

Módszertan a külső események kombinációja biztonságra gyakorolt hatásának értékeléséhez

Siklóssy Tamás, Bareith Attila, Tóth Barnabás

NUBIKI Nukleáris Biztonsági Kutatóintézet Kft.
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

A külső veszélyekkel szembeni védettség vizsgálata és a külső veszélyekre vonatkozó valószínűségi biztonsági elemzés középpontjában ez ideig elsősorban egyedi külső veszélyeztető események álltak. A magas szintű nemzeti szabályozások számos követelménye, nemzetközi ajánlások, valamint a fukusimai atomerőmű-baleset tanulságai is ráirányították a figyelmet arra, hogy nukleáris létesítmények, így atomerőművek esetében szisztematikusan fel kell mérni és vizsgálni kell a külső veszélyek kombinációit. Ez a cikk összefoglalást ad a veszélyek azonosítására és szűrésére, a valószínűségi veszélyeztetettség-értékelésre, az erőművi védettség értékelésére, az erőművi válasz és sérülékenység vizsgálatára, az eseménylogikai modellezésre és a kockázat számszerűsítésére vonatkozó módszertan főbb szempontjairól.

Bevezetés

A külső veszélyekkel szembeni védettség vizsgálata és a külső veszélyekre vonatkozó valószínűségi biztonsági elemzés (PSA) középpontjában mind hazai, mind nemzetközi szinten ez ideig elsősorban egyedi külső veszélyeztető események álltak, ugyanakkor a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (NBSZ) több követelménye és számos nemzetközi ajánlás is vonatkozik az egyedi veszélyeztető tényezők kombinációjának figyelembevételére a tervezési alapban és a biztonsági elemzésekben. A fukusimai atomerőmű-baleset is ráirányította a figyelmet a kombinált külső veszélyek vizsgálatának fontosságára, ezért ma – részben nemzetközi együttműködésben, részben nemzeti keretek között – világszerte számos műszaki háttérintézményben jelentős erőfeszítéseket tesznek a kombinációk módszeres felmérésére és elemzésére, beleértve többek között a PSA-célú vizsgálatokat is.

A módszertani megalapozás előkészítéseként először áttekintettük az e vizsgálati területtel kapcsolatos hazai hatósági előírásokat és szabályozást, valamint a nemzetközi ajánlásokat is. Utóbbiak tekintetében elsősorban a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) dokumentumai [1], [2], [3], valamint a WENRA (Nyugat Európai Nukleáris Hatóságok Szövetsége) biztonsági referenciaszintek [4], [5] a mértékadók. Ezt követően áttekintettük és értékeltük a tárgyban nyilvánosan hozzáférhető szakirodalmat és a nemzetközi kutatások, fejlesztések eddig elért eredményeit (pl. [6] – [10]). Végül javaslatot tettünk a külső események kombinációjának felmérése és hatásának értékelése érdekében szükséges teendőkre, majd sorra vettük az egyes elemzési lépéseket, és módszert adtunk az egyes lépésekhez tartozó feladatok megoldásához.

Külső veszélyek kombinációinak alaptípusai

A szakirodalom nem definiálja egységesen a külső veszélyek kombinációinak típusait; munkánk eredményeként a külső veszélyek kombinációi alábbi típusainak használatára tettünk javaslatot:

- összefüggő (oksági viszonyon alapuló) veszélyek kombinációja: a veszélykombinációban szereplő veszélyek között valamilyen oksági viszony van. Az összefüggő veszélyek tovább bonthatók:
 - következményveszélyek: ok-okozati viszonyon alapuló veszélyek kombinációja, azaz az egyik veszély váltja ki a másikat (vagy több egyéb veszélyt). Ezek között is megkülönböztethetjük a következőket:
 - A esemény okozhatja B-t, azaz A esemény kiválthatja B eseményt, de B esemény egyéb okból is felléphet;
 - A esemény előfeltétele B-nek, azaz A esemény kiválthatja B eseményt, de B esemény egyéb okból nem léphet fel.
 - nem következmény jellegű kapcsolt (a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott szóhasználat alapján röviden: korrelált) veszélyek: a kombinációban lévő veszélyek valamilyen közös kiváltó ok miatt lépnek fel.
- független veszélyek kombinációja: olyan veszélyek együttes fellépése, amelyek között nem azonosítható oksági viszony. Az ilyen jellegű veszélykombinációk előfordulási gyakorisága általában kicsi, így csak akkor kell számításba venni őket, ha:
 - oksági viszonyban nem lévő gyakori események
 - vagy oksági viszonyban nem lévő ritka, de hosszú ideig fennálló események alkotják a vizsgált veszélykombinációt.

