

## A súlyos erőművi balesetek környezeti kibocsátásának becslése valósídejű mérések alapján

Deme Sándor\*<sup>1</sup>, Láng Edit<sup>1</sup>, Pázmándi Tamás<sup>1</sup>, C. Szabó István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA Energiatudományi Kutatóközpont, 1525 Budapest, pf. 49

<sup>2</sup>Paksi Atomerőmű Zrt., 7031 Paks, pf. 71

\*deme@aeki.kfki.hu

*Title – Estimation of environmental release based on real-time measurements in case of severe NPP accident*

*Abstract – The paper deals with overview of methods based on real-time measurements and applicable for estimation of environmental release through damaged wall of NPP in case of severe plant accident. Measurements's data to be used for this purpose are dose rates measured in hermetical rooms, reactor hall, around buildings of the plant, ventilation conditions, wind direction and speed.*

*Low height (1–46 m) environmental release and its order of magnitude can be estimated using dose rate data measured in ventilation stack and by detectors dislocated around the buildings of NPP. The method of estimation is based on calculation of environmental dose rates near buildings using dose rate in ventilation stack, ventilation rate and wind data at the effective stack height. If in the case of severe accident the wall of the hermetical rooms is damaged the dose rate near the buildings of NPP will be higher than the calculated one and the excess dose rate will be proportional to the activity release at low height.*

*Some numerical examples of calculations will be presented in the paper as well.*

*Keywords- Nuclear Power Plant, severe accident, environmental release, real-time measurements*

**Kivonat** – Tanulmányunkban áttekintjük, hogy súlyos erőművi balesetknél milyen módszerek használhatóak az épület sérülésén át közvetlenül bekövetkező környezeti kibocsátás becslésére valósídejű mérések alapján. Az e célra felhasználható adatok a hermetikus térben, a reaktorcsarnokban, a szellőkéményben és az udvartéren mért dózisteljesítmények, a szellőzés állapota, a szélirány és a szélesebesség.

Az alacsony szinten (1–46 m) a környezetbe kerülő aktivitás kimutatására és annak mértékére a szellőzőkéményben és az udvartéren mért dózisteljesítmények alapján lehet következtetni. A módszer alapja az, hogy az udvartéri detektorok helyén a szellőzőkémény radioaktív kibocsátásából származó dózisteljesítmény meghatározható a kéményekben lévő gamma-sugárzás detektor által mért dózisteljesítményből, a kémény légforgalomból, a 120 m magasan mért szélirányból és szélesebességéből. Amennyiben a baleset épületsérüléssel jár együtt, akkor az udvartéri detektorok jelzése a kéménykibocsátás alapján számított értéknél nagyobb lesz, a növekmény pedig arányos lesz az alacsony szinten történő kibocsátással.

A cikkben számszerű példákat is adunk az ismertetett módszerre vonatkozóan.

**Kulcsszavak** – atomerőmű, súlyos baleset, környezeti kibocsátás, valósídejű mérések

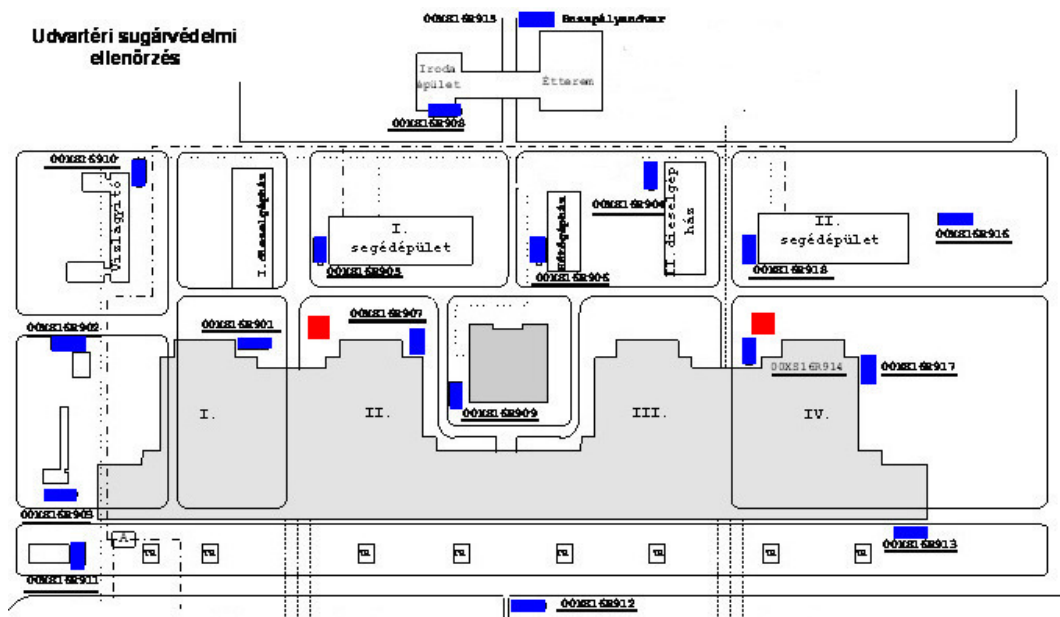
### AZ ATOMERŐMŰ SÚLYOS BALESETE

Korábbi közleményünkben [1] egy új módszert írtunk le a környezeti kibocsátás meghatározására az atomerőmű hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavara esetén. Az adott esemény a tervezési üzemzavarok közé tartozik, és feltételeztük, hogy az esemény nem

jár sem zónaolvadással, sem a hermetikus tér falának sérülésével, és a kibocsátás gyakorlatilag csak a szellőzőkéményen keresztül történik.

Jelen munkákban azt vizsgáljuk meg, hogy milyen lehetőség van a súlyos erőművi balesetek környezeti kibocsátásának becslésére valósidejű mérések alapján. A súlyos baleset a reaktorzóna jelentős károsodásával együtt járó, a tervezési alapnál, valamint a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó üzemzavaroknál súlyosabb külső hatásokkal járó baleseti állapot. [2] Ennél a kategóriánál nem zárjuk ki a hermetikus tér falának sérülését és ebben az esetben a közvetlen, a falsérülésen keresztül történő – egyes esetekben igen nagymértékű – környezeti kibocsátást. Feltételezzük, hogy a közvetlen kibocsátás mellett, a működő szellőrendszer révén a szellőzőkéményen át is történik kibocsátás.

