

# PSA alkalmazások – ábránd vagy valóság?

*Holló Előd*

VEIKI Villamosenergiaipari Kutatóintézet Zrt.

1016 Budapest, Gellérthegy u. 17. Tel.: +361 457 82 52

Az elmúlt években a valószínűségi biztonsági elemzések (PSA - Probabilistic Safety Assessment) egyre inkább szerephez jutottak az atomerőművek biztonsági színvonalának megítélésében. Az alapelemzések a paksi atomerőműre is elkészültek, lehetőséget teremtve mind az atomerőművi üzemvitel, mind a hatósági tevékenységek egyes részfeladatainak támogatására.

A PSA módszerek felhasználhatóságának megítélése eléggé ellentmondásos: egyesek túlzott elvárásokat támasztanak velük szemben, mások szkeptikusan tekintenek rájuk az eredményekben rejlő bizonytalanságok miatt.

Jelen cikk áttekinti a PSA alkalmazások potenciális területeit, hazai helyzetét és fejlődési irányait.

## Kételyek

A valószínűségi alapú biztonsági elemzések különböző célú felhasználásának előfeltétele, hogy egyrészt a megfelelő alapelemzések (modellek, adatok és eredmények) rendelkezésre álljanak, másrészt a hatósági szabályozások lehetőséget teremtsenek azok használatára. Mindkét területen – az alapelemzéseket és felhasználásuk szabályozását érintően – az elmúlt években mind nemzetközi szinten, mind hazai vonatkozásban jelentős fejlődés érzékelhető, amely az alkalmazások megalapozottságát vitató kételyek eloszlásához nagymértékben hozzájárul. Melyek a leggyakoribb kételyek?

**A PSA alapelemzések** módszertana és készültségi állapota rövid történelmi múlttal rendelkezik, hiszen az első komplex elemzést 1975-ben hozták nyilvánosságra (Rasmussen jelentés, [1]). A biztonság megítéléséhez a valószínűségi alapú megközelítés létjogosultságát általában az alábbi kérdések felvetésével vitatják:

– Az elemzések terjedelme elegendően széles körű-e?

A terjedelem teljességi mértéke három szempontból értékelhető:

- Melyek a vizsgált veszélyforrások, azaz tartalmazzák-e a technológiai eredetű kezdeti eseményeket és a hazard-jellegű eseményeket (tűz, elárasztás, földrengés, stb.)?
- Milyen erőművi üzemállapotokra terjednek ki, azaz vizsgálják-e a névleges teljesítményű üzemen kívül a leállási/átrakási/visszaindulási fázisokban feltételezhető eseményeket?
- Milyen következmények valószínűségét számszerűsítik, azaz az elemzések a zónakárosodás

(1. szint), az erőművi radioaktivitás-kibocsátás (2. szint), illetve a környezeti és lakossági egészségkárosodás (3. szint) mértékét és valószínűségét számszerűsítik-e?

– A kidolgozott modellek valóságosan írják-e le az erőmű működését?

A valóságosság követelmény:

- az üzemzavari, baleseti fizikai folyamatok meghatározásakor, amelyet a csőtöréses (LOCA) tranziensek vizsgálata során a feltételezésekben rejlő konzervatívizmusok minimalizálásával (best-estimate elemzésekkel), az egyéb tranziensek esetén pedig teljes léptékű fizikai szimulátoros vizsgálatokkal lehet elérni;
- a feltételezhető meghibásodási módok és hatások meghatározásakor, amelyet szisztematikus, az üzemi tapasztalatokat is átfogóan felhasználó felméréssel (FMEA elemzés) lehet megvalósítani.

– A számítások bemenő adatainak bizonytalansága nem túl nagy-e?

Az adatbizonytalanság objektív szükségszerűség, hiszen megalapozott adatok csak nagyszámú hibastatisztikából képezhetők, amely a rendszerek és rendszerelemek magas megbízhatósága miatt nem áll rendelkezésre.

A PSA alapelemzések és felhasználásuk **hatósági szabályozása** területén – mind külföldön, mind itthon – két főbb kritikával lehet találkozni:

– Az előírások és követelmények túl általánosak, nem eléggé konkrétak, s így nem támogatják az üzemeltetőket az alkalmazások bevezetésében, illetve körének kiterjesztésében.