A veszélykombinációkból adódó kockázat elemzésének módszere

A külső veszélyek kombinációinak PSA-ban való figyelembevételéhez – az egyedi külső veszélyek vizsgálatának lépéseivel összhangban – az alábbi főbb elemzési feladatokat kell elvégezni:

1. veszélykombinációk kiválasztása;
2. veszélykombinációk szűrése;
3. ki nem szűrt veszélykombinációk részletes elemzése:
 - a. veszélyeztetettség-értékelés;
 - b. erőművi válasz és sérülékenység vizsgálata;
 - c. eseménylogikai modellezés, kockázat számszerűsítése.

A külső veszélyek kombinációinak tervezési alapon való figyelembevételéhez az alábbi főbb vizsgálati és értékelési feladatokat kell elvégezni:

1. veszélykombinációk kiválasztása;
2. veszélykombinációk szűrése;
3. azonosított veszélykombinációk terhelési értékeinek meghatározása a tervezési alap szintjén;
4. az erőmű védettségének értékelése, védőintézkedések meghatározása.

A továbbiakban röviden ismertetjük a PSA lépéseit, kiemelt figyelmet fordítva a kihívást jelentő módszertani kérdésekre. A veszélykombinációk tervezési alapon történő figyelembevételéhez szükséges feladatokat külön nem tárgyaljuk, mivel a PSA elemzési lépései szélesebb körűek, és nagyrészt magukban foglalják a tervezési alap vizsgálatához kapcsolódó feladatokat is.

Veszélykombinációk kiválasztása

A részletes kockázatelemzést igénylő külsőveszélykombinációk kiválasztása érdekében első lépésként össze kell állítani a veszélykombinációk kiindulási listáját. Ennek menete a következő:

- a teljesség igényével fel kell mérni a szóba jöhető egyedi külső veszélyforrásokat

Ehhez a hazai és nemzetközi hatósági előírásokat és ajánlásokat, a valószínűségi biztonsági elemzésekre vonatkozó szabványokat, útmutatókat, valamint a mértékadó nemzetközi gyakorlatot kell felhasználni. A nemzetközi PSA-közösség napjainkban a [6] dokumentumot tekinti mértékadónak a külső veszélyek kijelölése tekintetében.

- az egyedi külső veszélyek veszélykombináció szempontú előszűrése

Bár a veszélykombinációk azonosításához az egyedi veszélyek teljes listájából kell kiindulni, mégis van lehetőség egyes veszélyforrásoknak a vizsgálat köréből történő kiszűrésére még a veszélykombinációk képzése előtt. E szűrés két szempontra épülhet:

- relevancia alapú szűrés – a további vizsgálatokból elhagyhatók, kiszűrhetők azok a külső veszélyek, hatások, amelyek fellépése nem feltételezhető az adott telephely környezetében.

- gyakoriság alapú szűrés – az egyedi külső esemény fellépési gyakorisága (minden teherintenzitás esetén) bizonyíthatóan kisebb, mint egy előre meghatározott gyakoriságérték.

