



Nagyintenzitású lézerek által keltett ionizáló sugárzás lokális sugárvédelmi árnyékolásának tervezési lépései

Környezet-, Egészségvédelmi és Biztonságtechnikai Osztály
ELI-HU Non-Profit Kft.

Bodor Károly, Zagyvai Péter, Kecskés Tamara, Polanek Róbert, Oszkó Albert



Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

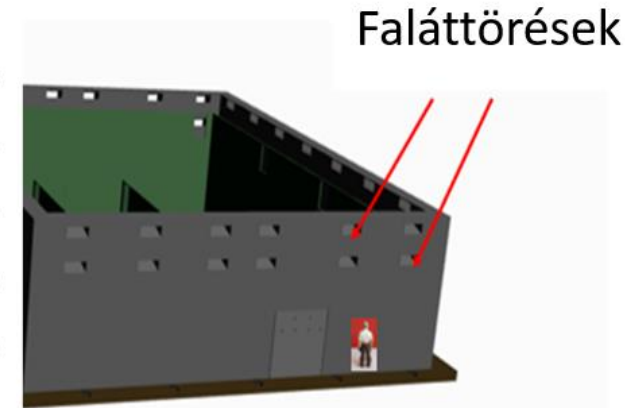
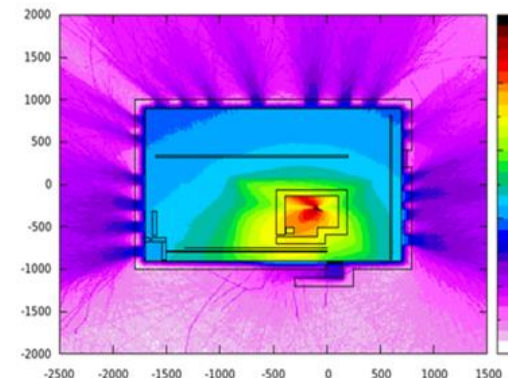
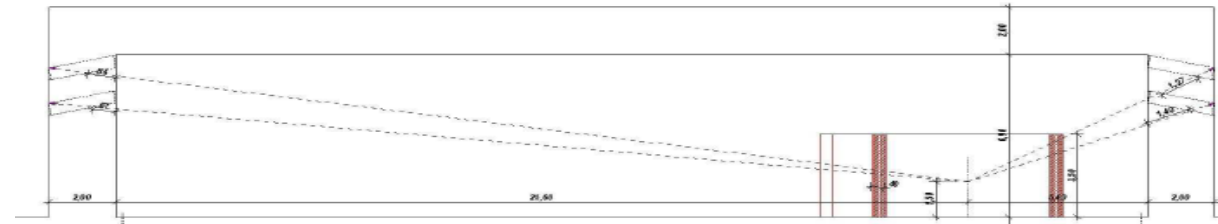
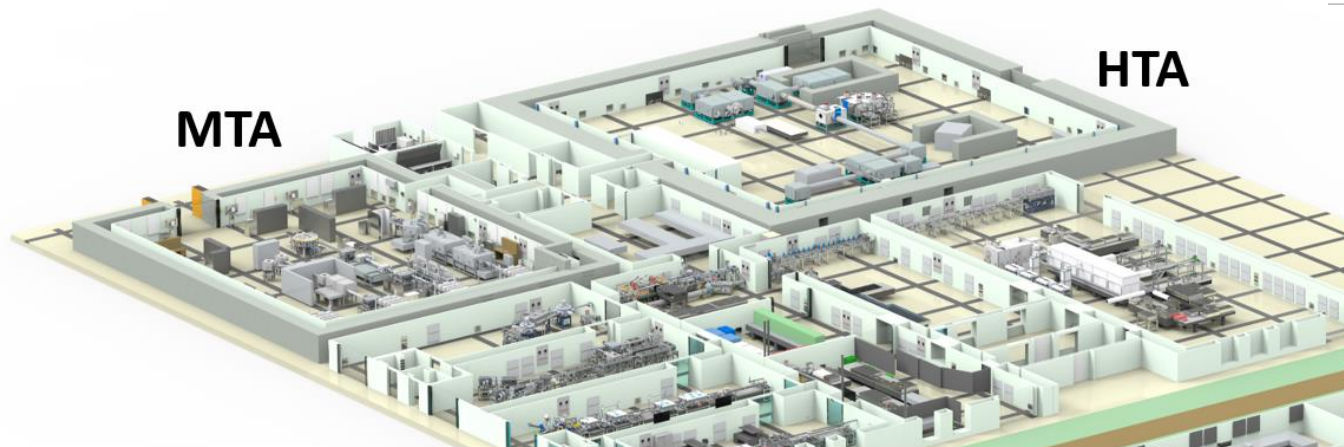
ELFT XLIX. Szeged, 2024.04.16-18.

