

A környezeti kibocsátás meghatározásának új módszere az atomerőmű hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavara esetén

Deme Sándor^{*1}, C. Szabó István², Láng Edit¹, Pázmándi Tamás¹

¹MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, 1525 Budapest, Pf. 49

²Paksi Atomerőmű Zrt., 7031 Paks, Pf. 71

*deme@aeki.kfki.hu

Title – A new method for calculation of environmental release of NPP in case of containment overpressure type accident

Abstract – Our paper deals with a new method for determination of environmental release in a containment overpressure type accident at NPP. The paper describes activity transfer from fuel rods to primary coolant and into containment air and liquid phase of containment, and other processes including wash-out and deposition of activity from air phase.

Fraction of air activity in the containment appears in other rooms of plant as well due to leakage of containment and most part of this activity will be released into environment mostly via ventilation stack.

The new method for determination of the environmental release is based on measurement of the overpressure and dose rate in the containment and leakage rate of containment.

Keywords- Nuclear Power Plant, accident, environmental release, dispersion calculation

Kivonat – Ismertetjük a paksi atomerőmű hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavarának következtében fellépő környezeti kibocsátás meghatározásának új módszerét. Bemutatjuk az aktivitásterjedés egyes lépéseit, a fűtőelemekből a primerköri közegbe kerülő aktivitást, annak a hermetikus tér légterébe és a zsompvízbe jutását, a hermetikus térben fellépő egyéb folyamatokat, így a kimosás és a kiülepedés hatását is. A hermetikus tér légterébe került aktivitás egy része a hermetikus tér szivárgása révén az erőmű helyiségein keresztül – elsősorban a szellőzőkéményen át – a környezetbe kerül.

Bemutatjuk a környezeti kibocsátás becslésének új módszerét, mely a hermetikus térben fellépő túlnyomás, a mért dózisteljesítmény, valamint a szivárgás ismerete alapján határozza meg a kikerülő aktivitást.

Kulcsszavak – atomerőmű, üzemzavar, környezeti kibocsátás, terjedésszámítás

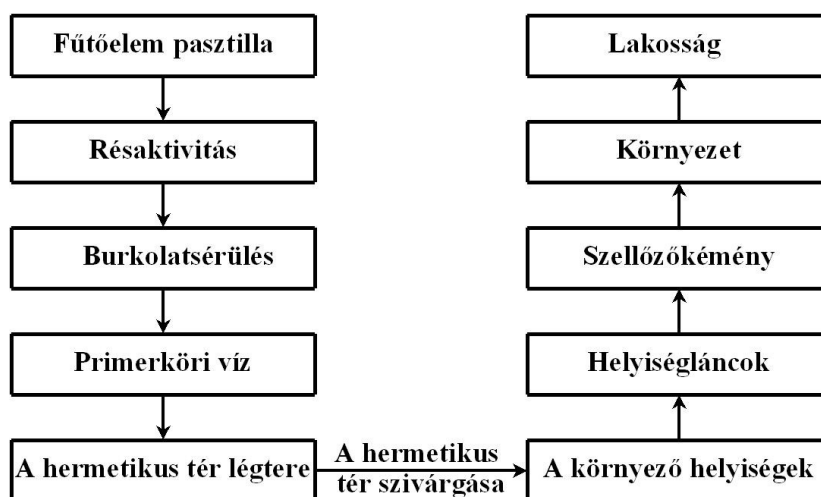
AZ ATOMERŐMŰ HERMETIKUS TÉRI TÚLNYOMÁSSAL JÁRÓ ÜZEMZAVARA

Egy atomerőműben a primerköri csővezeték törése esetén hűtőközegvesztéssel járó üzemzavarról, az angol terminológia szerint LOCA-ról (LOss of Coolant Accident) beszélünk. Ennek az eseménynek a lehetőségét az atomerőművek tervezésekor figyelembe veszik, és definiálják az ún. tervezési üzemzavart.

A Nukleáris Biztonsági Szabályzat [1] 3.023 pontja szerint tervezési üzemzavar az a ritkán bekövetkező esemény, amelyet rendszerek, rendszerelemek meghibásodása, kedvezőtlen külső hatások és/vagy helytelen/téves emberi beavatkozás idéz elő. Az esemény során a biztonsági funkcióknak a tervezettnek megfelelően kell működniük, és az esemény nem vezethet az üzemeltető személyzet és a lakosság hatóságilag előírt értékénél nagyobb sugárterheléséhez. A tervezési üzemzavarok gyakorisága általában kisebb, mint 10^{-2} /év.

A primerköri, 492 mm névleges átmérőjű (NÁ492) fővezeték törése az atomerőmű tervezési üzemzavarainak egyik legsúlyosabb esete. Ilyenkor a törésnél kiáramló víz jelentős része azonnal elforr. A radioaktív gőz környezetbe történő kijutásának elkerülésére szolgál az ún. hermetikus tér. A hermetikus tér a reaktor hűtőkörét tartalmazó, 1,5 m vastag betonfallal körülvett épületrész, amely egyrészt a direkt sugárzás elleni védelemként szolgál, másrészt megakadályozza a benne felhalmozódó aktivitás döntő hányadának kijutását. A hermetikus tér része a lokalizációs rendszer (légsapda, buborékoltató kondenzátor), amely nagy nyomáscsúcs esetén a hermetikus térben fellépő nyomást csökkenti.

Az aktivitás környezeti kibocsátásának logikai vázlatát az 1. ábra mutatja.



1. ábra. A hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavar esetén létrejövő környezeti kibocsátás logikai vázlata

A fűtőelem pasztillákban keletkező hasadási termékek egy része a fűtőelem gázterébe kerül, ez a résaktivitás burkolatsérülés esetén a fűtőelem környezetébe, a primerköri közegbe jut. A pasztillák töredezése, fragmentációja tovább növeli a kikerülő aktivitást.

A primerköri víz–gőz keverék a sérült csonton át kiömlik a hermetikus tér légterébe, egy része gázfázisba, más része a hermetikus tér padlójára kerül.

A hermetikus tér légterébe került aktivitás egy része – a hermetikus térben bekövetkező túlnyomás hatására – a hermetikus tér tömítetlenségein át a hermetikus térrel szomszédos helyiségekbe szivároghat, majd a helyiségláncokon és a szellőzőrendszereken át a szellőzőkéménybe, onnan a környezetbe juthat, és lakossági sugárterhelést okozhat. A hermetikus tér szivárgásának megengedhető maximális értékét az üzemeltetési szabályzat adja meg, értéke 1,5 bar túlnyomásnál 24 óra alatt nem lehet több a hermetikus tér légtérfogatának 14,7%-ánál.

Az atomerőművi üzemzavaroknál a védőintézkedések megalapozása szempontjából nagy jelentősége van a környezetbe történő radionuklid kibocsátás meghatározásának.

