

**Az országos sugárzási helyzet értékelését segítő rendszer
szerkezetének kidolgozása,
a SINAC program dózisszámító modelljének
továbbfejlesztése**

Pázmándi Tamás, Rudas Csilla, Szántó Péter, Zagyvai Péter

Áttekintés

1. A sugárzási helyzet értékelése
 - Szempontok
 - A sugárzási helyzet értékelésére szolgáló rendszer felépítése
 - Működés az üzemzavar különböző szakaszaiban
 - Ábrázolás
2. A SINAC program dózisszámító moduljának továbbfejlesztése
 - Talaj- és felhődózis
 - Belső sugárterhelés
3. Összefoglalás



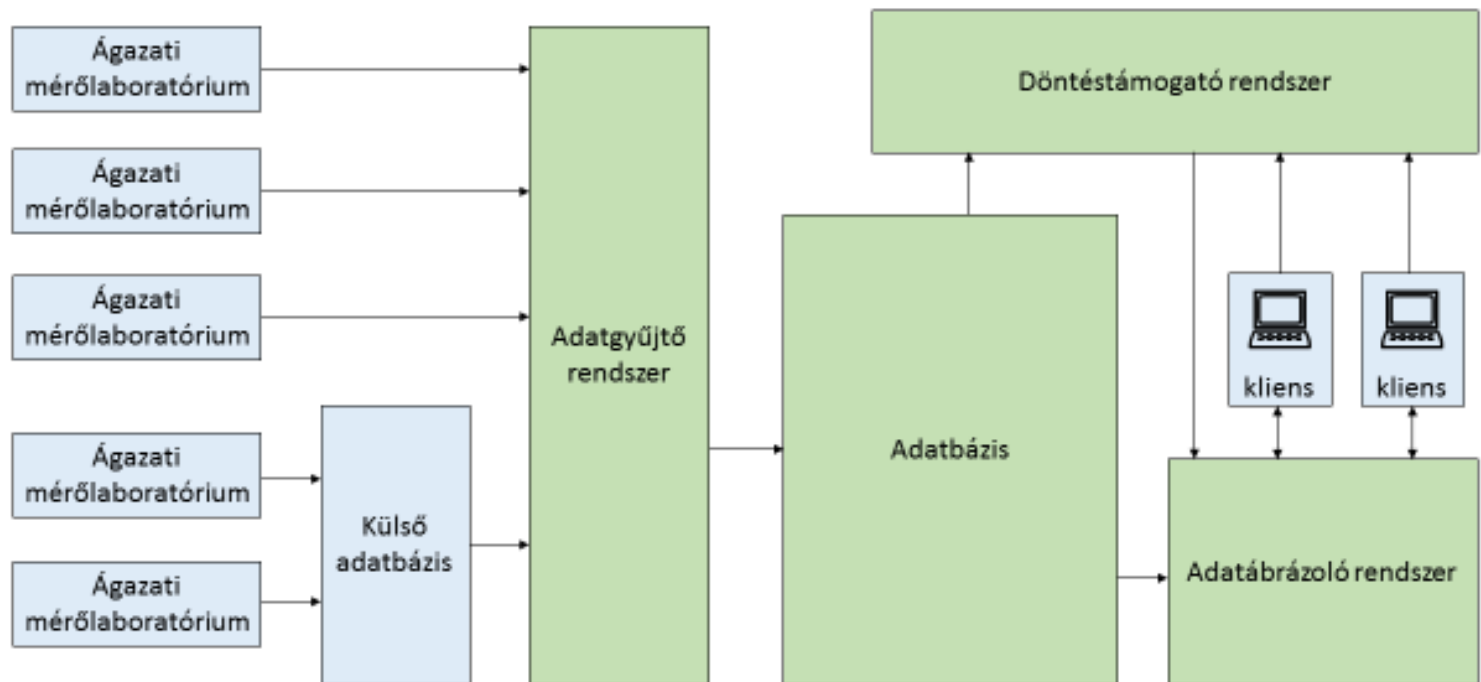
A sugárzási helyzet értékelése

- Szempontok
 - Minden esetben fontos, de különböző szempontok alapján
 - Normális működés időszakában
 - Azonosítatlan okból megemelkedett sugárzási szint
 - Baleseti szituációban
 - Súlyos balesetet követően
 - Elsősorban mérési adatok alapján
 - Korlátozó tényező a mérőrendszer
 - 119 radiológiai mérőállomás
 - 30 mobil mérőlaboratórium
 - A mérési adatok inhomogenitása
 - Az adatok megjelenítése
 - Sok adat
 - Gyorsan
 - Érthetően