- Bevezetés
 - Az ELI ALPS sugárvédelmi kialakítása
 - Sugárvédelmi paraméterek beállításának fontossága
 - A sugárvédelmi árnyékolás tervezéséhez szükséges főbb paraméterek
 - A tervezés fő egyenlete
- Paraméterek hatása
 - Az operációs paraméterek és a keltett részecskeszám hatása a fajlagos dózis limitekre
 - A keltett részecskenyaláb spektrumának hatása a fajlagos dózis limitekre
- A geometria hatása
 - Az árnyékoló anyag hatása az árnyékolási képességre
 - Kémény effektus
 - Helyi árnyékolás elhelyezésének hatása
- Az indított részecskeszám hatása
 - A szimulációknál az indított részecskeszám hatása a fajlagos dózis értékekre
 - Kicsi vs. nagy indított részecskeszám
- Összegzés, konklúziók

Az ELI ALPS sugárvédelmi kialakítása

3/16

- Az ELI ALPS ún. MTA és HTA besugárzó termei 1 m, illetve 2 m vastag vasbeton falakkal és födémmel, valamint a bejáratoknál labirintusokkal készültek.
- A falak felső részén 15° fokban megdőntött faláttörések vannak a technológiai rendszerek átvezetésére.
- Az ELI ALPS-nál keletkező ionizáló sugárzások (vagy részecskenyalábok) különlegessége az, hogy ezeket lézer-anyag kölcsönhatással (vagy kölcsönhatás révén) állítják elő.



- A tervezés soklépcsős, a Monte Carlo alapú szimulációk lefuttatása időigényes.
- A sugárvédelmi árnyékolás változtatása (árnyékolás tervezése, átépítése) szintén időigényes.
- Az egyes paraméterek változása hogyan befolyásolja a meglévő rendszer hatékonyságát?
- Ha változtatni kell a terveken, azt milyen szinten kell megtenni? (Elegendő-e kisebb kiegészítés, vagy strukturális átépítés kell-e?)
- Ha változtatni akarnak a működési paramétereken, az ELI ALPS EHS sugárvédelmi szakemberei megvizsgálják a lehetőségeket, teendőket.