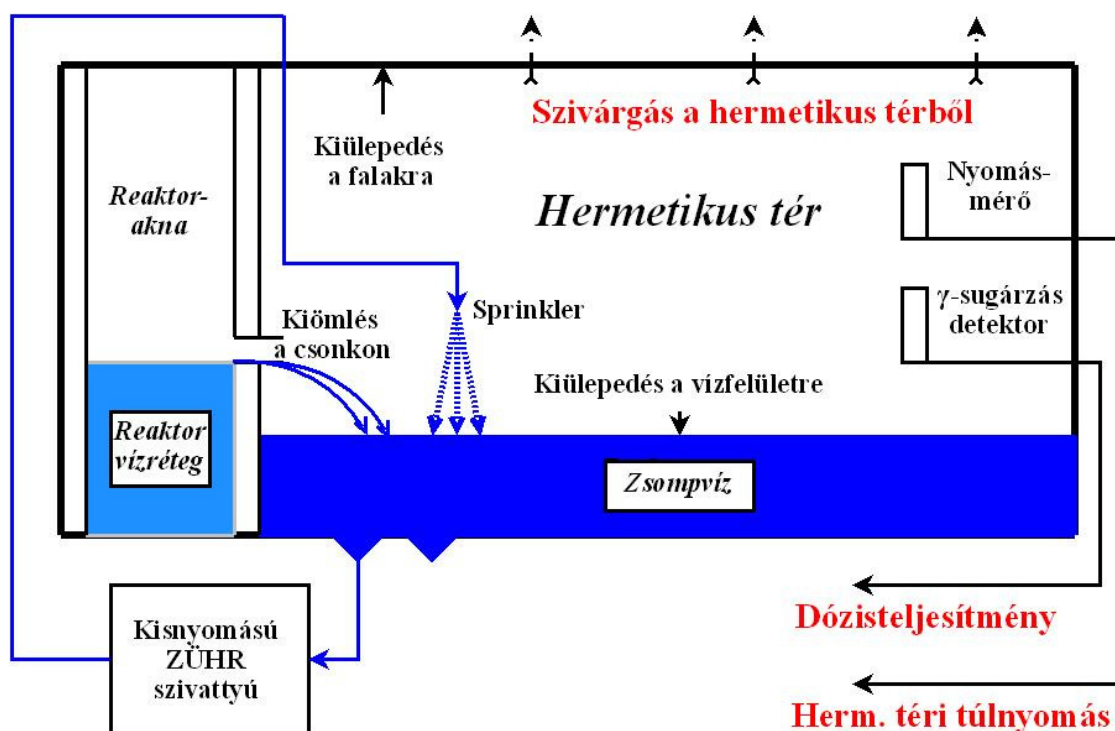
Az erőmű légköri kibocsátásának folyamatos mérésére szolgálnak a szellőzőkéményben elhelyezett kibocsátásmérő műszerek. A szellőzőkéménybe az aeroszokok, az elemi és szerves jód, valamint a nemesgázok aktivitáskoncentrációjának meghatározására a PING (Particle, Iodine, Noble Gas) nevű műszeregység van beépítve. Üzemzavari és baleseti kibocsátás esetén – elsősorban a jódmérő – telítésbe mehet. A méréstartományuk aeroszokok esetén $1 \cdot 10^6$ Bq/m³, ¹³¹I esetén $3,7 \cdot 10^6$ Bq/m³, nemesgázoknál pedig $1 \cdot 10^9$ Bq/m³-ig terjed. Ez a méréshatár ¹³¹I vonatkozásában üzemzavari kibocsátásnál lényegesen csökken, mert más jóddizotópok (¹³²I, ¹³³I, ¹³⁴I és ¹³⁵I) és radioaktív nemesgáz is van a mérendő levegőben, amelyek zavarják a ¹³¹I mérést a mérődetektor terhelése révén. Meg kell jegyezni, hogy ezek

a mérőrendszerek csak a kéménykibocsátás meghatározására alkalmasak, velük az épület tömörtelenségein történő esetleges szivárgás révén bekövetkező kibocsátás nem mérhető.

Az általunk kidolgozott, mérésen alapuló számítási módszer a hermetikus térből az azt körülvevő helyiségekbe, majd a környezetbe kilépő aktivitás meghatározására szolgál a hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavar bekövetkeztekor. A módszer a hermetikus tér légterébe kerülő aktivitás dózisteljesítmény-mérésen alapuló meghatározásán és a túlnyomás hatására a hermetikus térből való kikerülés számításán alapul. A meghatározás első lépéseként vizsgálni kell, hogy a primerköri közeg révén a hermetikus térbe került aktivitás mekkora hányada marad a légtérben, mert a kibocsátást csak a légtérben maradó hányad határozza meg.

A HERMETIKUS TÉRI SZIVÁRGÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Tekintsük át azokat a folyamatokat, amelyek befolyásolják azt, hogy a hermetikus térből – szivárgás révén – mekkora aktivitás kerül ki a hermetikus teret körülvevő helyiségekbe. A főbb elemeket a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Az aktivitás útja a hűtőközegtől a hermetikus tér falán át történő szivárgásig és a hermetikus térben végbemenő, a légköri aktivitást befolyásoló folyamatok és a módszer által használt mérőeszközök

A fűtőelemek üzeme során hasadási termékek keletkeznek, a hasadási termékek egy része a fűtőelem réseiben gyűlik össze. A reaktor zónakészletének ismeretében meghatározható a burkolatsérüléskor várhatóan a primerköri közegbe kerülő aktivitás. Ha az összes fűtőelem burkolatának sérülését tételezzük fel, akkor az 1. táblázatban megadott aktivitások kerülnek a vízbe a legjobb közelítésnek megfelelő feltételezésekkel [2]. Ez az adat tartalmazza a burkolatsérüléssel egyidejűleg fellépő fűtőelem tableta töredezésből, a fragmentációból származó aktivitást is

1. táblázat. A környezeti sugárterhelés szempontjából legfontosabb hasadási termékek részaktivitásának és a fragmentálódásából származó aktivitásának összege (A), valamint felezési idejük ($T_{1/2}$) gadolíniumos fűtőelemek esetén

Nuklid	$T_{1/2}$ [óra]	A [Bq]	Nuklid	$T_{1/2}$ [óra]	A [Bq]	Nuklid	$T_{1/2}$ [óra]	A [Bq]
^{85m}Kr	4,48	4,71E+15	^{135}I	6,61	8,87E+15	^{103}Ru	942,7	2,78E+16
^{85}Kr	94000	2,12E+15	^{84}Br	0,53	4,47E+14	^{106}Ru	8847,6	1,55E+16
^{87}Kr	1,272	4,71E+15	^{87}Br	0,0155	5,88E+14	^{132}Te	78,2	1,19E+16
^{88}Kr	2,84	8,19E+15	^{88}Rb	0,297	1,75E+15	^{134}Cs	18100	5,77E+15
^{89}Kr	0,053	3,16E+15	^{89}Rb	0,253	2,25E+15	^{137}Cs	263000	4,54E+15
^{90}Kr	0,009	2,07E+15	^{90}Rb	0,0425	1,53E+15	^{138}Cs	0,537	5,28E+15
^{131m}Xe	285,6	4,92E+14	^{89}Sr	1212	2,05E+16	^{139}Ba	1,378	6,38E+15
^{133}Xe	125,88	7,47E+16	^{90}Sr	255000	3,36E+15	^{140}Ba	305,8	2,26E+16
^{135m}Xe	0,255	2,34E+15	^{91}Sr	9,52	6,35E+15	^{140}La	40,27	1,30E+16
^{135}Xe	9,09	1,08E+16	^{92}Sr	2,71	5,05E+15	^{141}Ce	780	2,95E+16
^{138}Xe	0,236	9,76E+15	^{95}Zr	1535,5	3,88E+16	^{143}Ce	33	1,07E+16
^{131}I	192,96	1,06E+16	^{97}Zr	16,9	9,82E+15	^{144}Ce	6823,2	4,00E+16
^{132}I	2,3	5,22E+15	^{95}Nb	843,6	3,22E+16	^{144}Pr	0,288	3,25E+15
^{133}I	20,8	1,23E+16	^{97}Nb	1,2	5,51E+15			
^{134}I	0,8767	6,77E+15	^{99}Mo	66	1,52E+16			