A sugárzási helyzet értékelése

- A rendszer felépítése



A sugárzási helyzet értékelése

- Normális működés szakasza
 - Áttekinthető, az egész országra kiterjedő nézet
 - Elegendő nyomon követni a sugárzási helyzet alakulását
 - A lehető leghamarabb észlelni az esetleges rendkívüli helyzetet
- Azonosítatlan okból megemelkedett sugárzási szint
 - Az esemény helyére és annak környezetére vonatkozó adatok ábrázolása
 - Az ország kisebb régiójára vonatkozó adatok



A sugárzási helyzet értékelése

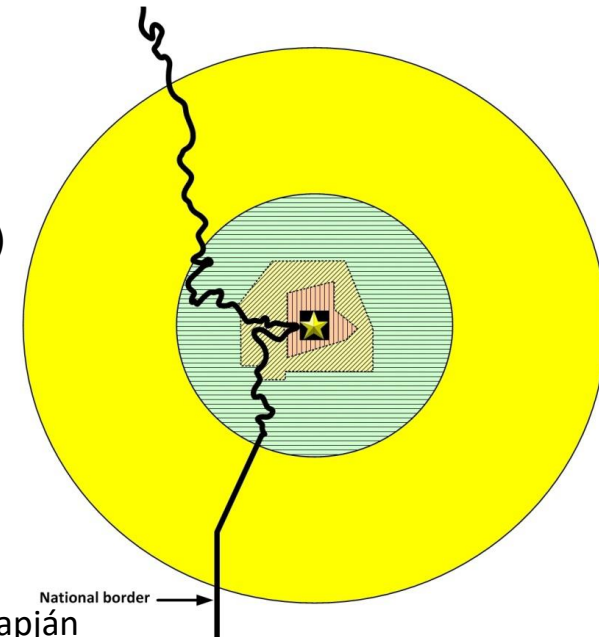
- A baleset korai szakasza
 - A feltételezett meteorológia és forrástagok figyelembe vételével készült, a csóva helyzetére, a környezeti aktivitáskoncentrációkra, illetve a dózisokra vonatkozó előrejelzések ábrázolása
 - Az óvintézkedések meghozatalához szükséges információk megjelenítése.
 - SINAC
- A baleset átmeneti és késői szakasza
 - Ahol nincs mérési adat, ott a környező mérési adatok alapján interpolációval és/vagy a kibocsátásra vonatkozó adatok alapján végzett becslés
 - A mért és a becsült értékek egyértelmű megkülönböztetése
 - A további – mobil – mérések elvégzésének helyére vonatkozó javaslatok megfogalmazása
 - Az ezt a feladatot ellátó szoftver fejlesztése még nem kezdődött el

A sugárzási helyzet értékelése

- Monitorozás
 - IAEA EPR NPP Public Protective Actions (2013)
 - Az Alapvető Irányadó Szintek alapján meghatározott Gyakorlati Intézkedési Szintek (OIL, operational intervention level)

Területi tagolási rendszer

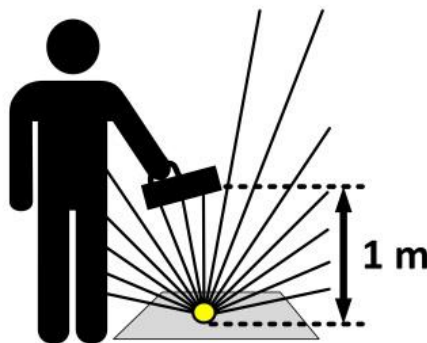
- Zónák
 - Megelőző óvintézkedések zónája, (MÓZ)
 - Azonnal biztonságos kiürítés + ITB (kezdetben elzárkózás + ITB)
 - 3-5 km
 - Sürgős óvintézkedések zónája (SÓZ)
 - Biztonságos kiürítés (MÓZ után) (kezdetben elzárkózás + ITB)
 - vagy elzárkózás + ITB
 - 15-30 km
- Területek (pontosabban „Távolság”)
 - Kiterjesztett Védelmi Intézkedési Távolság (KIT)
 - A kiürítés és későbbi áttelepítés kiterjesztése a monitorozás alapján
 - Áttelepítés a KIT-en kívülre
 - Várható kiterjedése 50-100 km
 - Élelmiszer-fogyasztási Korlátozások Óvintézkedési Távolság (ÉÓT)
 - Fogyasztáskorlátozás és élelmiszerminták monitorozása
 - 100-300 km



Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 1

- Dózisteljesítmény a talajtól 1 m-re
- Várhatóan sérülő irányadó szintek az **első héten**:
 - Effektív dózis (100 mSv)
 - Magzat egyenértékdózisa (100 mSv)
- Intézkedések:
 - Elzárkózás
 - Kiürítés
 - Dekontaminálás
 - Élelmiszerfogyasztás korlátozása
- Általános vészhelyzet esetén a MÓZ-ban és a SÓZ-ban már végrehajtott intézkedések kiterjesztése a KIT-ben

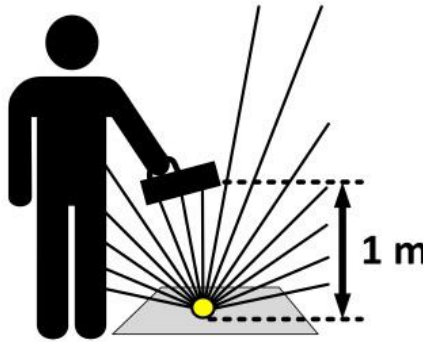


$$\dot{D} \geq 1000 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 2

- Dózisteljesítmény a talajtól 1 m-re
- Várhatóan sérülő irányadó szintek az első évben:
 - Effektív dózis (100 mSv)
 - Magzat egyenértékdózisa (100 mSv)
- Intézkedések:
 - Felkészülés az áttelepítésre, véletlen inkorporáció elkerülése;
 - Helyi eredetű élelmiszerek (tej stb.) fogyasztásának tiltása;
 - Biztonságos áttelepítés



≤ 10 nappal a reaktor leállása után:

$$\dot{D} \geq 100 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

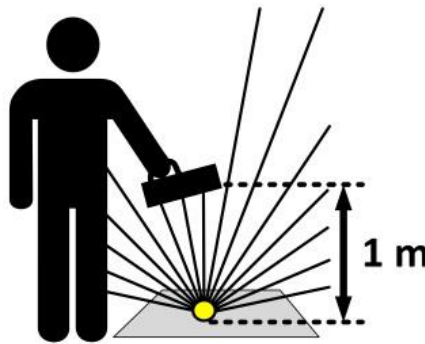
> 10 nappal a reaktor leállása után:

$$\dot{D} \geq 25 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 3

- Dózisteljesítmény a talajtól 1 m-re
- Várhatóan sérülő irányadó szint:
 - Effektív dózis az elfogyasztott élelmiszerekből az első évben (10 mSv)
- Intézkedések:
 - A nem létfontosságú helyi eredetű élelmiszerek fogyasztásának és forgalmazásának tiltása, OIL7-re épülő vizsgálatok elkezdése.
 - A létfontosságú helyi eredetű élelmiszerek helyettesítése más forrásból; ha ez lehetetlen: áttelepítés



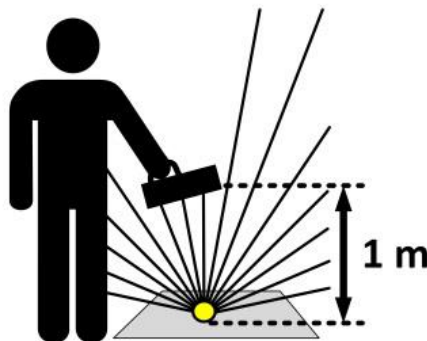
$$\dot{D} \geq 1 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 1-3

- A monitorozás eredményei alapján gyors döntés hozható
- A késedelem növeli a lakossági sugárterhelést

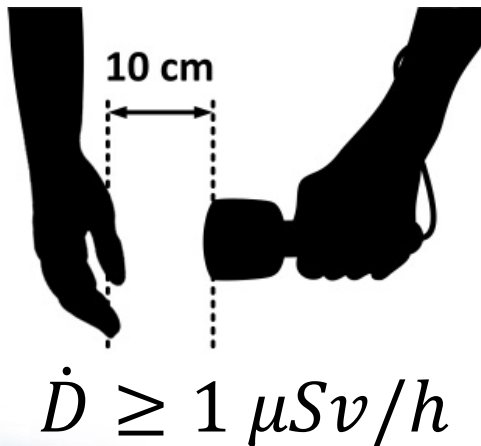
OIL túllépése	Időkeret a végrehajtásra
OIL1 Kiürítés	Órák – 1 nap
OIL2 Áttelepítés	Napok – 1 hét
OIL3 Fogyasztáskorlátozás	Napok – hetek



Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 4

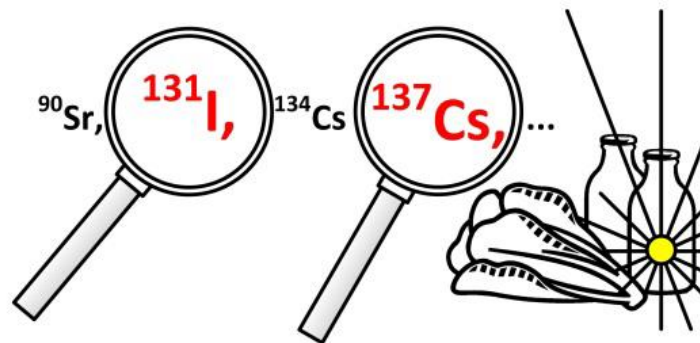
- Dózisteljesítmény 10 cm-re a testfelszíntől
- Várhatóan sérülő irányadó szint:
 - Effektív dózis (100 mSv)
- Intézkedések:
 - A véletlen lenyelés esélyének csökkentése
 - Dekontaminálás, orvosi vizsgálat és regisztráció
 - Az orvosi személyzetet meg kell nyugtatni, hogy egyszerű óvintézkedésekkel biztonságosan kezelhetik ezeket a személyeket



Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 7

- ^{131}I és ^{137}Cs aktivitáskoncentrációja élelmiszermintákban
- Várhatóan sérülő irányadó szint:
 - Effektív dózis az elfogyasztott élelmiszerekből az első évben (10 mSv)
- A két érték meghatározásánál figyelembe vették a reaktorbalesetnél kibocsátott többi radionuklid hatását és mennyiségét is. E két radionuklid gyorsan, gamma-spektrum felvételéből mérhető.



$$^{131}\text{I}: C \geq 1000 \text{ Bq/kg}$$

$$^{137}\text{Cs}: C \geq 200 \text{ Bq/kg}$$

Gyakorlati Intézkedési Szintek

OIL 8

- Dózisteljesítmény a pajzsmirigy fölött (a háttér fölött)
- Várhatóan sérülő irányadó szint:
 - Pajzsmirigy egyenértékdózis (50 mSv)
- Intézkedések:
 - Jódprofilaxis, ha még nem történt meg
 - Rendszeres orvosi ellenőrzése szükséges, mert a kibocsátásból származó radiojód megkötődése a pajzsmirigyben egészségügyi kockázatot jelent.



7 éves kor alatt:

$$\dot{D} \geq 0,5 \mu Sv/h$$

7 éves kor fölött:

$$\dot{D} \geq 2 \mu Sv/h$$

Gyakorlati Intézkedési Szintek

Hová lett az OIL 5 és az OIL 6?

- OIL5
 - összes alfa illetve összes béta aktivitáskoncentráció élelmiszerekben [Bq/kg]
- OIL6
 - külön aktivitáskoncentráció minden hasadási termékre élelmiszerekben [Bq/kg]
- Fukushimai tapasztalatok
 - Az alfa- és béta sugárzás gyors monitorozása csak nagy hibával volt lehetséges.
 - A gyorsaság igénye és a várható nagy mintaszám miatt szükségtelen és zavaró mintegy 100 radionuklidra OIL megadása.
- Ezek kiváltására számításokat végeztek a két reprezentatív radionuklid és a többi jelenlévő szennyező arányára.
 - Az első 2-3 hétben OIL7-ből a ^{131}I szint, a továbbiakban a ^{137}Cs szint a kritikus.



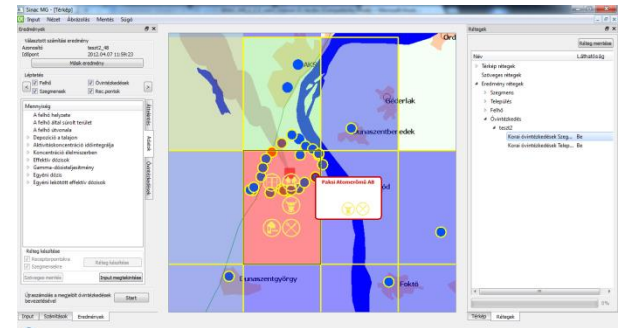
A sugárzási helyzet értékelése

- Ábrázolás
 - Áttekinthetőség
 - Magyarország térképén való megjelenítés
 - A térkép léptékének változtathatósága
 - Megfelelő nagyságú területi egységekre (szegmensekre) vonatkozó adatok összevonása, maximális értékek ábrázolása
 - Jelezni kell, ha az ábrázolt adatok nagysága nem éri el a kimutatás érzékenységét.
 - Az OBEIT-ben nevesített és a rendelkezésre álló összes mennyiség ábrázolása
 - Az OIL-okhoz tartozó mennyiségekre vonatkozó mérési kapacitás fejlesztésére
 - További, specifikus OIL-ok meghatározása
 - Különböző mérési módszerek kezelése
 - Az adatok bizonytalanságának ábrázolása
 - Egységes színskála és mértékegység a vonatkozó OIL-ok arányában
 - A mérési eredmények időfüggésének megjelenítése mérési pontra, szegmensre
 - Az adatok szűrése területre vagy időintervallumra