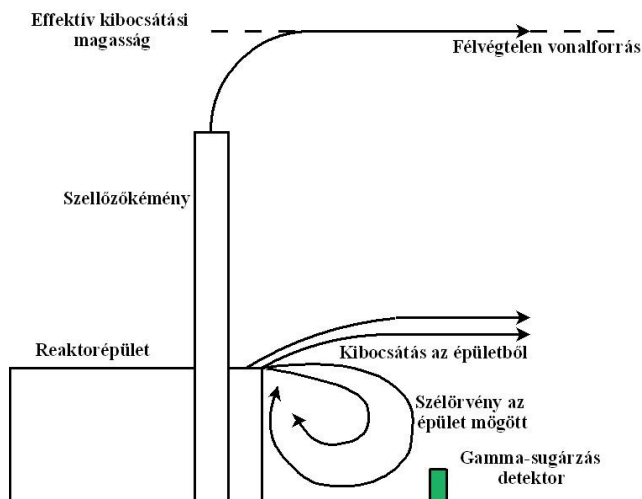
A szellőzőkéményen át történő kibocsátás mérése a szellőzőkémény légterében elhelyezett vagy onnan mintát vevő műszerekkel történik. Az épületfalán történő sérülés révén létrejövő közvetlen kibocsátás kimutatására az erőmű területén elhelyezett ún. udvartéri detektorokat lehet felhasználni (1. ábra). Ezek az  $1 \cdot 10^{-8}$  Sv/h – 10 Sv/h dózisteljesítmény tartományban mérő gamma-sugárzás detektorok mind a szellőzőkéményen át, mind a közvetlenül az épület falának sérülésén keresztül kibocsátott radionuklidok sugárzását mérik. A kéménykibocsátás révén létrejövő gamma-sugárzás dózisteljesítménye viszonylag jól meghatározható az udvartéri detektoroknál a jelenleg is rendelkezésre álló mérőrendszerek révén (2. ábra), így a közvetlen kibocsátás hatása is jól detektálható. A kéménykibocsátás a kémény közelében félvégtelen vonalforrással közelíthető, az épületen át közvetlenül kibocsátott aktivitás az épület körül létrejövő, örvénylő légtérbe kerül.



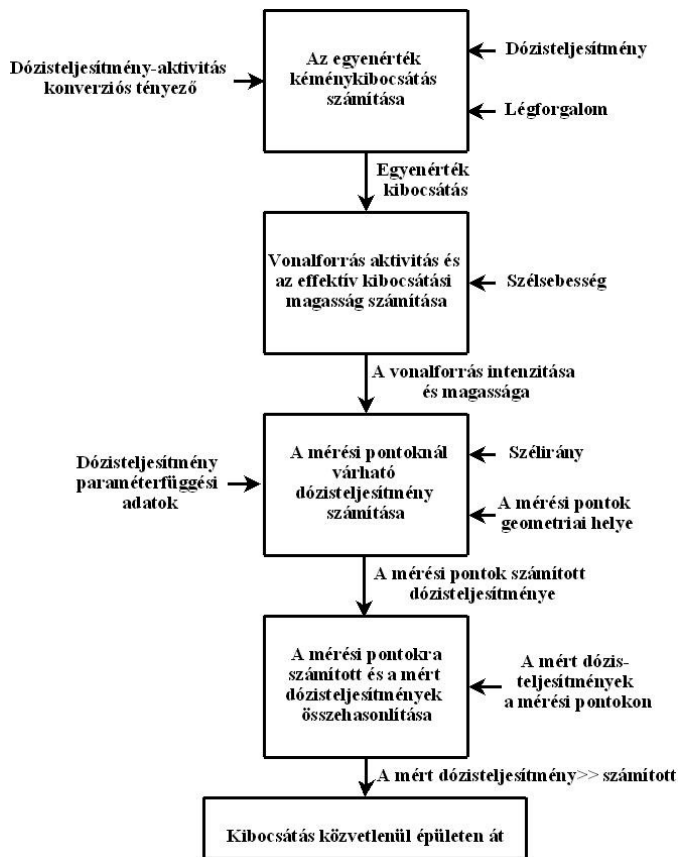
1. ábra. Az udvartéri detektorok (kék téglalapok) elhelyezkedése. A reaktorépületeket a I..IV számítás jelzi. A szellőzőkémények helyét piros négyzetek jelzik.

Az épületkibocsátás kimutatásának logikai vázlatát a 3. ábra mutatja be. A szellőzőkémények előtti H1 jelű szellőzőhídban egy 10 Gy/h felső méréshatárú gamma-sugárzás detektor van, amely a híd 5 m-es szélességű, 6 m-es magasságú, 32 m hosszú térrészében, a hossz tengely 1/3-ban, a keresztmetszet középpontjában méri a kibocsátásra kerülő levegő gamma-sugárzását (4. ábra). Ha feltételezzük, hogy a sugárzást 1 MeV-es fotonok hozzák létre, akkor a gamma-sugárzás dózisteljesítménye révén megállapítható a levegő egyenérték aktivitáskoncentrációja. A Microshield programmal [3] meghatároztuk, hogy ha a levegőben

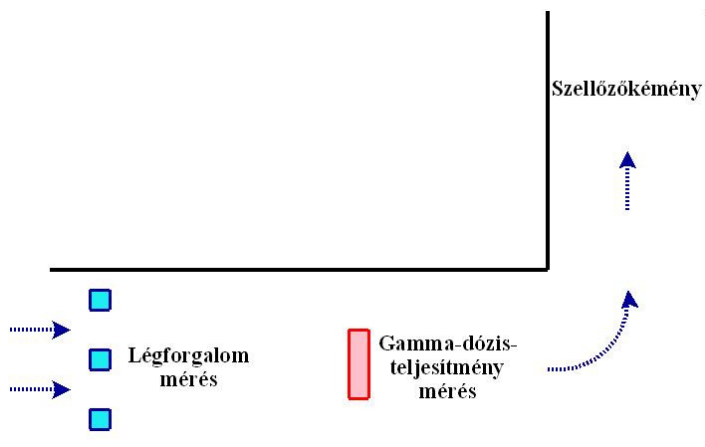
lévő aktivitás bomlásonként 1 db 1 MeV-es fotont bocsát ki, akkor az  $1 \text{ (foton/s)/m}^3$  "aktivitáskoncentráció" révén létrejövő dózisteljesítmény  $7,1 \cdot 10^{-12} \text{ Gy/h}$ . A szintén mért kémény légforgalom ismeretében meghatározható a fenti "nuklidra" vonatkozó egyenérték kibocsátás Bq/s egységben.