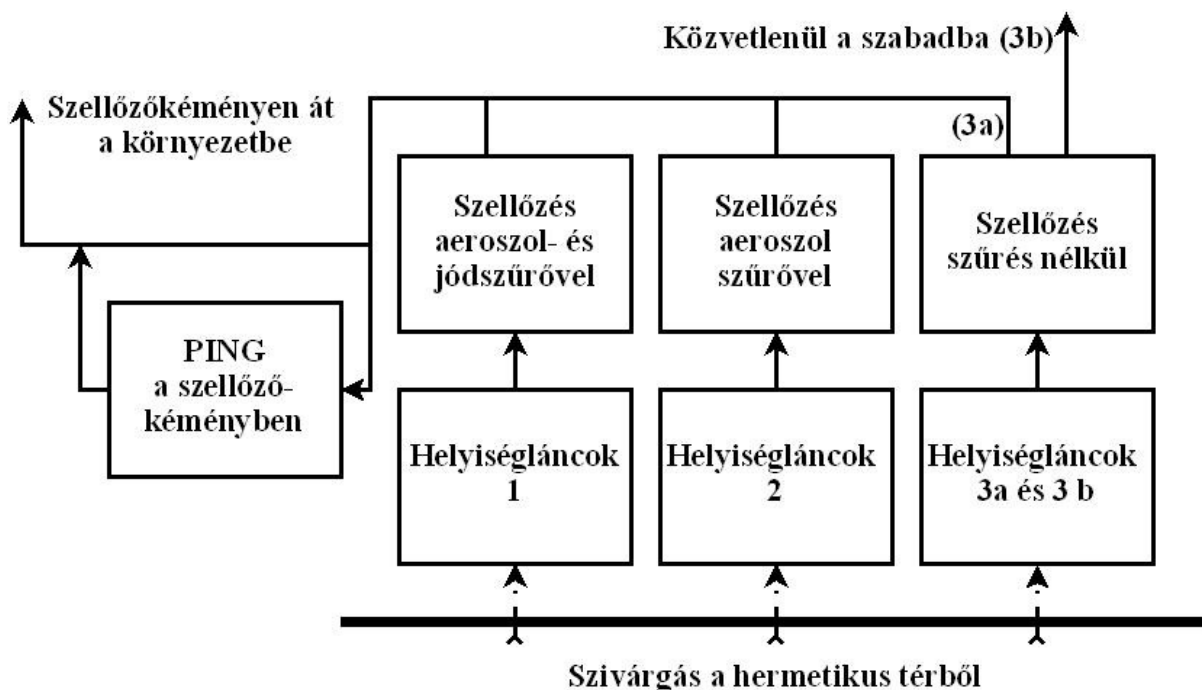
Feltételezzük, hogy a részaktivitás és a fragmentálásából származó aktivitás már a csőtörés pillanatában a víz–gőz keverékből álló primerköri közegbe kerül. Ezt a feltételezést csak az aktivitások egymáshoz viszonyított arányának meghatározásához használjuk fel.

A törött cső csonkján át a víz–gőz keverék nagy nyomással a hermetikus tér légterébe ömlik ki. A további számításoknál feltételezzük, hogy a primerköri közegbe került összes radioaktív nemesgáz a hermetikus tér légterébe kerül, az elemi és a szerves jód 57%-a és az aeroszolok (beleértve a jód aeroszolatokat is) 10%-a jut a légtérbe [2], a maradék rész pedig a vízfázisban, a hermetikus tér padlóján összegyűlő, ún. zsompvízben marad.

KÖRNYEZETI KIBOCSÁTÁS

A hermetikus térben létrejövő túlnyomás hatására a hermetikus tér tömítetlenségein át szivárgás lép fel a hermetikus teret körülvevő helyiségekbe. A hermetikus térből a szivárgás révén a környező helyiségekbe kerülő aktivitás a helyiségláncok késleltető (puffer) hatása miatt csak fokozatosan jut a szellőzőrendszerek elszívási ágába, majd onnan az aktivitás a szellőzőkéimenyén át a környezetbe bocsátódik ki (3. ábra). A szellőzőrendszerek egy részében nincs szűrő, más részében az aeroszolok jó hatásfokkal kiszűrődnek, míg egyes helyiségláncok irányában aeroszol és jódszűrővel is ellátott szellőzőrendszer van. Amennyiben a biztonsági rendszerek és rendszerelemek szellőző rendszereinek és a turbina épület szellőző rendszereinek irányába is van szivárgás, akkor az oda kerülő aktivitás az épületekből közvetlenül (azaz nem a szellőzőkéimenyén át) kerül a környezetbe.

A nagy átmérőjű csövek törése esetén a hermetikus téri túlnyomás nagy értéket ér el, de csak rövid ideig tart, mert a hermetikus téri passzív nyomáscsökkentő berendezések (légcsapda, passzív sprinkler) működésbe lépnek.



3. ábra. A környezeti kibocsátás útvonalai a hermetikus tér falától a környezetig

A 492 mm névleges átmérőjű fővezeték hidegági törése esetén a hermetikus tér túlnyomása kevesebb, mint egy percig áll fenn. Kisebb átmérőjű csövek törése esetén a passzív nyomáscsökkentő rendszerek nem lépnek működésbe és ennek következtében a túlnyomás több óra hosszát, akár egy napig is fennállhat. Ha az üzemzavar következtében létrejövő hermetikus téri túlnyomás huzamosabb ideig fennáll, akkor figyelembe kell venni azokat a hermetikus térben lejátszódó folyamatokat is, amelyek az aktivitás mennyiségét a hermetikus tér légtérében és a zompvízben befolyásolják. Ezeket a folyamatokat a 2. ábrán mutattuk be.