A SINAC terjedésszámító program

- Simulator Software for Interactive Modelling of Environmental Consequences of Nuclear Accidents
- Célja: a légkörbe kibocsátott radioaktív anyagok terjedésének, kiülepedésének modellezése, a környezeti dózisek és az óvintézkedések következményeinek meghatározása.
- Alkalmazásával meghatározható:
 - a környezet sugárzási állapota:
 - a radioaktív nuklidok levegőbeli aktivitáskoncentrációi,
 - a talajra kihullott aktivitás,
 - a felhőtől és a kiülepedett szennyeződésből származó dózisek,
 - a korai determinisztikus egészségi hatások,
 - javaslatok a bevezetendő óvintézkedésekre.



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

A SINAC továbbfejlesztése több lépésben folyik

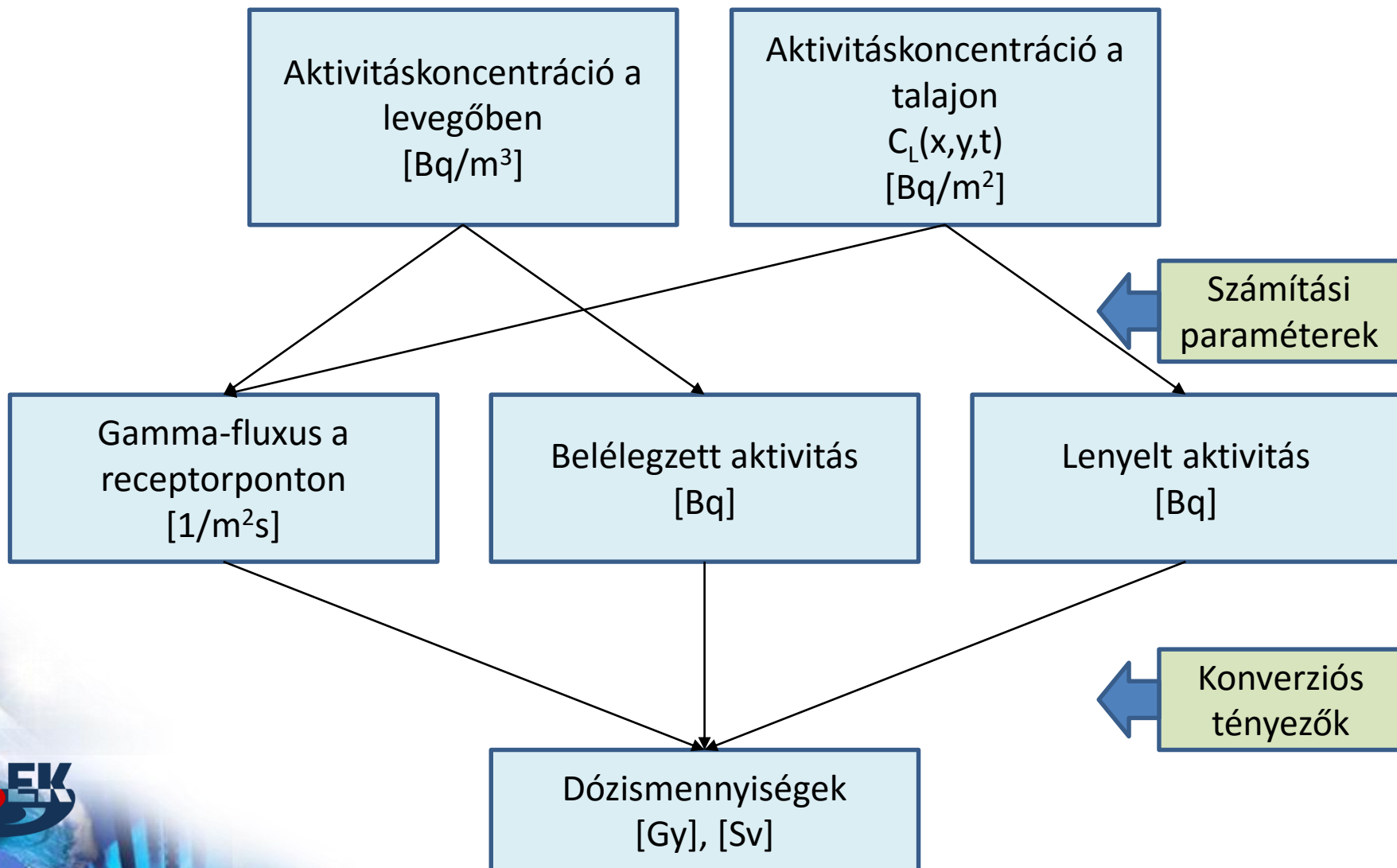
- 1) Az advekciós és diszperziós modellek fejlesztése (2015)
 - 2) Dózisszámítás (most)
 - 3) Óvintézkedések
Validáció, dokumentáció frissítése → új verzió kiadása (2017)
 - ...) Bizonytalanságok elemzése (????)
- Dózisterhelési útvonalak a SINAC-ban
 - Felhődózis: a radioaktív felhő közvetlen sugárzása által okozott dózis
 - Talajdózis: a talajra kiülepedett aktivitás által okozott dózis
 - Inhalációs dózis: az egyén szervezetébe belélegzés során bekerült radioaktivitás által okozott dózis
 - Élelmiszerláncon keresztül elszenvedett dózis: az egyén szervezetébe lenyelés útján bekerült radioaktív anyagok által okozott dózis