A szabályzatok ma már – a rövid történeti háttér ellenére – előírják az 1. és 2. szintű alapelemzések elvégzésének szükségességét, a módszertani elvárásokat pedig ajánlások, irányelvek vagy útmutatók tartalmazzák.

A PSA alkalmazásokra vonatkozó előírások fokozatosan kapnak helyet a szabályozásban,

- A szabályzatokban található követelmények nem tartalmaznak megfelelő számszerű elfogadási kritériumokat.

A jelenlegi előírások általában a zónakárosodás és az erőművi radioaktivitás-kibocsátás megengedhető gyakoriságát rögzítik. A közölt számokat nem abszolút értelemben vett kritériumnak, hanem biztonsági céltértéknek tekintik. E határértékeket általában tervezési célként definiálják, amelyek figyelembe vétele több év óta üzemelő erőművek esetére nehézségeket okoz.

## Alkalmazási lehetőségek

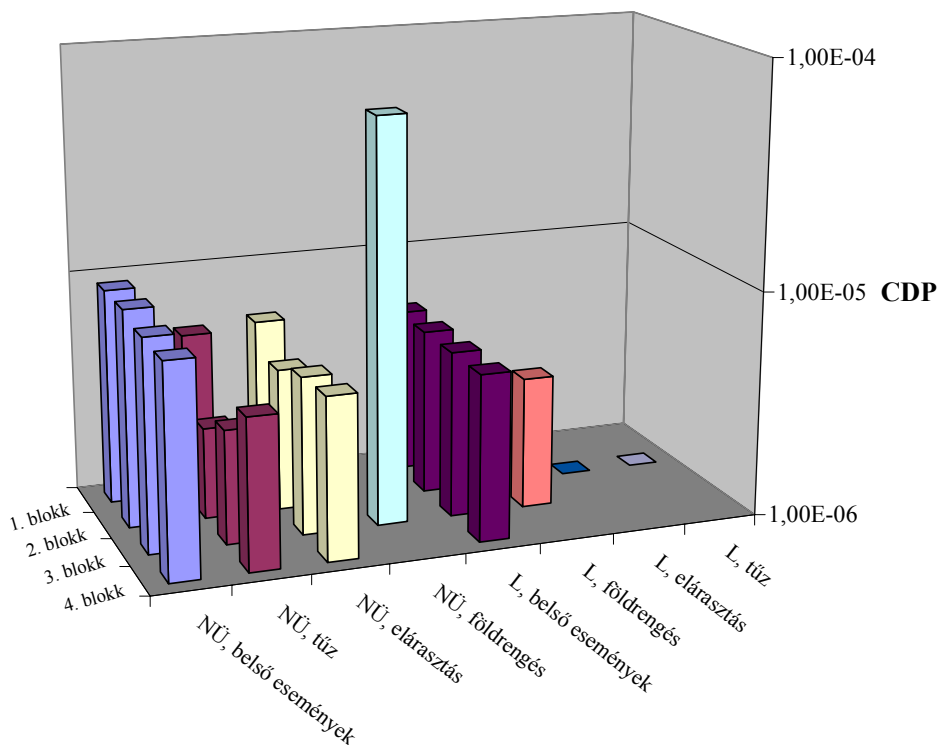
A PSA módszerek felhasználásának lehetőségeit a mértékadó nemzetközi gyakorlat alapján áttekintve [2, 3, 4] az alábbi - az alkalmazások hazai bevezetésének helyzetét tartalmazó - 1. táblázatban felsorolt 11 fő alkalmazási terület jelölhető ki.