A hermetikus térbe jutó aktivitás – egyes nuklidoknál leányelem-képződés mellett – a radioaktív bomlás miatt csökken. A légtérben lévő aktivitás egy része kiülepszik a légtérrel határos felületekre, a sprinkler az aeroszolak és az elemi jód kimosása révén szintén csökkenti a légtérben lévő aktivitáskoncentrációt. Feltételezzük, hogy a falakra kiülepedett aktivitás a légtér nagy vízcsepp tartalma miatt lemosódik a falakról és a zompvízbe kerül. A sprinkler folyamatos vízellátását a sérült zónát is hűtő, kisnyomású Zóna Üzemzavari Hűtő Rendszer (ZÜHR) szivattyúja biztosítja, cirkuláltatva a törésen át a zompba kifolyó vizet. A zompvíz aktivitáskoncentrációját a 4. víztisztító fokozatosan csökkenti, de e berendezést várhatóan csak a hermetikus téri túlnyomás megszűnése után helyezik üzembe.

MÓDSZER A KÖRNYEZETI KIBOCSÁTÁS MEGHATÁROZÁSÁRA

A hermetikus térből kilépő aktivitás mérés alapján történő meghatározására új módszert dolgoztunk ki. Ez a módszer azon alapul, hogy a hermetikus térből az időegység alatt kiáramló levegőmennyiség arányos a hermetikus téri túlnyomás és az egyes irányokban mért hermetikus téri szivárgási érték szorzatával, az időegység alatt kilépő aktivitás pedig a kiáramló levegő aktivitáskoncentrációjának és a kilépő levegő mennyiségének szorzatával. A hermetikus téri túlnyomást több műszer is méri, az egyes helyiségek irányában fellépő szivárgási értékeket pedig az adott bloknál minden éves karbantartási leállás után meghatározzák. A kilépő levegő aktivitáskoncentrációja arányos a hermetikus térben elhelyezett, ún. baleseti γ -sugármérő jelzésével. Megállapítható, hogy a javasolt módszer a

már meglévő műszerek jelzését használja fel, megvalósításához csak számítástechnikai fejlesztésre van szükség.

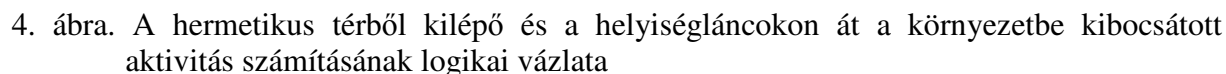
A 4. ábra mutatja a hermetikus térből kilépő és a helyiségláncon át kibocsátott aktivitás meghatározásának logikai vázlatát. A számításokat on-line számítógépen futó program közel valós időben tudja végezni, a programot a bármely blokkon csőtörés hatására létrejövő túlnyomásjel indítja. A hermetikus téri túlnyomás és a γ -sugárzás dózisteljesítménye alapján a program kiszámítja az egységnyi szivárgásra történő aktivitáskiáramlást, majd a korábban megadott szivárgási hányadok alapján megkapjuk az egyes helyiségláncokba belépő aktivitást. A helyiségláncok légforgalmának és a levegőszűrőknek megfelelően a program kiszámítja a környezetbe kilépő nuklidok aktivitását. A kimeneti adatok további felhasználását a jelen programtól független, akár on-line csatlakozó környezeti terjedésszámító program biztosítja, amely a meteorológiai adatok felhasználásával a környezeti sugárzási jellemzőket a számított kibocsátási adatok alapján határozza meg.

A 2. ábrán szereplő γ -sugárzásmérő műszer felső méréshatára 10^5 Gy/h, a csőtöréses üzemzavarnál fellépő magas hőmérsékletnek és nagy nyomásnak ellenálló kivitelű [3]. A hermetikus térben, a légcsapdák előtti aknában elhelyezett γ -sugárzás detektor mind a hermetikus tér légtérben, mind a detektor alatti zsompvízben lévő radionuklidok által létrehozott sugárzási teret együttesen méri. Ahhoz, hogy e jelzésből le lehessen vonni a zsompvíz okozta járulékot, szükség volt arra, hogy kiszámítsuk az egyes komponensek időfüggő relatív hozzájárulását a dózistérhez. A dózisteljesítmény számításokhoz a nukleáris és a geometriai adatokat felhasználva a Microshield programot [4] alkalmaztuk. A 2. táblázat adja meg a két különböző várható vízszintre vonatkozó dózisteljesítményeket. A 40 cm-es vízszint annak az esetnek felel meg, ha a passzív sprinkler nem lép működésbe, a 153 cm-es pedig annak, ha a passzív sprinkler működésbe lépett és a felhasznált vízmennyiség a padlóra kerül.

A dózistér számításánál feltételezzük, hogy mind a légtérben, mind a zsompvízben ismerjük a nuklidok aktivitásának egymáshoz viszonyított arányát, valamint ismertnek fogadjuk el a légtér és a zsompvíz közötti kezdeti aktivitásmegoszlást is. Ezenkívül szükség van annak ismeretére is, hogy a detektor jelzésének mekkora hányada származik a kibocsátás szempontjából kizárólag meghatározó légtér aktivitásból. Az 5. ábrán bemutatjuk azt az esetet, amelyet a $\varnothing 492$ mm-es hidegági főkeringtető vezeték 200%-os törése jelent, megadva a légtér, illetve a zsompvíz aktivitásából származó dózisteljesítmény-járlék időfüggését. Az adott esetben a zsompvíz várható szintje 153 cm lesz. A számításoknál a radioaktív bomlás mellett figyelembe vettük a sprinkler és a kiüledés hatását is, amelynek révén a légtérben lévő elemi jód és az aeroszolok egyre nagyobb hányada kerül át a zsompvízbe. Ennél az esetnél kezdetben a légtér dóziskomponense a nagyobb, azonban már mintegy 15 perc után a két komponens egyenlő lesz, két óra elteltével pedig a zsompból származó komponens már kétszerese a légtér járulékának.

A bemutatott dózisteljesítmény arányok minden olyan esetre érvényesek, amelyeknél a zsompvíz szintje eléri a 153 cm-t, de a dózisteljesítmény számszerű értékei az ábrán szereplő értékektől eltérhetnek.

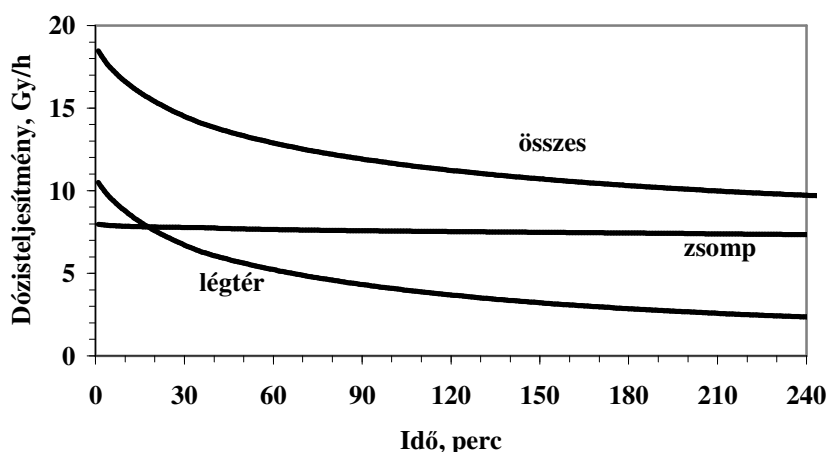
Meg kell jegyezni, hogy a hermetikus térben lévő γ -sugárzásmérő műszer az ismertetett üzemzavarnál fellépő mintegy 20 Gy/h sugárzási tér 5000-szereséig, azaz $1 \cdot 10^5$ Gy/h-ig lineárisan mér. Az ismertetett üzemzavarnál a zónakészlet 1–2%-a jut ki a hermetikus térbe, tehát a műszer még akár a teljes zónakészlet légtérbe kerülése esetén is lineárisan mér.



