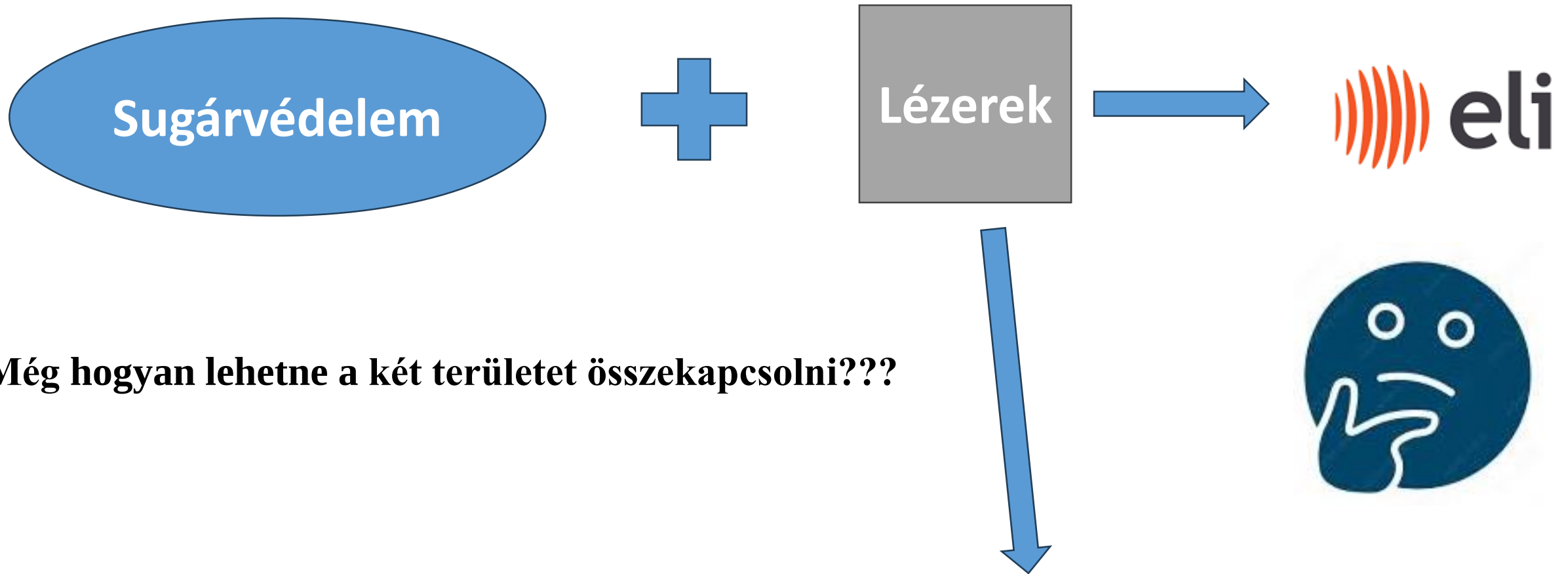


HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

LÉZERFÉNY ÁLTAL GENERÁLT ABLÁCIÓS DEKONTAMINÁLÁSI TECHNOLÓGIA VIZSGÁLATA

Bodor Károly, Zagyvai Péter
HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

Kutatás. Innováció. Hatás.