A sugárvédelmi árnyékolás tervezéséhez szükséges főbb paraméterek

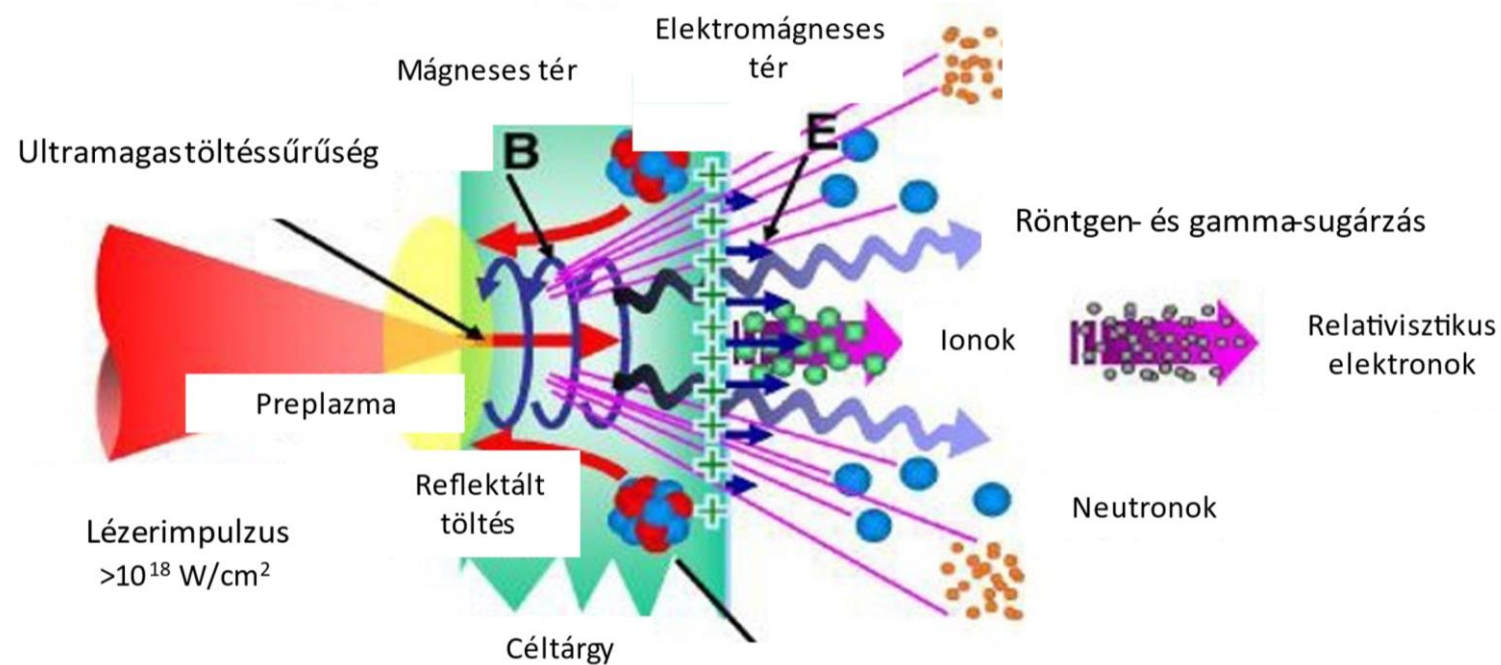
5/16

- A kutatók és a fizikai kölcsönhatások határozzák meg a keltett sugárzás jellemzőit:
 - Az ionizáló sugárzás keltésének (lézerfény - anyag kölcsönhatás) hatásfoka (η),
 - Az egy lézerimpulzus által keltett, adott energiájú részecskék száma,
 - Az egyes részecske- és energiacsoportokhoz rendelt “fajlagos dózis limit” (D_{fajlagos}),

- A lézerberendezés paraméterei a kísérletek során:

- Az üzemeltető állítja be ezen értékeket:

- A lézer ismétlési frekvenciája (F), [Hz]
- A lézerberendezés napi használati ideje (T), [s/nap],
- A lézerberendezés éves használati ideje (G), [nap/év],
- Az egyes nyalábvonalakra származtatott dózismegszorítás az éves foglalkozási vagy lakossági dózismegszorítás értékéből (DC).



- A számításokat (szimulációkat) a FLUKA MC kóddal végezzük.
- A számított dózisokat a program a vizsgált terület „térképén” jeleníti meg.
- A dózist „fajlagos dózis”-ként, a bemenetként megadott elrendezésben 1 db, adott energiájú másodlagos részecskére vonatkoztatva számítjuk.
- A szimulációval kapott ábrák értelmezéséhez szükség van a „fajlagos dózis limit” értékek származtatására, az alábbi egyenlet segítségével:

$$\Sigma_r(D_{fajlagos\ limit} \cdot N \cdot \eta)_{prompt\ dózis} \cdot F \cdot T \cdot G < DC$$

- $D_{fajlagos\ limit}$: Az egyes részecske- és energiacsoportokhoz rendelt “fajlagos dózis limit”,
(foglalkozási vagy lakossági származtatott dózismegszorítás) [mSv/keltett részecske],
- N : Az egy lézerimpulzus által keltett, adott energiájú szekunder részecskék száma [db részecske /lövés],
- F : A lézer ismétlési frekvenciája [Hz; lövés/s],
- T : A napi üzemelési idő [s/nap],
- G : Éves üzemidő [nap/év],
- η : Az ionizáló sugárzás keltésének hatásfoka [%], értéke megadja, hogy 1 db lézerlövés hatására az elméleti számítással kapott várt (maximális) számhoz képest annak hányad része keletkezik.
- DC : Az éves foglalkozási vagy lakossági dózismegszorítás értékének [mSv/év] az adott munkahelyre eső része,
- r : a dózisteret alkotó részecske- és energiacsoportok.

Az operációs paraméterek és a keltett részecskeszám hatása a fajlagos dózis limitekre

- Az egyenletből látható, hogy N , F , T és G -vel fordítottan arányos a fajlagos dózis limit értéke.
- Ha a működési paramétereket megnövelik (akár több nagyságrenddel), azzal arányosan szigorodnak a feltételek.
- Azaz minél nagyobbak a bemeneti paraméterek, azokkal (halmozottan) fordítottan arányosan szigorodnak a feltételek.
- A dózismegszorítások változtatásában kevés a tartalék, az ellenőrzött-felügyelt területek kijelölésén lehet változtatni.

A keltett részecskenyaláb spektrumának hatása a fajlagos dózis limitekre

- A keltett részecskeszám (N) intenzitás-energia eloszlása általában a nagyobb energiák irányában csökkenő tendenciát mutat.
- Emiatt a legszigorúbb fajlagos dózis limit értékek jellemzően a kis energiás tartományban vannak.
- Ez a tervezésre is kihatással van, mivel a szóródó kis energiájú (<1 MeV) röntgen fotonokat nehéz árnyékolni.