2. táblázat: Részletár (EU legjobb közelítés, a fragmentálódásból származó járulékot is tartalmazza) és a 100%-os fűtőelemburkolat-sérüléshez tartozó, a hermetikus tér légteréből, illetve a zsompvízből származó dózisteljesítmények különböző vízszintek esetén a törés utáni $t=0$ időpontban

Nuklid	Felezési idő (óra)	Részletár (Bq)	Dózisteljesítmény Gy/h-ban			
			levegő komponenstől, ha zsompvíz		zsompvíz komponenstől, ha a zsompvíz	
			40 cm	153 cm	40 cm	153 cm
^{85m} Kr	4,48	4,71E+15	9,41E-02	8,64E-02	-	-
⁸⁵ Kr	94000	2,12E+15	5,37E-04	4,93E-04	-	-
⁸⁷ Kr	1,272	4,71E+15	3,62E-01	3,33E-01	-	-
⁸⁸ Kr	2,84	8,19E+15	1,38E+00	1,27E+00	-	-

Nuklid	Felezési idő (óra)	Részletár (Bq)	Dózisteljesítmény Gy/h-ban			
			levegő komponenstől, ha zsompvíz		zsompvíz komponenstől, ha a zsompvíz	
			40 cm	153 cm	40 cm	153 cm
⁸⁹ Kr	0,0528	3,16E+15	5,46E-01	5,01E-01	-	-
⁹⁰ Kr	0,00898	2,07E+15	2,58E-01	2,37E-01	-	-
^{131m} Xe	285,6	4,92E+14	9,07E-03	8,32E-03	-	-
¹³³ Xe	125,88	7,47E+16	1,28E+00	1,18E+00	-	-
^{135m} Xe	0,255	2,34E+15	1,23E-01	1,13E-01	-	-
¹³⁵ Xe	9,09	1,08E+16	3,08E-01	2,83E-01	-	-
¹³⁸ Xe	0,236	9,76E+15	1,11E+00	1,01E+00	-	-
¹³¹ I	192,96	1,06E+16	3,15E-01	2,89E-01	1,11E-01	5,00E-02
¹³² I	2,3	5,22E+15	8,57E-01	7,87E-01	3,05E-01	1,38E-01
¹³³ I	20,8	1,23E+16	5,37E-01	4,93E-01	1,91E-01	8,60E-02
¹³⁴ I	0,8767	6,77E+15	1,22E+00	1,11E+00	4,34E-01	1,95E-01
¹³⁵ I	6,61	8,87E+15	9,41E-01	8,64E-01	3,49E-01	1,57E-01
⁸⁴ Br	0,53	4,47E+14	1,40E-02	1,29E-02	5,43E-03	2,45E-03
⁸⁷ Br	0,0155	5,88E+14	4,03E-02	3,71E-02	1,55E-02	7,01E-03
⁸⁸ Rb	0,297	1,75E+15	1,04E-02	9,54E-03	7,27E-02	3,26E-02
⁸⁹ Rb	0,253	2,25E+15	4,64E-02	4,26E-02	3,18E-01	1,43E-01
⁹⁰ Rb	0,0425	1,53E+15	2,68E-02	2,46E-02	1,80E-01	8,12E-02
⁸⁹ Sr	1212	2,05E+16	-	-	-	-
⁹⁰ Sr	255000	3,36E+15	-	-	-	-
⁹¹ Sr	9,52	6,35E+15	7,07E-02	6,49E-02	4,74E-01	2,14E-01
⁹² Sr	2,71	5,05E+15	6,74E-02	6,19E-02	4,57E-01	2,06E-01
⁹⁵ Zr	1535,5	3,88E+16	3,16E-01	2,90E-01	2,03E+00	9,16E-01
⁹⁷ Zr	16,9	9,82E+15	1,88E-02	1,73E-02	1,23E-01	5,53E-02
⁹⁵ Nb	843,6	3,22E+16	2,71E-01	2,48E-01	1,75E+00	7,88E-01
⁹⁷ Nb	1,2	5,51E+15	4,10E-02	3,77E-02	2,65E-01	1,19E-01
⁹⁹ Mo	66	1,52E+16	2,52E-02	2,32E-02	1,65E-01	7,44E-02
¹⁰³ Ru	942,7	2,78E+16	1,73E-01	1,58E-01	9,96E-01	4,50E-01
¹⁰⁶ Ru	8847,6	1,55E+16	3,61E-02	3,29E-02	2,34E-01	1,06E-01
¹³² Te	78,2	1,19E+16	4,70E-02	3,97E-02	3,35E-01	1,51E-01
¹³⁴ Cs	18100	5,77E+15	9,94E-02	9,14E-02	7,64E-01	3,44E-01
¹³⁷ Cs	263000	4,54E+15	2,96E-02	2,72E-02	1,86E-01	8,34E-02
¹³⁸ Cs	0,537	5,28E+15	1,23E-01	1,13E-01	8,49E-01	3,83E-01
¹³⁹ Ba	1,378	6,38E+15	2,85E-03	2,61E-03	1,76E-02	7,92E-03
¹⁴⁰ Ba	305,8	2,26E+16	5,78E-01	5,29E-01	3,76E+00	1,70E+00
¹⁴⁰ La	40,27	1,30E+16	2,99E-01	2,75E-01	2,03E+00	9,16E-01
¹⁴¹ Ce	780	2,95E+16	3,56E-02	3,27E-02	1,83E-01	8,22E-02
¹⁴³ Ce	33	1,07E+16	4,86E-02	4,46E-02	3,58E-01	1,61E-01
¹⁴⁴ Ce	6823,2	4,00E+16	2,97E-02	2,72E-02	1,47E-01	6,62E-02
¹⁴⁴ Pr	0,288	3,25E+15	1,00E-01	9,18E-02	6,90E-01	3,12E-01
Összeg			1,19E+01	1,09E+01	1,78E+01	8,02E+00



5. ábra: A légtérben és a zsompvízben lévő radionuklidoktól származó, valamint az összegzett dózisteljesítmény időfüggése 153 cm-es zsomp vízszint esetén a radioaktív bomlás, a kiülepedés és a kimosás figyelembevételével

A leírt módszerrel a mért on-line adatok alapján közel valós időben meghatározható a környezeti radionuklid kibocsátás még abban az esetben is, ha a kibocsátás nem csak a szellőzőkéményen át történik, illetve akkor is, ha a kéménykibocsátás esetén a kibocsátott levegő aktivitáskoncentrációja meghaladja a kibocsátást mérő műszerek felső méréshatárát.

