatok és a gőzrobbanással járó tartályátolvadás).

### 3.2.1.6. Dokumentálás

Az ellenőrző elemzések dokumentálására az általános elvek és előírások érvényesek, tekintet nélkül arra, hogy a számítások az engedélyezési folyamat melyik fázisában készültek.

A determinisztikus biztonsági elemzések dokumentálása több szinten kell, hogy megvalósuljon. A [2] útmutató 4-6. fejezeteiben részletes információkkal szolgál a dokumentálás módjáról és elvárásairól, amelyeket kiegészít az [1] útmutató 3.3.1.2. fejezete. Ezek alapján a dokumentálás ki kell, hogy terjedjen a kódok és a modellek, továbbá az elemzési módszerek és eredmények dokumentálására. A modellek és a felhasznált adatok dokumentálása lehetővé kell, hogy tegye a részletes felülvizsgálatot, beleértve az elemzések esetleges megismétlését. Az eszközök tekintetében elvárt a korszerű digitális technológiák alkalmazása, beleértve a szükséges hivatkozásokat.

A hatóság szempontjából a legfontosabb dokumentumot a biztonsági jelentések (EBJ, EVBJ és VBJ) jelentik, amelyekhez háttéranyagok formájában kapcsolódnak a részletes dokumentációk. A biztonsági jelentések tartalmi és formai követelményeiről az [5] útmutató rögzíti a legfontosabb részleteket. Ennek megfelelően a determinisztikus biztonsági elemzések eredményeit a biztonsági jelentések 15. fejezete tartalmazza és minden egyes esetről csak egyetlen elemzés eredményeit mutatja be. Az engedélyes a független ellenőrző számítások eredményeit és az azokból levont következtetéseket az érintett beadványok különálló mellékleteként nyújtja be a hatóságnak. Hasonlóan, mint a VBJ-ben a tervezői elemzésekre vonatkozó háttéranyagokra, a hatóság számára készített független elemzéseket ismertető dokumentációban is a független ellenőrző számításokra vonatkozó

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

részletes háttéranyagokra hivatkozni szükséges. A hatóság a beadvány felülvizsgálata során bekérheti ezeket a háttéranyagokat is.

### 3.2.2. Valószínűségi biztonsági elemzések

Az NBSZ 3a.2.3.0200. pontja szerint el kell végezni a tervek biztonsági szempontból meghatározó jellemzőit tartalmazó elemzések független ellenőrzését eltérő számítási módszerekkel is. Ebből következően a tervezési alapba és a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó üzemállapotokra vonatkozó elemzéseket független ellenőrzésnek kell alávetni. A valószínűségi biztonsági elemzések esetében azonban ez a követelmény nehezen értelmezhető, ezért a valószínűségi biztonsági elemzések esetében jó gyakorlatnak tekinthető, ha az engedélyes arra törekszik, hogy a létesítési folyamattal párhuzamosan az összes valószínűségi biztonsági elemzést független eszközökkel és a tervezőtől független elemzői csoporttal elvégeztesse, és az eredményeket megossza a hatósággal az üzemeltetési engedély iránti kérelem benyújtásáig.

#### 3.2.2.1. A PSA elemzésekhez szükséges független determinisztikus elemzések

A PSA elemzések során determinisztikus elemzésekkel kell a PSA elemzések információ igényét kielégíteni. Ezeknek az elemzéseknek négy nagy csoportja van:

1. az 1. szintű PSA elemzések eseményláncaihoz tartozó sikerkritériumok meghatározásához szükséges determinisztikus elemzések,
2. a belső veszélyek PSA-ban, mint a tűz és elárasztás, a terjedési folyamatok szimulációja,
3. a 2. szintű PSA-hoz tartozó súlyos baleseti elemzések,
4. valamint a külső veszélyek és a földrengés PSA-ban az egyes rendszerelemek és szerkezetek sérülékenységének meghatározására szolgáló számítások.

Ezek mind olyan elemzések, amelyek a biztonság igazolásában alapvető szerepet játszanak, mivel ezekre épül az erőmű logikai modellje. Ezek nélkül nem lehet hihetően igazolni, hogy a súlyos következmények gyakorisága alacsony.