- az események közötti függőség értékelése

A relevancia és gyakoriság alapján előszűrt külső veszélyekből kiindulva táblázatos (a szakirodalomban gyakran mátrixosnak nevezett) elrendezés használata javasolt a veszélykombinációk azonosítására úgy, hogy az egyedi veszélyeket írjuk a sorokba és az oszlopokba is. Az így képzett keresztkorrelációs táblázat belső cellái reprezentálják az adott sorhoz, illetve oszlophoz tartozó veszélyekből képzett veszélykombinációt. A táblázat valamennyi elemére, azaz az összes szóba jöhető veszélykombinációra meg kell vizsgálni a két veszélyforrás közötti lehetséges kapcsolatot, azt, hogy az adott kombináció mely kombinációtípusba sorolható. Az oksági viszony meglétét, illetve annak jellegét a táblázat belső elemeiben valamilyen módon jelölni kell. A keresztkorrelációs táblázatra és az események közötti lehetséges függőség értékelésére és szemléltetésére a [6] dokumentumból vett 1. ábra mutat be egy példát.

Veszélykombinációk szűrése

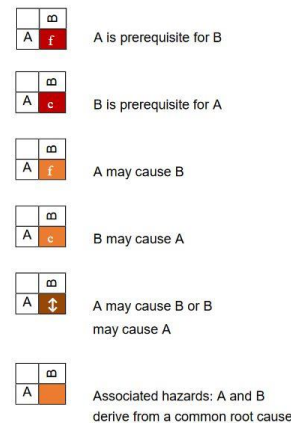
A veszélykombinációk szóba jöhető listáján szereplő esemény- vagy jelenségkombinációkat többlépcsős szűrésnek kell alávetni. Általánosságban megállapítható, hogy ugyanazon szűrés módszerek és kritériumok alkalmazhatók a veszélykombinációk esetén is, mint amelyeket az egyedi veszélyekre dolgoztak ki és használnak. Az egyedi veszélyekre kifejlesztett szűrés módszert és lépéseket ehelyett nem részletezzük, azok megtalálhatók többek között a [7] és [8] forrásdokumentumokban. Az egyedi veszélyeknél alkalmazott hatás alapú szűrés felhasználásával kapcsolatosan kiemelő, hogy a veszélykombinációk tekintetében kiemelt szerepe van a kombinációkban szereplő veszélyek hatásmechanizmusa közötti viszony jellegének. Amennyiben a veszélyekre jellemző hatásmechanizmus azonos vagy hasonló, akkor a veszélyek ugyanazon rendszerekre, rendszerelemekre vagy szerkezetekre hatnak, egymás hatását erősítve. Ennek megfelelően a kombinált terheknek való ellenállást kell vizsgálni az adott rendszer, rendszerelem vagy szerkezet esetében. Amennyiben a veszélyek hatásmechanizmusa eltérő, akkor a veszélyek nem ugyanazon rendszerre, rendszerelemre vagy szerkezetre fejtik ki hatásukat, legalábbis egymástól független, eltérő hatásmechanizmus alapján. Ez esetben is azt kell értékelni, hogy a berendezéssérülések együttese kiválthat-e valamilyen technológiai értelemben vett tranziens az atomerőműben vagy sem.

Az egyedi veszélyekre vonatkozóan túli, veszélykombináció-specifikus szűréshez alkalmazható kritériumok, feltételek a következők:

- egymást kizáró események;
- az egyik veszély definíciójába beleértendő a másik veszély;
- a kombinált veszély következménye nem súlyosabb, mint a nagyobb veszélyt jelentő esemény hatása.

ASAMPSA_E		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24
D21.2																									
External Hazard Correlation Chart																									
K. Decker & H. Brinkman																									
2014-12-15																									
Seismotectonic hazards																									
N1	Vibratory ground motion																								
N2	Induced vibratory ground motion																								
N3	Fault capability																								
N4	Liquefaction																								
N5	Dynamic compaction																								
N6	Ground displacement																								
Flooding and hydrological hazards																									
N7	Tsunami																								
N8	Flash flood																								
N9	Floods from snow melt																								
N10	Flooding by water routed to the site																								
N11	High ground water																								
N12	Obstruction of a river channel																								
N13	Clogging river channel																								
N14	Waves in inland waters																								
N15	Water containment failure																								
N16	Seiche																								
N17	Bore																								
N18	Sea: high tide, spring tide																								
N19	Wind generated waves																								
N20	Sea: storm surge																								
N21	Sea: man-made structures																								
N22	Corrosion from salt water																								
N23	Coastal erosion																								
N24	Underwater debris																								