1. táblázat PSA alkalmazások területei

1. Biztonság szintjének minősítése	✓ PAE
2. Átalakítások biztonsági értékelése	✓ PAE
3. Események veszélyességének értékelése	✓ OAH NBI
4. Ellenőrzések súlypontjainak kijelölése	×
5. Fontosság szerinti csoportosítás	≈ PAE, OAH NBI
6. Műsz előírások felülvizsgálata	×
7. Konfiguráció kontroll (monitor)	≈ PAE, OAH NBI
8. Kockázat előbecslés	✓ OAH NBI
9. Kockázat szempontú képzés	✓ OAH NBI
10. Karbantartás tervezés	×
11. Karbantartás hatékonyság monitorozás	≈ PAE

(PAE – Paksi Atomerőmű Zrt., OAH NBI – Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Igazgatóság, ✓ megvalósult, ≈ fejlesztés alatt, × nem valósult meg)

Illusztrációként a „biztonság szintjének minősítése” alkalmazási területen a Paksi Atomerőműben évek óta folyó munkák eredményeit az 1. ábrában foglaltuk össze.



1. ábra: A zónasérülési valószínűség összetevőinek értékei a Paksi Atomerőműben (Időpont: 2008. augusztus, jelölések: CDP – zónakárosodási valószínűség, NÜ – névleges üzem, L – leállás)

Az egyes alkalmazások céljai az alábbiakban foglalhatók össze.

### 1. A biztonság szintjének minősítése

Az alkalmazás célja egy adott rendszerelem vagy rendszer megbízhatóságának, illetve atomerőművi blokk biztonsági színvonalának minősítése megbízhatósági, illetve valószínűségi biztonsági elemzési módszerek felhasználásával.

A minősítés a megbízhatósági és valószínűségi biztonsági mutatók numerikus számítását és értékelését foglalja magában.

### 2. Az átalakítások biztonsági értékelése

Az alkalmazás célja az átalakítások hatásának értékelése a biztonságot jellemző valószínűségi mutatókra a PSA módszerek és számítási eszközök felhasználásával.

Az átalakítás fogalma jelen esetben magában foglalja mind a rendszerek és rendszerlemek fizikai konfigurációjával kapcsolatos változtatásokat, mind az erőmű, illetve blokk dokumentumaiban rögzített információk változtatásait.

Ezek az információk vonatkozhatnak az üzemeltetés és karbantartás műszaki (pl. üzemeltetési feltételek és korlátok, stb.) és adminisztratív (pl. üzemzavar-elhárítási utasítások) információira, illetve a biztonsági jelentésekben (pl. végleges biztonsági jelentésben) rögzített feltételekre.

### 3. Az események veszélyességének értékelése

Az alkalmazás célja az atomerőmű által a hatóság felé jelentett biztonságot érintő események veszélyességének értékelése a rendelkezésre álló PSA modellek és értékelő eljárások által meghatározott terjedelemben. Az értékelés a veszélyesség mértékét jellemző valószínűségi mutató kiszámítását és nagyságának minősítését jelenti.

### 4. Az ellenőrzések súlypontjainak kijelölése

Az alkalmazás célja a hatóság ellenőrzési tevékenysége tervezésének támogatása az ellenőrzés körébe bevonni szándékozott területek súlypontjainak kijelölésén keresztül.

Az ellenőrzési területek súlypontjait, azaz egy adott ellenőrzési kampányba eső rendszerlemek, rendszerek, tevékenységek körét azok kockázat alapú rangsorolásával lehet kijelölni. Az egyes rendszerlemek, rendszerek, tevékenységek kockázati rangsorát, azaz a biztonság fenntartásában játszott szerepét, fontosságát jelzi a PSA eredményekre gyakorolt hatásuk mértéke. Nagy fontosságúnak tekinthetők azok a rendszerlemek, rendszerek, tevékenységek, amelyek hibái nagymértékben hozzájárulnak a zónasérülés gyakoriságához (1. szint), illetve a radioaktivitás kibocsátásának gyakoriságához (2. szint).

### 5. Fontosság szerinti csoportosítás

Az alkalmazás célja az atomerőművi rendszerek, rendszerlemek determinisztikus elvek alapján kialakult biztonsági osztályozása mellett valószínűségi szempontok figyelembevétele a biztonsági jelentőség megítélésében.

A biztonsági osztályba sorolásnál a valószínűségi szempontok figyelembevételével az egyes rendszerek, rendszerlemek korábban a determinisztikus megfontolások alapján megállapított biztonsági jelentőségének (osztályának) megfelelése megerősíthető vagy alul-, illetve felülértékelttségük megállapítható. E cél eléréséhez el kell végezni az osztályba sorolt rendszerekre, rendszerlemekre azok valószínűség alapú fontosság szerinti rangsorolását. A rangsorolás a valószínűségi fontossági mutatók tételes meghatározását, értékelését és sorrendbe rendezését jelenti.