LEIA nyalábvonal paraméterei

Elektron maximális energia	Fajlagos dózis limit sugárveszélyes munkaköri besorolású munkavállaló részére (pSv/elektron)	Fajlagos dózis limit nem sugárveszélyes munkaköri besorolású munkavállaló részére (pSv/elektron)	Prompt dózis limit sugárveszélyes munkaköri besorolású munkavállaló részére (mSv/lövés)	Prompt dózis limit nem sugárveszélyes munkaköri besorolású munkavállaló részére (mSv/lövés)
0,5 MeV	1,06 E-06	5,32 E-08	1,15 E-10	5,75 E-12
1 MeV	1,16 E-06	5,79 E-08	1,25 E-10	6,25 E-12
2 MeV	9,26 E-06	4,63 E-07	1,00 E-09	5,00 E-11
5 MeV	5,14 E-06	2,57 E-07	5,56 E-10	2,78 E-11
7 MeV	1,06 E-05	5,32 E-07	1,15 E-09	5,75 E-11

„prompt dózis limit” = származtatott dózismegszorítás egy lézerlövésre vonatkoztatva

- Az elektronnyaláb árnyékolásaként alkalmazható kis rendszámú anyagoknak (pl. grafit, polietilén, alumínium) nagy a kritikus energiájuk (= ahol a részecske kinetikus energiájának éppen 50 %-a alakul át fékezési sugárzássá), így az elektromágneses kaszkád csillapítására alkalmasak, emellett kevésbé hajlamosak a felaktiválódásra (ha ezt kiváltó részecskék keltődnek), és ha az be is következik, jellemzően rövid felezési idejű termékek keletkeznek.
- Hátrány a csekély fotongyengítési képesség.
- Alkalmazás:
 - Nyalábcsapda közepe (bevezeti a nyalábot, kissé szórja és a visszaszórás is csökkenti),
 - Nyalábcsapda köpenye, vagy a nyalábcsapdát körülvevő fal csökkenti a neutron fluenst (ha “tercier” sugárzásként neutronok is keletkeznek).
- A nagyrendszámú anyagok (pl. ólom, szegényített urán) kerülendőek, mert nehezek, és az ún. óriás rezonancia neutronsugárzást előnytelenül szétszórják, generálják. Elektronárnyékolásra csak úgy használhatók, ha gondoskodunk a fékezési sugárzás megfelelő gyengítéséről is. Alkalmazás: Csak akkor, ha feltétlen szükséges, pl. rövidített nyaláb csapda esetén, nyaláb tükör.