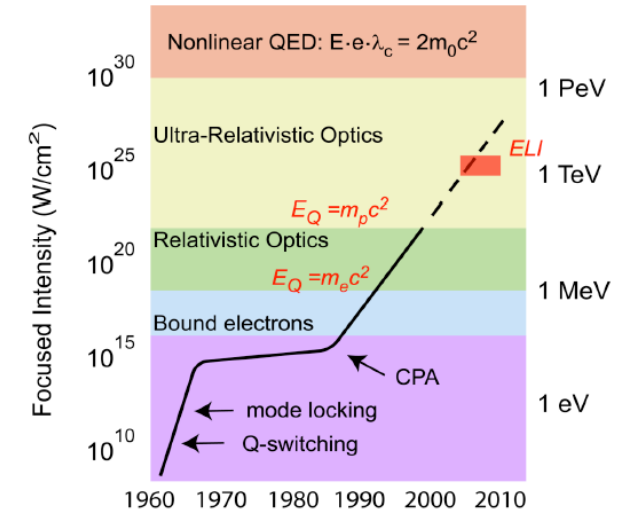


Lézer abláción alapuló tisztítás → Lézeres dekontamináció

- A lézerberendezések teljesítménye az elmúlt évtizedekben drasztikusan növekedett (PW)
- Ezzel párhuzamosan a lézerberendezések mérete csökkent
- Az iparban a kW osztályos lézerek teljesítménye elegendő a felületkezeléshez, ugyanakkor kompakt méretűek



https://www.youtube.com/watch?v=Q8q3DZB_l6M&t=26s



Magasnyomású vizes mosás

Vibrációs technikák

Szárazjég hűtés

Felület maratás mechanikai

Ultrahang használata

Nagynyomású gőz
alkalmazása

Felület maratás sav-lúg, gél

Homok, dióhéj fúvás

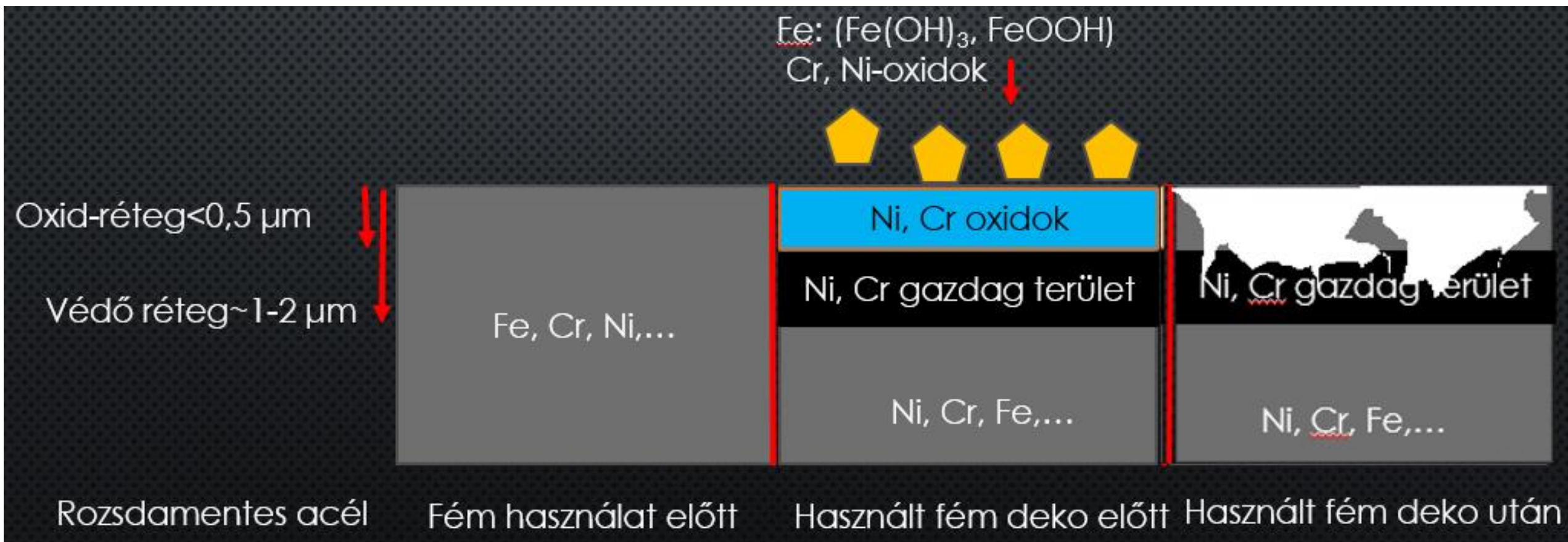
Lézer ablációs eljárás

- A vízű 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 eredetinél nagyobb arányban tartalmaz krómot és nikkelt.
- A mintegy 97,5%-ban cirkóniumot tartalmazó fűtőelemek fémfelületén is főleg króm és nikkel oxidok keletkeznek.
- Bár a dekontaminálás során ezen oxidok eltávolíthatók, de a sérült felületen újra kialakul az oxid réteg.