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése


- Kiinduló adatok:
 - A terjedésszámítás eredménye
 - Térfogati aktivitáskoncentráció [Bq/m^3]
 - Felületi aktivitáskoncentráció [Bq/m^2]
- A dózisszámítás eredménye:
 - Különféle dózismennyiségek
 - Dózisteljesítmény [Gy/h]
 - Effektív dózisteljesítmény [Sv/h]
 - Lekötött dózis [Sv]
 - Szervdózisok [Gy]
 - Pajzsmirigy
 - Az adatok elemzése
 - Nuklidszelektív eredmények
 - Talajtól, felhőtől származó dózis
 - Külső és belső dózisok

A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Talaj- és felhődózis
 - Eddig: félvégtelen modell
 - Felhődózis: A receptorpont helyén 1 m magasságban lévő aktivitáskoncentráció uralkodik a teljes féltérben
 - Talajdózis: A receptorpont helyén lévő aktivitáskoncentráció uralkodik a teljes síkon
 - Egyszerű számolás
 - A geometria minden esetben azonos
 - Pl. a Microshield programmal
 - Új modell
 - A dózis számítása pöffönként a távolság és a build-up figyelembe vételével
 - Numerikus integrálás
 - Nagyon sok paraméter
 - Előre kiszámított értékek, interpolálás
 - A számítás eredménye: gamma-fluxus a receptorponton


$$\phi = \int_V d\phi = \int \frac{1}{4\pi R^2} \cdot B(\mu R) \cdot e^{-\mu R} \cdot C(x, y, z) \cdot dV$$

ϕ : fluxus [1/m²s]

μ : levegőre vonatkozó lineáris sugárgyengülési e.h. [1/m]

$C(x, y, z)$: akt.konc. eloszlása a talajon [Bq/m²]

x, y, z : a térkoordináták [m]

R a receptorpont távolsága a dA felülelemtől [m]

$B(\mu R)$ a buildup faktor [1]

A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Külső dózis
 - A számítás egy időlépésére (τ)
 - A fluxus rendszerint állandónak tekinthető

