

Állatorvostudományi Egyetem  
Gyógyszertani és Méregtani Tanszék

A tórium kinetikája a szervezetben, különös tekintettel a  
nanorészecskékre

Készítette:  
Bodgál Petra

Témavezető: Dr. Kövágó Csaba  
ÁTE Gyógyszertani és Méregtani Tanszék, tudományos  
munkatárs

Budapest, 2020

# Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke .....	3
1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés .....	5
2.1. Radioaktív sugárzás, a radioaktív sugárzás fajtái .....	5
2.2. A radioaktív sugárzások forrásai: .....	7
2.3. A radioaktív sugárzás mérésére használt mértékegységek.....	7
2.4. Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai.....	8
2.5. Alfa sugárzás biológiai hatásai.....	9
2.6. Tórium .....	10
2.6.1 A tórium alkalmazási területei.....	10
2.6.2 A tórium hatása az állati szervezetre .....	13
2.6.3 A tórium kinetikája a szervezetben .....	15
3. Célkitűzés.....	17
4. Anyag és módszer.....	18
4.1. Kísérleti állatok .....	18
4.2. Hegesztési technológiák.....	18
4.3. Kezelt csoportok.....	19
4.3.1 A kezelések menete.....	19
4.3.2 Mintavétel .....	20
4.4. A fémtartalom meghatározása adott biológiai mintából.....	20
4.5. Alfa sugárzás mérése.....	21
4.5.1 A minta előkészítése.....	21
4.6. A levegőben lebegő részecskék mennyiségének mérése.....	22
4.7. Scanning elektronmikroszkópos vizsgálat .....	22
5. Eredmények.....	23
5.1. A vegyi elemzés eredményei .....	23
5.2. Nanorészecskék mennyiségi meghatározása .....	24
5.3. A keletkező füstben lévő PM10 és PM2,5 részecskék koncentráció meghatározása .....	28
5.4. Scanning elektronmikroszkópos és EDS vizsgálat .....	31
6. Megbeszélés .....	34

7. Összefoglalás .....	37
8. Summary.....	38
9. Irodalomjegyzék .....	39
10. Köszönetnyilvánítás.....	41
Melléletek.....	42

## Rövidítések jegyzéke

AFM: atomic force microscopy

ALI: annual limit intake

AST: aminoszferáz

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

AUC: area under the curve, görbe alatti terület

CLSM: confocal laser scanning microscopy, konfokális lézer-mikroszkóp

EDS: energia diszperzív spektroszkóp

ICP-MS: inductively coupled plasma mass spectrometry, indukcióval csatolt plazma tömegspektroszkópia

IRCP: International Commission on Radiological Protection

LD<sub>50</sub>: median lethal dose

PM: particulate matter, szilárd részecskék (általában a levegőben érve)

SEM: scanning electron microscope, pásztázó elektronmikroszkóp

TIG: tungsten inert gas, argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztés

TIG/Al: argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztés, alumínium alapanyaggal

TIG/SS: argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztés, rozsdamentes acél alapanyaggal

U.S.NRC: United States Nuclear Regulatory Commission

# 1. Bevezetés

“Az Európai Unióban 730 ezer teljes munkaidejű hegesztőt és 5,5 millió olyan dolgozót tartanak számon, aki munkaideje egy részében hegesztési munkákat is végez.” (Berlinger, 2009).

A szakdolgozatom témája annak kapcsán merült fel bennem, hogy én is meg szerettem volna tanulni hegeszteni. Korábbi beszélgetésekből már tudtam, hogy a témavezetőm a hétköznapiakban hegesztéssel is foglalkozik.

A számos hegesztési mód közül az argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztést (TIG/ AWI) használja. Ennél az eljárásnál tórium tartalmú elektrodákat alkalmaznak.

A hegesztés közben keletkező füst, mindamellert, hogy légszennyező, környezetszennyező hatással bír, az emberi szervezetre is egészségügyi kockázatot jelent. Évente egy hegesztő 160 munkaórát tölt betegszabadságon a munkájából adódó károsító hatások miatt.

Leginkább a tüdő érintett ebben a kérdéskörben, mivel a hegesztés közben keletkező részecskék között vannak olyan kis átmérőjű partikulák is, amelyek eléri az alveolusokat és megtapadnak a falukon. Ez a részecskeméret-tartomány 5 nm-től 5 µm-ig terjed. Mindezek mellett, ahogy szakdolgozatomban több helyen is megemlítem, a tórium egy radioaktív sugárzást kibocsátó nehézfém, így a hegesztést végző személy sugárterhelését is növeli.

A szakdolgozatomban leírt kísérletek alapvetően az emberre gyakorolt hatásokra fókuszálnak, de ezeket állatokon végeztük el, az állatkísérletekre vonatkozó szabályok betartása mellett. Így látható, hogy a humán orvoslás és az állatorvoslás nem választható el egymástól teljes mértékben.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A természetben számos különböző tulajdonságú sugárzás fordul elő. Ezek egyik nagy csoportja az elektromágneses sugárzás. Ezt a sugárzást két nagyobb csoportba tudjuk osztani annak alapján, hogy az anyaggal történő kölcsönhatása milyen eredményre vezet. A nem ionizáló sugárzások energiája nem elég nagy ahhoz, hogy a vele kapcsolatba kerülő anyag elektronszerkezetét megváltoztassa, így azt ionizálja. Ilyen a látható fény vagy a rádióhullámok. Az ionizáló sugárzások viszont lényegesen nagyobb energiával rendelkeznek, képesek kilötni elektronokat az atomból. Ezek például a radioaktív sugárzások. Fontos megemlíteni, hogy bizonyos esetekben a sugárzást nagy energiájú korpuszkuláris részecskék alkotják, ezek lehetnek pl. az elektron-, neutron-, illetve egyéb részecske-sugárzások (Environmental Protection Agency)

### 2.1. Radioaktív sugárzás, a radioaktív sugárzás fajtái

Az energiaminimum elvének megfelelően a természetben minden atom a minimális energiájú állapot felé törekszik. Az atommag anyagának a radioaktív bomlás vagy egyesülés ad lehetőséget, hogy a nukleonenergia-felület legmélyebb energiájú állapota felé haladjon. Az így felszabaduló energia a környezetbe távozik a „kiszakadó” részecskékkel vagy elektromágneses sugárzással. Ezen nukleonenergia-felület minimumán találhatóak meg a stabil atommagok (Csákány Antal 2011).

A radioaktív sugárzásokat elektromos vagy mágneses mezővel szét tudjuk választani. Ennek alapján 3 fajtáját különböztetjük meg: alfa-, béta- és gamma-sugárzás.

Az alfa-bomlás/sugárzás következtében az atom tömegszáma és rendszáma kettővel csökken. Ebből látható, hogy egy He atommag, egy proton és egy neutron lép ki, ez az alfa részecske, ami pozitív elektromos töltéssel rendelkezik. Az alfa bomlás a nagy atommagokra jellemző, mint az urán vagy a tórium.

Az alfa-sugárzás, mivel nehéz részecskéből áll, a levegőben csak pár centiméter távolságra képes eljutni, viszont sebességük 10 000 – 30 000 km/s. Áthatoló képessége szintén kicsi. Egy papírlap, alufólia vagy a bőr hámrétege is képes elnyelni. Ezzel szemben a savós- és nyálkahártyák nem

jelentenek barriert az alfa-sugárzás számára. Amennyiben az alfa-részecske képes kölcsönhatásba kerülni a biológiai molekulákkal, azokat képes nagy mértékben roncsolni, és ionizálni. Így csak akkor jelent veszélyt, ha valamilyen módon a szervezetbe kerül: lenyelve, belélegezve vagy akár sérülésen keresztül.

A béta-bomlás során az atommag rendszáma eggyel változik, de a tömegszáma nem. Könnyű, töltött részecske sugárzódik ki. A béta-sugárzásnak is két fajtája van: negatív és pozitív béta-bomlás. Előbbi esetben egy neutron protonná alakul, miközben egy elektron és egy antineutrínó hagyja el az atomot. Az utóbbi esetben egy proton neutronná alakul, miközben egy pozitron és egy neutrínó sugárzódik ki. A kilépő elektron és pozitron energiája folyamatosan változhat. Béta-bomlás jellemző a tríciumra vagy a  $^{14}\text{C}$ -re.