2. ábra. A kéménykibocsátás és az épületből történő közvetlen kibocsátás vázlata. Az udvartéri gamma-sugárzás detektorok mind a kéménykibocsátás, mind az épület falának sérülésén keresztül történő kibocsátás sugárzását mérik.



3. ábra. Az épületkibocsátás kimutatásának logikai vázlata



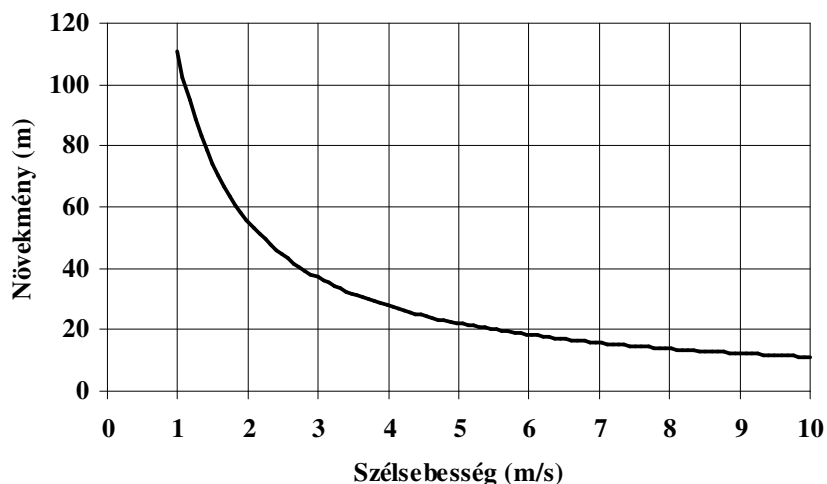
4. ábra. A légforgalom és a dózisteljesítmény mérésének vázlata. A mérőműszerek a H1 szellőzőhídban vannak elhelyezve

A szellőzőkémény kibocsátásnál a vonalforrás talajfelszín feletti magassága megegyezik az effektív kibocsátási magassággal, azaz a kémény geometriai magasságának és a kiegészítő kéménymagasságának az összegével. A mozgásmennyiség dominanciája (hideg kibocsátás) esetén a  $\Delta H$  kiegészítő kéménymagasság m-ben

$$\Delta H = 3d_s \frac{v_s}{u_s}, \quad (1)$$

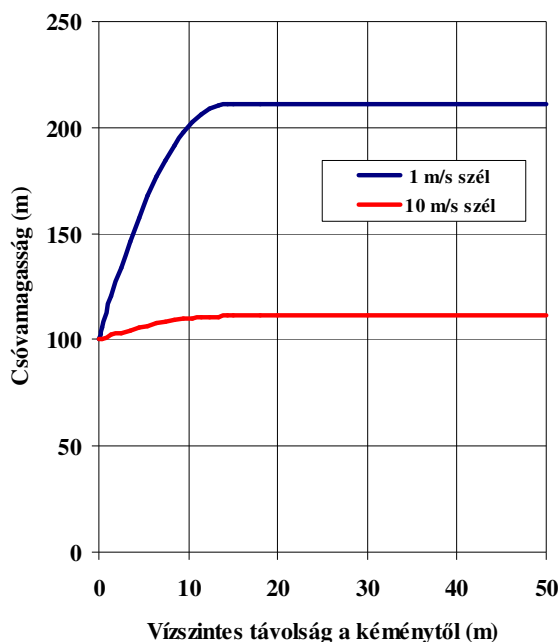
ahol  $d_s$  a kéménytető belső átmérője (m),  $v_s$  a kiáramló levegő sebessége (m/s),  $u_s$  a szélesebbesség a kibocsátás magasságában (m/s). [4]

A szellőzőkéményen át kibocsátott levegő sebessége – ikerkéményenként  $5 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$  légforgalom esetén – 15,4 m/s. A kéményátmérő,  $d_s = 2,4 \text{ m}$ . Ezeket az adatokat alapul véve a járulékos kéménymagasság szélesebbesség függését az 5. ábra mutatja. Meg kell jegyezni, hogy a 100 m-es kéménymagasságban a tipikus szélesebbesség ( $u_s$ ) általában meghaladja az 5 m/s-ot, ennek révén az effektív kibocsátási magasság rendszerint nem több 120 m-nél.



5. ábra. A járulékos kéménymagasság (növekmény) szélesebbesség függése

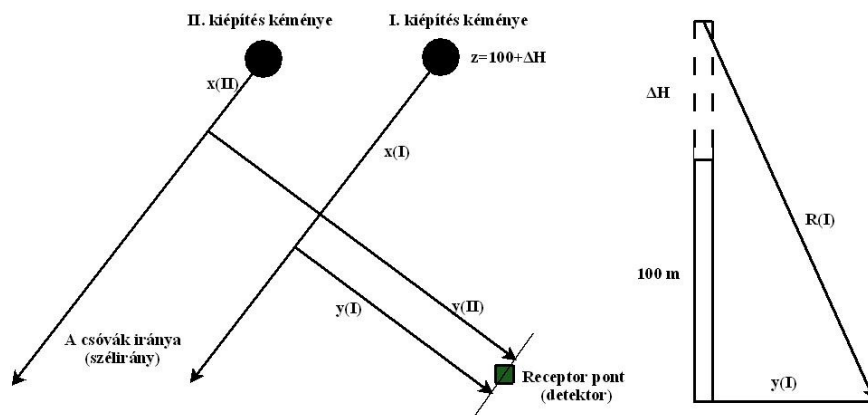
Ha feltételezzük azt, hogy a kéményen kibocsátott levegő a járulékos kémény magasság eléréséig egyenletesen lassul le a 15,4 m/s-os kibocsátási sebességről nulla vertikális sebességre, akkor kimutatható, hogy a lelassulási idő  $t = 14,4/u_s$ , ezen idő alatt megtett vízszintes úthossz pedig a szélesebbségtől függetlenül minden esetben 14,4 m. Ezen a távolságon túl már kialakul a vonalforrás (6. ábra). A továbbiakban úgy számolunk, hogy a vonalforrás kezdete az ikerkémények középpontja.