A módszer a legjobb közelítésnek megfelelő adatbázist (résaktivitás, fűtőelem fragmentáció, légtér/zsompvíz megoszlási tényező, kimosási és kiülepedési állandók) használja, azonban e tényezők, valamint a detektorjelzés számítási bizonytalansága, a felületi szennyeződések hatásának elhanyagolása miatt a kibocsátás számítása csak közelítő eredményeket adhat, ugyanakkor olyan esetekben is tájékoztatást nyújt, amikor a jelenlegi mérőrendszerek nem képesek megfelelően adatot szolgáltatni.

A LOCAREL PROGRAM

A leírt módszer alapján kifejlesztett programot a LOCAREL-nek neveztük el. Még 2009-ben elkészült a LOCAREL_A (autonóm) változat, mely néhány üzemzavari esetre meghatározott, szimulált adatsor alapján, autonóm módon végzi a számítást. 2010-ben került sor a LOCAREL_I (interaktív) program kifejlesztésére. A program bemenő hermetikus téri nyomás és dózisteljesítmény adatait a HERMET [3] program továbbfejlesztett változata, a HERMAKT program adja meg nyolc tipikus csőtöréses üzemzavar esetére. A LOCAREL_I program struktúráját a 6. ábra mutatja be.

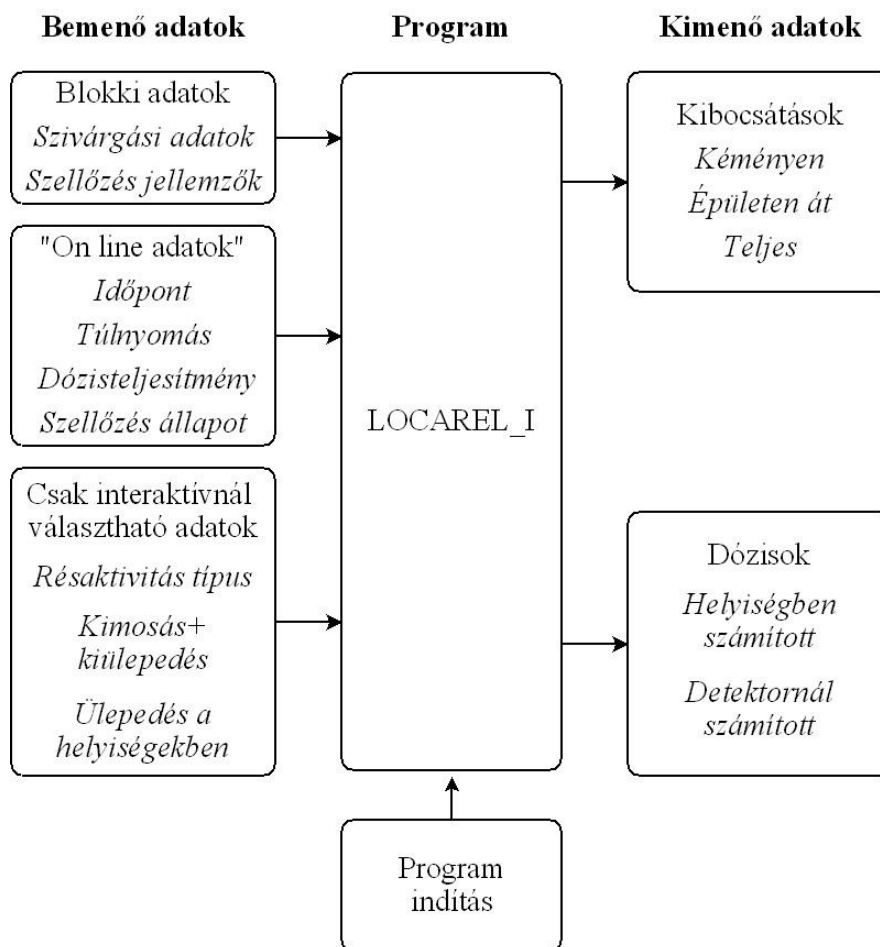
A LOCAREL_I program futásához a következő, előre kiszámított, időfüggő adatok szükségesek:

- a hermetikus téri nyomás eltérése a környezet légnyomásától (túlnyomás),
- a hermetikus térben elhelyezett nagy méréshatárú, úgynevezett baleseti dózisteljesítmény-mérő jelzése (dózisteljesítmény).

A felhasználónak meg kell adnia:

- a szivárgási adatokat,
- a hermetikus teret körülvevő helyiségláncok szellőzésének jellemzőit,
- a LOCA bekövetkezésének időpontját,
- a szellőzés állapotát,
- a résaktivitás típusát,

- figyelembe vegye-e a hermetikus téren belüli kiüledést és kimosást,
- figyelembe vegye-e a helyiségekben bekövetkező kiüledést.



6. ábra: A LOCAREL_I programcsomag szerkezete

Ezeket az adatokat felhasználva a LOCAREL_I program meghatározza:

1. a hermetikus térből az érintett helyiségekbe kilépett radionuklidok aktivitását az adott pillanatig, kiszámítva a radioaktív anyagok áramlását az érintett szellőzőrendszereken át a kémény felé, illetve az esetleges szekunderköri helyiségeken át közvetlenül a szabadba,
2. az erőművön belüli terjedés időbeli puffertását figyelembe véve a szellőzőkéményen és/vagy közvetlenül az épületen át kibocsátott radionuklidok aktivitását az adott, kerek 10 perces időintervallumokra,
3. a gamma-sugárzásból és az inhalációból eredő dózis(teljesítmény) időfüggését a hermetikus térrel közvetlenül érintkező helyiségekre,
4. a szellőzőkéményben fellépő gamma-sugárzási dózisteljesítményt, a kéményben elhelyezett PING mérőeszközök várható jelzéseit, valamint egyes, a hermetikus térrel határos és dózisteljesítmény-mérő műszerrel ellátott helyiségekre vonatkozóan a gamma-sugárzás bemerülési dózist.

A rendszer kimenete a környezeti kibocsátást nuklidszelektíven adja meg, 10 perces időfelbontással olyan formátumban, hogy az egy környezeti terjedésszámító program bemeneti adataként szolgálhasson.