Mivel ezek az elemzések alapvetően befolyásolják a PSA elemzések eredményeit, és az ezekből az elemzésekből levont következtetéseknek robusztusnak, hihetőnek kell lenniük, mindegyik determinisztikus elemzési csoport esetében a szükséges terjedelemben kell elvégezni az ellenőrző determinisztikus elemzéseket.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

Általános ajánlás, hogy a PSA elemzéseket támogató determinisztikus elemzések körének meghatározása során törekedni kell arra, hogy a bizonytalanabb, egyszerű mérnöki megfontolásokkal nem meghatározható esetekben kell ilyen elemzéseket elvégezni és ezeket az elemzéseket kell független módszerekkel megismételni.

*Az 1. szintű PSA elemzések determinisztikus elemzési köre*

*Eseménylánc specifikus sikerkritériumok meghatározása*

*3a.2.3.2300. „A rendszerek és emberi beavatkozások sikerkritériumainak meghatározására vonatkozó elemzésekben a legjobb becslés módszereit kell alkalmazni. Ahol a legjobb becslés módszere nem alkalmazható, ott a feltételezések konzervativizmusa miatti torzító hatást értékelni kell.”*

Az eseménylánc specifikus sikerkritériumok meghatározásához el kell végezni az olyan determinisztikus elemzéseket, amelyek alapján meghatározható az, hogy az egyes biztonsági funkciók ellátásához mely rendszerek működése szükséges. Ahhoz, hogy ezeket meghatározzák, szükség van arra, hogy a determinisztikus elemzések specifikációját úgy fogalmazzák meg, hogy az alapján a lehető legkevesebb elemzés elvégzésével meg lehessen adni a választ.

Az első sikeresen végződő eseménylánc esetében elégséges lehet a kezdeti eseményhez tartozó tervezési baleseti elemzéseket felhasználni, mert ezek igazolják a sikeres végállapot kialakulását a tervezett rendszerek működésével. Bár ezeket a determinisztikus elemzéseket konzervatív feltételezésekkel, modellekkel és kezdeti, valamint határfeltételekkel kell elvégezni, az első sikerhez vezető eseménylánc esetében megfelelő információt ad arról, hogy milyen rendszerek működésével végződik biztonságos állapottal az eseménylánc.

A többi eseménylánc esetében mindig azt kell vizsgálni, hogy mi vezethet sikeres biztonságos végállapothoz. Az elemzésekhez azonban ezeknél már a legjobb közelítésű modellekkel, kezdeti és határfeltételekkel kell végezni az elemzést.

Minden olyan esetben, amikor az elemzések ugyanarra a sikerkritérium meghatározásra vonatkoznak, ellenőrző számításokat kell végezni.

Az elképzelhető, hogy az ellenőrző számítások nem ugyanazokat az eseménylánccokat fogják elemezni, mint a tervezési elemzések, mivel a független elemzők más szempontokat is alkalmazhatnak a csoportosítási kritériumok meghatározásakor. Ez azt is jelenti, hogy a kezdeti esemény csoportot burkoló elemzés nem feltétlenül ugyanúgy felépített eseményfával

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

lesz modellezve, mint a tervezési elemzésben. Ez nem jelenti azt, hogy a sikerkritériumok meghatározásához más módszert kell alkalmazni. Ellenkezőleg, ugyanazt az általános megközelítést kell követni, mint az az előzőekben le van írva.

A sikerkritériumok meghatározásának támogatására alkalmazott ellenőrző termohidraulikai elemzéseknek ki kell terjedniük azokra az eseményláncokra is, amelyek esetleg a tervezési elemzésekben nem szerepelnek, mert a modell más szempontok alapján állt össze, és a sikerkritériumokat nem lehet egyszerű mérnöki megfontolások alapján meghatározni.

*Tűzterjedési folyamatok modellezése*

A tűz-PSA-ban a belső tüzek elemzése során bizonyos esetekben el kell végezni a részletes tűzterjedés szimulációját. A részletes tűzterjedés-elemzésre kijelölt erőművi helyiségekkel kapcsolatban elvárható, hogy a tervezési elemzések és az ellenőrző elemzések által beazonosított helyiségek megegyezzenek. Ezt azzal lehet magyarázni, hogy szigorúan követve a tűz-PSA útmutatókat (pl. [8]) ehhez a ponthoz egy sor szűrővizsgálaton keresztül lehet eljutni, amelyek célja a részletes elemzésre kijelölt helyiségek és tűzesemények meghatározása.

A részletes tűzterjedés-elemzést két, egymástól lényegében különböző módszerrel lehet elvégezni. Az egyik módszer a CFD kóddal való modellezés és számítás, míg a másik esetében az egyszerűbbnek tűnő két- vagy többzónás kóddal való modellezés és számítás a lehetséges megközelítés. Mindkettő esetében több számítógépes kód áll rendelkezésre.