6. ábra. A csóva számított pályája és az idealizált vonalforrás 1 és 10 m/s-os szélesebbség esetén.

## A FÉLVÉGTELEN VONALFORRÁS SUGÁRZÁSI TERE

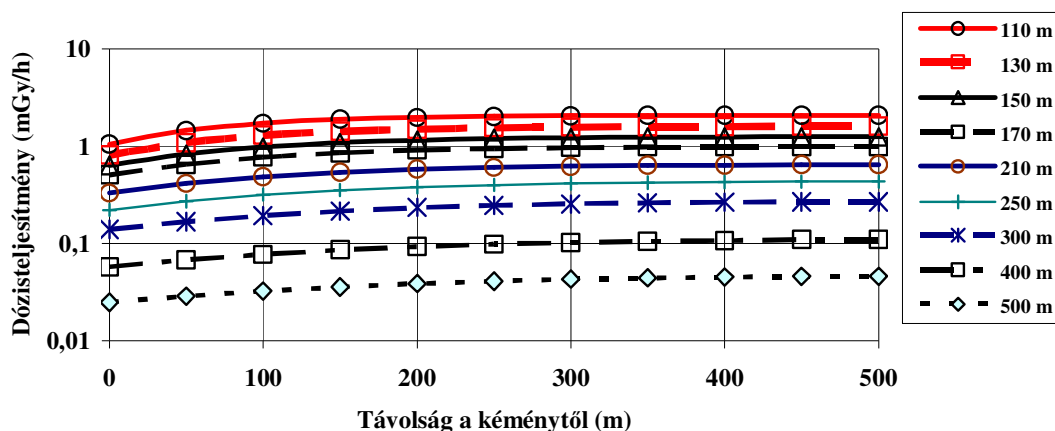
A félvégtelen vonalforrás számításánál használt geometria adatokat a 7. ábra mutatja



7. ábra. A számításokban használt geometriai adatok  $x$  – távolság a félvégtelen vonalforrás kezdőpontjától,  $R(I)$  távolság az I kiépítés kéményének vonalforrásától. Az  $x$  és  $y$  irányok egymásra merőlegesek

A szellőzőkémény talppontjától a legtávolabbi detektorig a távolság mintegy 400 m, az effektív kibocsátási magasság nem haladja meg a 210 métert, ennek megfelelően az  $R_{\max}$  kevesebb, mint 500 m.

A számításoknál a szellőzőkéményen kibocsátott radionuklidok energiáját 1 MeV-nek fogadjuk el, ennek feltételezésével határozzuk meg a kibocsátott egyenérték aktivitást. A 8. ábrán látható a félvégtelen vonalforrás által létrehozott sugárzási tér  $1 \cdot 10^{10}$  (foton/s)/cm forrásintenzitás esetén a kéménytől mért szélmenti távolság függvényében a csóvától 110–500 m merőleges távolság (R a 7. ábrán) tartományban. Látható, hogy a dózisteljesítmény a szélirányban a kéménytől mért első 100 m-es távolságban jelentősen változik, ezért célszerű lehetőleg a 100 m-nél távolabb fekvő detektorok jelzését alapul venni. A széliránnyal ellentétes oldalon is jön létre sugárzási tér, de az viszonylag kis intenzitású és a távolság függvényében gyorsan változik, ezért a számításoknál kevésbé használható.



8. ábra. A félvégtelen vonalforrás által létrehozott sugárzási tér  $1 \cdot 10^{10}$  (foton/s)/cm forrásintenzitás esetén a kéménytől mért távolság függvényében a csóvától 110–500 m távolság tartományban

Az operatív számításokhoz a Microshield programmal meghatározott pontokra közelítő függvényt illesztettünk. Általánosan felírható a csóvától mért adott távolság távolság és  $1 \cdot 10^{10}$  (foton/s)/cm forrásintenzitás esetén a dózisteljesítmény:

$$d = f_1(R) x^3 + f_2(R) x^2 + f_3(R) x + f_4(R), \quad (2)$$

ahol  $x$  a kéménytől mért szélmenti távolság. (3)

Meghatároztuk e függvények együtthatóit a 8. ábrán feltüntetett csóvatávolságokra (1. táblázat).

1. táblázat. A dózisteljesítményt leíró polinom függvények együtthatói a 110–600 m-es csóvától mért távolságok esetén

R (m)	Együtthatók			
	$f_1(R)$	$f_2(R)$	$f_3(R)$	$f_4(R)$
110	2,149E-08	-2,343E-05	8,418E-03	1,070E+00
130	1,441E-08	-1,623E-05	6,108E-03	8,131E-01
150	9,122E-09	-1,095E-05	4,437E-03	6,340E-01
170	6,300E-09	-7,888E-06	3,350E-03	5,026E-01
190	4,410E-09	-5,724E-06	2,549E-03	4,027E-01
210	2,913E-09	-4,083E-06	1,949E-03	3,269E-01

R (m)	Együtthatók			
	$f_1(R)$	$f_2(R)$	$f_3(R)$	$f_4(R)$
250	1,372E-09	-2,213E-06	1,185E-03	2,198E-01
300	4,973E-10	-1,048E-06	6,584E-04	1,380E-01
400	7,350E-11	2,878E-07	2,293E-04	5,706E-02
500	-2,113E-11	-7,301E-08	8,402E-05	2,459E-02
600	-1,166E-11	-2,557E-08	3,349E-05	1,078E-02

Az 1. táblázat adatai alapján a közbenső R távolságokra is kiszámítottuk a polinom együtthatók távolságfüggését, ezek részben exponenciális, részben polinom függvényekkel adhatók meg (9–12. ábra).