LEGEND TO THE CORRELATION CHART



1. ábra: Példa keresztkorrelációs táblázat részletére az ASAMPSA_E [6] jelentése alapján

Veszélyeztetettség-elemzés

Ebben a lépésben meg kell határozni a létesítmény részletes, számszerű vizsgálatra kijelölt külsőveszély-kombinációkból származó veszélyeztetettségét. Az elemzés célja az egyes veszélykombinációkból származóan várható terheléskombinációt karakterisztikusan leíró jellemzők kialakulásához rendelhető meghaladási gyakoriság meghatározása. Egyes veszélykombinációkhoz egy bekövetkezési gyakoriság rendelhető, így például valamely veszélyes anyag közötti szállításából származó baleset és kedvezőtlen irányú, valamekkora sebességet meghaladó szél együttes fellépése. Általános esetben azonban a veszélykombinációkban szereplő veszélyek különböző terhelésintenzitás-kombinációihoz rendelhető meghaladási gyakoriság. A veszélyeztetettség-elemzéshez össze kell gyűjteni, majd ki kell értékelni a telephelyről rendelkezésre álló összes olyan információt, amely a releváns külső veszélyek kombinációi erősség-gyakoriság összefüggésének jellemzéséhez szükséges. A veszélykombinációk várható gyakoriságának meghatározása általában összetett feladat. A fellépési gyakoriság meghatározására alkalmazható módszereket veszélykombináció-típusok szerinti bontásban mutatjuk be az alábbiakban.

Következményveszélyek

Amikor az egyik veszély váltja ki a másikat (vagy több egyéb veszélyt), akkor a veszélyek együttes fellépésének várható gyakoriságát az első veszély várható gyakoriságának és a második (és az összes többi) veszély feltételes fellépési valószínűségének szorzata adja meg.

A feltételes valószínűség pontos számítása sokszor bonyolult matematikai eljárást igényel. Mivel a gyakorlatban ez többnyire nehezen kivitelezhető, ezért célszerű, illetve elégséges lehet strukturált szakértői becsléssel, azon belül pedig észszerű mértékű konzervatívizmus alkalmazásával becsülni ezt a valószínűséget. A legegyszerűbb közelítésben lehetőség van először konzervatíván 1-nek feltételezni a feltételes valószínűséget. Amennyiben ez elfogadhatatlanul magas kockázatot eredményez, vagy nyilvánvaló torzító hatás jelentkezik a kockázati profilban, a kockázati összetevőkben, úgy pontosítani kell ezt a kiindulási feltételes valószínűséget. Természetesen nehézséget jelent az is, hogy a feltételes valószínűség a kiváltó veszély intenzitása függvényében változhat, továbbá a kiváltott veszély különböző intenzitással is felléphet (pl. földrengés miatti talajfolyósodás). Ilyen esetben egyedi célzott vizsgálatok válhatnak szükségessé.

Korrelált veszélyek

A közös kiváltó ok miatt fellépő veszélyek fellépési gyakoriságának meghatározása érdekében – egyedi, célzott módszerek kidolgozásával és alkalmazásával – fel kell tárni a jelenségek közötti korrelációt. Esetenként konzervatíván feltételezhető teljes korreláció, így például összerendelhető az azonos visszatérési időhöz tartozó pillanatnyi, napi, illetve heti átlagos, szélsőségesen magas léghőmérsékletek és a napi Duna-víz-hőmérsékletek is. Mindemelllett az esetek többségében szükség lehet az összefüggések ennél pontosabb felmérésére, azaz például a veszélyforrások közös eloszlásfüggvényének meghatározására. A

szélsőséges időjárási veszélyek alkotta veszélykombinációk valószínűségi leírására a többváltozós extrémérték-elmélet használható. Az e téren végzett kutatómunkánk eredményét az alábbiakban foglaljuk röviden össze.