„Kémény” effektus

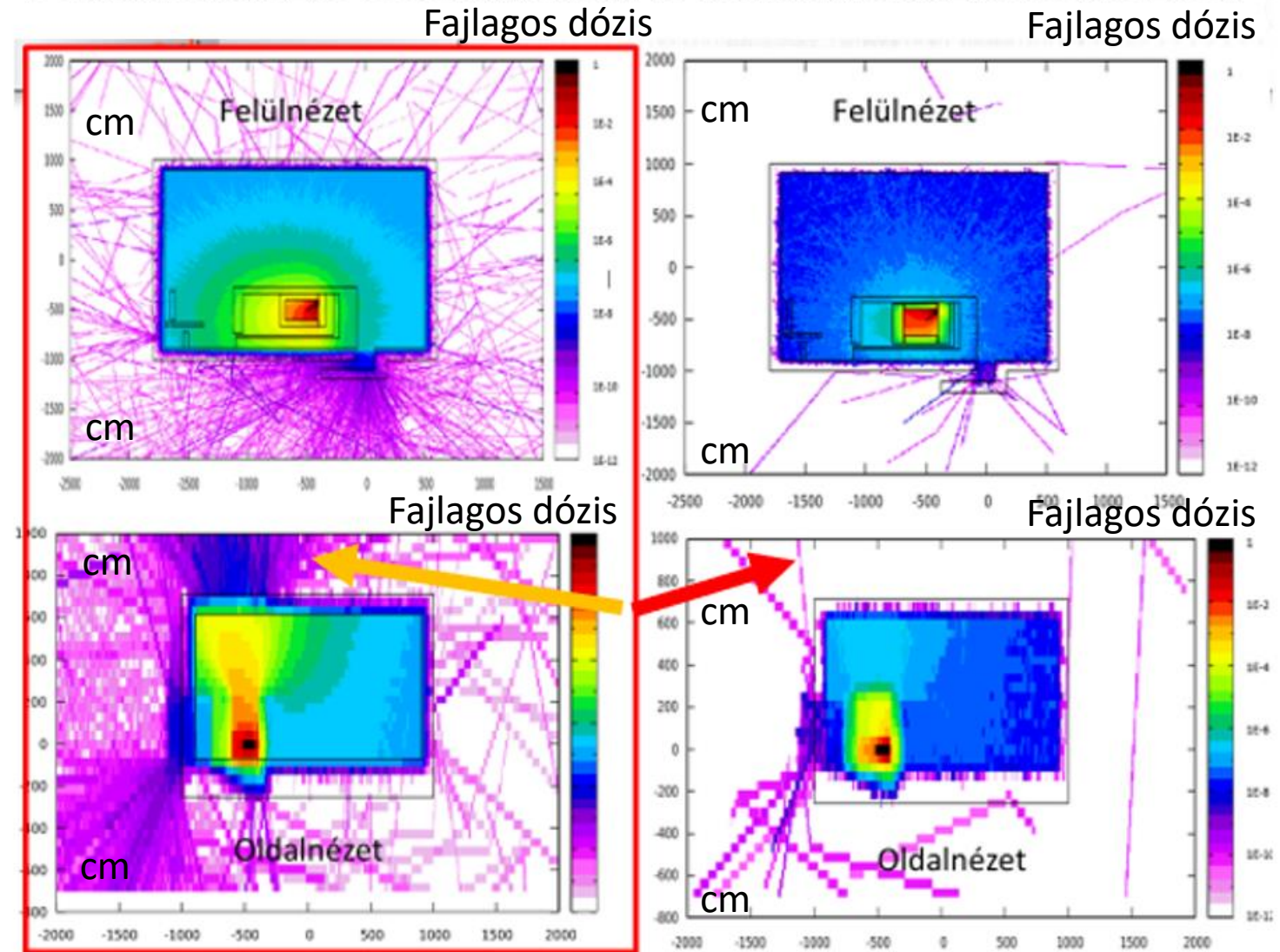
Demonstráló szimuláció

10/16

- A lézerfény-anyag kölcsönhatási kamra tetejét nem lehet árnyékolni, mivel felfelé nyílik, továbbá a daru nem tudna mozogni és a födémként elhelyezett árnyékolás súlya miatt az árnyékoló támfal elemek stabilitása csökkenne. (A besugárzó kamrát akár naponta többször is ki kell nyitni.)
- Megoldás: MSSZ-ben rögzíteni: a besugárzás ideje alatt nem lehet a besugárzó termék fölött tartózkodni, amennyiben a fajlagos dózis meghaladja [szabad hozzáférésű területen] a „nem sugaras” munkavállalókra vonatkozó fajlagos dózis limitet; [felügyelt területen] a „sugaras” munkavállalókra vonatkozó limitet.

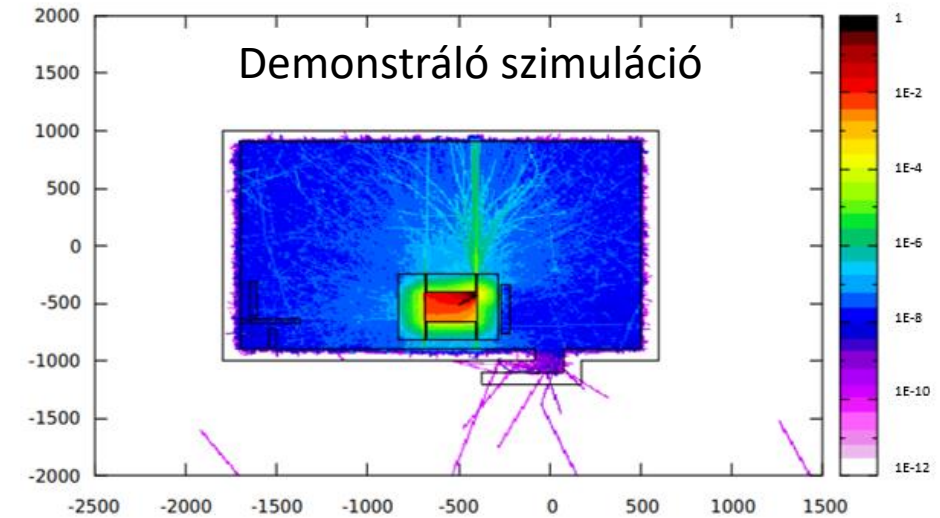
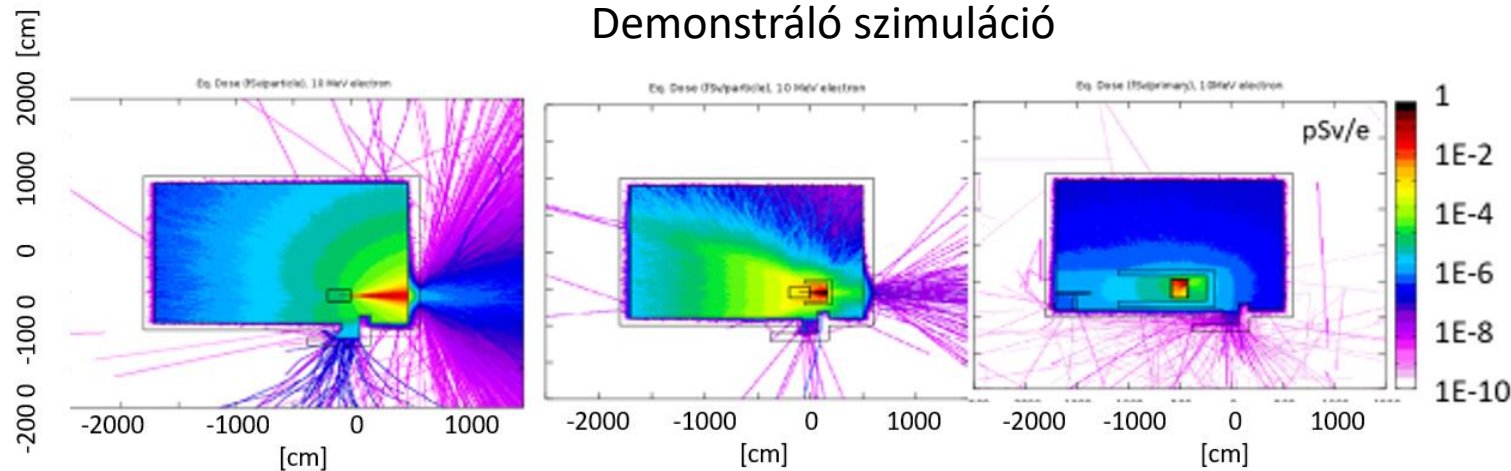
SYLOS SHHG nyalábvonal (MTA) 10 MeV elektron sugárzás fajlagos dózis tere
x, y, z [cm], színkód: [pSv/elektron]