A nagyhőmérsékletű nagy nyomású primer víz kioldja a fémeket a vas jobban oldódik ezért főleg ez megy oldatba

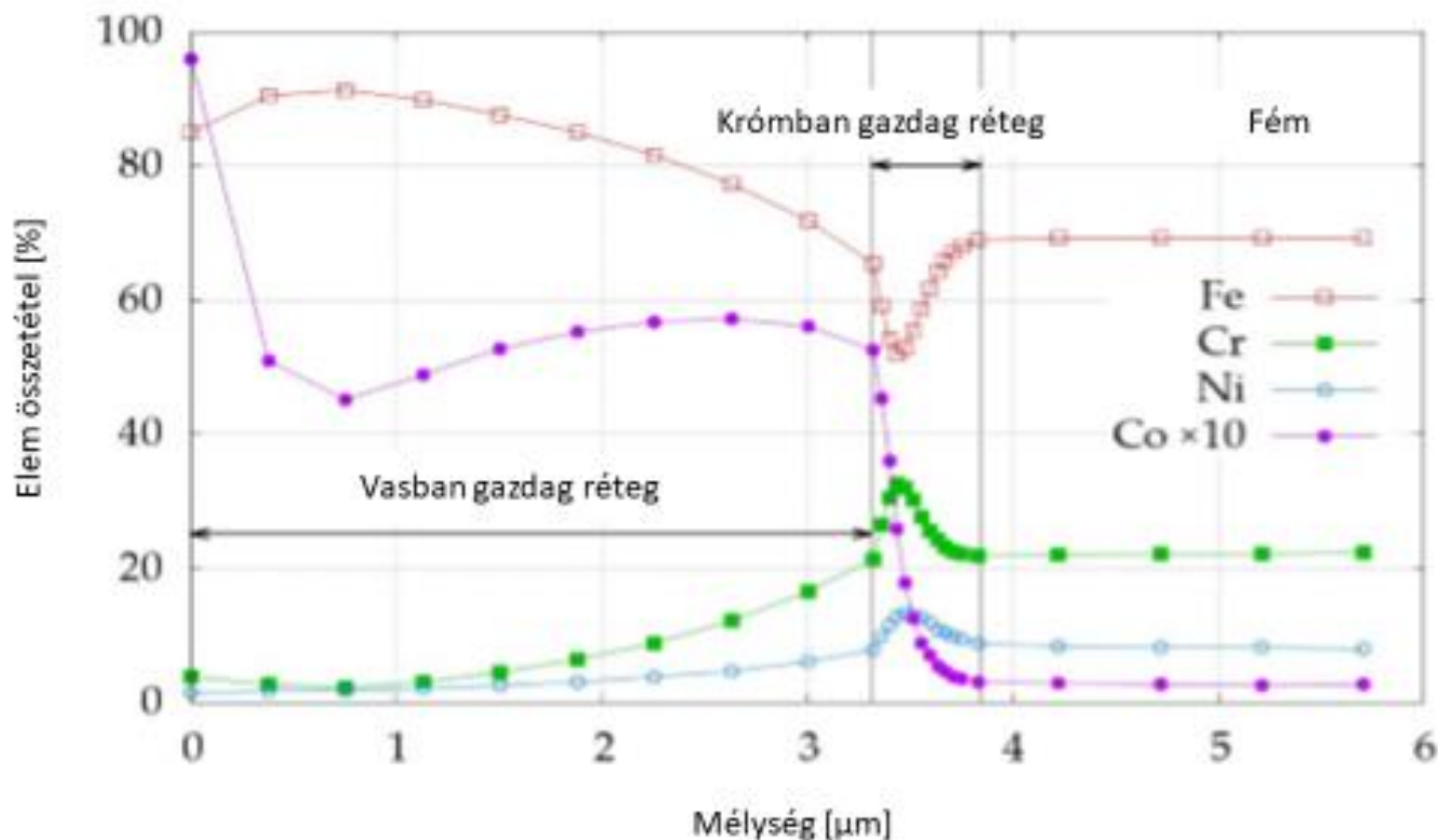
Így kialakul egy Ni, Cr gazdag réteg a felületen. A legfelső rétegben amorf oxid kristályok alakulnak ki
Főleg Fe: $(\text{Fe}(\text{OH})_3, \text{FeOOH})$
de Cr, Ni-oxidok is keletkeznek