Ez ideig kétváltozós extrémértékeloszlás-függvények tanulmányozásával foglalkoztunk. Megállapítható volt ugyanakkor, hogy a megközelítés kiterjesztése további változókra hasonló módszertan alapján megvalósítható. Az általános eljárás szerint a következő módon állítható elő a közös eloszlásfüggvény:

1. Adatkijelölés

Extrémérték-eloszlásokat csak egy minta maximumaira vagy minimumaira lehet illeszteni, így a mért adatok közül először a releváns adatpárokat kell kijelölni. Két módszert tanulmányoztunk: a határérték-meghaladási módszert (Threshold-Excess method) és a feltételes módszert (Conditional method), melyek jelentősen különböznek, többek között, az adatkijelölés módjában. A határérték-meghaladási módszer azon adatpárokat veszi figyelembe, amelyek esetében az egyes változókhoz tartozó mért értékek egy külön-külön megadott határértéknél nagyobbak (felső határérték esetén) vagy kisebbek (alsó határérték esetén), míg a feltételes módszer az összes olyan pontot figyelembe veszi, ahol legalább az egyik érték felső határérték esetén nagyobb, alsó határérték esetén kisebb a választott határértéknél.

2. A marginális eloszlásfüggvények illesztése

A kijelölt adatok alapján marginális eloszlásfüggvényeket kell meghatározni. A marginális eloszlásokat ez esetben extrémérték-eloszlásúnak kell feltételezni.

3. A marginális eloszlások transzformálása

A közös sűrűségfüggvény előállítására érdekében a nyers mért adatokból Fréchet- vagy Pareto-eloszlással jellemezhető adatsort kell létrehozni annak függvényében, hogy mely megközelítést alkalmazzuk. Ezáltal a marginális eloszlásokat át kell transzformálni standard Fréchet-eloszlásúvá (határérték-meghaladási módszer) vagy Pareto-eloszlásúvá (feltételes módszer) azért, hogy az eloszlások könnyebben és kényelmesebben kezelhetőek legyenek a további elemzési lépésekben.

4. Különböző összefüggésfüggvény-modellek illesztése

A kétváltozós extrémérték-eloszlások nem írhatók fel teljesen általánosan valamely zárt alakú összefüggéssel, ugyanakkor alkalmazhatunk összefüggésfüggvény-modelleket, melyek jól használhatóak a kétváltozós eloszlások leírására. Ezeket az összefüggésfüggvény-modelleket kell illeszteni a transzformált adathalmazra: logisztikus, aszimmetrikus logisztikus, negatív logisztikus, biológusztikus, negatív biológusztikus, Husler-Reiss modell.

5. A megfelelő összefüggésfüggvény-modell kiválasztása

A leginkább megfelelő összefüggésfüggvény-modell kiválasztásához valamennyi modell esetében meg kell határozni az AIC (Akaike Information Criterion) értéket, amely az alábbi összefüggés szerint számítható:

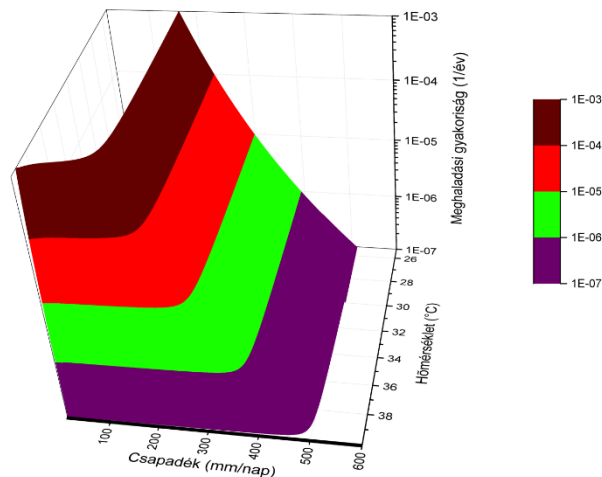
$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (1)$$

ahol L a likelihood függvény maximuma, k az illesztett paraméterek száma.

Az AIC érték a legjobban illeszkedő összefüggésfüggvény-modell esetében adja a legkisebb értéket, így kiválasztható az illesztett közös sűrűségfüggvény is.