Az 1. táblázat adatai alapján a közbenső R távolságokra is kiszámított – a 9–12. ábrán is feltüntetett – polinom együtthatók távolságfüggései összegezve a következők:

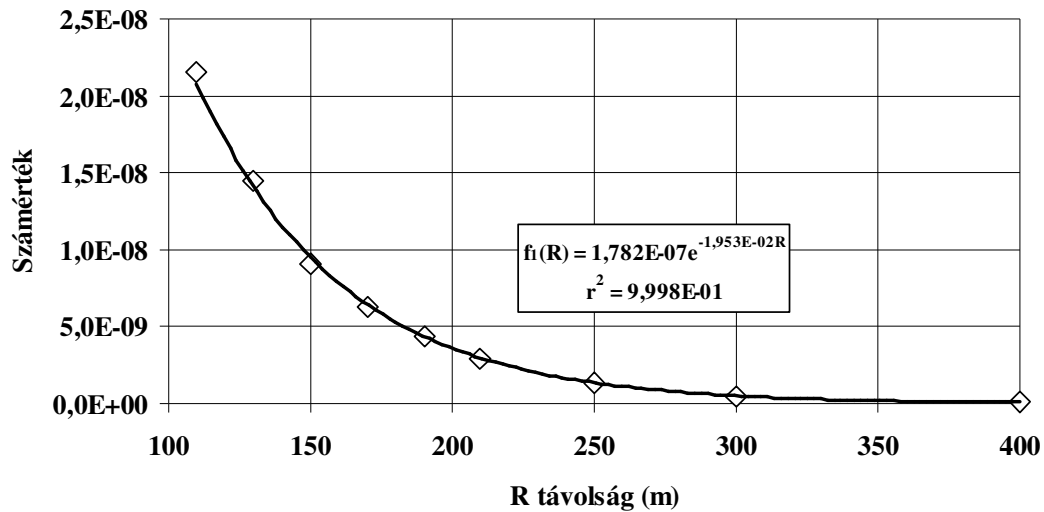
$$f_1(R) = 1,782E-07e^{-1,953E-02R} \text{ az } R = 110\text{--}400 \text{ m tartományban} \quad (4a)$$

$$f_1(R) = 5,205E-15R^2 - 5,631E-12R + 1,493E-09 \text{ az } R = 400\text{--}600 \text{ m tartományban} \quad (4b)$$

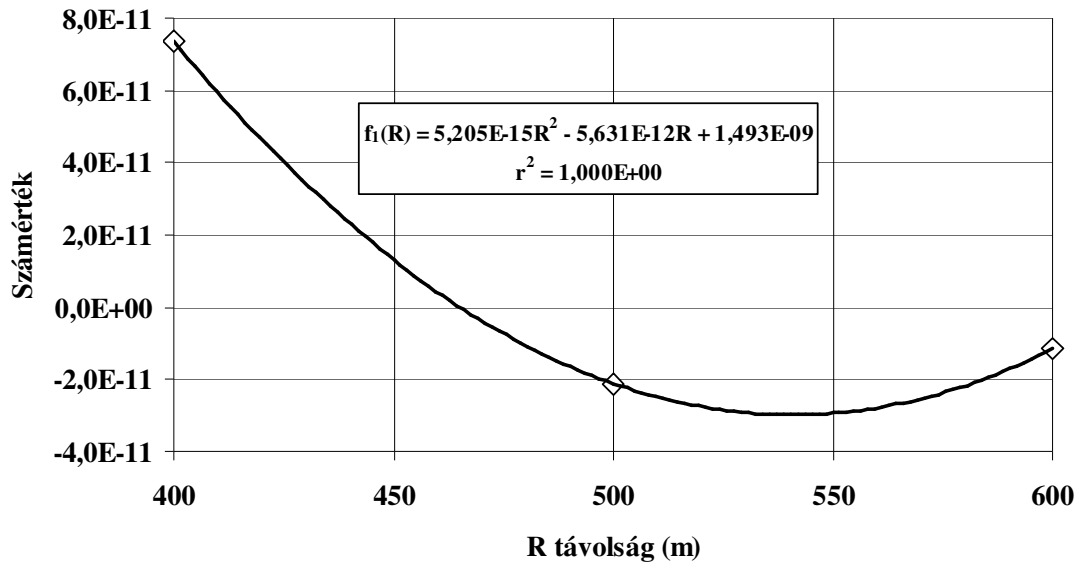
$$f_2(R) = 1,79E-17R^5 - 3,45E-14R^4 + 2,59E-11R^3 - 9,48E-09R^2 + 1,73E-06R - 1,28E-04 \quad (4c)$$