Dekontaminációt követően a kristályok eltűnnek a felületről, ugyanakkor a felület inhomogén lesz, ami az újabb korróziót és így a felaktivált korróziós termékeket növeli azaz növeli LLW, ILW hulladékok mennyiségét!!!

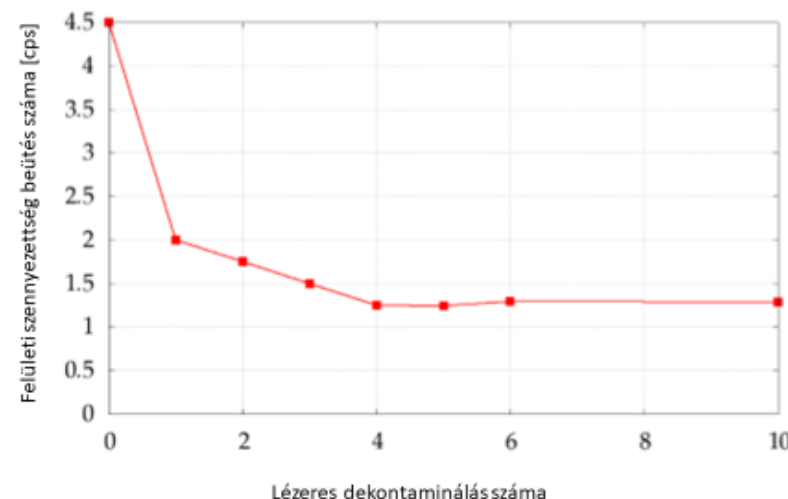


- ^{60}Co keletkezik a rozsdamentes acél felületén a kobaltot tartalmazó filmrétegben, a ^{60}Co által emittált gamma fotonok nagy energiájúak (1,17 MeV; 1,33 MeV).
- A viszonylag nagy aktivációs hatáskeresztmetszet és az 5,27 éves felezési idő miatt az elszennyezett cső dózisteljesítményének döntő többségét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

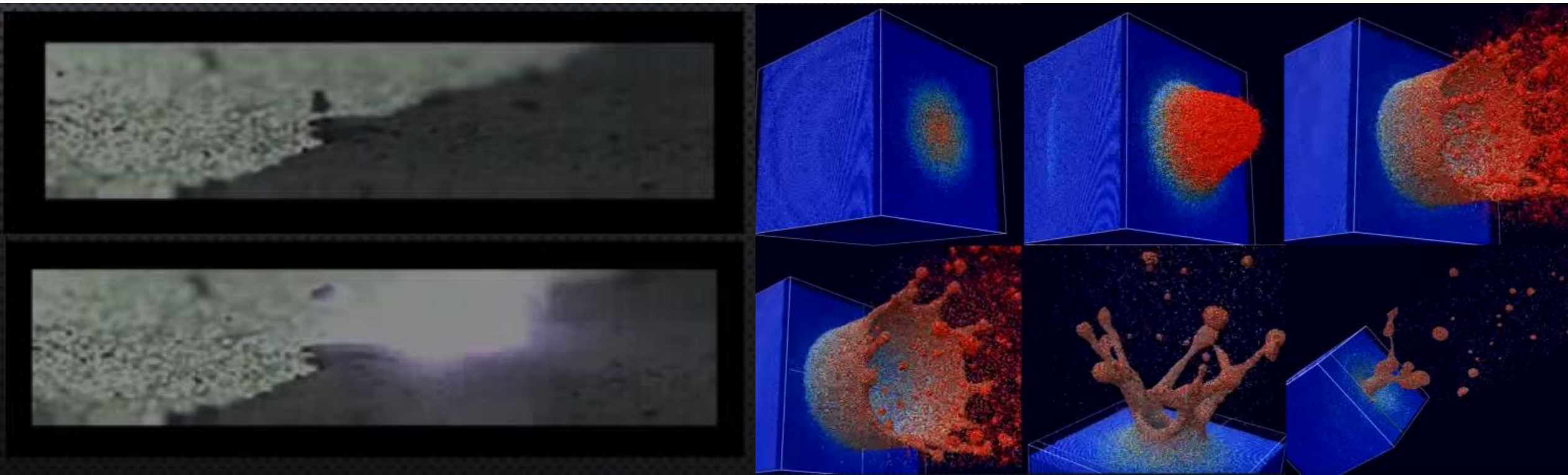
- A fűtőelem gyártás során a fűtőelem külső felülete tartalmazhat ^{235}U -tartalmú uránoxid-szennyezést, a besugárzás hatására hasadó szennyező tovább növelheti a primer víz szennyezettségét.