Dózismodellezés födém nélküli és födémmel lezárt térrészben



- Az árnyékoló elemeknek résmentesen kell illeszkedni egymáshoz, mert a réseken át kiszóródik a sugárzás.
- Megfelelő árnyékolás elhelyezésével a termen kívül a származtatott dózismegszorítások alá szorítható a keltett dózis értéke.

A SYLOS SHHG nyalábvonal 10 MeV elektron sugárzás árnyékolása, az MTA teremben.



2 m vastag nehézbeton árnyékolást alkalmazva, melyen 1 cm-es illesztési hézag van elhelyezve, MTA felülnézet, x, y [cm], színekód: [pSv/elektron]

Árnyékolás nélkül (bal oldali ábra), csak falrendszer (40 cm nehézbeton) árnyékol (középső ábra), falrendszer (80 cm nehézbeton)+belső árnyékolás alkalmazása (jobb oldali ábra), MTA felülnézet, x, y [cm], színekód: [pSv/elektron]

A szimulációknál az indított részecskeszám hatása a fajlagos dózis értékekre

12/16

- A tervezés elején még sok paraméter értéke még nem pontosan ismert:
 - Üzemviteli paraméterek (frekvencia, napi és éves üzemidő),
 - Keltett részecskeszám, iránya, intenzitása, energiája.
- Nyalábvonal pontos kialakítása, illetve a többi nyalábvonal és azok árnyékolásainak helyigénye nem ismert.
- A tervezendő nyalábvonal helyigénye nem ismert, nem tisztázott hova tehető az árnyékolás, milyen anyag lesz használva árnyékolásként.
- A tervezés során minden felmerült scenáriót meg kell vizsgálni, mivel a sugárvédelmi eredmények is visszahatnak a tervezendő nyalábvonalra, befolyásolják a végső paramétereket.
- Sok iterációt vesz igénybe, de kevés az idő, azaz sok szimulációt kell lefuttatni, ami viszont időigényes.
- Fontos kérdés: a szimulációk során indított részecskeszám hogyan befolyásolja a fajlagos dózis értékeket????!!!

A szimulációknál az indított részecskeszám hatása a fajlagos dózis értékekre

- A FLUKA-val végzett vizsgálatok megmutatták a kód előnyös tulajdonságát: kevés indított részecskeszám esetén is megbízható értékek jönnek ki, bár nagy szórással, illetve az eredmények konzervatívak a megadott paraméterek alapján.
- Sok árnyékoló anyagot, különböző vastagsággal, elhelyezéssel kell megvizsgálni az optimalálás során. A működési paraméterek rögzítése után a próba szimulációkat először lehet alacsony részecskeszámmal indítani, így a tervezés ezen szakasza felgyorsítható, és a végső elrendezéssel érdemes nagy számra is elvégezni a szimulációt.
- Kevés indított részecskeszám esetén nincs összefüggő dózistér.
- Nagy indított részecskeszám esetén szépen kirajzolódnak az ekvivalens fajlagos dózis területek.