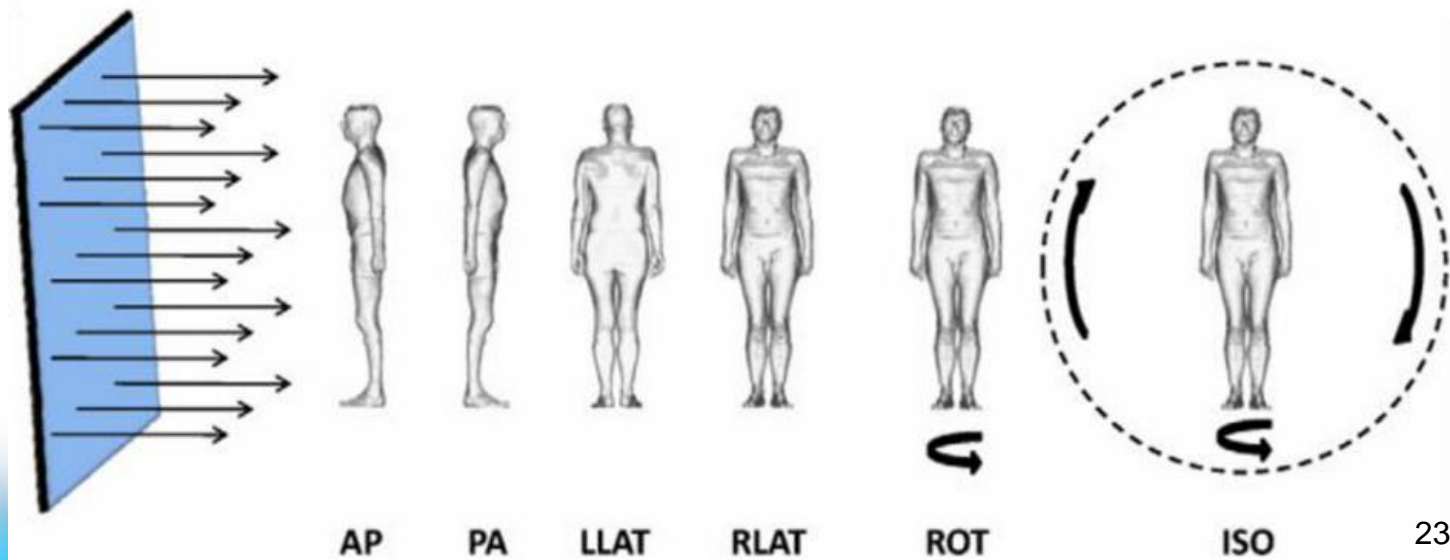
$$E_{k\ddot{u}ls\ddot{o}} = \int_0^T K_{k\ddot{u}ls\ddot{o}} \cdot \phi(t) \cdot dt = \sum_{i=0}^N K_{k\ddot{u}ls\ddot{o}} \phi^i \tau$$

- $E_{k\ddot{u}ls\ddot{o}}$: Külső effektív dózis [Sv]
- $K_{k\ddot{u}ls\ddot{o}}$: Konverziós tényező [Sv m²]
- $\phi(t)$: Gamma-fluxus [1/m²s]
- T: tartózkodási idő [s]
- N: a számítás időlépéseinek száma
- i: az időlépés
- ϕ^i : Gamma-fluxus az i időlépésben [1/m²s]
- τ : egy időlépés hossza



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Külső dózisok meghatározása a gamma-fluxusból
 - Konverziós tényező
 - Nemzetközi ajánlások: ICRP-116 (Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures)
 - Energiafüggő mennyiség
 - Kísérleti és szimulációs úton meghatározva
 - Férfi és női fantommal
 - Hatféle besugárzási geometriára
 - Szervekre nemenként külön adat



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Béta bőrdózis
 - Kis áthatolóképeségű sugárzás
 - Bőrre kiülepedett béta-sugárzókra
 - Bomlás
 - Mosakodás
 - Konverziós tényező az ICRP-116 alapján

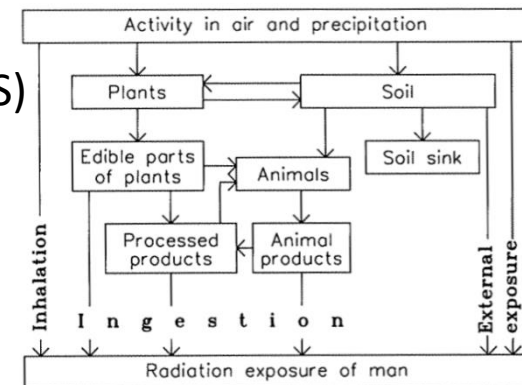
A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Belélegzett aktivitás
 - Légzési sebesség
 - Életkortól függő mennyiség
 - Forrás például EPA Exposure Factors Handbook
 - Életkorra és fizikai aktivitásra lebontva
 - Átlagos értékek: 0,1-4 m³/h

$$A_{inh} = \int_0^T v_l C(t) dt = \sum_{i=0}^N v_l C^i \tau$$

- A_{inh} : a belélegzett aktivitás [Bq],
- v_l : a légzési sebesség [m³/s],
- $C(t)$: a belélegzett levegő akt.konc. [Bq/m³],
- T : a belégzés időtartama.