A CFD kódokkal való számítások várhatóan finomabb felbontású eredményeket produkálnak, de drasztikusan hosszabb számítási idővel, mint a többzónás számítások. Ezért minden elemzendő esetben meg kell gondolni, hogy melyik módszer alkalmazása célszerű. Ha a tűz által okozott sérülés pontos helyére és időpontjára van szükség, akkor a szükséges felbontású CFD számítást kell alkalmazni. Ha ilyen pontosságra nincs szükség, akkor alkalmazható a többzónás számítás, de a durvább felbontású CFD számítás is.

Azokra az esetekre, amelyekre szükséges a tűzterjedési vizsgálatok elvégzése, a terjedési számításokat teljes egészében el kell végezni az ellenőrző elemzések során. Ugyanakkor törekedni kell arra, hogy a tervezési elemzésekben alkalmazott megközelítéstől eltérő megközelítést alkalmazzanak.

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

### *Berendezések és szerkezetek földrengés sérülékenységének modellezése*

A földrengés PSA-ban az egyes berendezések és épületszerkezetek földrengéssel szembeni sérülékenységének a meghatározásához szükség van olyan szilárdságtani számítások elvégzésére, amelyek alapján elő lehet állítani a vonatkozó sérülési valószínűség görbéket a földrengés-intenzitás függvényében. Ehhez nem elégséges a méretezési számítások eredményeinek a felhasználása, el kell végezni a berendezések és szerkezetek földrengés sérülékenységének a modellezését az ellenőrző elemzésekhez is.

#### *A 2. szintű PSA elemzések determinisztikus elemzési köre*

A 2. szintű PSA elemzések nagy része a súlyos baleseti folyamatok determinisztikus elemzéséből áll.

A következő elemzésekhez kell ellenőrző számításokat elvégezni:

- a) A reaktoron belüli fűtőelem sérülési folyamatok modellezése
- b) A konténment és konténment rendszerek működésének és sérülésének a modellezése
- c) A hasadási termékek és egyéb radioaktív anyagok konténmenten belüli terjedésének és eloszlásváltozásának a modellezése
- d) A kibocsátási forrástagok elemzése

Ezekhez az elemzésekhez olyan determinisztikus szimulációs kódokat használnak, amelyek képesek a súlyos baleseti folyamatok komplex, integrált modellezésére. A számításokhoz a legjobb becslés módszerét kell alkalmazni mind a kezdeti és határfeltételek, mind a számítási algoritmusok, és korrelációk kiválasztása terén.

#### **3.2.2.2. A PSA elemzésekhez szükséges független determinisztikus elemzések tartalmi jellemzői**

A PSA elemzésekhez szükséges független determinisztikus elemzések tartalmi jellemzőivel kapcsolatban nem kell különbséget tenni a tervezési és az ellenőrző elemzések között. A lényeges szempont az, hogy az elvégzett számítások, szimulációk alkalmasak legyenek arra, hogy az elemzések célját kiszolgálják, tehát választ adjanak, vagy következtetni lehessen arra, amire ezeket az elemzéseket szánták. Az ilyen elemzésekkel kapcsolatos tartalmi jellemzőkre vonatkozó ajánlásokat a [6], [2] és [3]-ban lehet megtalálni.



**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

---

### 3.2.2.3. A független PSA elemzések terjedelme és tartalmi jellemzői

A független PSA elemzések tartalmi követelményei azonosak a tervezési elemzésekével. Ezekkel kapcsolatosan útmutatást a [6]-ban lehet találni.

A terjedelem attól függően, hogy a PSA melyik biztonsági jelentés része, lehet szűkített, vagy teljes körű.

Ez a fejezet elsősorban az egyes PSA feladatok során alkalmazható, a tervezési elemzésekben alkalmazottól eltérő módszerekkel foglalkozik.