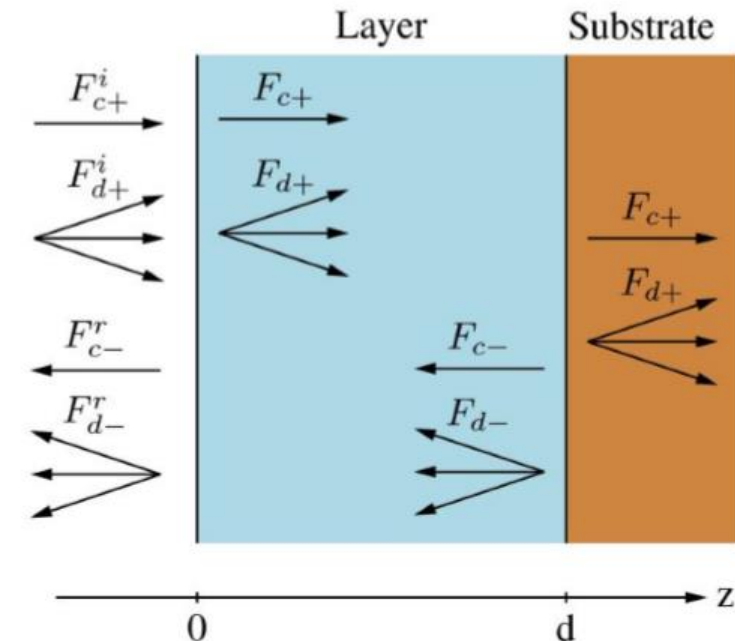
- Amennyiben pl. lézeres dekontaminálást alkalmazunk a friss (tehát még nem használt) fűtőelem felületén, akkor a primer víz szennyezése is csökkenthető.



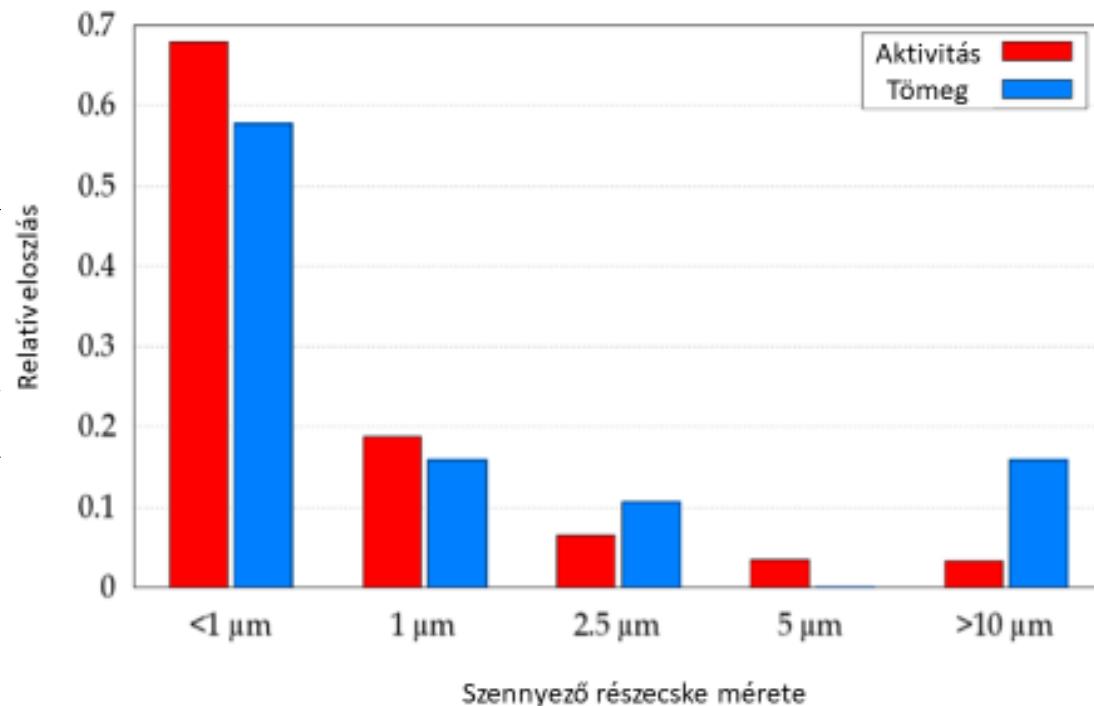
- A lézeres dekontamináció során a fókuszpontban a kialakuló mechanikai feszültség hatására a felületi szennyező részecskék lerobbanhatnak a felületről.
- A fókuszpontban kialakuló gyors hőmérsékletnövekedés miatt a felület és a felületi szennyező anyag hőtágulása eltérő mértékű.
- A pulzált módban használt lézer pontról pontra alakítja ki a hőmérsékleti góccokat, így egyfajta felületi rezgés, lökéshullám jön létre, ami szintén elősegíti a szennyező felület leválását.



- 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.
- 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.

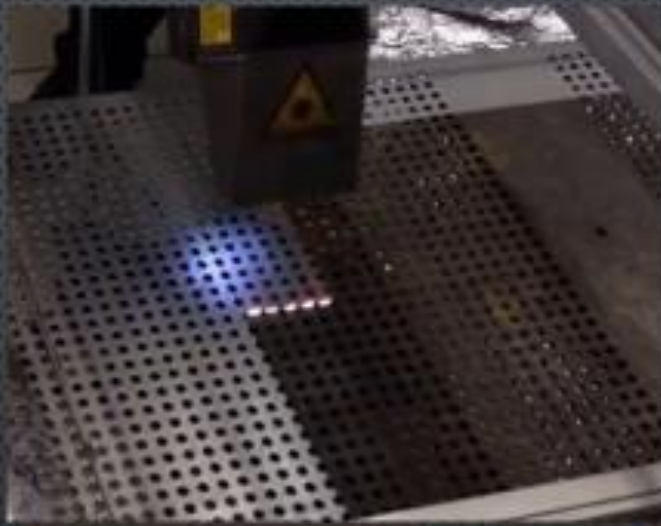


- A lézeres dekontamináció hatására a felületről lepattanó részecskék méreteloszlása változatos.
- A leváló részecske darabok döntő többségének a mérete kisebb, mint 1 mikrométer.
- A mikrométer alatti méret tartományú részecskék adják a felületi szennyezettség jelentős részét.
- A felületi szennyező filmrétegben mechanikai törések keletkeznek, amennyiben vastag a felületi lerakódás, ekkor a leváló darabok mérete meghaladhatja a 10 μm -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.



- 1 kW teljesítmény
- Ismétlési frekvencia: 15 – 50 kHz
- Nyomtató elvén működő pontokból összeálló balról-jobbra, jobbról - balra pásztázó – szkennelés
- 0 – 100 mm szélesség
- Minimális hőhatás a rövid impulzus végett
- Állítható fókuszpont
- Közvetlen porelszívás, (lézerfejbe építve) → porleválasztó

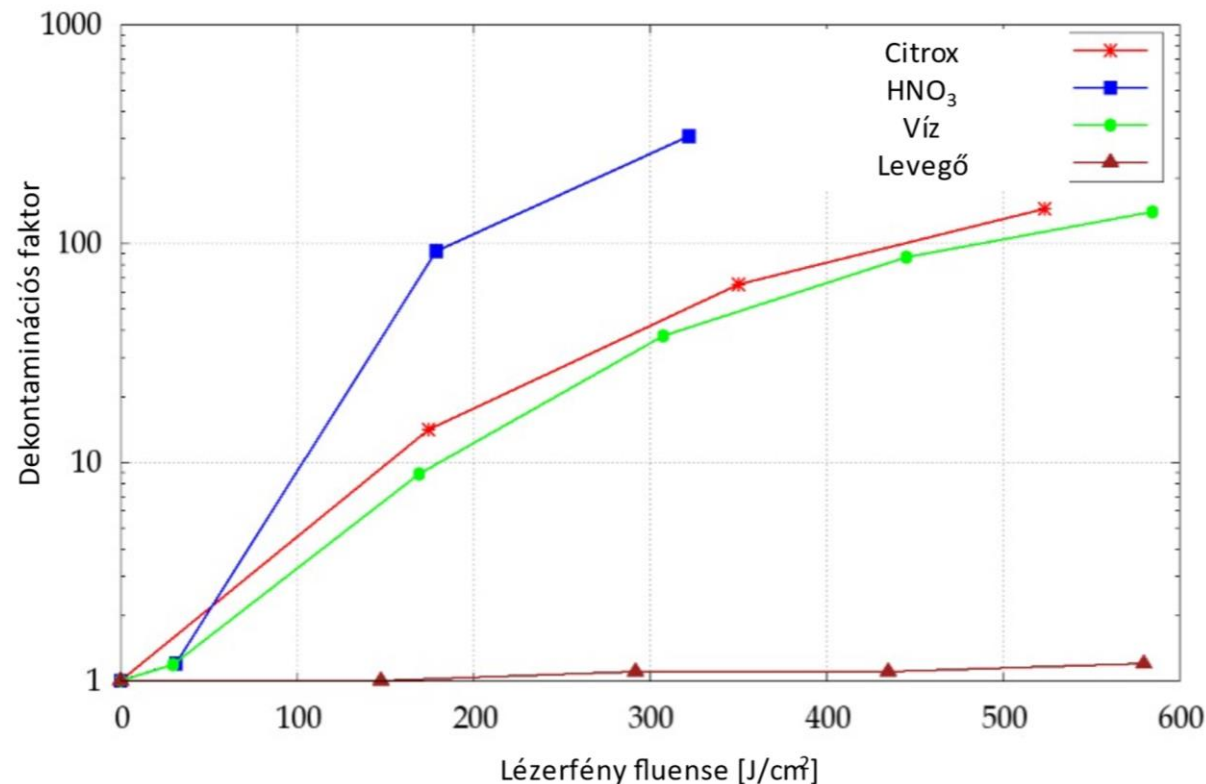
- A dekontaminálás megfelelő robotikai felszereléssel automatizálható.
- Széles körű hasznosíthatóság, radioaktív szennyezők mellett egyéb szennyezettség is tisztítható.
- A radioaktív anyag összegyűjthető, így a kis térfogat miatt ennek temettetési költsége is kevesebb.
- A munka végzéséhez legalább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



Finom megmunkálás
akár a papírról is leszedi
a szennyezést károsodás nélkül



- Dekontaminációs faktor=(Felületi szennyezettség értéke dekontaminálás előtt/felületi szennyezettség értéke dekontaminálás után)*100
- A hígított NO_x vizes közegben a dekontaminációs faktor nagymértékben megnövelhető (Sav maró hatása + a víz kavitációs rezgő hatása)

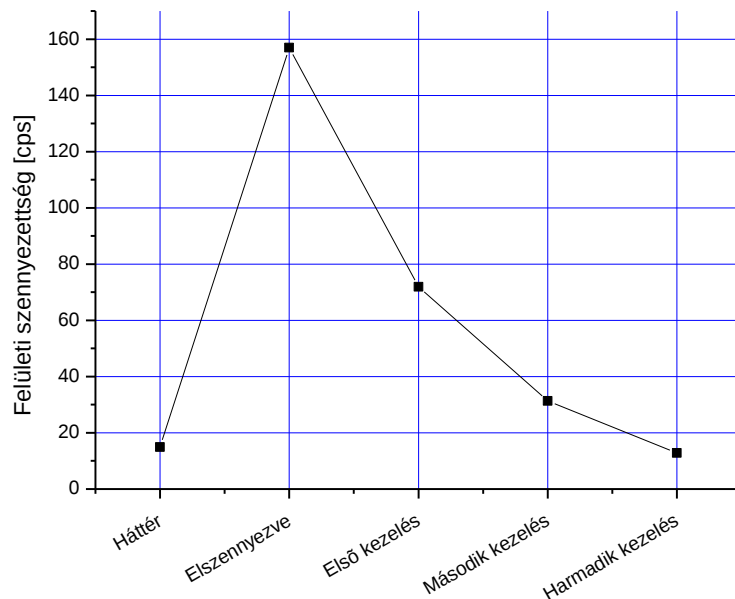


- Gyakorlati tesztet hajtottunk végre egy közepes (500 W) teljesítményű lézerberendezéssel.
- A gyakorlat során használt autóalkatrészeket használtunk.
- Ezek erősen szennyezettek, rozsdásak voltak, természetesen radioaktivitás nélkül.
- Az alakjuk változatos volt.
- Az első besugárzás során a felületi rozsdá nagy része eltávolításra került, az olajos szennyezés nagy része elpárolgott.
- A tiszta felület elérésekor a berendezés automatikusan blokkolta a lézerfényt.



Inaktív minták lézeres tisztítása

- A második kísérletnél izotóplaboratóriumban, levegő elszívás mellett, Tyvek ruhába beöltözve ^{131}I oldatot alkalmaztunk, az erősen rozsdás felületet kisaktivitású, de a háttér felett jól mérhető ^{131}I -t tartalmazó oldattal szennyeztük el (a rozsdás felületbe dörzsöltük, majd megvártuk míg rászárad).
- Az FHT111 Contamat felületiszennyezettség-mérővel béta-gamma cps módban mért háttér 15 cps volt.
- A szennyezés felvitele után a felületi szennyezettség felment a háttér kb. tízszeresére.
- Ezt követően három lézeres kezelést alkalmazva a felületi szennyezettség visszaállt a háttér értékre.



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





A RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Különböző típusú
on-line sugárvédelmi
mérőeszköz

380/220 V
hálózat

380/220 V
aggregátor

Porleválasztó

Hepa
szűrők

Lézerfényt előállító
berendezés

Lézer „puska”

Távírányítású
robotkar

Nagy teljesítményű
állítható
légszivattyú

Nagy teljesítményű
légelszívó
berendezés
csokja

„Kémény”

**Radioaktív
szennyezők**

Szennyezett
felület

Besugárzás

Abláció

Légmentesen zárt rendszer
Folyamatos depresszió
Interlock rendszerrel ellátva

- **Kompakt kW osztályú lézerberendezések elérhetőek**
- **A dekontaminálási technológiákat ki lehet egészíteni a lézeres dekontaminálással**
- **Elsősorban szilárd, kevésbé porózus felületek tisztítására alkalmas**
- **Bonyolult felületek lehet gyorsan megtisztítani**
- **A radioaktív szennyezés térfogata minimalizálható**
- **Fűtőelemek előzetes és utólagos kezelésére alkalmas**
 - **Így a primer víz felaktivált termékei csökkenthetőek → gyanták élettartama növelhető**
 - **Valamint a fűtőelem felület szennyezőképessége és dózisteljesítménye jelentősen csökkenthető**
- **Kihívás:**
 - **Megfelelő szűrőrendszer kialakítása**
 - **Átszűrt levegő, kisméretű részecskék aktivitáskoncentráció mérése**



The DECONTAMINATOR

Köszönjük a figyelmet!