- Lenyelt aktivitás: élelmiszerlánc
 - A helyben termelt élelmiszerek szennyeződése
 - Biokinetikai modellek élelmiszercsoportonként (pl. ECOSYS)
 - Szükséges paraméterek
 - Termelési adatok
 - Fogyasztási szokások



A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése

- Inhalációs és lenyelésre vonatkozó dózis
 - A belélegzett, illetve lenyelt aktivitás alapján
 - Dóziskonverziós tényezők
 - Mértékegység: Sv/Bq
 - ICRP-119 alapján
 - Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60
 - Elavult adatok (nem ICRP-103) alapján készült → Frissíteni kell, ha lesz új érték
 - Dolgozókra és a népességre külön
 - Életkorra
 - Öt korcsoport + csecsemő
 - Kémiai forma
 - Háromféle felszívódási sebesség



Összefoglalás

- A sugárzási helyzet értékelése
 - Monitorozás az OIL-ok szerint
 - Mobil mérések támogatása
 - Áttekinthető, gyors és megalapozott döntést támogató ábrázolás
- A SINAC dózisszámítási modelljének fejlesztése
 - Külső sugárterhelés
 - A félvégtelen modell helyett pontosabb számítás
 - Konverziós tényezők az ICRP-116 szerint
 - Belső sugárterhelés
 - Konverziós tényezők az ICRP-119 szerint
 - Frissítésre lehet szükség
- További feladatok
 - Specifikus OIL-ok
 - Mérési adatok egységes adatbázisa
 - SINAC: Óvintézkedések, validálás, dokumentáció frissítése → új verzió kiadása

Bemeneti adatok szerkesztése - új

Általános Forrástag Meteorológia Óvintézkedések Egyéb beállítások

Általános

Név: calc_131030_111819

A simuláció kezdeti időpontja

Kezdeti időpont (UTC): 2013.10.30. 10:18

Számítási időtartam: 12:00

Számolási szakaszok (1)

Hozzáadás a 1 szakasz után **Hozzáad**

Név	Időtartam	eleje - vége
Első	12:00	00:00 - 12:00 x

Forrástag fájl beolvasása

Felhasználó Beolvasás

Mentés Betöltés Számítás indítása Mégsem Ok

Összefoglalás

SIMAC INPUT ÖSSZEFOGLALÁS

Általános Forrástag Meteorológia Óvintézkedések Egyéb

Név: calc_131030_111819

Azonosító: 0

A simuláció kezdete: 2013. 10. 30. 10:18

A számítás hossza: 48 lépés (12:00 óra)

Forrás adatok:

Felhasználó

Számítási szakaszok

Számítási szakaszok száma: 1

Szakasz neve	Időtartam	eleje - vége
--------------	-----------	--------------

Mentés Betöltés Számítás indítása Mégsem Ok

Bemeneti adatok szerkesztése - új

Általános Forrástag Meteorológia Óvintézkedések Egyéb beállítások

Számítási szakasz: 1 / 2

Másolás: összes szakasz Másolás: előzőt ebbe

2013. 10. 30. 10:18 - 2013. 10. 30. 23:03

Nincs kibocsátás

Zónalejtár

Paks - közepes kiégés

Teljesítmény: 500.0 MW_e

1. számítási szakasz

Kibocsátás

Paks

lat: 46.57 x: 0 m

lon: 18.85 y: 0 m

Kezdeti átmérő: 0 m

Jódgőzhányad: 0.800

Kibocsátás magassága

Fizikai magasság: 100.0 m

Felhasználó meteorológia

Hőbocsátás: 0.00e+00 W

OMSZ meteorológia

Sebesség: 8,70 m/s

Kib. hely átmérő: 0,89 m

Hőmérséklet: 325,00 K

	Aktivitás (Bq/h)	Lejtár %/h
Kr-88	0.00e+00	0.00
Xe-133	0.00e+00	0.00
Xe-135	0.00e+00	0.00
Rb-88	0.00e+00	0.00
Sr-90	0.00e+00	0.00
Ru-106	0.00e+00	0.00
Rh-105	0.00e+00	0.00
Te-132	0.00e+00	0.00
Cs-134	0.00e+00	0.00
Cs-137	0.00e+00	0.00
Ce-144	0.00e+00	0.00
Pu-241	0.00e+00	0.00
I-131	0.00e+00	0.00
I-132	0.00e+00	0.00

Zónalejtár (Bq)
9.58e+17
2.79e+18
6.07e+17
9.73e+17
6.82e+16
5.87e+17
1.34e+18
1.95e+18
1.13e+17
9.71e+16
1.43e+18
1.58e+17
1.38e+18
1.98e+18

Mentés Betöltés Számítás indítása Mégsem Ok

Köszönöm a figyelmet!