$$f_3(R) = 0,0228e^{-0,0112R} \quad (4d)$$

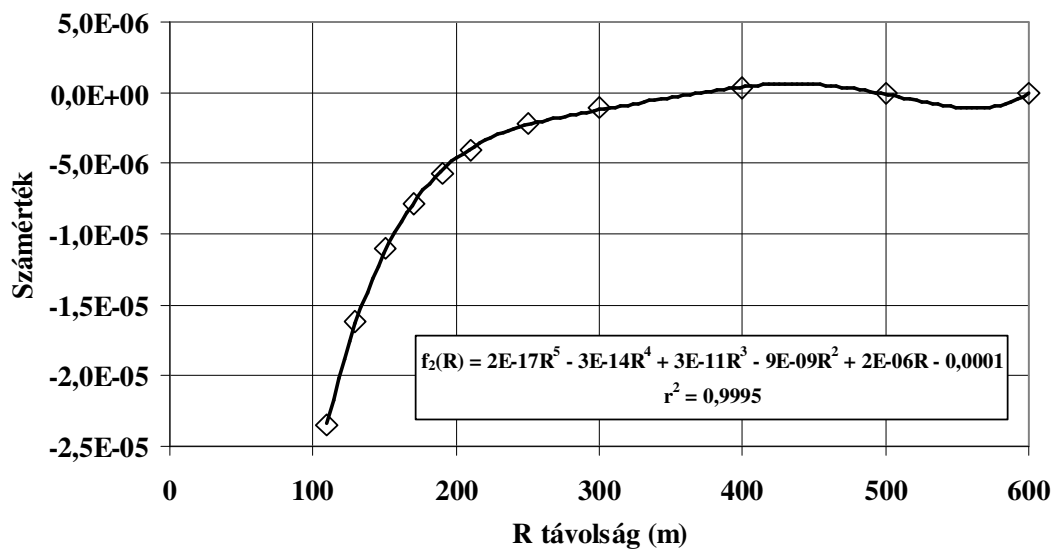
$$f_4(R) = 2,4732e^{-0,0093R} \quad (4e)$$



9. ábra. Az 1. táblázat  $f_1(R)$  számértékei az R távolság 110–400 m-es tartományában

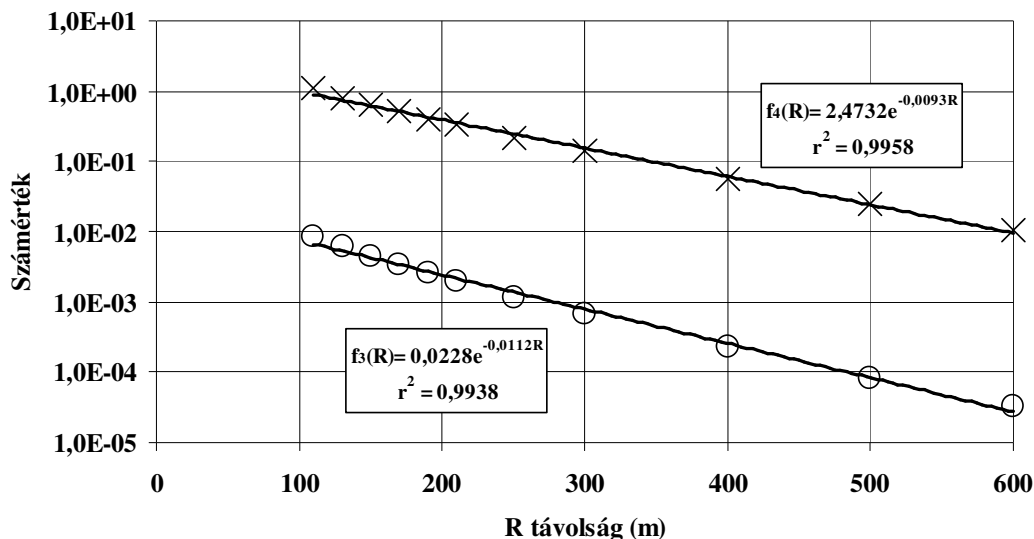


10. ábra. Az 1. táblázat  $f_1(R)$  számértékei az  $R$  távolság 400–600 m-es tartományában



11. ábra. Az 1. táblázat  $f_2(R)$  számértékei az  $R$  távolság függvényében





12. ábra. Az 1. táblázat  $f_3(R)$  és  $f_4(R)$  számértékei az  $R$  távolság függvényében

## A SZÁMÍTOTT DÓZISTELJESÍTMÉNY MEGHATÁROZÁSA

A dózisteljesítménynél kiindulási adataink – egy kiépítés kéményére vonatkozóan – a következők:

- a H1 szellőzőhídban mért  $d$  dózisteljesítmény Gy/h-ban
- a H1 szellőzőhídban mért  $v$  légforgalom  $\text{m}^3/\text{h}$ -ban
- a  $\varphi_{\text{csóva}}$  szélirány (csóvairány) fokban az északi irányhoz képest
- a  $\varphi_{\text{receptor}}$  receptorpont iránya fokban és  $A$  távolsága a kéménytől
- $u_s$  a szélesebbség a kibocsátás magasságában (m/s).

Az első lépésként meghatározzuk az  $a$  aktivitás kibocsátási sebességet Bq/s-ban:

$$a = 7,1 \cdot 10^{-12} d \cdot v$$

majd ebből a vonalforrás 1 cm-re vonatkozó  $a_v$  aktivitását:

$$a_v = a/u_s,$$

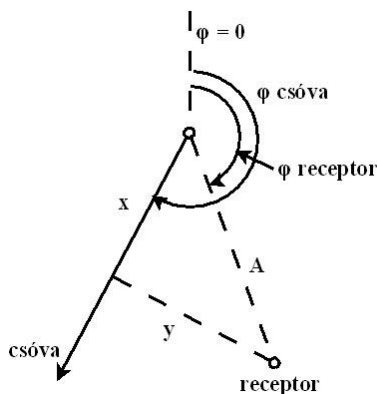
A továbbiakban meghatározzuk az effektív kibocsátási magasságot, ami a kémény geometriai magasságának és a járulékos kéménymagasságának az összege. A járulékos kéménymagasság számítását az (1) összefüggés adja meg.

A receptorpont és a csóva közötti – talajszintre vetített – távolság kiszámításánál a 13. ábra szerinti jelölést használjuk. A további számításokhoz használt  $x$  és  $y$  távolság

$$x = A \cdot \cos(\varphi_{\text{csóva}} - \varphi_{\text{receptor}}) \quad (5)$$

$$y = A \cdot \sin(\varphi_{\text{csóva}} - \varphi_{\text{receptor}}) \quad (6)$$

Az összefüggésben az  $A$  távolság az adott kettős kémény középpontja és a receptorpont közötti távolság



13. ábra. A receptorpont és a csóva közötti – talajszintre vetített – távolságának kiszámításánál használt jelölések

A továbbiakban a 7. ábrán megadott R távolságot határozzuk meg:

$$R = (H_{\text{eff}}^2 + y^2)^{1/2} \quad (7)$$

Az R távolság ismeretében a (4a) – (4e) képletekkel kiszámítjuk az  $f_1(R)$  –  $f_4(R)$  függvények értékeit, majd így kiszámítható a  $10^{10}$  Bq/cm forráserősségre vonatkozó dózisteljesítmény, majd a H1 szellőzőhídban mért dózisteljesítmény alapján a receptorpontban várható dózisteljesítmény.