### 6. Műszaki üzemeltetési előírások felülvizsgálata

Az alkalmazás célja az atomerőmű Műszaki Üzemeltetési Szabályzatában (MÜSZ) determinisztikus biztonsági megfontolások alapján rögzített előírások felülvizsgálata valószínűségi szempontok figyelembevételével.

Valószínűségi szempontok alapján az üzemeltetési feltételek és korlátok közül azok vizsgálhatók felül, amelyek hatása a valószínűségi alapú biztonsági mutatókra számszerűen kimutatható. Ezek közül a legfontosabbak az alábbiak:

- próbák, tesztek ciklusidői és stratégiái,
- megengedett üzemképtelenségi idők hossza,
- üzemképtelenséget követő üzemeltetési stratégia.

### 7. Konfiguráció kontroll

Az alkalmazás célja az atomerőművi blokk, illetve a blokki technológiai rendszerek valószínűségi biztonsági mutatóinak monitorozása a blokk, illetve a rendszerek aktuális konfigurációjának (változásának) figyelembevételével. A blokk szintű mutató általában az 1. szintű PSA esetén a zónasérülés gyakorisága. A rendszerszintű mutató az adott rendszer használhatatlansága (funkcióelmaradásának valószínűsége).

### 8. Kockázat előbecslés

Az alkalmazás célja az atomerőművi blokk kockázatának egy adott üzemzavari helyzetben történő, közel real-time előbecslése és az üzemzavari helyzet változása során a kockázat folyamatos nyomon követése.

Az előbecslési cél kettős: egyrészt az adott helyzetet követően a kockázat (1. vagy 2. szintű elemzés végállapotai szerint meghatározott) aktuálisan becsülhető értékének meghatározása, másrészt annak feltérképezése, hogy az adott szituáció egy pillanatában milyen további kedvezőtlen esemény(ek) fellépése vezethet zónasérülésre. Kedvezőtlen esemény rendszerelem meghibásodás és automatikus/kézi beavatkozás elmaradása lehet.

### 9. Kockázati szempontú képzés

Az alkalmazás általános célja a személyzet képzése kockázatszpontú döntéshozatal (risk informed decision making) és a kockázatkezelés (safety/risk management) lehetővé tétele érdekében.

Az alkalmazás konkrét célja a PSA elemzések eredményeinek és a PSA alkalmazások igényeinek

figyelembevétele a személyzet képzési tematikájában, és ennek megfelelő képzési program kidolgozása.

### 10. Karbantartás tervezés

Az alkalmazás célja az atomerőműben tervezett megelőző karbantartások ütemezésének és mértéke tervezésének támogatása, illetve a blokk teljesítmény-üzeme közben szükség szerinti javító karbantartások megengedhetőségének megítélése a kockázati szempontok figyelembevételével.

Így ez az alkalmazás támogathatja mind a megelőző karbantartások (preventive maintenance) tervezését, mind a blokk üzeme közbeni karbantartások (on-line maintenance) megengedhetőségének eldöntését.

### 11. Karbantartás hatékonyság monitorozás

Az alkalmazás célja a karbantartás hatékonyságának valószínűség alapú értékelése a determinisztikus teljesítőképességi mutatók értékelésére támaszkodó hatékonyság ellenőrzésén túlmenően.

A két - valószínűségi és determinisztikus - megközelítés összességében a teljesítőképességi mutatók értékelésére épül, azonos eljárásrend szerint. Az értékelés közös célja annak utólagos megállapítása, hogy milyen mértékben valósult meg a korábban kitűzött karbantartási célok (azaz nem magának a karbantartási munkavégzésnek a minősítése). A karbantartási célokat atomerőművi blokkra, rendszerekre és/vagy rendszerelemekre lehet megfogalmazni a determinisztikus és/vagy valószínűségi szempontok figyelembevételével. A karbantartás hatékonyságának a monitorozása során azt kell igazolni, hogy az elvégzett karbantartási tevékenység támogatta ezen szempontok érvényesülését.