#### 1. szintű PSA elemzések

A biztonsági jelentésekben az 1. szintű PSA elemzések esetében a következő számszerű eredményeket kell elvárni:

- a) Zónakárosodási gyakoriság, vagy a zónakárosodás éves valószínűsége
- b) Zónakárosodási gyakoriság, külön a teljes teljesítményre és az alacsony teljesítmény vagy leállási üzemre,
- c) Zónakárosodási gyakoriság, külön a belső eredetű kezdeti eseményekre, a belső veszélyekre és a külső veszélyekre,
- d) A maradványhő végső hőelnyelőbe való hőelvitel elvesztésének a gyakorisága,
- e) A zónakárosodási gyakoriság bizonytalansága az összes elemzett esetben,
- f) A teljesítményüzemben a baleseti eseményláncok kockázati hozzájárulása,
- g) Az egyes erőművi üzemi állapotokban a baleseti eseményláncok kockázati hozzájárulása
- h) Az összes erőművi üzemi állapotban a kezdeti események kockázati hozzájárulása,
- i) Az egyes PSA-ban elemzett erőművi rendszerek kockázati hozzájárulása,
- j) A fontossági számítások eredményei,
- k) Az érzékenységi elemzések eredményei különös tekintettel az eredmények feltételezésekre való érzékenységre,
- l) Következtetések az NBSZ különböző fejezeteiben meghatározott valószínűségi biztonsági kritériumainak és céljainak való megfelelésre vonatkozóan.

Az ellenőrző elemzéseknek ugyanezeket az eredményeket kell produkálniuk.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján****Belső események elemzése**

A belső események PSA modelljei képezik az alapot az 1. szintű PSA-k számára. Ezek a modellek tartalmazzák az erőművi rendszerek logikai modelljeit, és a modell elemekhez tartozó valószínűségi adatokat. Az alábbiak tartalmazzák az egyes PSA részfeladatok fontosabb jellemzőit és a lehetséges alternatív megoldási módszereket. Általános útmutatás az elemzések részleteivel kapcsolatban a [6]-ban található, és az ellenőrző elemzéseket alapvetően ennek az útmutatónak megfelelően kell elvégezni.

**Belső veszélyek elemzése**

A Biztonsági Jelentéshez készülő belsőveszély-elemzések során a szóba jöhető veszélyek teljes körét meg kell vizsgálni, és be kell mutatni az elemzés teljességét.

**Külső veszélyek elemzése**

Hasonlóan a belső veszélyek elemzéséhez a Biztonsági Jelentéshez készülő külsőveszély-elemzések során a szóba jöhető veszélyek teljes körét meg kell vizsgálni, és be kell mutatni az elemzés teljességét.

**2. szintű PSA elemzések**

A biztonsági jelentésekben a 2. szintű PSA elemzések esetében a belső eseményekből, a belső és a külső veszélyekből kiindulva a következő számszerű eredményeket kell elvárni:

- a) Nagy kibocsátás gyakorisága, az összes elemzett erőművi üzemállapotra és az összes kezdeti eseményre összegezve, beleértve a belső és külső veszélyek elemzéseit is.
- b) A nagykibocsátás-gyakoriság bizonytalansága az összes elemzett esetre.
- c) Az 1. és 2. szintű PSA-k kapcsolódási felületének (interfészének) az eredményei az erőművi sérülési állapotok bemutatásával.
- d) A konténmentviselkedés elemzéseinek az eredményei.
- e) Az egyes kibocsátási kategóriák gyakoriság elemzésének az eredményei.
- f) Következtetések az NBSZ különböző fejezeteiben meghatározott valószínűségi biztonsági kritériumainak és céljainak való megfelelésre vonatkozóan.

Az ellenőrző elemzéseknek ezeket az eredményeket teljes terjedelemben produkálniuk kell.

## Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

### *Bizonytalansági, érzékenységi és fontossági vizsgálatok*

Az NBSZ 3a.2.3.2000. „A valószínűségi biztonsági elemzés keretében a bizonytalansági és érzékenységi vizsgálatokat is el kell végezni, és minden alkalmazásnál tekintettel kell lenni azok eredményére.” követelménye alapján el kell végezni ezeket az elemzéseket és az ellenőrző elemzéseket pedig a következők szerint.

#### Bizonytalansági elemzés

A PSA elemzések során részletes bizonytalansági elemzést kell végezni a következő bizonytalansági típusok elemzésével:

- a) az események véletlenszerűségéből és az ismeretek korlátosságából adódó ún. aleatorikus paraméterbizonytalanság,
- b) modellezés helytállóságából, valósághűségének mértékéből adódó ún. episztemikus bizonytalanság, tekintettel az elemzési feltételekre és a modell pontosságára,
- c) az ismeretek és a terjedelem korlátossága miatti esetleges modellbeli hiányosságokból származó episztemikus bizonytalanság.

Ezeket a bizonytalansági típusokat az 1. és a 2. szintű PSA-ban is meg kell határozni. Az ellenőrző elemzések tekintetében elégséges az útmutató szerinti elemzés.