Kicsi vs. nagy indított részecskeszám

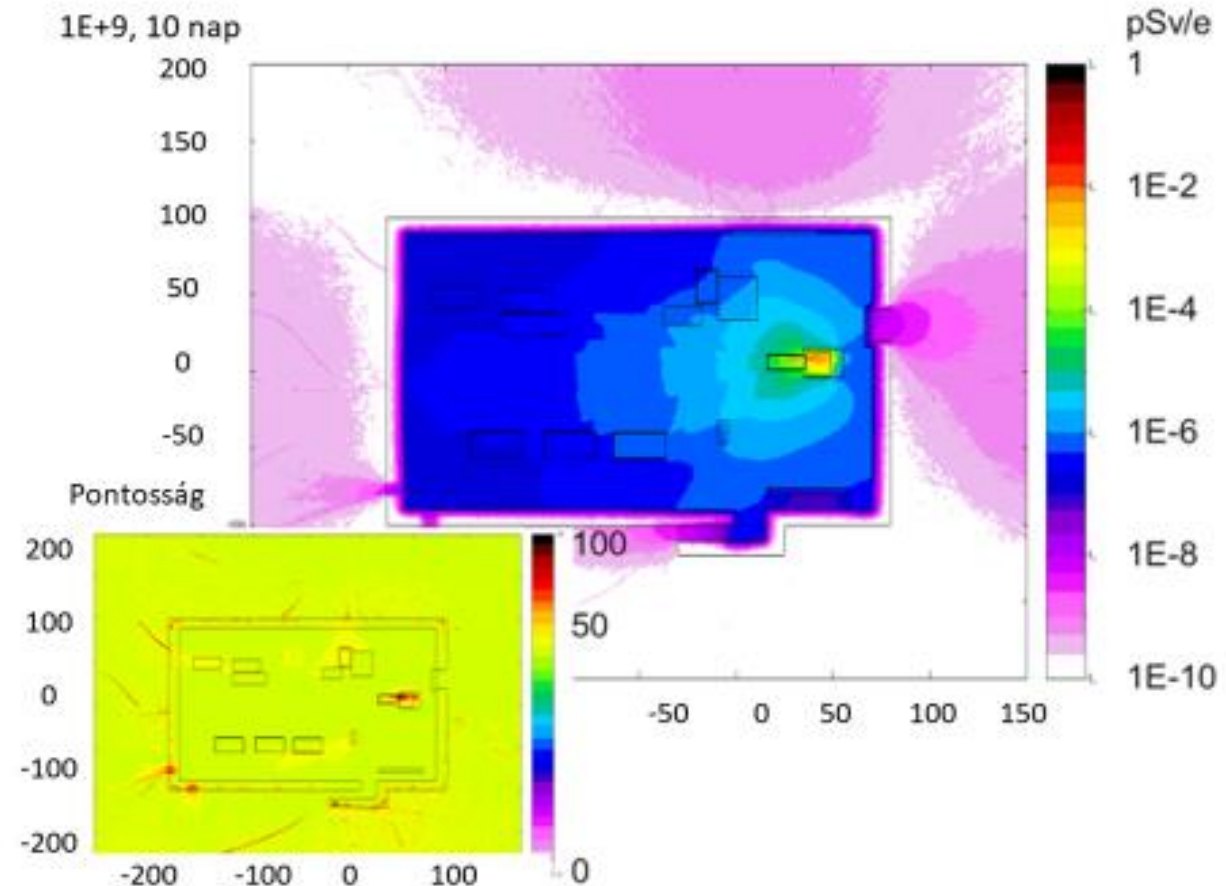
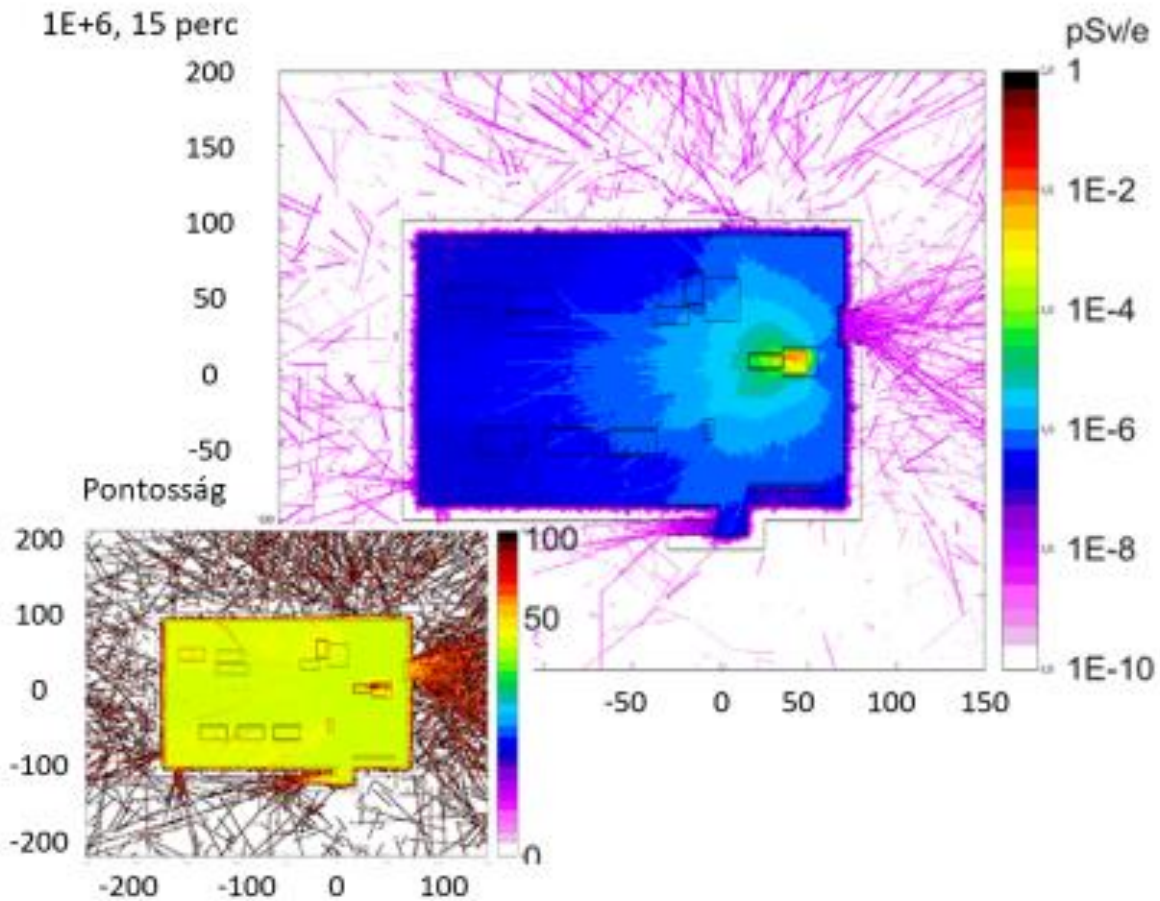
0,1 % vs 100 % futtatási idő