A béta-részecskék sebessége megközelítheti a fény sebességét is. Áthatoló képessége nagyobb, mint az alfa sugárzásnak. Akár egy méter vastag levegőrétegen vagy a bőrön (néhány centiméteres mélységig) is áthatol.

Gamma sugárzás akkor keletkezik, amikor egy atommag alfa-, vagy béta-bomlás után még gerjesztett állapotban van, a felesleges energiát gamma-foton formájában sugározza ki. Ez egy nagy energiájú elektromágneses sugárzás. Ebben az esetben nem változik sem a tömegszám, sem a rendszám, csak az atommag energiája lesz kisebb.

Sebessége megegyezik a fény sebességével, tehát 300 000 km/s a levegőben. A gamma sugárzásnak van a legkisebb ionizáló hatása a 3 fajta közül, viszont ennek az áthatoló képessége a legnagyobb, mivel nem rendelkezik töltéssel. Képes áthatolni betonfalon és több száz méter levegőn is (Pesznyák Csilla 2016).

Meg kell említeni még a röntgensugárzást is, mert bár elektromágneses sugárzás, nagy energiája miatt az ionizáló sugárzások közé sorolják. Keletkezése szerint beszélhetünk karakterisztikus és fékezési sugárzásról. Ha gyors elektronokkal bombázunk egy atomot, akkor abból kilökhető egy kötött elektron. Ennek helyére egy külső pályáról ugrik át egy másik, magasabb energiájú elektron, miközben az atom fotont sugároz ki. Ez a karakterisztikus sugárzás. A fékezési sugárzás esetében gyors elektronok fémnek ütközve lefékeződnek és elektromágneses sugárzást bocsátanak ki a lassulásuk során (Csákány Antal 2011).

A sugárzás létrehozására egy vákuumcsövet használnak, melynek katódját egy fűtőáramkör segítségével izzítják. Ennek hatására a katódból elektronok lépnek ki. A katód és az anód közé kapcsolt nagyfeszültség hatására az elektronok felgyorsulnak és az anódra csapódnak. Anódnak

egy nagy rendszámú, magas olvadáspontú fémet használnak (pl. volfrám). A becsapódott elektronok energiájának több, mint 99%-a hővé alakul és csak egy kis része lép ki, mint röntgensugár. A röntgensugárzást az orvostudomány számos területén használják, de alkalmazható még kristályszerkezetek vizsgálatára és anyaghibák feltérképezésére is (Sándor Damjanovich 2007).

## 2.2.A radioaktív sugárzások forrásai:

Az élő szervezetet érő sugárterhelés származhat külső és belső, mesterséges és természetes forrásból. A természetes források közé tartoznak a kozmikus és a földi eredetű sugárzások. Összefoglalóan ezt természetes háttérsugárzásnak nevezzük, értéke hazánkban 50-180 nSv/óra körül ingadozik (<https://www.katasztrofavedelem.hu/93/orszagos-hattersugarzasi-adatok>; megtekintve 2020.10.25). Ennek összetevői a természetes radioaktív izotópok bomlásakor felszabadított sugárzás (például a gáz halmazállapotú  $^{222}\text{Rn}$  vagy a  $^{40}\text{K}$ ), a kozmikus sugárzás aktuális intenzitása, illetve egyéb források (mesterséges izotópokból eredő-, a nukleáris fegyverek teszteléséből eredő maradványsugárzás). Emellett a mesterséges forrásból származó sugárzás is keletkezhet orvosi tevékenység kapcsán, például a röntgensugárzás, sugárterápia. A kozmikus sugárzás intenzitása alapvetően a tengerszint feletti magasságtól függ. Tehát a repülőgépek személyzete esetében a kozmikus sugárzás által okozott egészségügyi kockázat nem elhanyagolható. Ezek mind külső hatásként érik a szervezetet. Belső sugárterhelésről akkor beszélhetünk, ha a táplálékláncon keresztül, vagy beléggzéssel kerülnek a szervezetbe radioaktív izotópok. „Beléggzéssel és az ételek elfogyasztásával a szervezetbe kerülő földkérgi radionuklidok okozta belső effektív dózis 0,29 mSv, amelyből 0,19 mSv a  $^{40}\text{K}$ -tól, 0,1 mSv az U-238 és a Th-232 radionuklidoktól származik.” Az ételek és italok esetében leginkább a  $^{90}\text{Sr}$ -mal és a  $^{137}\text{Cs}$ -mal kell számolnunk (István 2003; Sándor Damjanovich 2007; Pesznyák Csilla 2016).

## 2.3.A radioaktív sugárzás mérésére használt mértékegységek

A sugárzási dózis és az egészségre gyakorolt hatás megállapításához leggyakrabban a következő fogalmakat használják: elnyelt sugárdózis, ekvivalens sugárzási dózis vagy dózisegyenérték és az effektív dózis.



Az elnyelt dózis (D) egy joule ionizáló sugárzás elnyelődése egy kilogramm anyagban. Tulajdonképpen ezzel fejezzük ki a sugárterhelést. Mértékegysége a gray.

$$D = \text{J/kg} = \text{Gy (gray)}$$

A dózisegyenérték (H) a sugárzás minőségi tényezőjével súlyozott elnyelt dózis. Mértékegysége a sievert.

$H = D \times Q$ , ahol a Q a kvalitás faktor. Gamma-, röntgen- és béta-sugárzás (elektron) esetében  $Q=1$ , alfa-sugárzásnál pedig 20 körüli. Tehát ezzel fejezhetjük ki, hogy milyen sugárzásról beszélünk. Több helyen a Q helyett wR jelölést használnak a kvalitási faktor jelölésére.

$E = \sum HT \times wT$ , ahol a HT egy szerv vagy szövet sugárterhelésének átlagos dózisegyenértéke, a wT pedig a szerv vagy szövet súlyozó tényezője. Ez tüdő esetében 0,12.

Az effektív dózis (E) a külső és belső sugárterhelés következtében a test összes szövetét és szervét érő egyenérték dózisoknak a wT testszöveti tényezőkkel súlyozott összege. Mértékegysége a sievert.

Használatos még a radioaktivitás is, mint SI-mértékegység. Ebben az esetben az aktivitás megmutatja az 1 másodperc alatt elbomló atommagok számát. Mértékegysége a becquerel (Bq). Régebben a becquerel helyett a curie (Ci) szolgált a radioaktivitás kifejezésére.  $1 \text{ Ci} = 1 \text{ gramm } ^{226}\text{Ra}$  aktivitása. A nCi a Ci milliárdodrésze, azaz  $10^{-9} \text{ Ci}$ . (József 2011).

## 2.4. Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai

Általánosságban elmondható, hogy az ionizáló sugárzások elsősorban a DNS-ben okoznak károsodást. A sejt erre a károsító hatásra háromféleképpen reagálhat: 1) helyreállítja önmagát, 2) nem tudja helyreállítani magát és elhal, vagy 3) nem tudja helyreállítani önmagát, de életben marad. A sugárzás hatása időbeni kialakulása szerint lehet azonnali (determinisztikus) és késői, véletlenszerű (sztochasztikus). A hatás súlyossága a dózis nagyságától függ. 250 mSv felett lépnek fel az első determinisztikus hatások, főként a vérsejtekben. 1000 mSv-nél átmeneti sugárbetegség alakul ki, például fejfájás és hányinger. 4000 mSv-nél már az esetek 50%-a halállal jár, orvosi beavatkozás nélkül. 7000 mSv-nél pedig órákon belül bekövetkezik a halál. A különféle rákos elváltozások a sztochasztikus hatások közé sorolhatók (Tanszék 2020).