#### Érzékenységi vizsgálatok

Az érzékenységi vizsgálatok elsősorban azoknak a tényezőknek a meghatározására irányulnak, amelyek változására a számszerű eredmények érzékenyen reagálnak. Ennek során el kell végezni a numerikus érzékenységi vizsgálatokat a báziseseményekre, alkalmazott valószínűségi paraméterekre, és egyes bázisesemény csoportokra, annak érdekében, hogy az eredmények érzékenysége ezekre a tényezőkre értékelhető legyen.

Elemezni kell az egyes feltételezésekre való érzékenységet is, hogy értékelhető legyen a feltételezések hozzájárulása és az eredményekben való szerepe.

#### Fontossági elemzés

A fontosságelemzés a zónasérülésben, ill. a nagy kibocsátásban szerepet játszó különböző tényezők fontossági sorrendbe állítására irányul. Azt határozza meg, hogy azt adott tényezőnek mekkora a hozzájárulása az eredményekhez. Az eredmények értékelésének egyik leghasznosabb eszköze a fontossági elemzés. A tervezési elemzésekkel való összehasonlításhoz is alkalmas információval szolgál. A [6] útmutató követésével elvégzett

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

fontossági elemzés elégséges a függetlenség biztosítására, nincs szükség más módszerek alkalmazására.

**3.2.2.4. Dokumentálás**

Az ellenőrző elemzéseként elvégzett PSA elemzések dokumentálásával kapcsolatban a követelmények azonosak a tervezési elemzések dokumentációjának a követelményeivel.

**3.2.2.5. Az EBJ-vel együtt benyújtandó független PSA elemzések**

Jelen útmutatónak a 3.2.2.1.-3.2.2.4. fejezetei a teljes körű PSA ellenőrző elemzéseivel kapcsolatos ajánlásokat írták le.

Az EBJ benyújtásának idején még nem ismertek azok a részletek, amelyek szükségesek pl. a részletes tűz-PSA elvégzéséhez, vagy bizonyos konténmenten belüli terjedési vizsgálatokhoz. Ezért a hatósághoz az EBJ-vel együtt benyújtandó független PSA elemzések esetében egy szűk körű, csökkentett terjedelmű és mélységű elemzés is elfogadható, azzal a feltétellel, hogy olyan erőművi elemek modelljeit is tartalmazza, amelyek jellemzően csak az új atomerőműre vonatkoznak. Ilyen lehet pl. a passzív gőzfejlesztő hőelviteli rendszer modellje, vagy a konténment rendszerek esetén a zónaolvadék csapda és biztonságos hűtésének a modellje. Az elemzések mélységét csak az elemzések elvégzéséhez szükséges, rendelkezésre álló információk mennyiségi korlátai befolyásolhatják.

**3.2.2.6. Az EVBJ-vel együtt benyújtandó dokumentumok**

Az EVBJ-vel együtt benyújtandó PSA elemzésekre vonatkozó ajánlást ennek az útmutatónak az 3.2.2.1.-3.2.2.4. fejezetei tartalmazzák.

Az EVBJ benyújtásának idején az üzembe helyezés előtt a megvalósított erőműről a teljes körű PSA-hoz szükséges információ nagy többségében rendelkezésre fog állni. A teljes körben elvégzett ellenőrző PSA elemzésektől elvárható, hogy az már tartalmazza az összes kezdeti eseményre vonatkozó modellt:

- a) a belső események,
- b) a belső veszélyek és
- c) a külső veszélyek modelljeit.

Az erőművi üzemállapotokra vonatkozó modellek tekintetében a leállási időszakra a szállító által javasolt karbantartási és átrakási gyakorlatot kell modellezni. Tehát a fent említett kezdeti eseményekre a szállító által javasolt

### Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján

---

üzemállapotokkal készült 1. és 2. szintű PSA eredményeit kell összeállítani. Ajánlott tehát a teljes körben elvégzett ellenőrző PSA elemzés kidolgozása.

#### 3.2.2.7. A VBJ-vel együtt benyújtandó független PSA elemzések

A VBJ-vel együtt benyújtandó PSA elemzésekben az üzembe helyezés során keletkezett új információval frissíteni kell az EVBJ-hez készült ellenőrző PSA elemzéseket. Ez azért is fontos, mert a későbbiekben a teljes körű PSA elemzések gazdája az engedélyes kell, hogy legyen, így biztosítható az üzemeltetés idején az, hogy a kockázatszempontról biztonsággal összefüggő döntésekhez nem kell a szállítóhoz fordulni támogatásért.