6. A veszélyeztetettség-értékelés eredményeinek bemutatása

A veszélyeztetettség-értékelés eredménye egy n -dimenziós veszélyeztetettségi felület, ahol $n-1$ a veszélyek száma a kombinációban. A 2. ábra a veszélyeztetettség-értékelés eredményeinek bemutatását példázza.



2. ábra: Extrém hőmérséklet és csapadék kombinációjára vonatkozó veszélyeztetettségi felület határérték-meghaladási módszer alkalmazásával

Megjegyezzük, hogy a nemzetközi gyakorlatban általában nem többdimenziós eloszlásokat (veszélyeztetettségi felületeket) határoznak meg a veszélyeztetettség-értékelés eredményeként, hanem inkább előre kiválasztott, várakozás szerint az erőmű sérülékenysége szempontjából kitüntetett jelentőségű (konzervatíván biztos tönkremenetelt okozóknak feltételezett) terhelésintenzitás-kombinációt határoznak meg, és erre a konkrét esetre számítják a fellépési gyakoriságot. Elképzelhető, hogy a többdimenziós veszélyeztetettségi felületek meghatározásának nehézségei miatt a hazai gyakorlatban is célszerű lesz ezen egyszerűsítéseket alkalmazni az esetek döntő többségében.

Független veszélyek kombinációja

Módszert dolgoztunk ki több, egymástól független veszély együttes bekövetkezése várható gyakoriságának meghatározására. A javasolt eljárás szerint az együttes előfordulás gyakorisága az egyedi veszélyek fellépési gyakoriságán túl az egyes események fennállásának időtartamától is függ, valamint figyelembe kell venni azon időszak relatív hosszát is, amely alatt a veszélyek együttesen felléphetnek (pl. szezonális miatti korlátozások – szélsőséges meleg nem várható a teljes év során). Az együttes fellépés valószínűsége általános esetben numerikus integrállal számítható. Amennyiben a két esemény Poisson-eloszlást követ (amely az emberi eredetű veszélyek esetében gyakori), úgy egy egyszerű zárt alakban kapjuk meg a számítási összefüggést.

Erőművi válasz és sérülékenység vizsgálata

Az erőművi válasz és sérülékenység vizsgálatának fő célja egyrészt az atomerőmű azon szerkezeteinek, rendszereinek és rendszerlemeinek kiválasztása, amelyek sérülhetnek az adott veszélykombináció hatására, másrészt pedig azok sérülési valószínűségének meghatározása a külső események adott kombinációja által okozott összetett terhelés függvényében. Törekedni kell a valószínűségek folytonos sérülékenységi felületek vagy diszkrét sérülési valószínűségek formájában történő leírására. Vizsgálat tárgyát kell képeznie annak, hogy az egyes külsőveszély-kombinációk milyen technológiai értelemben vett kezdeti eseményt (tranzienst) okozhatnak, illetve a kezdeti események következményeinek elhárításában szerepet játszó rendszerek, rendszerlemek milyen sérülését idézhetik elő. Optimális esetben az alapvető biztonsági funkciók elvesztésének és a téves működéseknek a valószínűségét a terheléskombinációk különböző értékeire meghatározott sérülékenységi felülettel lehet jellemezni. A sérülékenység leírására alkalmazott módszerek a külső veszélyek kombinációinak karakterisztikus csoportjai szerint eltérhetnek. A veszélyeztetettségvizsgálásnál leírtakhoz hasonlóan a nemzetközi gyakorlatban általában nem többdimenziós eloszlásokat (sérülékenységi felületeket) határoznak meg a sérülékenységelemzés eredményeként, így a 3.3.2 fejezet végén ismertetett feltételezést az előre kiválasztott terhelésintenzitás-kombinációk használatáról a sérülékenységi elemzésben is alkalmazzák.