Meg kell jegyezni, hogy a detektorok jelentős hányada az épületek árnyékoló hatása miatt csak a csóva egy részének sugárzását méri, ezekben az esetekben a széliránytól függő korrekciós tényező bevezetésére van szükség. Példaként bemutatunk egy olyan detektort, amely ideális elhelyezésű a csóva detektálása szempontjából (14. ábra), valamint egy olyat is, amelyik a faltakarásban van (15. ábra).



14. ábra. A csóvadetektálás szempontjából ideális elhelyezésű udvartéri detektor, amely mindkét szellőzőkémény csóváját mérni tudja, ha a szél a detektor irányába fúj. A detektor a piros téglalapban helyezkedik el.

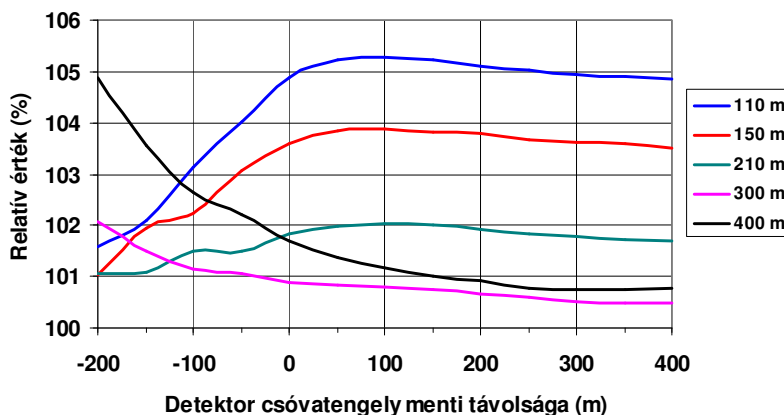


15. ábra. A csóvadetektlás szempontjából nem ideális elhelyezésű udvartéri detektor, amely csak részlegesen tudja a szellőzőkémény csóvját mérni. A detektor a piros téglalapon helyezkedik el. A kép jobb oldalán látható a szellőzőkémény alsó része és a H1 szellőzőhíd.

## A KÖZVETLEN ÉPÜLETKIBOCSÁTÁS HATÁSA

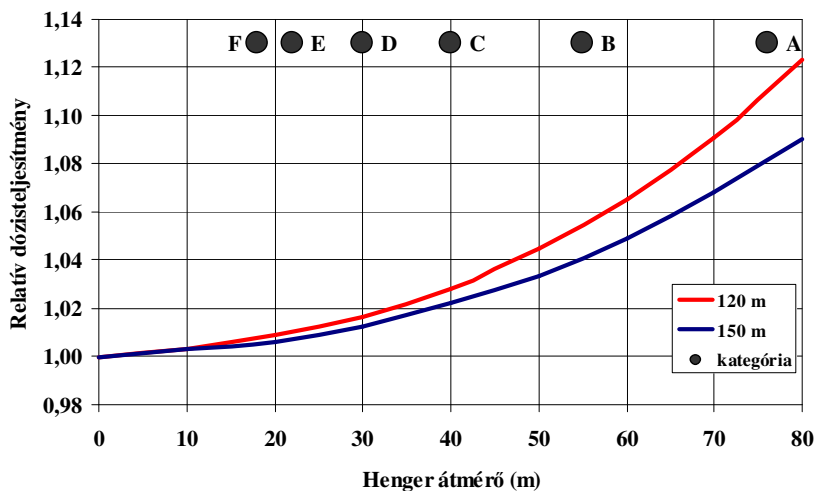
Amennyiben a hermetikus tér vagy az erőmű más, jelentős mennyiségű radioaktív anyagot tartalmazó térrésze nincs közvetlen kapcsolatban a környezettel, mert nincs falsérülés, akkor csak kéménykibocsátás lehetséges, ilyen esetben az udvartéri detektorok a fenti, közelítő számításoknak megfelelő dózisteljesítményt mérnek. Ha falsérülés révén közvetlen épületkibocsátás is van, akkor a dózisteljesítmény a számítottnál nagyobb lesz. Az értékelésnél figyelembe kell venni a csóva számított dózisteljesítményének bizonytalanságát is.

A számítások bizonytalansága több tényezőtől függ, ezek közül az egyik a kibocsátás gamma-sugárzásának széles spektruma. Megvizsgáltuk, hogy a tényleges spektrális eloszlás használata helyett az 1 MeV-es fotonenergia használata milyen bizonytalansághoz vezet feltételezve a méretezési üzemzavar kibocsátásának megfelelő nuklid összetételt. A 16. ábrán bemutatjuk, hogy a méretezési üzemzavar (492-es cső törése) első 10 percének kibocsátásából számított jelzés az 1 MeV-es fotonenergiájú kibocsátáshoz képest milyen jelzést ad. Az ábra alapján megállapítható, hogy a közelítésből eredő bizonytalanság nem haladja meg a  $\pm 10\%$ -ot.



16. ábra. A méretezési üzemzavar (492-es cső törése) első 10 percének kibocsátásából számított jelzés az 1 MeV-es fotonenergiájú kibocsátáshoz képest

Bizonytalanságot jelent a vonalforrás közelítés a diszperzióknak megfelelően széttartó csóva helyett, de ennek számottevő hatása az udvartéri detektorok távolságában még nincs. A 17. ábrán látható az eltérés, ha a vonalforrást egy-egy olyan hengerforrással helyettesítjük, amelyek átmérője az egyes Pasquill kategóriák  $\sigma_z$  értékének felel meg a kibocsátási ponttól 300 m távolságban. Látható, hogy a vonalforrás és a hengerforrás közötti dózisteljesítmény eltérés még a 120 m-es forrás–detektor távolságnál sem haladja meg a 12%-ot, a tényleges, kúposan széttartó csóvánál ez a hatás még kisebb.



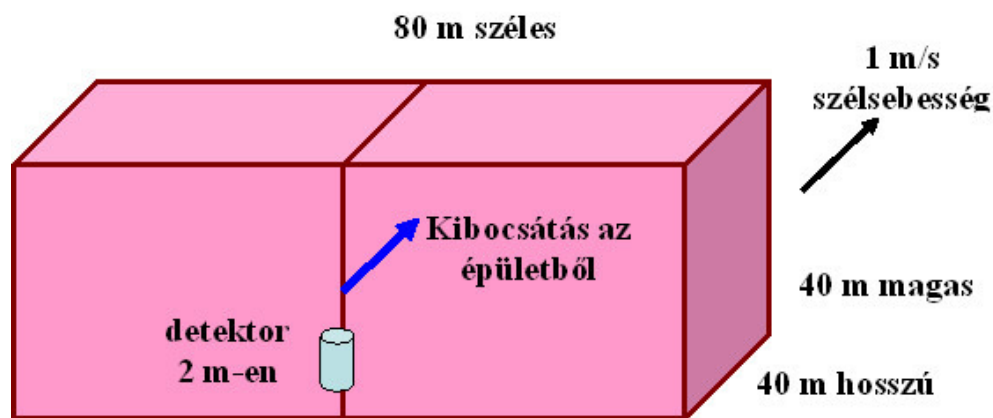
17. ábra A relatív dózisteljesítmény a talajszinten, ha a vonalforrást olyan hengerforrással helyettesítjük, amelyek átmérője az egyes Pasquill kategóriák  $\sigma_z$  értékének felel meg a kibocsátási ponttól 300 m távolságban. A köröknek megfelelő átmérő értékek a vonatkozó  $\sigma_z$  adatok

Az épületfalán át történő – a kéménykibocsátáshoz képest jelentős – kibocsátás ténye a tanulmányban leírt módszerrel egyértelműen kimutatható. A mennyiségi meghatározás csak becslés szintű lehet, tekintettel arra, hogy a sérülés helye legfeljebb blokki szinten azonosítható a hermetikus téri nyomás és sugárzási adatok révén. Az épület közelében

kialakuló szélörvényben a radionuklid koncentráció térbeli eloszlása is csak összetett számításokkal vagy szélesatorna kísérletekkel határozható meg. Ilyen jellegű számítások elvégzése a jövőben a TREX program [5] keretében történik, ezt kombinálva az aktivitáskoncentráció eloszlások révén az egyes udvartéri detektoroknál számítható gamma-sugárzás dózisteljesítmény adatokkal az épületkibocsátás nagyságrendje már meghatározható.

Tájékoztató adatként kezelhetjük azt, hogy ha a kibocsátás kis kiáramlási sebességgel az épület oldalfalán vagy a hermetikus tér tetején történik, akkor az épület magasságával arányos örvényzóna jön létre. Feltételezve 40 m-es épületmagasságot fogadjuk el, hogy az örvényzóna magassága azonos az épület magasságával szélessége a kibocsátási ponttól mindkét irányban 40–40 m és a szélirányban is 40 m. Ha azt is feltételezzük, hogy az örvényzónában az effektív szélesség 1 m/s, akkor 40 s kibocsátása található az örvényzónában. A számításokban a kéménykibocsátással azonos forráserősséget ( $1 \cdot 10^{12}$  Bq/s, 1 MeV-es gamma foton/bomlással) tételezünk fel. A detektor 2 m magasan, a téglatest alakú épület melletti szélén, annak szimmetriatengelyében van (18. ábra). Ebben az esetben a Microshield számítások [3] szerint a várható dózisteljesítmény 20 mGy/h. Összevetve ezt az azonos kibocsátási sebességű ( $10^{12}$  Bq/s) kéménykibocsátással, valamint 100 m magasan feltételezett 3 m/s-es szélességgel, akkor a kéménytől 100 m-re a vonalforrás alatt 1,3 mGy/h várható, azaz azonos kibocsátási sebesség esetén az épületkibocsátás révén létrejövő dózisteljesítménynél mintegy 15-ször kisebb dózisteljesítmény lép fel.

További támpontot jelent, ha összevetjük az erőmű környezeti távmérő rendszerének időfüggő adatait a kéménykibocsátással és az udvartéri detektorok szintén időfüggő jelzésével. A távmérő állomásokon az egyenlő mértékű kéménykibocsátás és az épületkibocsátás már azonos nagyságrendű dózisteljesítményt eredményezhet, de ezeket az adatokat már jelentősen befolyásolhatják a diszperziós körülmények.



18. ábra. Az épületkibocsátás számításához használt örvényzóna méretei, valamint a detektor elhelyezkedése

## IRODALOM

- [1] Deme Sándor, C. Szabó István, Láng Edit, Pázmándi Tamás: A környezeti kibocsátás meghatározásának új módszere az atomerőmű hermetikus téri túlnyomással járó üzemzavara esetén. Sugárvédelem. IV. évf. (2011) 1. szám. 1-14
- [2] 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 9. melléklete. Nukleáris Biztonsági Szabályzatok. 9. kötet. Nukleáris Biztonsági Szabályzatok meghatározásai.
- [3] Microshield 6.20 programcsomag. Framatome Technologies, Inc. d.b.a. Grove Engineering

- [4] Pappné Ferenczi Zita: Módszer az effektív kibocsátási magasság meghatározására. I. Az effektív kibocsátási magasság meghatározása. Országos Meteorológiai Szolgálat. Budapest, 2005.05.
- [5] Dombóvári Péter, Ranga Tibor, Nényei Árpád, Bujtás Tibor, Kovács Tibor, Jobbágy Viktor, Vincze Csilla, Molnár Ferenc: Új terjedésszámító szoftver fejlesztése és bevezetése a Paksi Atomerőműnél. Sugárvédelem. I. Évf. 1.szám 30–36 (2008. szeptember)

A közlemény a SOMOS Alapítvány támogatásával készült