#### 3.2.2.8. Az egyes elemzések eredményeinek elfogadási kritériumai

Az engedélyesnek a tervezési és ellenőrző elemzések során a továbbiakban leírt szempontok szerinti összehasonlító vizsgálatot kell végeznie.

A PSA-t támogató tervezési és az ellenőrző determinisztikus elemzések eredményeit össze kell hasonlítani, amennyiben ugyanarra az elemre, sikerkritériumra, súlyos baleseti folyamatra, vagy rendszerem, épületszerkezet sérülékenységére vonatkoznak.

A PSA-t támogató determinisztikus elemzések összehasonlító vizsgálata során a jelen Útmutató 3.2.1.3. fejezetében leírtak szerint kell eljárni.

Össze kell hasonlítani az egyes PSA-k tervezési és a független változatainak az eredményeit, és az alapján következtetést lehet levonni a különbözőségek okaival kapcsolatban. A feltételezések érzékenységvizsgálata segíthet abban, hogy a feltételezések különbözőségét, vagy PSA eredményekben való szerepét meg lehessen határozni.

Az összehasonlító vizsgálatok eredményeit tekintve a következő három eset képzelhető el:

- a) Amennyiben tervezési és ellenőrzési PSA elemzés numerikus eredményei közelítőleg egyeznek, az elfogadhatóságot az egyes kockázati összetevők vizsgálata alapján lehet eldönteni. Nem fogadható el lényeges különbség a tervezési és az ellenőrző elemzések között az összetevők kockázatban betöltött részarányait tekintve.
- b) Ha a tervezési és ellenőrzési PSA elemzés eredményei különböznek, de az elfogadási kritériumok teljesülnek, lényeges numerikus különbség elfogadható azzal a feltétellel, ha mindkét elemzés azt mutatja, hogy a hatósági korlátok nem sérülnek, és a végeredmények legfontosabb összetevőinek a listája nem különbözik lényegesen.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

---

- c) Ha tervezési és ellenőrzési PSA elemzés eredményei különböznek, és az ellenőrzési PSA elemzés eredményei esetén az elfogadási kritériumok nem teljesülnek, akkor meg kell részleteiben vizsgálni, hogy mik azok az okok, ami miatt az ilyen lényeges különbségek adódnak.

A logikai modelleknek elvileg azonosnak, vagy hasonlóknak kell lenniük. Ebből következik, hogy az egyes rendszermodellek részeredményektől is elvárható a hasonlóság. Azonban a PSA végeredmények lényegesen különbözhetnek egymástól.

A valószínűségi adatok esetében lehetnek eltérések, de nem fogadhatók el a nagyságrendi különbségek. Ha ilyen van, akkor meg kell találni a különbözőségeket okait.

Az elemzések során alkalmazott feltételezéseket befolyásolhatja a rendelkezésre álló műszaki információ. Ez azonban nem okozhat a tervezési és ellenőrző elemzések során alkalmazott feltételezések között olyan mértékű különbséget, amely miatt az elemzések eredményei a c) esetben foglalt különbözőséget jelentsék. Elvileg a Biztonsági Jelentésben és mellékleteiben leírt műszaki információnak elégségesnek kell lennie az elemzések információigényének kielégítésére.

**Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel végzett független elemzések alapján**

---

## **4. HIVATKOZÁSOK**

- [1] N3a.12. sz. útmutató: Általános tervezési elvek új atomerőművek és rendszereinek tervezéséhez, 2015. október, Országos Atomenergia Hivatal
- [2] N3a.32. sz. útmutató: Új atomerőműre vonatkozó determinisztikus biztonsági elemzések, 2015. október, Országos Atomenergia Hivatal
- [3] N3a.33. sz. útmutató: Súlyos balesetek determinisztikus alapú biztonsági elemzései, 2015. október, Országos Atomenergia Hivatal
- [4] Safety Assessment for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards, GSR Part 4 (Rev. 1) IAEA Vienna, 2016
- [5] N3a.34. sz. útmutató: Új atomerőművek biztonsági jelentései, 2015. október, Országos Atomenergia Hivatal
- [6] N3a.11. sz. útmutató: Új atomerőműre vonatkozó valószínűségi alapú biztonsági elemzések, 2015. október, Országos Atomenergia Hivatal
- [7] Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, NAÜ SSG-3 biztonsági útmutató
- [8] EPRI/NRC-RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities NUREG/CR-6850, EPRI 1011989, tűz-PSA útmutató több kötetben