A sérülékenységelemzést alapvetően meghatározza a veszélykombinációkban szereplő veszélyek hatásmechanizmusa közötti viszony jellege. Ha a veszélyek hatásmechanizmusa eltérő, akkor az egyedi veszélyekre vonatkozó sérülékenységi görbe jelenti a sérülékenységelemzés eredményét. Amennyiben a veszélyekre jellemző hatásmechanizmus azonos vagy hasonló, akkor a kombinált terheknek való ellenállást kell vizsgálni az adott rendszerre, rendszerelemre vagy szerkezetre.

Valószínűsíthetően a legnagyobb kihívást jelentő feladat az erőművi válasz vizsgálata a külső veszélyek kombinációjára

készítendő PSA-t tekintve elsősorban a támogató elemzések és a komponensek veszélyekkel szembeni ellenállóképességére rendelkezésre álló adatok hiánya miatt, amely adatok alapvető fontosságúak a PSA céljaira végzendő sérülékenységelemzéshez.

Eseménylogikai modellezés, kockázat számszerűsítése

A valószínűségi biztonsági elemzés eseménylogikai modelljének kidolgozása a veszélyeztetettségvizsgálás és az erőművi válasz és sérülékenység vizsgálatának eredményeire épül. A veszélykombinációk okozta terhelés által kiváltott berendezésmeghibásodások számbavételével azonosítani kell a várható erőművi tranzienst (üzemzavar folyamatokat), és modellezni kell az elhárító rendszerek, valamint emberi beavatkozások hatását, figyelembe véve mind a külsőveszély-kombinációk következményeinek, mind a véletlen meghibásodásoknak a szerepét az üzemzavar elhárításában. Az eseménylogikai modellezést és a kockázat számszerűsítést az egyedi veszélyek PSA-jában alkalmazottakhoz hasonlóan kell elvégezni.

Következtetések

Annak érdekében, hogy megalapozzuk a külső események kombinációi biztonságra gyakorolt hatásának értékelését, áttekintettük és értékeltük a hazai hatósági követelményeket, a nemzetközi ajánlásokat és a rendelkezésre álló módszereket. Javaslatot tettünk a külső események kombinációinak felméréséhez és a hatásuk értékeléséhez szükséges teendőkre, majd sorra vettük az egyes elemzési lépéseket. A javaslat átfogó módszertant is tartalmaz a veszélyek azonosítására és szűrésére, a valószínűségi veszélyelemzésre, az erőművi védelem értékelésére, az erőművi válasz és sérülékenység vizsgálatára, az eseménylogikai modellezésre és a kockázat számszerűsítésére vonatkozóan. Megítélésünk szerint a javaslat alapján mind az üzemelő, mind az új paksi atomerőmű blokkokra elkészíthető a külső veszélyek kombinációi biztonságra gyakorolt hatásának elemzése.

Irodalomjegyzék

- [1] *Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants. Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series, No. SSG-3, 2010*
- [2] *External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plant. Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.5, 2003*
- [3] *Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, 2011*
- [4] *WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors. Update in Relation to Lessons Learned from TEPCO Fukushima Dai-Ichi Accident. WENRA Reactor Harmonization Working Group, 24 September, 2014*
- [5] *Issue T: Natural Hazards. Head Document. Guidance for the WENRA Safety Reference Levels for Natural Hazards introduced as lesson learned from TEPCO Fukushima Dai-Ichi accident. WENRA Reactor Harmonization Working Group, 21 April, 2015*
- [6] *List of External Hazards to be considered in ASAMPSE. ASAMPSE_E/WP21/D21.2/2017-41, 31 December 2016*
- [7] *Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment. Technical Report 3002005287, Update of Report 1022997, October 2015*
- [8] *Michael Knochenhauer, Pekka Louko: Guidance for External Events Analysis. SKI Report 02:27, February 2003*
- [9] *Marina Röwekamp, Silvio Spebeck, Gerhard Gaenssmantel: Screening Approach for Systematically Considering Hazards and Hazard Combinations in PRA for a Nuclear Power Plant Site. Proceeding of PSA 2017, Pittsburgh, USA, September 24-28. 2017*
- [10] *P. Rakonczi, A. Butler and A. Zempléni: Modeling temporal trend within bivariate generalized Pareto models of logistic type. Working paper, 16 July 2010*