14/16

Demonstráló szimuláció

*Az eSylos nyalábcsatorna körül kialakuló fajlagos dózistér,
1 millió indított részecskével, futtatási idő 15 perc*

*Az eSylos nyalábcsatorna körül kialakuló fajlagos dózistér,
1000 millió indított részecskével, futtatási idő 10 nap*



- A sugárvédelmi árnyékolás tervezése összetett, soklépcsős, időigényes folyamat.
- Fontos megvizsgálni azt, hogy az egyes paraméterek változtatása, hogyan befolyásolja a meglévő sugárvédelmi árnyékolás megfelelőségét.
- A tervezésnél használt egyenlettel az új fajlagos dózislímitek gyorsan kiszámíthatóak.
- Az üzemviteli paraméterek növekedésével szigorodnak (csökkennek) a fajlagos dózislímitek.
- Az alkalmazott árnyékolás elhelyezésénél ügyelni kell, hogy ne legyen rés az illesztéseknél. Minél távolabb van az árnyékolás, annál inkább csökken az árnyékolás határfoka.
- A megfelelő árnyékoló anyag választásával csökkenthető az árnyékolás vastagsága és az árnyékoló anyag felaktiválódása.
- A tervezéshez szükséges szimulációk futtatása időigényes, kisebb indított részecskeszám alkalmazásával a futtatás időigénye drasztikusan csökken, az eredmények támpontot adhatnak a tervezőnek, így többféle árnyékolás tervezet is megvizsgálható rövid idő alatt.

<https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/391/308>

Safety and Security
Sciences Review

international, peer-reviewed, professional and
scientific journal of safety and security sciences

Biztonságtudományi
Szemle

a biztonságtudomány nemzetközi, lektorált,
szakmai és tudományos folyóirata

AKTUÁLIS SZÁM

ARCHÍVUM

FOLYÓIRAT ▾

SZERZŐINKNEK

KERESÉS

FŐOLDAL / ARCHÍVUM / ÉVF. 5 SZÁM 4. (2023): BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE / Ipar- és üzembiztonság

**Nagyintenzitású lézerberendezés által keltett ionizáló sugárzás elleni
lokális árnyékolás számítás optimalizálásának sajátosságai a tervezés
során**

Károly Bodor

ELI ALPS

<https://orcid.org/0000-0002-1612-8207>

Péter Zagvyai

ELI ALPS

<https://orcid.org/0000-0002-0981-2385>

Kulcsszavak: Sugárvédelem, nagy teljesítményű lézerberendezés, paraméter-
optimalizálás, sugárvédelmi árnyékolás

ABSZTRAKT

ISSN 2079-8542

Vol. 5, No. 4, 2023

Safety and Security
Sciences Review

international, peer-reviewed, professional and
scientific journal of safety and security sciences

2023, V. évf. 4. szám

Biztonságtudományi
Szemle

a biztonságtudomány nemzetközi, lektorált,
szakmai és tudományos folyóirata

5



<https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu>