

**INVESTIGATION OF ABLATION DECONTAMINATION TECHNOLOGY GENERATED BY LASER LIGHT****LÉZERFÉNY ÁLTAL GENERÁLT ABLÁCIÓS DEKONTAMINÁLÁSI TECHNOLÓGIA VIZSGÁLATA**BODOR Károly<sup>1</sup> – ZAGYVAI Péter<sup>2</sup>**Abstract**

The article describes the operating principle and feasibility of a new decontamination technology. One of the very important parameters for the storage of radioactive waste is its volume. Due to the ablation technology, the surface contamination of solid objects can be eliminated by collecting the particles detached by ablation, thus maximizing the volume / impurity volume ratio of the purified material. Most technologies produce large amounts of secondary contamination, the ablation process is not, inexpensive, fast, and can be deployed almost anywhere. In this article I present the results of our radioactive material decontamination process, during which the contaminated surface was treated three times.

**Keywords**

Radiation protection, Decontamination, Ablation, Photoraser, Radioactive waste

**Absztrakt**

A cikk bemutatja egy új dekontaminálási technológia működési elvét, megvalósíthatóságát. A radioaktív hulladékok tárolásának egyik igen fontos paramétere a térfogat. Az ablációs technológia segítségével a szilárd anyagok felületi szennyezettségét meg lehet szüntetni, úgy, hogy a leválasztott részecskéket összegyűjtjük, így maximalizálni lehet a megtisztított anyag térfogata/szennyezés térfogata arányt. A legtöbb technológia nagy mennyiségű másodlagos szennyezést termel, az ablációs eljárás nem, olcsó, gyors, szinte bárhol bevethető. A cikkben bemutatom az általunk elvégzett radioaktív anyag dekontaminálási eljárás eredményeit, mely során háromszori kezelésnek vetettük alá a szennyezett felületet.

**Kulcsszavak**

Sugárvédelem, Dekontamináció, Abláció, Photoraser, Radioaktív hulladék

<sup>1</sup>bodor.karoly@ek-cer.hu | <https://orcid.org/0000-0002-1612-8207> | Radiation protection expert, Centre for Energy Research | Sugárvédelmi szakértő, Energiatudományi Kutatóközpont

<sup>2</sup>zagyvai.peter@ek-cer.hu | <https://orcid.org/0000-0002-8121-8452> | Radiation protection advisor/Sugárvédelmi tanácsadó, Energiatudományi Kutatóközpont

## BEVEZETŐ

A radioaktív anyagok alkalmazása széleskörű, a nukleáris ipar mellett a különféle iparágakban, az oktatás, a kutatás és az egészségügy területén is elterjedt. Radioaktív hulladék legnagyobb mértékben az atomreaktorok működése során keletkezik, de a többi alkalmazásnál sem elhanyagolható ennek mennyisége. A reaktorok kiégett fűtőelemei is ide sorolandók, ha újrafeldolgozásuk nem történik meg. A most működő atomreaktorok többségét le fogják szerelni az elkövetkező 10-20 évben.

A radioaktív hulladékok térfogatának jelentős részét a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok adják. (A radioaktív hulladékokat a 2/2022. OAH rendelet 12. melléklete szerint kell besorolni. [5]) A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék jelentős részét képezik azon szilárd tárgyak, melyek felületén van radioaktív felületi szennyezettség (radiokontamináció). Továbbá egy nukleáris baleset esetén nagy mennyiségben keletkezhetnek felületen szennyezett anyagok a szétterülő radioaktív anyagok hatására, melyek döntő többsége kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak fog minősülni. A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladéktárolók kapacitása véges, emiatt nagyon fontos a hulladékok térfogatának csökkentése. A baleseti szituációban keletkező jelentős mennyiségű radioaktív hulladék kimerítheti a tárolási lehetőségeket, ezért fontos ezen felületen szennyezett anyagok megtisztítása, így redukálva a radioaktív hulladékok térfogatát. A végleges tárolók véges kapacitásai miatt a hulladékok temetkezési költségei fokozatosan emelkednek.

A legtöbb dekontaminálási (tisztítási) eljárás során a szennyezett felületről ugyan eltávolítják a szennyezettséget, de nagyobb mennyiségű kisebb aktivitású másodlagos szennyezett anyag keletkezik pl. a magasnyomású mosás során (1. ábra). A felületi szennyezettség nehezen eltávolítható, amennyiben a felülethez erősen kötődik a radioaktív szennyező (fixált szennyezettség), illetve amennyiben a felületi réteg belsejébe vándorol a radioaktív anyag. A megfelelően megtisztított anyagokat inaktívvá lehet nyilvánítani, így azokat továbbra is lehet használni. Az inaktívvá nyilvánítás radiokémiai laboratóriumi anyagok és területek esetén az MSz 62/7:2017 szabvány, általános mentesítés esetén a 2/2022. OAH rendelet, valamint EURATOM-segédanyagok [4] alapján történhet.

A hulladékokat kondicionálják a kisebb térfogat eléréshez, ez lehet tömörítés, szilárdítás, hamvasztás, égetés. A hulladék feldolgozás előtt célszerű a hulladékokat pihentetni, így a rövidebb felezési idejű izotópok elbomlanak, mely csökkenti a hulladék aktivitását és a hulladék által létrehozott dózisteljesítményt.



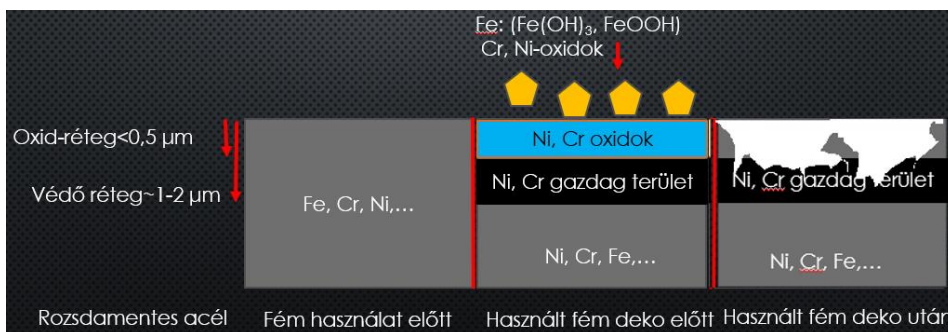
1. ábra: Különböző dekontaminációs eljárások, [3]

## LÉZER ABLÁCIÓS DEKONTAMINÁCIÓ

A lézerfényt előállító kompakt berendezések teljesítménye elérheti az 1-2 kW-ot. A lézerfényt a tisztítandó felületre ráfókuszálva lokális felmelegítés érhető el. Elegendően nagy teljesítmény mellett a felületen a hirtelen hőmérsékletváltozás hatására mechanikai feszültség alakul ki az anyag és a felületi szennyezettség között, így elérhető, hogy a felületről leváljanak, lepattogjanak, elpárologjanak a felületi szennyező részecskék. A lézerfénytel történő tisztítást manapság már használják pl. rozstda, olaj szennyezés eltávolítására az iparban. Radioaktív hulladékok tisztítására a jelenlegi berendezések nem alkalmasak, mivel a felületről a levegőbe kerülő radioaktív anyagok nagyon veszélyesek, belégzéssel (inhaláció) belső sugárterhelést okoznának. Ahhoz, hogy akár hordozható dekontamináló állomást lehessen kialakítani lézerberendezéssel, a kompakt lézerberendezés mellett a levegőbe kerülő radioaktív részecskék hatékony összegyűjtésére alkalmas technológiát kell a rendszerhez csatlakoztatni. Amennyiben ez megvalósulna, akkor hatékony dekontaminálási alternatíva lehet a lézeres dekontaminálás, mivel a dekontaminálás folyamata a többi technológiához viszonyítva viszonylag gyors, és ellentétben a jelenlegi technológiákkal, ez a rendszer a másodlagos szennyezést (levegőbe került radioaktív részecskék) képes lenne igen kis térfogatba összegyűjteni.

### Atomreaktor primervízének kontaminációja

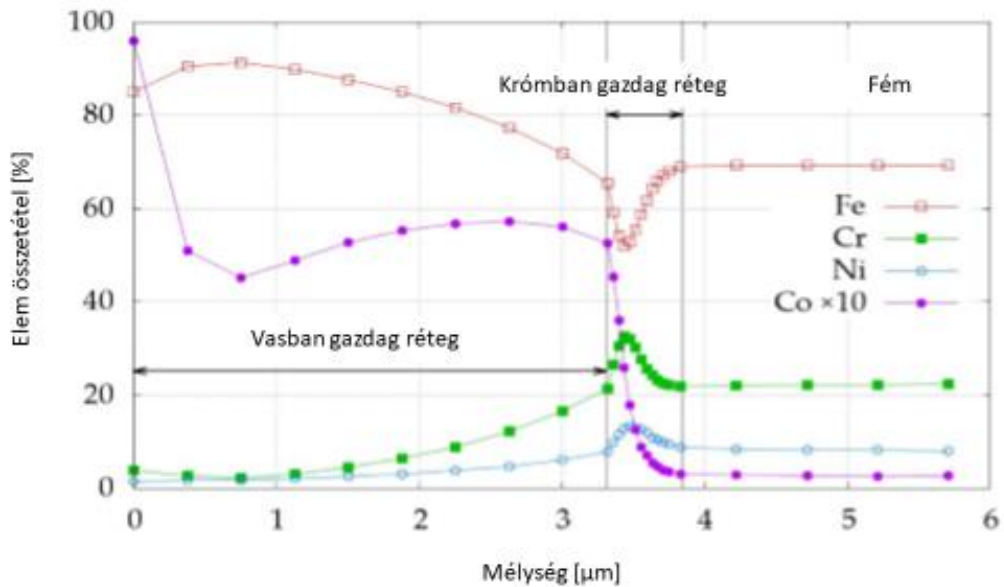
A vízhűtésű atomreaktorok primer vízkörében kioldódás vagy a felületről való leválás miatt megjelennek a fűtőelemek burkolatából, a reaktortartályból és egyéb fémes szerkezeti anyagokból (pl. vízcsövek felületei) származó, úgynevezett korróziós termékek. Ezen anyagok felaktiválódva és a primer víz csőrendszerébe bekerülve bizonyos területeken lerakódhatnak és feldúsulhatnak. A vas a primer vízzel reakcióba lép és vasoxidot hoz létre. A felületből kioldódott vas miatt a felületihez közeli réteg az eredetnél nagyobb arányban tartalmaz krómot és nikkelt [1]. A mintegy 97,5%-ban cirkóniumot tartalmazó fűtőelemek fémfelületén is főleg króm és nikkelt oxidok keletkeznek. Bár a dekontaminálás során ezen oxidok eltávolíthatók, de a sérült felületen újra kialakul az oxid réteg (2. ábra) [1].



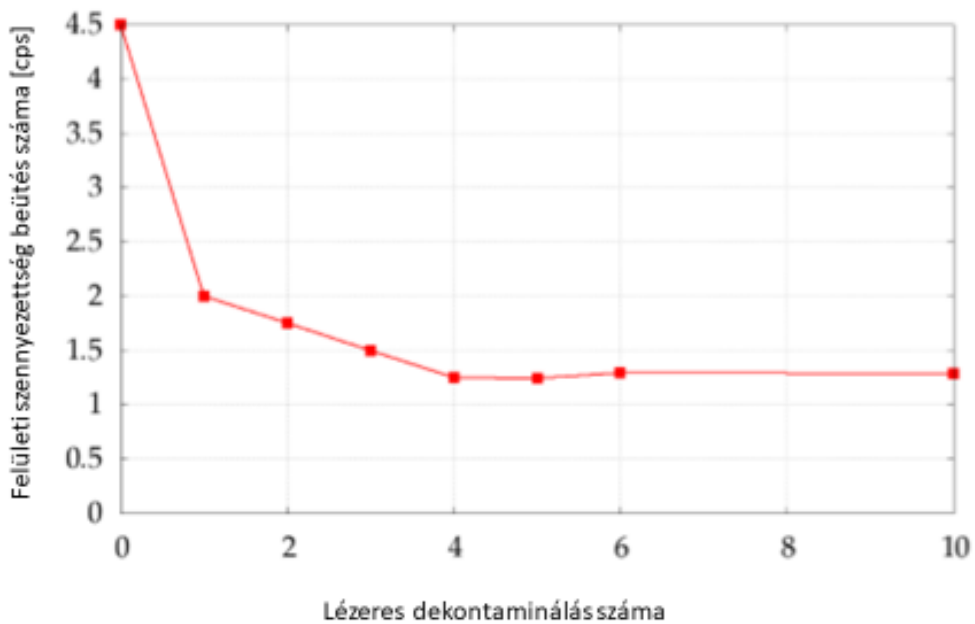
2. ábra: Korróziós folyamatok a primer vízben lévő rozsdamentes acél felületeken, [1]

$^{60}\text{Co}$  keletkezik a rozsdamentes acél felületén a kobaltot tartalmazó filmrétegben, a  $^{60}\text{Co}$  által emittált gamma fotonok nagy energiájúak (1,17 MeV; 1,33 MeV). A viszonylag nagy aktivációs hatáskeresztmetszet és az 5,27 éves felezési idő miatt az elszennyezett cső dózisteljesítményének döntő többségét a  $^{60}\text{Co}$  adja a felaktivált korróziós termékek közül. Amennyiben a felület 0,5-1  $\mu\text{m}$ -ét távolítjuk el, akkor a felületi szennyezettségből származó

dózisteljesítmény drasztikusan csökken. További korróziós termékek nem válnak le, mert a védőréteg nem sérül. Emiatt a lézeres kezelés első pár lépésével jelentősen csökkenthető a felületi szennyezettség és az abból származó dózisteljesítmény értéke (3-4. ábra) [1].



3.ábra: Vas, króm, nikkél és kobalt mélységi eloszlása egy vizsgált rozsdamentes acél felületén [1]

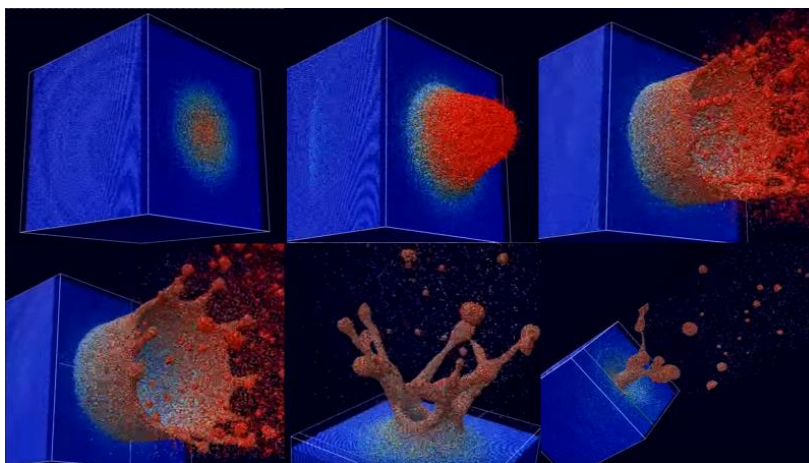


4.ábra: A felületen mérhető szennyezettség által okozott beütésszám csökkenése a lézeres kezelések függvényében, [1]

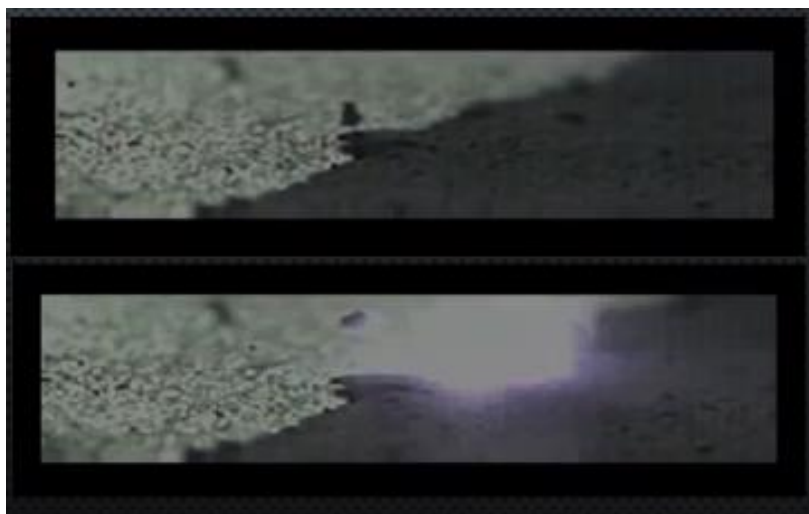
A fűtőelem gyártás során a fűtőelem külső felülete tartalmazhat  $^{235}\text{U}$ -tartalmú urán-oxid-szennyezést, a besugárzás hatására hasadó szennyező tovább növelheti a primer víz szennyezettségét. Amennyiben pl. lézeres dekontaminálást alkalmazunk a friss (tehát még nem használt) fűtőelem felületén, akkor a primer víz szennyezése is csökkenthető [1].

### Ablációs tisztítás

A lézeres dekontamináció során a fókuszpontban a kialakuló mechanikai feszültség hatására a felületi szennyező részecskék lerobbanhatnak a felületről (5. ábra), mivel a fókuszpontban kialakuló gyors hőmérsékletnövekedés miatt a felület és a felületi szennyező anyag hőtágulása eltérő mértékű. A pulzált módban használt lézer pontról pontra alakítja ki a hőmérsékleti góccokat, így egyfajta felületi rezgés, lökeshullám jön létre, ami szintén elősegíti a szennyező felület leválását (6. ábra) [1].



5. ábra: Felületi anyag kilökődés-robbanás a lézeres kezelés által kialakuló lokális hőmérsékleti gradiens hatására, [1]



6. ábra: Nagy méretű szennyező rész leválása a felületről a lézeres kezelés pillanatában, [saját szerkesztés]

## Ablációs küszöb

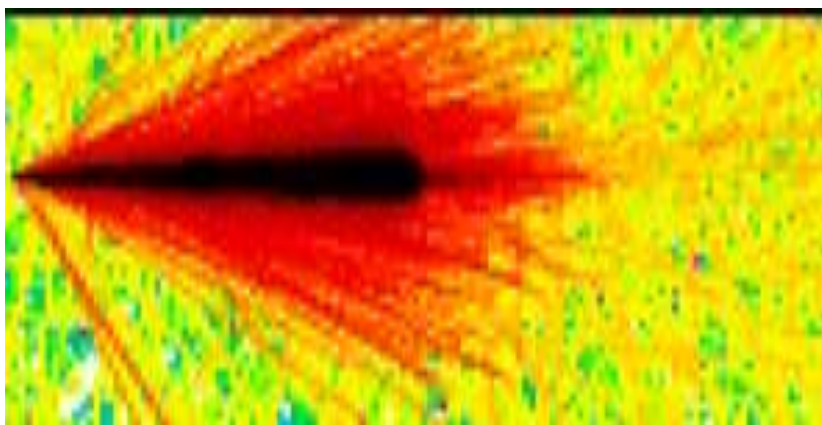
A lézer besugárzás hatására kialakuló hőmérséklet emelkedés hatására a besugárzott terület megolvadhat (termikus abláció). Ezt el lehet kerülni, amennyiben a lézerberendezés képes érzékelni a besugárzott anyag reflektáló képességét, így a berendezés érzékeli, hogy a felületi szennyezés eltávozik a felületről, és tiltja a lézert, ezáltal elkerülhető a felület részleges megolvadása, károsodása [1].

## Károsodási küszöb

A lézerkezelt fémtárgy megolvadhat, amennyiben hosszú lézerimpulzust alkalmazunk, illetve nagyteljesítményű a lézerberendezés. A szennyezés módosítja a felület minőségét, a károsodási küszöb növekszik a felület érdességével. A küszöb csökken, amennyiben a besugárzott terület hővezetése alacsony, mivel ez kedvez a lokális hőmérséklet-emelkedésnek. A károsodási küszöböt tovább csökkenti a többszörös besugárzás. Fázisátalakulások jönnek létre a besugárzásokkor, ezek megváltoztatják az anyag reflektáló, hővezető tulajdonságait, és a károsodási küszöböt is [3].

## Szennyező filmréteg

Az anyag és szennyező filmréteg határán megváltozik a reflexió, általában csökken, mert az érdesség lecsökken, így a hőmérséklet növekedése megnövekszik. A lézer besugárzás mélysége, penetráló képessége csökken a lézerintenzitás csökkentésével, a nyaláb ún. Molière sugara csökken (7. ábra). Vastag szennyezettség esetén a beérkező lézerimpulzus szóródik, így a hőmérsékletváltozás sem pontszerű. A nagyobb kiterjedésű, de még lokális hőmérséklet emelkedés hatására a vastagabb szennyező filmréteg esetén nagyobb darabok válhatnak le a felületről (8. ábra) [1]. Vékony filmréteg esetén a leváló részecskék méreteloszlása jóval kisebb, ami megnehezíti ezek kiszűrését a levegőből.



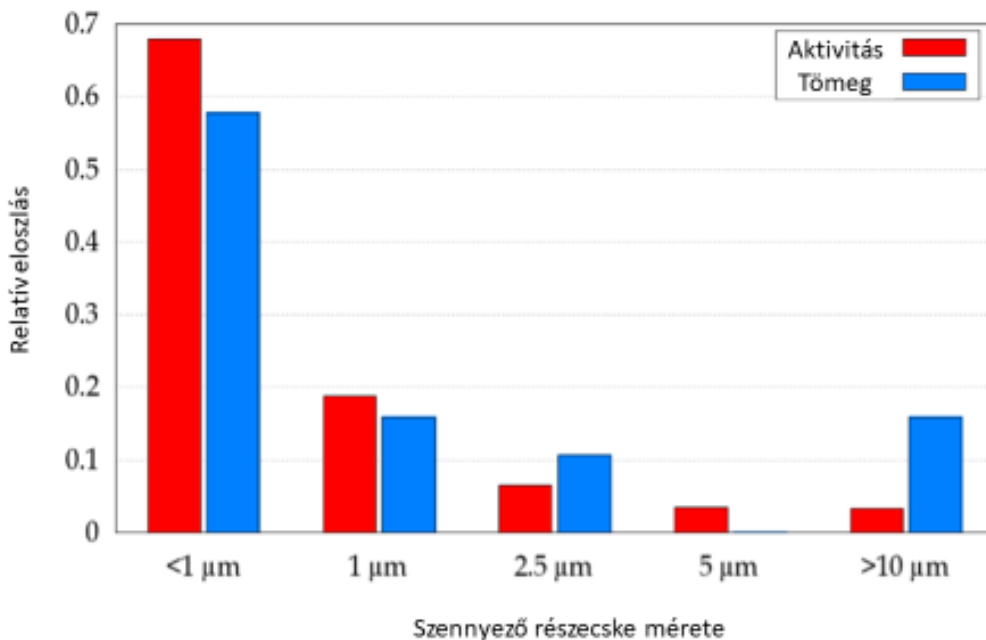
7. ábra: A lézernyaláb fokozatos szóródása-széttartása (Molière sugár), [saját szerkesztés]

## Leváló darabok méreteloszlása

A lézeres dekontamináció hatására a felületről lepattanó részecskék méreteloszlása változatos. A leváló részecske darabok döntő többségének a mérete kisebb, mint 1 mikrométer (8. ábra). A mikrométer alatti méret tartományú részecskék adják a felületi szennyezettség jelentős részét. A felületi szennyező filmrétegben mechanikai törések keletkeznek,

amennyiben vastag a felületi lerakódás, ekkor a leváló darabok mérete meghaladhatja a 10  $\mu\text{m}$ -t.

A levegőbe kerülő részecskéket nagyteljesítményű levegő elszívó berendezéssel kell elszívni, a dekontamináló helyiségnek mindig negatív nyomásúnak kell lennie, így elkerülhető, hogy szennyezett levegő a külső térbe kerüljön. A levegő elszívó rendszerbe többszörös szűrési pontokat kell kialakítani, amik képesek a nagyobb és a kisméretű részecskéket is kiszűrni a levegőből, a rendszer kiegészíthető vizes elnyelő rendszerrel is.



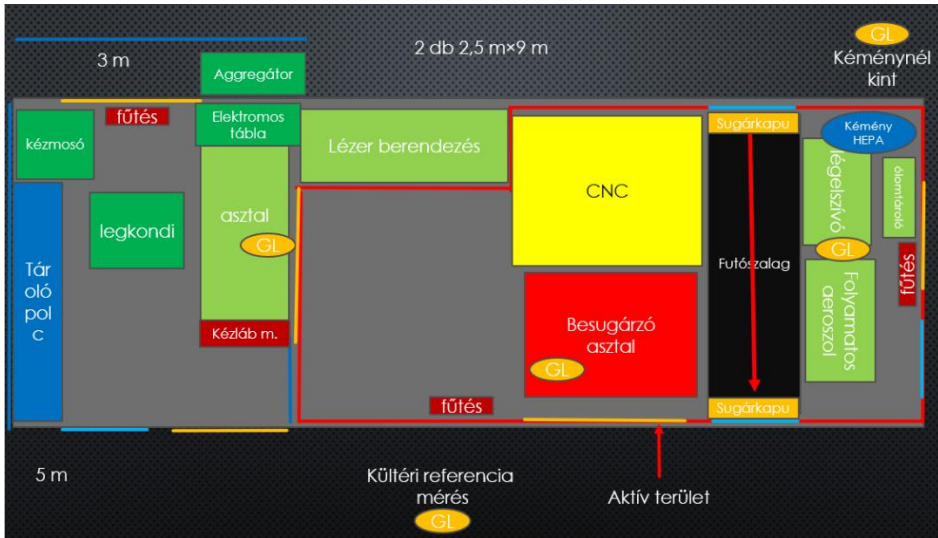
8. ábra: A felületről leváló részecskék relatív eloszlása méret szerint, [1]

## AZ ÚJ TÍPUSÚ DEKONTAMINÁLÁSI TECHNIKA MŰKÖDÉSE

A tesztelt hordozható lézerberendezése teljesítménye 1 kW, az ismétlési frekvenciája 15-50 kHz között változtatható. A lézersugár szkennelő üzemmódban végig pásztázza felületet, a lézer besugárzás szélessége állítható 0 – 100 mm szélesség között. A lézerfény fókusz távolsága is beállítható. A besugarazandó felületet felületi szennyezettségméréssel kell megmérni, így ismert a felületi szennyezettség nagysága és kiterjedése, pozíciója a szennyezett tárgyon. A felületi szennyezettség mérése és a lézerfényt kibocsátó pisztoly pozícionálása robotkarral is megoldható. Az egyes lézeres kezeléseket követően újra le kell mérni a felületi szennyezettséget, így újra megállapítható, hogy mennyit csökkent a felületi szennyezettség mértéke, kiterjedése, ebből meghatározható az egyes kezelések dekontaminációs hatásfoka. A kezeléseket addig kell végezni, amíg a beavatkozási szint alá nem csökken a felületi szennyezettség értéke.

A lézeres dekontaminálást állandó munkateremként vagy telepíthető állomásként is meg lehet valósítani. Utóbbi több konténerből állhat (iroda, fürdő, tároló részleg) és a fő konténer, amiben a lézerberendezés és a dekontamináló részleg el van helyezve. A konténerrendszer szétszerelve szállítható és adott munkaterületen össze lehet állítani. A tervezett

konténer besugárási területét légmentesen kell leválasztani, így a levegő elszívás megkísérelése esetén sem tud kijutni szennyezett levegő. A levegő elszívó rendszerbe épített aktivitáskoncentráció mérő eszközök segítségével lehet mérni a konténerből kibocsátott levegő minőségét. Ha egy beállított érték fölötti értéket jelez a rendszer, akkor a lézeres kezelés automatikusan leáll, a levegőszűrő betétek radioaktív hulladékként kezelendők csere esetén (9. ábra).



9. ábra: A lézer elven működő dekontamináló rendszer (Photoraser) tervezett elrendezése, (GL nagyérzékenységű dózisteljesítmény mérő, CNC: programozható szerszámgép), [saját szerkesztés]

A konténer műszaki kialakításának követelményei:

- A konténer szabvány méretű (9\*2,5 m), mely bővíthető, mobilis, így bárhová telepíthető a rendszer a megrendelő kérésére, ha a sugárvédelem megfelelőségét az Országos Atomenergia Hivatal elfogadta.
- Két részből áll: aktív zóna, valamint irányító helyiség.
- A konténerrendszert fizikai védelemmel kell felszerelni („C”-szint 190/2011 Korm. r. szerinti [2]), a dekontaminálásra beérkező anyagok aktivitása, izotóp összetétele változatos lehet, a „C” szintű védelem elegendő mozgásteret biztosít a rendszernek, hogy fogadni tudja a különféle radioaktív hulladékokat.
- Audio-vizuálisan kell jeleznie a konténer sugárvédelmi kijelző rendszerének szintemelkedés esetén.
- A sugárkapu bejelzése esetén a rendszer leállítja a már kezelt anyag kiadását.
- A sugárvédelmi mérő rendszerrel a beléptető rendszert össze kell kapcsolni, amennyiben az aktív zónában a személyzet elszennyeződik, akkor a sugárkapu nem enged ki onnan, ebben az esetben a sugárvédelmi szakértő elrendeli a személy dekontaminálását, illetve belső kontamináció vizsgálatát (egésztést számlálás).



- Amennyiben a dekontaminációs eljárás során hiba lép fel, pl. csökken vagy megszűnik a depresszió, valamint ha a kibocsátást ellenőrző berendezés emelkedett értéket mutat, akkor a beépített automatikának azonnal le kell állítani a lézeres kezelést.
- A dekontamináló zónába csak kiegészítő személyi dózismérőt (EPD-t) viselve lehet belépni, a beléptető rendszert össze kell kapcsolni az EPD rendszerrel, így csak EPD összerendeléssel lehetséges a belépés.
- A konténer belső felületeit dekontaminálható felületekkel kell ellátni, sima felületek.
- A kéménybe telepített mintavevő rendszert úgy kell kialakítani, hogy izokinetikus mérés legyen lehetséges a kibocsátás meghatározásához.
- Ólom árnyékolású sugárforrástároló szekrényt kell alkalmazni a használt légszűrők átmeneti tárolására.

## AZ ÚJ TECHNOLÓGIA ELŐNYEI, MEGVALÓSÍTHATÓSÁGA

A lézeres dekontamináció főleg szilárd felületek tisztítására alkalmas. Hatékony eljárás, gyors, valamint a másodlagos szennyezés összegyűjtésre kerül, így a másodlagos szennyezés térfogata minimális. A lézeres dekontaminálást korábban kísérleti körülmények között kipróbálták [1], azóta a lézerberendezés fejlődése végett már kompakt, hordozható, kW teljesítményű lézerek is elérhetőek a piacon. Ugyanakkor ezen berendezéseknél csak egyszerű levegő elszívás van, mely a lézerpuska, azaz a kezelést végző személy irányába szívja a levegőt. Ezen berendezések alkalmatlanok a radioaktív anyagok dekontaminálásra (bár a lézer teljesítmény elegendő), mivel nem ilyen célra lettek tervezve. A biztonságos dekontamináláshoz szükséges egy olyan technológiai rendszer kiépítése, mely megfelelően összegyűjti a levegőbe kerülő radioaktív szennyezést és meggátolja a további kontaminációt, inhalációt.

Előnyök:

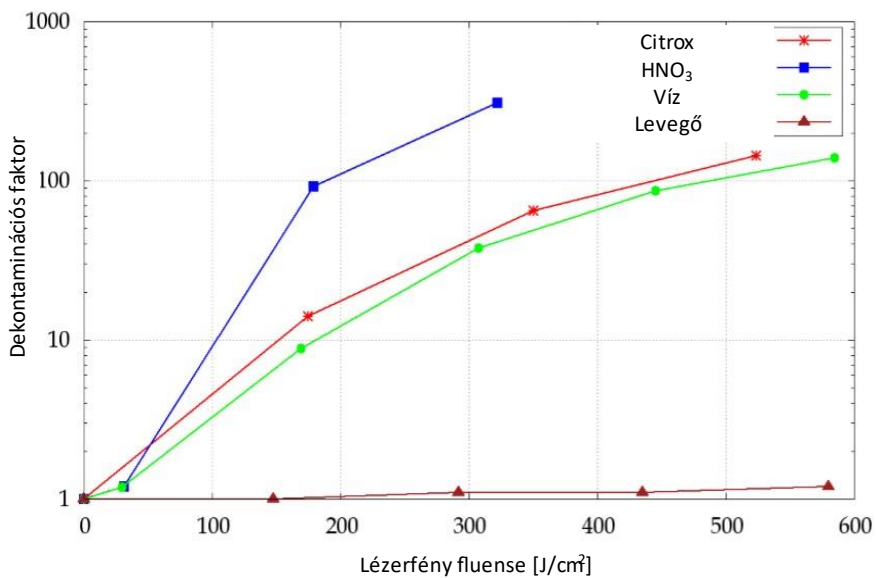
- A dekontaminálás megfelelő robotikai felszereléssel automatizálható.
- Széles körű hasznosíthatóság, radioaktív szennyezők mellett egyéb szennyezettség is tisztítható.
- A radioaktív anyag összegyűjthető, így a kis térfogat miatt ennek temetési költsége nem jelentős.
- A munka végzéséhez legalább bővített sugárvédelmi képzettség szükséges, valamint megfelelő gyakorlat.
- Mobilis kialakíthatóság.
- Kis aktivitású, de nagyméretű hulladékok elhelyezés előtti tisztítására, továbbá radioaktív szennyezettségű munkahely (nukleáris reaktor) leszerelésénél, baleseteknél, piszkos bombatámadásnál a hulladékok térfogatának helyszíni minimalizálására alkalmas a lézeres dekontaminációs technológia.
- A rendszer karbantartási igény csekély.
- A lézer csak a szennyezést távolítja el, az alapfelületet nem károsítja. Bonyolult alakú tárgyak is könnyen kezelhetők (10. ábra).



10. ábra: Különféle felületek lézeres tisztítása, [saját szerkesztés]

- A lézerberendezéssel végzett dekontaminálás hatékony a meglévő eljárásokhoz képest, mivel gyors és a másodlagos szennyezés összegyűjtésre kerül.
- A lézeres dekontaminálás dekontaminációs faktora növelhető, amennyiben hígított (10%) salétromsav vízpermettel kezeljük a felületet (11. ábra) [1].

Dekontaminációs faktor=(Felületi szennyezettség értéke dekontaminálás előtt/felületi szennyezettség értéke dekontaminálás után)\*100



11. ábra: A dekontaminációs tényező a lézer fény fluens függvényében, [1]

## LÉZERES DEKONTAMINÁLÁS A GYAKORLATBAN

Gyakorlati tesztet hajtottunk végre egy kisebb (200 W) és egy közepes (500 W) teljesítményű lézerberendezéssel. A gyakorlat során használt autóalkatrészeket használtunk. Ezek erősen szennyezettek, rozsdásak voltak, természetesen radioaktivitás nélkül. Az alakjuk változatos volt. A lézerberendezés pisztolyát a felületre kell irányítani, majd szisztematikusan fel-alá szkennelve kell végigmenni a felületen. A ravasz megnyomásával aktiválható a lézer, fontos a megfelelő távolság tartása, így a felület épp a lézerfény fókuszpontjába esik, ekkor maximális a kezelés hatásfoka. A fókusz távolság változtatható 10-50 cm között.

Az első besugárzás során a felületi rozsdá nagy része eltávolításra került, az olajos szennyezés nagy része elpárolgott. A tiszta felület elérésekor a berendezés automatikusan blokkolta a lézerfényt.

A kis teljesítményű lézer főleg az enyhén korrodált felületek megtisztítására alkalmas. Az 500 W-os lézer már képes jelentősebb szennyezést is megszüntetni. A felületi szennyezettség az első kezelés hatására jelentősen csökken (~50 %), mivel a vastagabb rozsdarétegről leváló darabok fajlagos felülete igen nagy, így a leváláskor sok radioaktív részecske is távozhat a felületről (15. ábra).

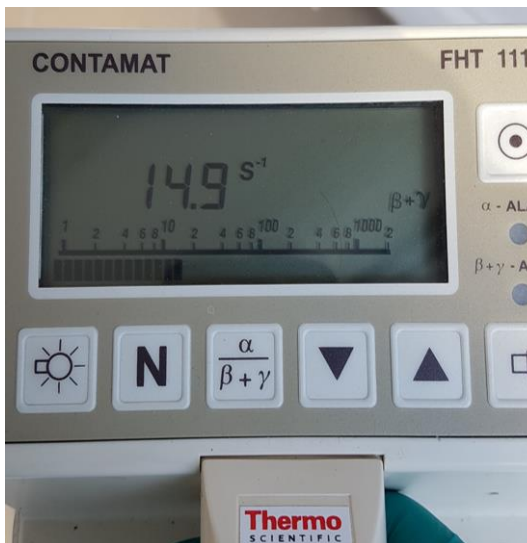


12. ábra: Lézerrel tisztított autóalkatrészek, inaktív minták, [3]



13. ábra: Részben tisztított autóalkatrészek, [saját szerkesztés]

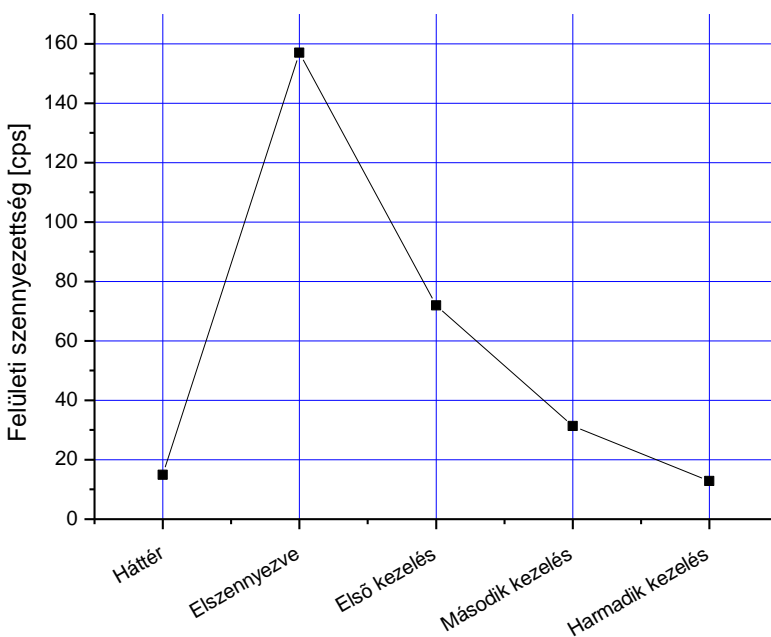
A második kísérletnél izotóplaboratóriumban, levegő elszívás mellett, Tyvek ruhába beöltözve  $^{131}\text{I}$  oldatot alkalmaztam, a nehéz rozsdás felületet kisaktivitású, de a háttér felett jól mérhető  $^{131}\text{I}$ -t tartalmazó oldattal szennyeztem el. Körülbelül fél óráig vártam, hogy a folyadék megszáradjon a felületen, és egy késsel a folyadékot a felszínén simítottam, hogy mélyen belemenjen a rozsdába. Az FHT111 Contamat felületiszennyezettség-mérővel béta-gamma cps módban mért háttér 15 cps volt (14. ábra). A szennyezés felvitele után a felületi szennyezettség felment a háttér kb. tízszeresére, majd három lézeres kezelést alkalmazva a felületi szennyezettség visszaállt a háttér értékre (15. ábra bal, közép, jobb), 16. ábra, 1. táblázat. (a mért értékek relatív szórása 20 és 5 % között volt, ezeket a táblázat nem tartalmazza).



14. ábra: A megtisztítandó felület felületi szennyezettség értéke elszennyezés előtt és után, [saját szerkesztés]



15. ábra: Az első kezelést követően a felületi szennyezettség a felére, második kezelés után a negyedére csökkent, majd a 3. kezelés után újra háttér értéket lehetett mérni, [saját szerkesztés]



16. ábra: Az elszennyezett alkatrész lézeres dekontaminációjának eredménye, [saját szerkesztés]

	Felületi szennyezettség [cps]
Háttér	14,9
Elszennyezve	157
Első kezelés	71,9
Második kezelés	31,3
Harmadik kezelés	12,8

1.táblázat: Az elszennyezett alkatrész lézeres dekontaminációjának eredménye, [saját szerkesztés]

## ÖSSZEFOGLALÓ

A nukleáris létesítmények leszerelése során keletkező radioaktív hulladékok térfogatának jelentős részét adják a szennyezett anyagok és tárgyak. Egy nukleáris baleset során jelentős mennyiségű kis- és közepes aktivitású hulladék keletkezik. A hulladékok térfogatát minimalizálni kell, mivel a tárolók kapacitása véges, és a megfelelően biztonságos elhelyezés költséges. A hulladékok többségében a felületükön szennyezettek. A felületi szennyezettség megszüntetésével, illetve az adott helyen érvényes beavatkozási vagy mentességi szint alá csökkentésével a speciális kezelést, majd elhelyezést igénylő radioaktív hulladékok mennyisége jelentősen csökkenthető, ugyanakkor a legtöbb dekontaminációs eljárás jelentős másodlagos szennyezést generál.

A lézeres dekontaminálás során a másodlagos szennyezés koncentrálható, így annak térfogata minimalizálható, további nagy előnye a hatékony tisztítás mellett a felület folyamatos páasztázása, így a módszer képes a felület alapanyagát és a szennyezést megkülönböztetni. Ezen technika segítségével a lézer csak addig működik, amíg az alapfelületet el nem éri a lézertény, így megkíméli a felület degradációját. Ma már elérhetőek a kW osztályú hordozható lézerberendezések, melyek hatékonyan képesek eltávolítani a felületi szennyezettséget. Az eljárást jól szervezett sugárvédelmi ellenőrzés mellett kell végrehajtani, mivel a dekontamináció során a levegőbe kerül a felületről eltávolított radioaktív részecskék, melyek tovább szennyezhetik a környezetet, valamint inhaláció esetén belső sugárterhelést okozhatnak.

A cikkben bemutatásra került a lézeres dekontaminálási eljárás megvalósíthatósága, a kezdeti kísérletek alapján már 0,5 kW teljesítményű lézer berendezéssel is működik a gyakorlatban a lézer elven működő dekontamináció. A biztonságos működésre vonatkozóan bemutatásra került egy sugárvédelmileg tervezett mobilis dekontamináló állomás.

Supported by the ÚNKP-22-3 New National Excellence program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation fund”

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Leontyev, A. (2011): Laser decontamination and cleaning of metal surfaces: modelling and experimental studies. Doktori (PhD) értekezés, UPSud, Párizs
- [2] 190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100190.kor> (Letöltés ideje: 2023.03.06.)
- [3] Badár Fanni: Lézertény által generált ablációs dekontaminálási technológia vizsgálata, MSc. Diplomamunka, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi kar, Külső témavezető: Bodor Károly, 2019.
- [4] European Commission Radiation Protection 113 „Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations” (2000)
- [5] 2/2022. (IV. 29.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2200002.OAH&txtreferer=00000001.txt> (2022.07.11.)