A kockázat alapú megközelítésben a valószínűségi teljesítőképességi mutatók azt fejezik ki, hogy az atomerőművi blokkok, az adott rendszer/rendszerelem-csoport vagy rendszerelem valószínűségi biztonsági jellemzői - az elvégzett karbantartás figyelembe vétele mellett - belül esnek-e az előre meghatározott megengedhetőségi tartományon. Azaz, a hatékonyság monitorozása a valószínűségi mutatók értékeinek ellenőrzésére irányul. Fő feladat a karbantartás hatékonyságát jellemző mutatók kijelölése, ezek megengedhető határértékeinek meghatározása és a határértékeken belüli teljesítőképesség ellenőrzése.

## A fejlődés irányjai

A PSA módszerek és eredmények alkalmazása az elmúlt években - az alapelemzésekkel és szabályozásukkal összhangban - fokozatosan bővült, és ez a tendencia napjainkban is megfigyelhető. A hazai helyzetet e három területen röviden az alábbiak szerint lehet értékelni:

### Alapelemzések

#### Jelenleg:

Nagyszámú, specifikus PSA elemzés készült el a paksi atomerőműre, amelyek kiterjednek a technológiai

meghibásodások tűz/elárasztás/földrengés kezdeti eseményekre, a névleges teljesítményű és leállási üzemállapotokra, valamint a PSA 1. és 2. szintjére. Az eredményekben a földrengéskockázat dominál.

#### Fejlesztések:

Az elemzések területén az - adatokban és modellekben - meglévő bizonytalanságok csökkentése, valamint az alkalmazás-orientált eseménylogikai modellek kidolgozása a távlati cél.

#### Szabályozás

#### Jelenleg:

A hatósági engedélyezési folyamat (döntéshozatal) alapvetően determinisztikus elvekre támaszkodik.

A PSA elemzések elkészítését (1. és 2. szint) a Nukleáris Biztonsági Szabályzat előírja, de az egyes alkalmazásokat érintő követelmények korlátozottan vannak jelen a szabályzatban.

#### Fejlesztések:

A hatóság biztonsági politikája rögzíti, hogy „...a determinisztikus és valószínűségi megközelítést együttesen, egymás kiegészítésére kell alkalmazni a biztonság megítélésében...”, illetve „...minél szélesebb körben alkalmazni kell a kockázati szempontokat figyelembe vevő eljárásokat a hatósági munkában...”.

Ezen elvek a hatóság tevékenységében egyre inkább tetten érhetők.

### Alkalmazások

#### Jelenleg:

Lényegében a biztonság színvonalának, az átalakítások és a biztonságot érintő események hatásának számszerűsítésére és minősítésére vonatkoznak (1., 2. és 3. alkalmazási terület).

#### Fejlesztések:

Mind a hatóságnál, mind az atomerőműben egyre inkább előtérbe kerül a tevékenységek kockázati szempontok figyelembevételével történő súlyozása. Ennek érdekében több üzemviteli alkalmazás megvalósításának előkészítése folyamatban van (7. és 11. területeken: kockázat és karbantartás hatékonyság monitorozás), illetve folyik az alkalmazásokat támogató előírások bevezetésének diszkussziója az NBSZ-ek átdolgozása során (5. terület: rendszerelemek biztonsági fontosság szerinti csoportosítása).

**Összefoglalóan megállapítható,** hogy a PSA alapelemzések és szabályozás fejlődése és összhangjának kialakulása egyre inkább támogatja a valószínűségi alapú szemlélet térnyerését egyes tervezési, üzemeltetési és ezekhez kapcsolódó hatósági feladatok megoldásában, így a PSA alkalmazások ábrándból fokozatosan valósággá válnak.

## Irodalomjegyzék

- [1] *Reactor Safety Study, WASH-1400, 1975*
- [2] *The Use and Development of Probabilistic Safety Assessment in the NEA Member Countries, WGRISK Task 2005-01 Draft Report, OECD NEA, April 2007*
- [3] *Standard Review Plan for the Review of SAR of NPPs. Chapter 19. Use of PRA in Plant-Specific, Risk-Informed, Decisionmaking. NUREG-0800, February 2007*
- [4] *Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1200, February 2001*