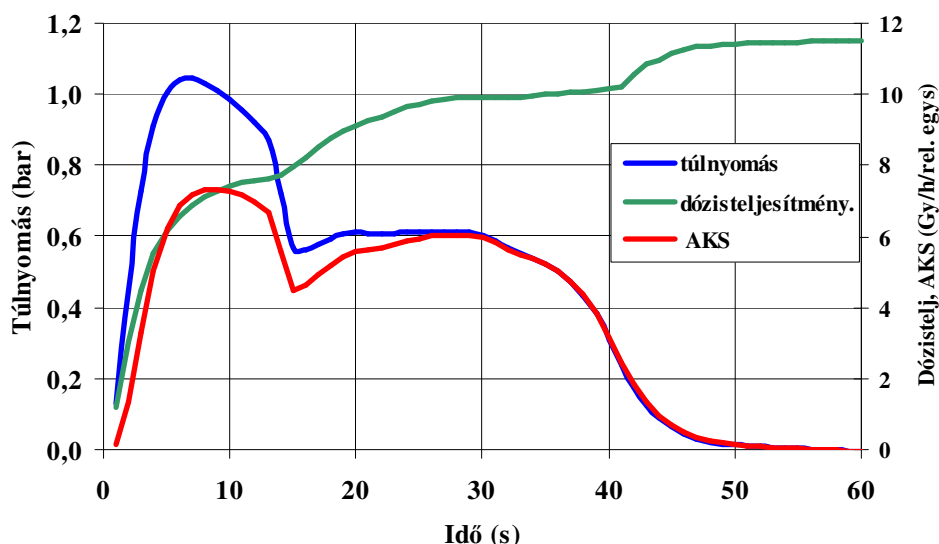
A LOCAREL_I program olyan oktató és fejlesztő változat, amely önálló személyi számítógépen futtatható, a programban szereplő szabad paraméterek módosíthatók, és ennek révén esettanulmányok, érzékenységvizsgálatok végezhetők.

A hároméves fejlesztés végcélja a LOCAREL_O (on-line) real-time, on-line programrendszer, amely egy hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavar esetén a ténylegesen mért hermetikus téri nyomás, dózisteljesítmény és zsonpvíz magasság adatokból on-line kapcsolattal, valós időben számítja a környezeti kibocsátást. Maga a LOCAREL_O program a LOCAREL_I program olyan változata, amelynél a bemeneti adatok nem szimulált, hanem a mért üzemzavari technológiai és sugárzási adatok. A program a hermetikus tér nyomását figyeli, a számításokat a hermetikus tér nyomásnövekedése automatikusan indítja. A mért és a számított adatok numerikusan és grafikusán is megjeleníthetők. A program kimeneti adatsora, a tízpercenkénti nuklidszelektív kibocsátás bemenő adatsora lehet a környezeti sugárterhelést számító csatlakozó programnak.

A LOCAREL_O program paksi üzembe helyezése még 2011-ben várható.

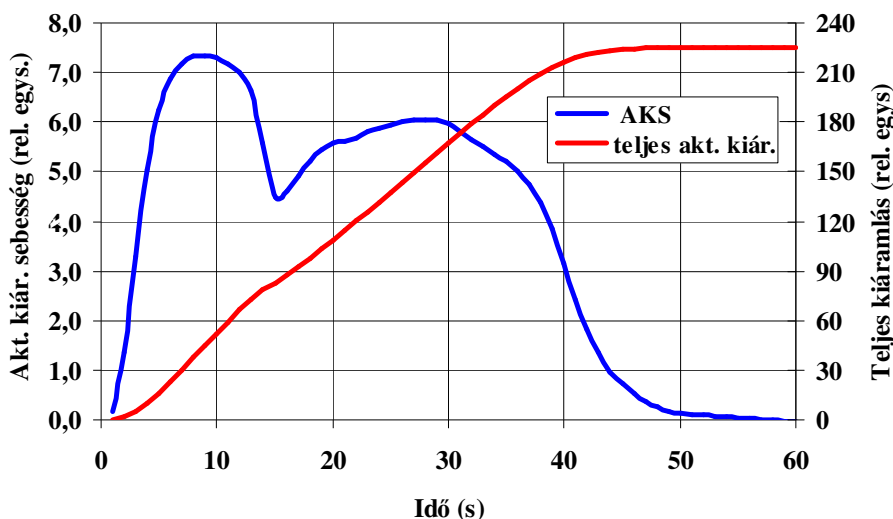
A LOCAREL PROGRAM ALKALMAZÁSA

Példaként a 492 mm átmérőjű fővezeték hidegági törés következményeit vizsgáljuk meg. A 7. ábrán bemutatjuk a törés következtében létrejövő túlnyomás időfüggését [3]. Ugyanezen az ábrán látható a számított hermetikus téri dózisteljesítmény légtérfogatból eredő komponense, amelyik a hermetikus tér légterének aktivitásával arányos. A hermetikus térből az aktivitás kiáramlás sebessége arányos a hermetikus téri túlnyomás és a hermetikus téri dózisteljesítmény szorzatával, így kapjuk az aktivitáskiáramlási sebességet (AKS), ezt az adatot is mutatja a 7. ábra. Az adott esetben feltételeztük, hogy az összes fűtőelem hermetikus burkolata sérül és az ennek megfelelő résaktivitás és fragmentum kerül a hermetikus térbe.



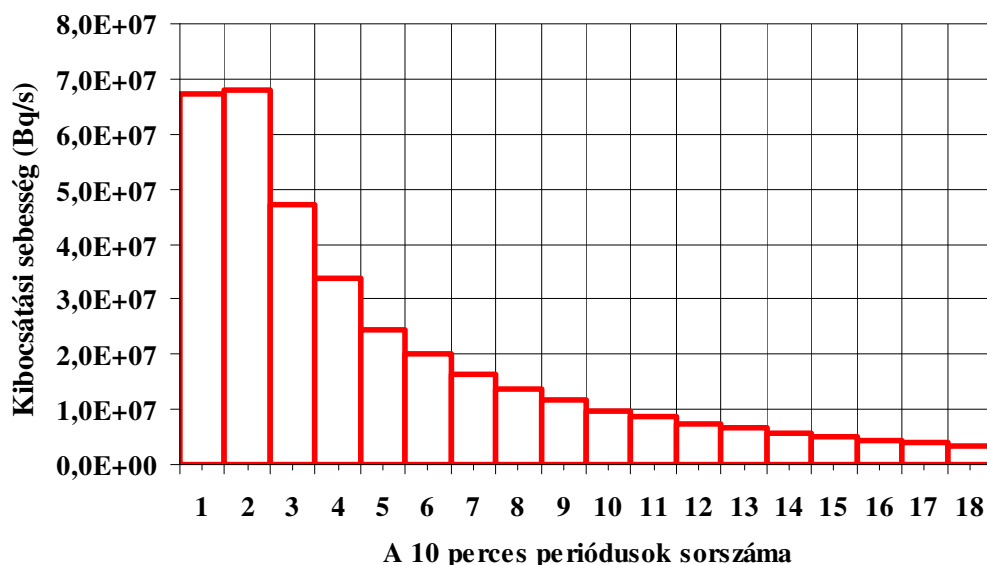
7. ábra. A 492 mm átmérőjű fővezeték hidegági törése következtében létrejövő túlnyomás, dózisteljesítmény és aktivitáskiáramlási sebesség (AKS) időfüggése

A hermetikus térből kiáramló összes aktivitás arányos az aktivitáskiáramlási sebesség időintegráljával (8. ábra), annak abszolút értéke függ a hermetikus tér teljes szivárgási hányadtól.



8. ábra. A 492 mm átmérőjű fővezeték hidegági törése következtében létrejövő aktivitáskiáramlási sebesség (AKS) és időintegráljának időfüggése

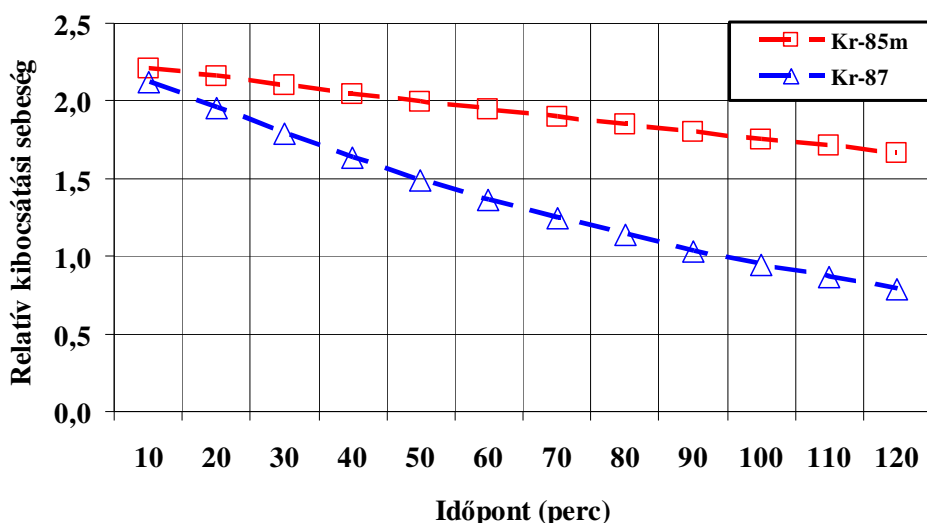
A helyiségláncok légtérfogatának késleltető hatása miatt a környezeti kibocsátás még a nagyon rövid túlnyomás esetén is viszonylag hosszú időig tart még. Tipikus szivárgási értékekre (nincs közvetlen kibocsátás a szabadba) vonatkozó kéménykibocsátás számításaink eredményét a ^{85}Kr -re vonatkozóan a 9. ábra mutatja. Ebben az esetben a helyiséglánc helyiségeiben nem lép fel sem a nemesgáz nuklid részleges kiülepedése és a bomlása is elhanyagolható, mert e nuklid felezési ideje 10,7 év.



9. ábra. A ^{85}Kr számított kéménykibocsátása a csőtörést követő első három órában.

A helyiséglánc visszatartó (puffer) hatását mutatja, ha megvizsgáljuk a 4,45 órás felezési idejű $^{85\text{m}}\text{Kr}$ és az 1,27 órás felezési idejű ^{87}Kr szellőzőkémény kibocsátásának időfüggését a

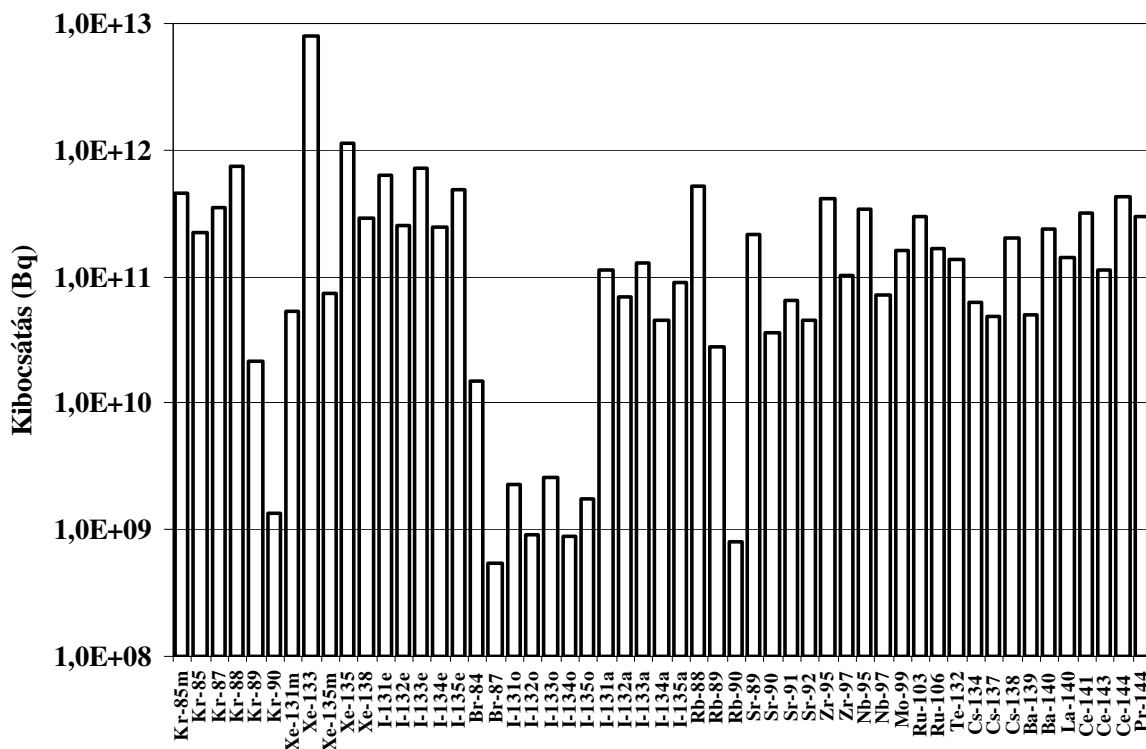
nagyon hosszú felezési idejű ^{85}Kr kibocsátására normálva (10. ábra). Különösen szembetűnő a csökkenés a ^{87}Kr esetében, amelynél a bomlás következtében a kezdeti aktivitás két óra alatt az eredeti érték 37%-ára csökken



10. ábra A 4,45 órás felezési idejű $^{85\text{m}}\text{Kr}$ és az 1,27 órás felezési idejű ^{87}Kr kibocsátása a ^{85}Kr kibocsátására normálva, az első két órában

A radioaktív bomlás mellett az aeroszokok és az elemi jód kibocsátását tovább csökkenti a helyiségek falára történő kiülepedés és a sprinkler általi kimosás is.

A bemutatott esetben a 2. óra végéig történő teljes kibocsátást nuklidonkénti megoszlásban a 11. ábra mutatja.



11. ábra A nuklidok szerinti teljes kéménykibocsátás a csőtöréstől eltelt első két órában A jódizotópok jelölése: e – elemi, o – szerves (organikus), a – aeroszol forma

HIVATKOZÁSOK

- [1] 89/2005. (V. 5.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
- [2] W. Stephenson, L. M. C. Dutton, B. J. Handy, C. Smedley: Realistic methods for calculating the releases and consequences of a large LOCA, EUR 14179 EN, 1993.
- [3] EVVEREST modular design file. HERMET code. CORYS-BELGATOM-SIEMENS-THOMSON, EVST-DCS/4-PG, 8 May 1996.
- [4] Mirion Technologies SA., <http://www.mirion.com/en/products/datasheets>
- [5] Microshield 6.02 programcsomag. Framatome Technologies, Inc. d.b.a. Grove Engineering

A közlemény a SOMOS Alapítvány támogatásával készült