A fentebb említett determinisztikus és sztochasztikus hatások következtében létrejövő egészségkárosodás elkerülése, minimálisra való csökkentése érdekében dolgozták ki a sugárvédelmi alapelveket. Szem előtt kell tartani, hogy veszélytelen mennyiségű sugárzás nincs. Az éves terhelés határértékeit a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet határozza meg. Külön kezeli a foglalkozási sugárterhelést és a lakossági sugárterhelést. Előbbi a radioaktív anyagokkal foglalkozó dolgozók egészségvédelmét szolgálja, az utóbbi a radioaktív sugárzással járó (pl. erőművek, reaktorok stb.) tevékenység következtében a lakosság érintett csoportját ért sugárterhelés határértékeit határozza meg. Ennek értelmében a foglalkozási sugárterhelés nem haladhatja meg a „20 mSv effektív dózist évente, öt egymást követő évre átlagolva 100mSv-t; 50 mSv effektív dózist bármely egyetlen évben”. 150 mSv egyenérték dózist a szemlencsére, valamint 500 mSv egyenérték dózist a végtagokra (kéz, láb), vagy a bőrre mérve egy évben nem lépheti túl. A lakossági sugárterhelés esetében alacsonyabb értékek vannak érvényben. Tehát „1 mSv effektív dózis egy évben, különleges körülmények esetén 5 mSv effektív dózis egy évben úgy, hogy öt év átlaga nem lépi túl az 1 mSv/évet”. A szemlencsére 15 mSv egyenérték dózis, a bőrre pedig 50 mSv egyenérték dózis vonatkozik egy évben, évente. A lakossági korlátok „kifejezetten a mesterséges eredetű tevékenységből eredő lakossági terhelésekre vonatkoznak, nem tartalmazzák a természetes eredetű és az orvosi eredetű diagnosztikai vagy terápiás dózisokat!” (Tanszék 2020)

## 2.5. Alfa sugárzás biológiai hatásai

Az alfa sugárzás legfontosabb forrása a természetben a radon által kibocsátott sugárzás. A radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) egy alfa-sugárzó nemesgáz. Mivel előfordulási gyakorisága az emberek által lakott környezetben jelentős, lényegesen több vizsgálatot végeztek az egészségre gyakorolt hatásáról, mint a tórium hatásairól.

A radonnak 3 izotópja van a természetben. A  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon) a  $^{235}\text{U}$  urán-sor tagja, a  $^{220}\text{Rn}$  (toron), anyaeleme a  $^{232}\text{Th}$ , a  $^{222}\text{Rn}$  (radon) a  $^{238}\text{U}$  bomlási sorának leányeleme.

A radon a földből kiszabadulva zárt terekben, például bányákban és lakásokban feldúsulhat. Az évi átlagos radon által keltett sugárzás világátlaga 40 Bq/m<sup>3</sup>. Ez a lakásokban mérhető koncentráció. Ezzel szemben a szabadban ez az érték 5-10 Bq/m<sup>3</sup>.

A zárt terekben felhalmozódott radon nagy részét kilélegezzük, és csak egy kis része kerül be a keringésbe. A nagyobb problémát a rövid felezési idővel rendelkező leányelemei okozzák, mint  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  és  $^{214}\text{Po}$ , ugyanis azok a levegő aeroszol részecskéihez tapadnak, amelyek belélegezve megtapadnak a tüdő falán. A tumorok nagy része a centrális légutak elágazásainak csúcán alakul ki, mivel az aeroszokok nagy része itt rakódik le.

Kutatások szerint a radon felelős a tüdőrákos esetek 9%-áért és az összes rákos eset 2%-nak kialakulásáért (Pesznyák Csilla 2016).

Mivel ionizáló sugárzást kibocsátó nemesgáz, a biológiai elváltozás alapját ez esetben is a DNS-ben bekövetkezett károsodás adja., így indukálva a rákos sejtek proliferációját és differenciációját. Egy uránbányászokon végzett kutatás szerint a tüdőrákkal küzdő esetek 31%-ában a p53-as gén 249. kodonján történt mutáció (Al-Zoughool és Krewski 2009). Észak-németországi uránbányászok között nagyobb arányban fordult elő a limfocitákban kromoszómaaberráció. Egy másik tanulmányban (Bridges et al. 1991) összefüggést fedeztek fel a hipoxantin guanin foszforibozil transzferáz gén mutációjának előfordulási gyakorisága és a zárt térben kapott terhelés között.

## 2.6. Tórium

A tórium a periódus rendszerben 90-es rendszámmal szerepel, az aktinoidák között helyezkedik el. 1828-ban fedezte fel Jons Jakob Berzelius. Nevét Thor után kapta, aki a germán mitológiában a villámok istene volt. Elemi állapotban platinafényű, puha fém, amely jól vezeti az elektromos áramot. A természetben leggyakrabban a monacit alkotójaként, mint tórium-foszfát van jelen. Ez az ásvány átlagban 6-7%-nyi tórium-foszfátot tartalmaz. Az így előforduló tórium 99%-a  $^{232}\text{Th}$  izotópként van jelen. 6 természetes izotópja ( $^{132,227,228,230,231,234}\text{Th}$ ) van, de összesen 31 radioizotópját ( $^{208-238}\text{Th}$ ) írták már le. Egyik sem stabil. A  $^{232}\text{Th}$  felezési ideje  $1,405 \cdot 10^{10}$  év, ami messze meghaladja a Föld életkorát. Bomlása során alfa-sugárzást bocsájt ki, miközben  $^{228}\text{Ra}$ -má alakul. A tórium bomlási sorának a végén a  $^{208}\text{Pb}$  áll (Pesznyák Csilla 2016).

### 2.6.1 A tórium alkalmazási területei

A tóriumot főleg ötvözőanyagként használták a múlt században, például a gázégők harisnyájában, vagy ívfénylámpákban, mivel a tórium-oxid olvadáspontja  $3300\text{ }^\circ\text{C}$ . Az egyik legjelentősebb alkalmazási területe a röntgendiagnosztika volt, ahol, mint kontrasztanyag vált elterjedté

Thorotrast néven. A páciensek intravénásan kapták meg kolloid oldat formájában a tórium-dioxidot. A véráramban a retokuloendothelialis rendszerhez tartozó sejtek kebelezzik be, azok szállítják a májba és a lépbe elsősorban, ahol aggregátumokat alkotva felhalmozódnak. Ezek a páciensek így hosszútávú sugárhatásnak lettek kitéve. A káros hatásokat az is bizonyítja, hogy a közelmúltban vizsgált, korábban Thorotrastot kapott betegekben gyakran figyeltek meg májcirrózist és májrákot, valamint a tüdőt és az emlőket érintő betegségek előfordulási gyakorisága is megnőtt. Egy Japánban végzett kutatásban vizsgálták a tórium tartalmát különböző szervekben, már elhunyt, korábbi Thorotrast-páciensekben. A tórium koncentrációja a vizsgált szövetekben (máj, lép, tüdő, csontvelő) 0,025 mg/g-tól 146 mg/g-ig terjedt. Ez 104-109-szer nagyobb mennyiség, mint a Thorotrast befecskendezésben nem részesült páciensek májában (0,22 ng/g), csontvelőjében (1,1 ng/g), lépében (0,26 ng/g) és tüdejében (3,8 ng/g) mért érték (Kitamura et al. 1997).

Ezen kívül készültek további tanulmányok is, amelyekben tóriummal foglalkozó munkások egészségi állapotát, valamint testük tóriummal való szennyezettségét mérték fel. Ezen tanulmányok többsége Kínában és Indiában készült, de az Egyesült Államokban is végeztek hasonló, nyomonkövetéses vizsgálatokat. Ilyen például az Egyesült Államokbeli Argonne National Laboratory-ban végzett, 1976 és 1980 között zajló tanulmány, amely keretében 273 munkást vizsgáltak meg (Paul et al. 1998; Wang et al. 2016). Ezek az emberek 1940 és 1973 között egy monacit finomítóban dolgoztak. Az *in vivo* vizsgálatok részben a gamma sugárzás mérésén alapultak, amiket a tórium bomlási sorában szereplő leányelemek bocsátottak ki. Ezen kívül mérték még a kilélegzett toron mennyiségét is. Előzetesen felmérték az alanyok egészségi állapotát, fizikai vizsgálatok és laboratóriumi tesztek által. Mivel a Thorotrast egy potenciálisan leukémiát okozó anyag, a vizsgálat nem meglepő módon a vérsejtek különböző, nem meghatározott betegségét és anémiát mutatott ki az alanyokban. Az utóbbi a csontvelő vérképző sejtjeinek csökkent működése következtében alakult ki. Korábbi kutatásokban szintén megfigyeltek anémiát. Ennek oka lehet a vörösvértestek megnövekedett pusztulása a súlyosan fibrotikus májban és lépben. Ilyen elváltozást sok, Thorotrast-ot kapott páciensben sikerült kimutatni. Jelen tanulmányban vizsgált munkások nem csak tóriumnak, de sok más, citotoxikus hatású anyagnak voltak kitéve, mint a szilícium és ittrium. A dohányzás viszont nem súlyosbította a kialakult betegségeket (Conibear 1983; Saito et al. 2003).

A fentebb leírt kutatásokból látszik, hogy miért igyekeznek visszaszorítani a tórium köznapis használatát, ugyanakkor még mindig forgalomban vannak tórium-dioxid tartalmú elektródák, melyeket hegesztéshez használnak, holott elérhetőek a lantán-dioxid és cérium-dioxid tartalmú változatok is.

Argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztés (TIG) során is használhatunk olyan elektródát, melyben tórium-oxid is található 0,4-4%-ban, ez  $^{232}\text{Th}$ . A tórium tartalom növeli a volfrám vezetőképességét, segítve az ív kialakítását, javítja annak stabilitását és csökkenti a hegesztett fémek kontaminációját.

Hegesztés közben füst keletkezik. Ez ugyan emberi szemmel nem látható az apró szemcseméret miatt, de éppen ez teszi lehetővé, hogy a tüdő legmélyebb részeibe, az alveolusokig eljusson a tórium. A másik veszélyforrás: az elektródákat a munka során újra és újra köszörülni kell, hogy tökéletes legyen az ív. Természetesen ekkor is kerül tórium a levegőbe.

A leggyakrabban használt elektróda a WT20-as jelzésű, amely 2%  $\text{ThO}_2$ -t tartalmaz. Ez átlagban 2,4 mm átmérőjű, 150 mm hosszú és 0,23 g tórium-dioxidot tartalmaz. Az elektróda élettartama rendkívül magas, de elmondható, hogy gyakorlatilag átlagos áramterhelés esetén 0,1-0,3 mg/perc tömegsökkenéssel számolhatunk. Nagy áramterhelés esetén pedig a fogyás elérheti az 50-60 mg/percet is. Ha egy hegesztő, egyenáramot használva 1500 munkaórát hegeszt évente és 3000 db elektródát köszörül, akkor 1,8 mSv/év többletdózis éri. Amennyiben ugyanilyen körülmények között váltakozó áramot használ, az éves többlet sugárdózis 9 mSv/év. Az a dolgozó, aki magának köszörüli az elektródát, annak a köszörülésből származó sugárterhelése 0,3 mSv/év. Egy köszörülés esetében pedig ez az érték akár 4-6 mSv is lehet évente (Gafvert et al. 2003).

A korábban elvégzett tanulmányok között megtalálható egy olyan kutatás, amelyben különböző fémek hegesztése közben mérték a levegő tórium koncentrációját. Ez a 2003-ban megjelentetett cikkben leírt kutatás alapján a levegőbe került  $^{232}\text{Th}$  radioaktív koncentrációja alumínium hegesztése (TIG/Al) során  $1.11 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^3$ , rozsdamentes acél (TIG/SS) esetében  $1.78 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$ , míg az elektróda köszörülése közben  $1.93 \times 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$  volt. Ezen értékek egyike sem haladja meg az éves bevitel határértékét, ami  $1.6 \times 10^2 \text{ Bq}$  (annual limit intake, ALI, ami a U.S. NRC által meghatározott érték). Mind a három esetben 2%-os tóriumtartalmú elektródákat használtak. TIG/Al hegesztés közben a keletkezett füstnek a 73,1%-a volt a belélegzett füst mennyisége, TIG/SS esetében pedig ez a szám 74,1% volt.

A sugárterhelés csökkenthető, ha a tórium-dioxidos elektródák helyett lantán-, vagy cérium-dioxid tartalmú elektródákat használnak, illetve, ha ez nem megoldható, akkor megfelelő hatásfokú elszívást kell biztosítani a munkaterületen (Saito et al. 2003).

## 2.6.2 A tórium hatása az állati szervezetre

Az ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) 2019-ben készült átfogó összefoglalója rendkívül jól megmutatja, hogy a korábbi évtizedekben elért eredmények közel sem egységesek, további kutatások szükségesek arra vonatkozóan, hogy a tórium-vegyületek milyen hosszútávú hatásokat okozhatnak a felhasználók szervezetében. Ahogy azt korábban említettem, ezek a vegyületek akkor járnak nagy egészségügyi kockázattal, ha a szervezetbe kerülnek belélegzés vagy lenyelés útján. Mivel a szakdolgozatomban bemutatott kísérletek az előbbit vizsgálták, így a következőkben is ezt emelném ki.

A belélegzéssel szervezetbe került károsító anyagok értelemszerűen a tüdőben és tüdő nyirokcsomóiban okoznak elsődlegesen elváltozásokat, főleg, ha olyan anyagról beszélünk, amelyek nem szívódnak fel a véráramba, mint például a nem oldódó tórium-vegyületek. Egy 1973-ban készült kutatás szerint hipetrófiás rinitisz és intersticiális pneumonia alakult ki olyan patkányokban, amiket 6-9 hónapig (5 óra/nap, 5 nap/hét) 10%-os vagy 49%-os, nem oldódó tórium-dioxiddal kevert loparit porral vagy tisztán tórium-dioxiddal kezeltek. A kontrollcsoportban lévő patkányokkal csak loparit port lélegeztettek be (Likhachev Iu et al. 1973). Az előbb említett por, mint vivőanyag, szintén károsította a tüdő szövetét, krónikus bronchiolitist idézve elő. A kutatás szerint a tüdőkárosodás súlyossága közvetlen kapcsolatban áll a sugárdózis és a belélegzett tórium-dioxid mennyiségével.

A tisztán csak tórium-dioxiddal kezelt állatokban már 3-6 hónap után megfigyelhető volt a tüdőszklerózis. A "49%-os" csoport esetében ez 9-12 hónap, míg a "10%-os" csoportnál 12-15 hónap múlva következett be. A kontrollcsoportnál ez az idő 18-24 hónapra tolódott ki. Ebben a kísérletben vizsgálták a nyirokcsomókban történt változásokat is. 46%-os tóriumtartalmú loparit porral és tisztán tórium-dioxiddal kezelt állatok esetében nyirokcsomó-atrófiát állapítottak meg.

Egy későbbi, 1970-ben lezajlott tanulmányban ugyancsak megfigyeltek különböző elváltozásokat a tüdőben, például pneumoniát, gennyes elhalást a hörgők szöveteiben, és bronchiektáziát. Ezek a

patkányok viszont csak egyszeri tórium-dioxid adagot (0,192 nCi/kg) kaptak intratrachealisan (Gaidova és Syao-Shan 1970; Syao-Shan 1970).

A tüdő és a nyirokcsomók után következő szerv és szervrendszer, amit érdemes górcső alá venni, az a máj, valamint az idegrendszer. 1983-ban végeztek egy kutatást egy 275 munkásból álló csoporton, akik régebben egy tórium finomítóban dolgoztak. Náluk a szérumban mért aszpartát aminotranszferáz (AST), a globulin és a totál bilirubin szintje összefüggésben volt a szervezetet ért radioaktív sugárzás mértékével.

A fentebb említett értékek szignifikánsan magasabbak voltak a tórium hatásainak kitett embereknél, mint az átlag amerikai fehér férfiaknál mérhető értékek. A globulin szintje is nőtt a terheléssel, de nem szignifikánsan. Bár az enzimek szintje emelkedett volt, még mindig a normál tartományon belül voltak. Laborállatokkal kapcsolatos tanulmányokban nem figyeltek meg olyan változásokat, amik a májat érintették volna.

0.55 nCi/m<sup>3</sup> tórium-dioxid belélegeztetése sem okozott a máj szövetében elváltozásokat sem patkányokban, sem tengerimalacokban, sem nyulakban, sem kutyákban, bár az állatok 1 éven keresztül részesültek kezelésben. Ugyancsak nem találtak elváltozást olyan patkányok májában, amik tórium-nitráttal szennyezett takarmányt kaptak 105-137 napig, melynek napi aktivitása 130 nCi/kg volt. A 15 napig patkányok bőrére (a has laterális részére és a szkrotum tájékára) helyezett, 58 nCi/kg/nap aktivitású tórium-nitrát sem hozott semminemű változást az állatok májában (Kitamura et al. 1997).

Az idegrendszerre gyakorolt hatás rendkívül látványos egy viszonylag friss, 2009-ben végzett tanulmány szerint. A kísérletet végző személyek 1,09 µCi/kg/nap aktivitású tórium-nitrátot juttattak intraperitoneálisan egy hónapon keresztül minden nap egerekbe. Ezekben az állatokban jelentős ödéma keletkezett és a kisagyuk is károsodást szenvedett. Az acetilkolin-észteráz aktivitása is megemelkedett az agy bizonyos területein, pontosabban az agykéregben, a hippokampuszban, a kisagyban és a striatum régiójában. Az aktivitás növekedése korrelált a tórium-nitrát szintjének emelkedésével az agyban.

A tórium-nitráttal való kezelés eredményeként tanulási zavarok is felléptek ezekben az állatokban (Al-Zoughool és Krewski 2009).

### 2.6.3 A tórium kinetikája a szervezetben

Általánosságban elmondható, hogy a tórium felszívódása a tüdőből és a gasztrointesztinális rendszerből az adott vegyület oldhatóságától és a részecskék méretétől függ. A tüdő szempontjából az oldható tórium-vegyületek a legkevésbé toxikusak, viszont a véráramba jutva már jóval nagyobb veszélyt jelentenek a többi szervre nézve. Az oldhatatlan vegyületek pedig azért jelentenek nagy egészségügyi kockázatot, mert rendkívül hosszú ideig megmaradnak a szervezetben. Elsődlegesen a nyirokcsomókban és a csontokban halmozódik fel, de belélegzés esetén a tüdőben is visszamarad. Ezt jól szemlélteti egy 1970-ben készült kutatás, miszerint a kísérletben résztvevő patkányokban az összesen belélegzett, oldhatatlan  $^{232}\text{ThO}_2$  1,5-5%-a került be a véráramba a tüdőn keresztül, 1 nappal a kezelés után. Ennek a mennyiségnek a 68-73% maradt a tüdőben 1 nappal a belélegzés után. 21 hónappal később pedig még mindig 15-30%  $^{232}\text{ThO}_2$  volt mérhető a szervben (Syao-Shan 1970).

A belélegzett tórium-vegyület nagy része kiürül a bélsárral, miután a csillós sejtek a garaton keresztül az emésztőrendszerbe juttatták. Az elemi tórium viszont nem bomlik le a szervezetben. A tórium felszívódása a tüdőből az izotóp kémiai tulajdonságaitól és a részecskék méretétől függ. Minél nagyobb a részecskeméret, annál több anyag halmozódik fel a légutakban és annál kevesebb az alveolusokban, derül ki egy patkányokkal végzett kísérletből (Moore et al. 1980). Az is bizonyított, hogy körülbelül kétszer annyi  $^{234}\text{Th}$  szívódik fel oldható tórium-citrátból mint oldható tórium-kloridból. Habár a felszívódásban vannak különbségek, a tórium eloszlásában és kiválasztásában ugyanaz a mintázat figyelhető meg, a felszívódott anyagtól függetlenül (Boecker et al. 1963).

Tehát a tóriumvegyületek oldhatósága fontos tényező, amint azt fentebb már említettem. Ezt bizonyítja a következő vizsgálat is: 30 nappal egy egereknek beadott intraperitoneális injekció után az LD<sub>50</sub> értéke a  $^{232}\text{Th}$ -nak oldható tórium-nitrát formájában 370,8 mg tórium/kg, tórium-klorid formájában pedig 589,1 mg tórium/kg volt. A legmagasabb dózis 2000 mg tórium/kg volt tórium-dioxid formájában, ami 10%-os mortalitást eredményezett (Syao-Shan 1970).

Az ICRP (International Commission on Radiological Protection) ajánlása szerint a szájon át bejutott tórium-vegyületek 0,02%-a szívódik fel a gasztrointesztinális rendszerből. Ezzel szemben egy 1989-ben megjelent irodalmi összefoglaló szerint a felszívódás mértéke 0,1-1% (Johnson and Lamothe, 1989). A bélből való felszívódásra is jellemző, hogy az anyag kémiai tulajdonságaitól, a



partikulák méretétől és a vegyület oldhatóságától függ. A Th-EDTA felszívódása 60-szor, a tórium-nitráté pedig 4-szer jobb, mint a tórium-dioxidé.

A felszívódott tórium-vegyületek további útját vizsgálva fontos kiemelni, hogy úgy viselkedik a vérben, mint a vas(III) és a vasat tartalmazó molekulákkal is interakcióba lép. Ilyen molekula a hemoglobin és a hematopofirin IX is (Kumar et al. 2013).

Ezért érthető, hogy transzportjában és a sejtek által történő felvételében nagy szerepet játszik a transferrin. A szállítófehérjéről többlet vastartalommal ugyan leszorítható, de az már nem ismert, hogy ez a két molekula a transferrinnek ugyanazon kötőhelyéhez kapcsolódik-e. Egy 2010-es kutatás vizsgálta, hogy a tórium kötődése összefüggésben van-e a pH-val. Arra következtettek, hogy a relatív nagy ionméretnek és a relatív gyenge hidrolizációs állandónak köszönhető, hogy a tórium könnyen leszorítható a transferrinről. Ez összhangban áll a transferrin pH ciklusával. (Jeanson et al. 2010)

A sejtekhez érve a radioaktív nehézfémek első támadási pontja a sejtmembrán. A sejtekre gyakorolt hatását a tórium-nitrátnak az emberi vörösvérttesteken vizsgálták, sejtmembrán modelleket alkalmazva. Ez a kutatás rávilágított, hogy a sejtek aggregálódnak és lízisen mennek keresztül, attól függően, hogy mennyi volt a  $^{232}\text{Th}$  aránya a sejtekhez viszonyítva. A biofizikai technikákkal, mint a pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), atomerő-mikroszkóppal (AFM) és konfokális lézer scanning mikroszkóppal (CLSM) történt vizsgálatok feltárták, hogy a  $^{232}\text{Th}$  okozta aggregációnak köszönhetően a sejtek lekerekedtek és megnövekedett az egyenetlen felülettel rendelkező sejtek száma. Biokémiai kutatások szerint szignifikáns szerepet játszik a membránban jelenlévő szialsav és glikoforin fehérje az aggregációban és a hemolítikus hatásokban. Specifikus ioncsatorna-gátlókkal végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a  $^{232}\text{Th}$  a sejtek kolloidozmotikus nyomását változtatja meg, ezzel pedig hemolízist idéz elő (Kumar et al. 2013).

Ahogy azt fentebb már kiemeltem, a tóriumvegyületek belélegzést követően elsődlegesen a bélsárral távoznak, miután a csillós sejtek „kisöprik” a molekulákat a tüdőből a garatba. A kiválasztásnak ennek formája kiteszi az összes út 97%-át. Ezt mutatja az aktívan, tóriummal dolgozó munkások körében végzett vizsgálat is, miszerint ezeknek a munkásoknak a székletében és vizeletében is magasabb  $^{230}\text{Th}$  szintet mértek, mint a kontrollcsoportéban (da Cunha et al. 2002).

### 3. Célkitűzés

Ebben a munkában a tórium, mint radioaktív elem az emlős szervezetre kifejtett hatását kívántuk megismerni. Ennek érdekében szakirodalmi- és kísérletes kutatást folytattunk.

A releváns szakirodalom áttekintésével meg kívántuk ismerni azokat a kísérleti eredményeket, amelyek a témában eddig elérhetőek.

Kísérletes kutatásaink során azt kívántuk megvizsgálni, hogy az elektromos ív hatására potenciálisan levegőbe kerülő, tórium-oxid tartalmú fémes részecskéket tartalmazó emisszió belélegzése során milyen mértékű tórium-terhelés mutatható ki a kísérleti állatok szervezetében. Ezzel összefüggésben meg kívántuk határozni azt a sugárterhelést, amit a bejutott tórium izotóp a szervekben, elsősorban a tüdőben kifejt, és ebből kívántunk következtetéseket levonni a terhelés hosszantartó biológiai következményeire, illetve az esetleges egészségügyi kockázatokra. Kísérleteinkben kifejezetten állatkísérletes módszereket alkalmaztunk, mivel a témában folytatott korábbi humán vizsgálatok nagy részben a környezeti tényezők (levegőminőség-, porkoncentráció-mérés) megfigyelésével és a légzés fiziológiai paramétereinek összevetésével folytattak. Ilyen módon ezek a vizsgálatok csak teoretikus eredményeket hoztak a lehetséges részecske- és sugárterhelésre vonatkozóan, és ezek az adatok az irodalomban jelentős szórást mutatnak.

## 4. Anyag és módszer

### 4.1. Kísérleti állatok

A kísérleteket BALB-C inbred SPF albínó egereken végeztük el (Országos Onkológiai Intézet, Budapest, Magyarország). Az állatokat az igényeiknek megfelelő, szabványos méretű kezelőketrecekben tartottuk, amelyben ad libitum kaptak egységes rágsálótakarmányt és ivóvizet. A teremhőmérséklet 25 °C, a páratartalom 60%, a világítási program 12 óra világos-12 óra sötét volt. Az érvényes állatkísérleti etikai engedély száma: PE/EA/1335-8/2019.

### 4.2. Hegesztési technológiák

A hegesztési füst előállítására érdekében valós körülmények között végeztünk argon védőgázos volfrámelektrodás elektromos ívhegesztést (tungsten inert gas; TIG) a szakma szabályai szerint. Ehhez egy Rehm Tiger 180 AC Ultra (REHM GmbH u. Co. KG Schweißtechnik, Uningen Németország) hegesztőberendezést alkalmaztunk. A folyamathoz WT40 típusú elektródát használtunk, mely 4%-ban tartalmaz tórium-dioxidot. A védőgáz Argon 99,99% (Linde Gáz Magyarország Zrt, Répcelak, Magyarország) volt, hozaganyagként pedig a következő pálcát szolgált: TigRod 12.64 (C: 0,08 % Si: 0,8 % Mn: 1,28 %), (ESAB, Göteborg, Svédország). Alapanyagnak S235 szerkezeti acélt (1,4% Mn, 0,3% Si, 0,17%C) választottunk. A hegesztési emisszió elszívása egy Kemper SmartMaster hegesztési elszívóberendezéssel (Kemper GmbH, Vreden, Németország) történt, az elszívási körbe beiktatott kezelőkamrán keresztül, melybe a kísérleti állatok kerültek a kezelés idejére. A hegesztési füst ezután az elszívó készülék szűrőjén ment keresztül, mely megtisztította a veszélyes anyagoktól, ezután került visszakeringetésre a helyiség légterébe.

### 4.3. Kezelt csoportok

Két kísérleti csoportot alkottunk a kiválasztott egerekből:

- kezeletlen kontrollcsoport - 12 állat
- TIG-szerkezeti acél emisszióval kezelt csoport – 24 állat

Minden kísérleti csoport fele-fele arányban tartalmazott hím és nőstény egyedeket. A belélegeztetési kezelést minden állat esetében egyszer végeztük el. Az első és második csoport egy mintavételi időpontjában 4 állatot kezeltünk. A kísérleti csoportok ilyen beosztása biztosította az adatok statisztikai kiértékelhetőségét és megfelelt az állatvédelmi követelményeknek is. A kísérlet súlyossági besorolása enyhe, ezért a füst belégzése csak minimális kellemetlenséget okozott a kezelt állatoknak, mely a kezelés befejezésével megszűnt.

#### 4.3.1 A kezelések menete

A kísérleti állatokat egy EMKA teljes-test pletizmográf [légzésfunkció vizsgáló és –regisztráló készülék] (EMKA Whole Body Plethysmograph, EMKA Technologies, Párizs, Franciaország) kezelőkamráiba helyeztük (1 egér/kezelőkamra), ellátva őket takarmánnyal és ivóvízzel. Ezeket a kamrákat helyeztük az elszívóberendezés fent említett kezelőkamrájába. A pletizmográfhoz tartozó légpumpa segítségével az egerek egyedi kezelőkamráján 1l/perc térfogatárammal szívtuk át a hegesztőfüstöt tartalmazó levegőt. A kezelés 4 órán keresztül tartott miközben folyamatosan regisztráltuk az állatok légzésfunkcióit. A keletkező füstben lévő részecskék mennyiségét Aeroqual Series 500 mérőberendezéssel és a hozzá kapcsolt PM<sub>2,5</sub>–PM<sub>10</sub> mérőfejjel mértük (Aeroqual, Avondale, Új-Zéland) a keletkező nanorészecskék számának meghatározására egy Testo DiscMini nanorészecske-számláló berendezést használtunk (Testo Inc., Sparta, Amerikai Egyesült Államok). A gyakoriság 1 mérés/perc volt a PM<sub>2,5</sub>-PM<sub>10</sub> mérésekor, a nanorészecske szám meghatározásánál pedig 1 mérés/másodperc. A fémrészecskék koncentrációja nagyobb volt (kb. tízszerese), mint a humán expozíciónál mérhető (azonos technológiát használva), de az időtartam rövidebb volt, amivel csökkent a fellépő stressz mennyisége is.

### 4.3.2 Mintavétel

A mintavétel az eutanáziát követően történt, a májból, a lépből, a veséből és a tüdőből. A kontrollcsoportba tartozó állatoktól egy alkalommal vettünk mintát. A füstemisszióknak kitett csoportba tartozó egerek két csoportra oszlottak aszerint, hogy a kezelést követő 24. vagy 96. órában vettünk mintát. Ez jellemzően 16 és 18 óra között történt.

### 4.4.A fémtartalom meghatározása adott biológiai mintából

A vizsgálatot kérésünkre a Szent István Egyetem Élelmiszertudományi Kar Alkalmazott Kémia Tanszékének az elemanalitikai laborjában végezték el. A mintákból, melyek kiszáritott minták voltak, 0,5 grammot mértek be a CEM MARS 6 (CEM Corporation, Matthews, Amerikai Egyesült Államok) mikrohullámú feltáró Express edényeibe. Ehhez még 5 ml cc. HNO<sub>3</sub>-t és 5 ml cc. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-t adtak hozzá. A feltáró program időtartama 2 óra volt, 1700W teljesítményen és 200 °C hőmérsékleten. A minták felmelegítése és lehűtése 35-35 percig tartott, tehát a vizsgált szövetrészek 50 percig voltak a fentebb említett hőmérsékleten.

Ezt követően a mintákat kiegészítették ioncserélt vízzel 25 ml-re és ötszörösére hígították. Ebből mértek ki 2 ml-t, adtak hozzá 8 ml desztillált vizet és 0,1 ml 100 mg/l belső standard oldatot (Sigma Aldrich Budapest, Magyarország). A méréshez Perkin Elmer Optima 8300 DV ICP-OES (PerkinElmer Inc, Waltham, Amerikai Egyesült Államok) berendezést használtak.

A mérések során meghatározták a minták vas és tórium tartalmát.

## 4.5. Alfa sugárzás mérése

### 4.5.1 A minta előkészítése

A vizsgálathoz műgyantába (Sigma Aldrich, Budapest, Magyarország) beágyazott mintákra volt szükség. Ezen minták elkészítését az Állatorvostudományi Egyetem Anatómiai és Szövetani Tanszékén végezték.

A formalinban fixált tüdőből először kb. 200-300 mikron vastagságú szeleteket metszettek vibratómmal. Ahhoz, hogy a műgyanta megfelelően penetráljon az anyagba, vízteleníteni kell azt, melynek lépései a következők:

- átmosás pufferrel
- áztatás 50%-os, 70%-os, 90%-os, 96%-os alkoholban (mindegyikben 10-10 perc)
- áztatás abszolút alkoholban kétszer (10-10 perc)
- áztatás propilén-oxid és abszolút alkohol 1:1 arányú keverékében (10 perc)
- áztatás tiszta propilén-oxidban kétszer (5-5 perc)
- áztatás propilén-oxid és műgyanta 1:1 arányú keverékében (1 óra)

A műgyanta sárgás színű, A, B, C és D komponensekből álló anyag. Propilén-oxiddal keverve mézszerűen sűrű. Előbbinek a nedvszívó képessége az alkoholnál is jobb. Egy órás állást követően tiszta gyantába helyezték a metszeteket és kb. 18 órán keresztül állni hagyták az anyagban. Ez idő alatt a gyanta teljesen átítatja a szövetet.

Másnap a tüdőrészeket kihelyezték egy 60 °C hőmérsékletű asztalkára, hogy a gyanta újra híg állagú legyen. Ezután tudták átrakni a szeleteket egy-egy tárgylemezre. Utolsó lépésként a tárgylemezeket 52 °C-os termosztátba helyezték 4 napra.

Az elkészült mintát alfa-spektroszkópiai mérésre átadtuk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének a mérés elvégzésére.

#### 4.6. A levegőben lebegő részecskék mennyiségének mérése

A kezelőkamrába, az ott áthaladó füst részecskék mennyiségének, és mérettartományának meghatározása céljából kétféle műszerrel mértük a kamrán áthaladó levegő szilárdanyag-tartalmát. Az Aeroqual Series 500 (Aeroqual Limited, Auckland, új-Zéland) mérőkészülékkel és a hozzá tartozó PM10 és PM2,5 mérőfejjel a 10 µm és ez alatti, illetve a 2,5 µm és ez alatti mérettartományú részecskék koncentrációját mértük ppm-ben, 1 mérés/perc gyakorisággal. A Testo DiSCmini (Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Németország) nanorészecske-számláló berendezéssel a 10-700 nm nagyságú szilárd részecskék abszolút össz mennyiségét (részecskeszám/cm<sup>3</sup> mértékegységben), illetve a részecskék átlagos méretét 10-300 nm mérési tartományban. A készülék mérési frekvenciája 1 mérés/sec.

#### 4.7. Scanning elektronmikroszkópos vizsgálat

A vizsgálatot a BME Gépészmérnöki Karának Anyagtudomány és Technológia Tanszékén végeztük. Ehhez Carl Zeiss Leo EVO 50 típusú scanning elektronmikroszkópot használtunk (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Németország). Az elektronmikroszkóphoz a képalkotó rendszeren kívül egy energia diszperzív spektroszkóp (EDS) is hozzá volt csatolva, aminek a segítségével a mikroszkóppal vizsgált objektum kémiai összetétele (főként a fémes-és nagy rendszámú elemek) meghatározható. Ehhez a vizsgálatához a mintát a nanorészecske számláló DiscMini berendezés előtét impaktorának belsejéből, a kezelése során felhalmozódó kicsapott részecskékből vettük. Az impaktort minden kezelés előtt alaposan megtisztítottuk, a kezelés végén pedig a felhalmozódott, igen kis mennyiségű port ethanol (Sigma Aldrich, Budapest, Magyarország) segítségével gyűjtöttük össze. Mintánként általában 200 µl ethanolban reszuszpendáltunk, majd az így kapott mintát 31150 RCF értéken centrifugáltuk 10 percen keresztül. Az így a cső fenekére kicsapódott pormintát 20 µl alkoholban reszuszpendáltuk majd ezt a szuszpenziót az elektronmikroszkóp mintatartóira vittük fel egy cseppben, és rászárítottuk 60°C-on.

## 5. Eredmények

### 5.1.A vegyi elemzés eredményei

A táblázatból látható, hogy az ICP-MS vizsgálattal 24 órás inkubáció után csak egy esetben sikerült igazolni a tórium jelenlétét a szövetekben. Mérhető mennyiségben csak a 96 órás inkubációt követően volt detektálható, bár akkor is csak igen kis mennyiségben (1. és 2. Táblázat). A kontroll értékek kezeletlen állatok szerveinek vizsgálati eredményei és azonosak mindkét táblázatban.

A számok mg/kg szárazanyagra vonatkoznak.

24 óra	TIG Sza1 (Th tartalom)	TIG Sza2 (Th tartalom)	Kontroll1 (Th)	Kontroll2 (Th)	TIG Sza1 (Fe tartalom)	TIG Sza2 (Fe tartalom)	Kontroll1 (Fe)	Kontroll2 (Fe)
Tüdő	MH alatt	MH alatt	MH alatt	MH alatt	960	1000	880	1100
Máj	MH alatt	MH alatt	MH alatt	MH alatt	420	420	390	450
Lép	0,09	MH alatt	MH alatt	MH alatt	1400	2200	2000	2000
Vese	MH alatt	MH alatt	MH alatt	MH alatt	230	230	250	230
Vér	MH alatt	MH alatt	MH alatt	MH alatt	2300	2300	2200	2350
Agy	MH alatt	MH alatt	MH alatt	MH alatt	110	130	110	120

1. Táblázat: Vegyi elemzés eredményei a kezelés utáni 24. órában vett mintákban

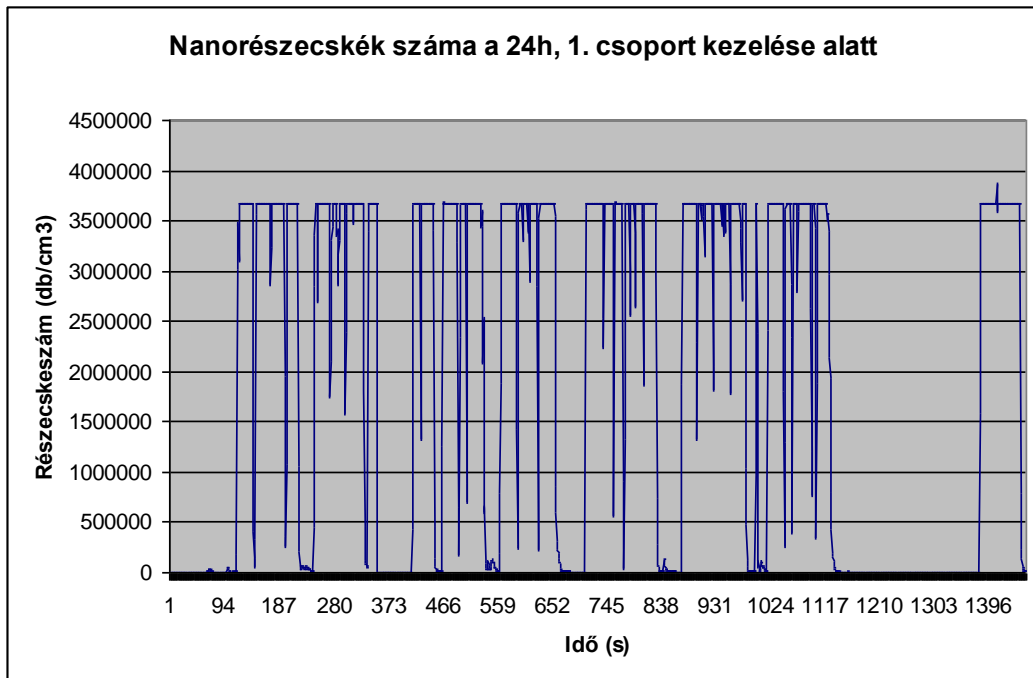


96 óra	TIG Sza1 (Th tartalom)	TIG Sza2 (Th tartalom)	Kontroll1 (Th tartalom)	Kontroll2 (Th tartalom)	TIG Sza1 (Fe tartalom)	TIG Sza2 (Fe tartalom)	Kontroll1 (Fe tartalom)	Kontroll2 (Fe tartalom)
Tüdő	MH alatt	0,17	MH alatt	MH alatt	660	850	880	1100
Máj	MH alatt	0,06	MH alatt	MH alatt	460	450	390	450
Lép	MH alatt	0,14	MH alatt	MH alatt	2400	1300	2000	2000
Vese	MH alatt	0,05	MH alatt	MH alatt	230	230	250	230
Vér	MH alatt	0,04	MH alatt	MH alatt	2300	2040	2200	2350
Agy	MH alatt	0,04	MH alatt	MH alatt	110	120	110	120

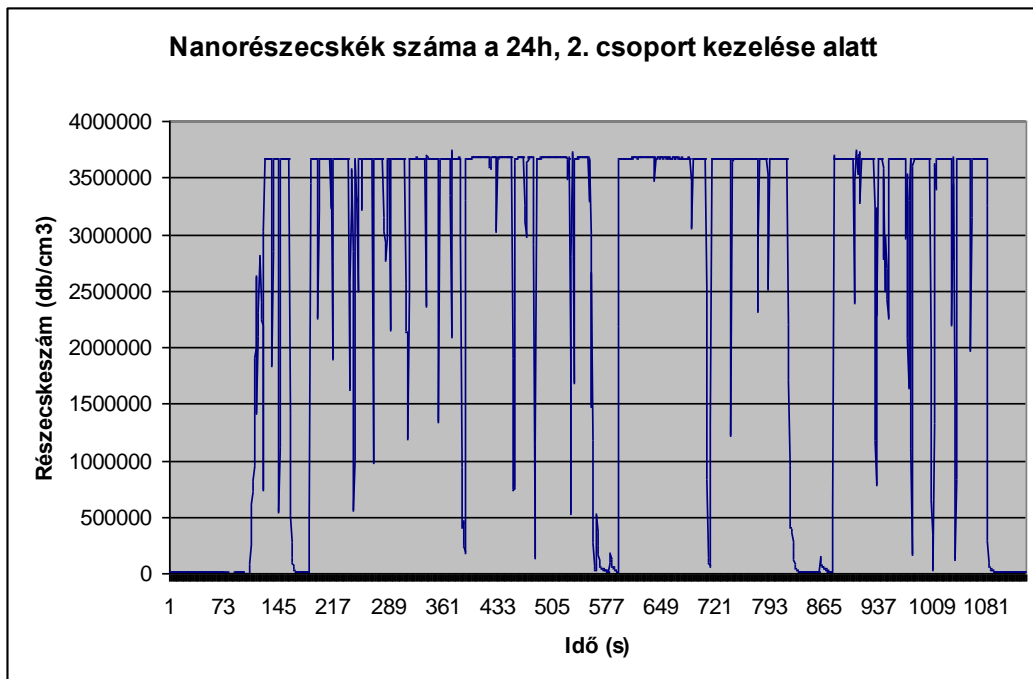
2. Táblázat: Vegyi elemzés eredményei a kezelés utáni 96. órában vett mintákban

## 5.2. Nanorészecskék mennyiségi meghatározása

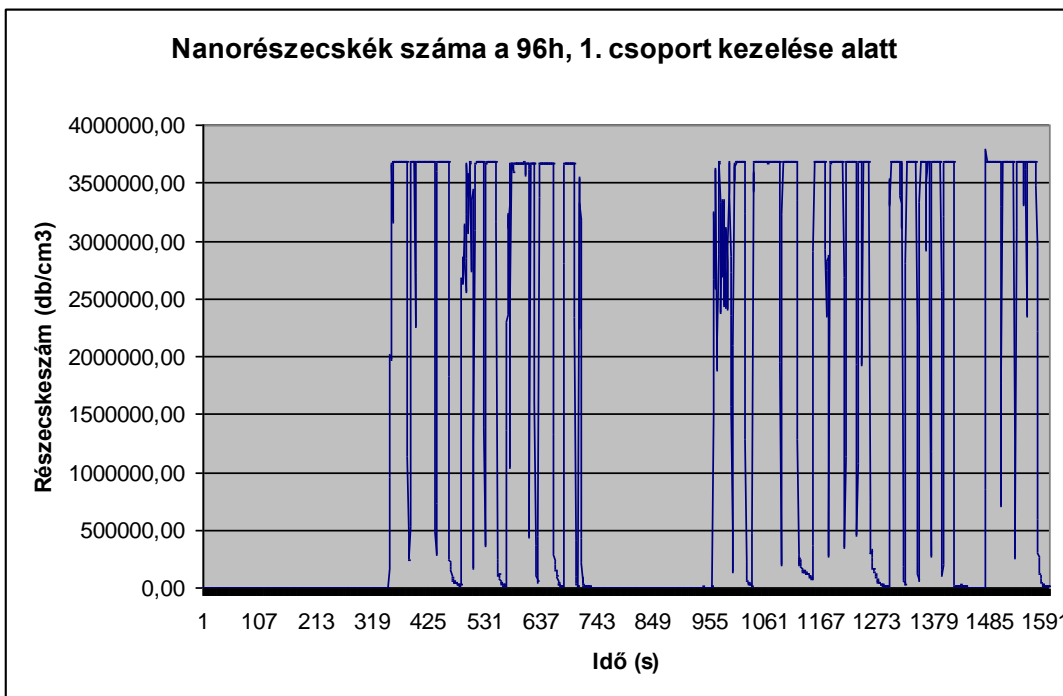
A következő ábrákon (1-4. ábra) a különböző csoportok kezelése közben a kezelőkamrán áthaladó füsttel kevert levegő nanorészecske koncentrációjának alakulását mutatjuk be. Jól látható, hogy a hegesztés folyamán igen magas koncentrációt érnek el a részecskék, a szünetekben viszont számuk gyorsan csökken az elszívás hatására.



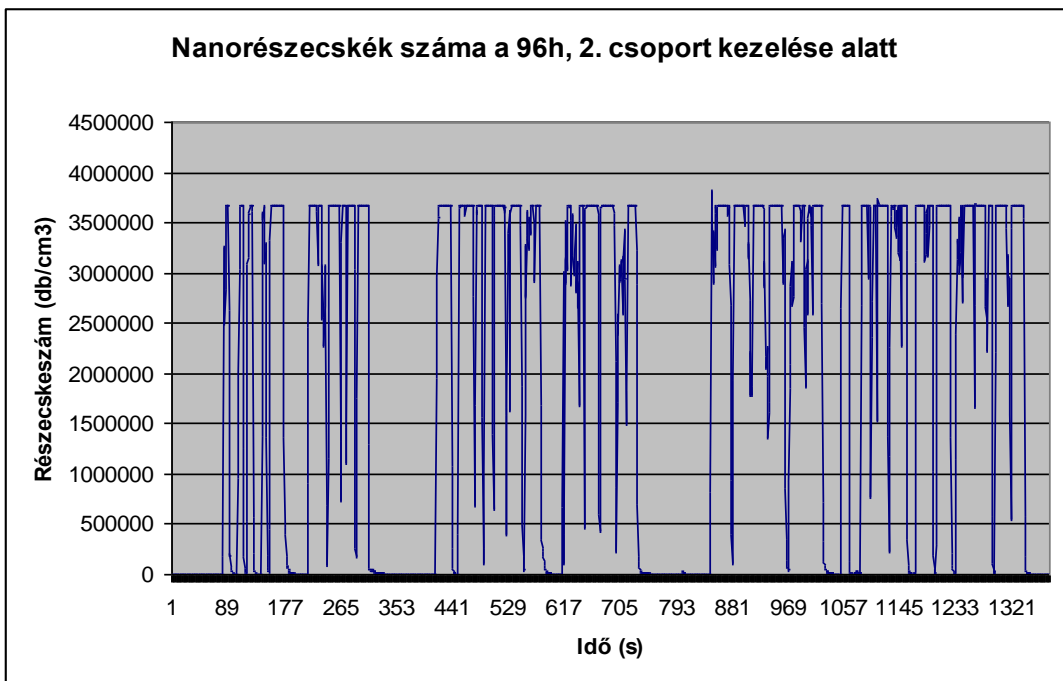
1. ábra: A kezelőkamrában mért nanorészecske koncentráció alakulása a TIG 24h 1. csoport kezelése közben



2. ábra: A kezelőkamrában mért nanorészecske koncentráció alakulása a TIG 24h 2. csoport kezelése közben

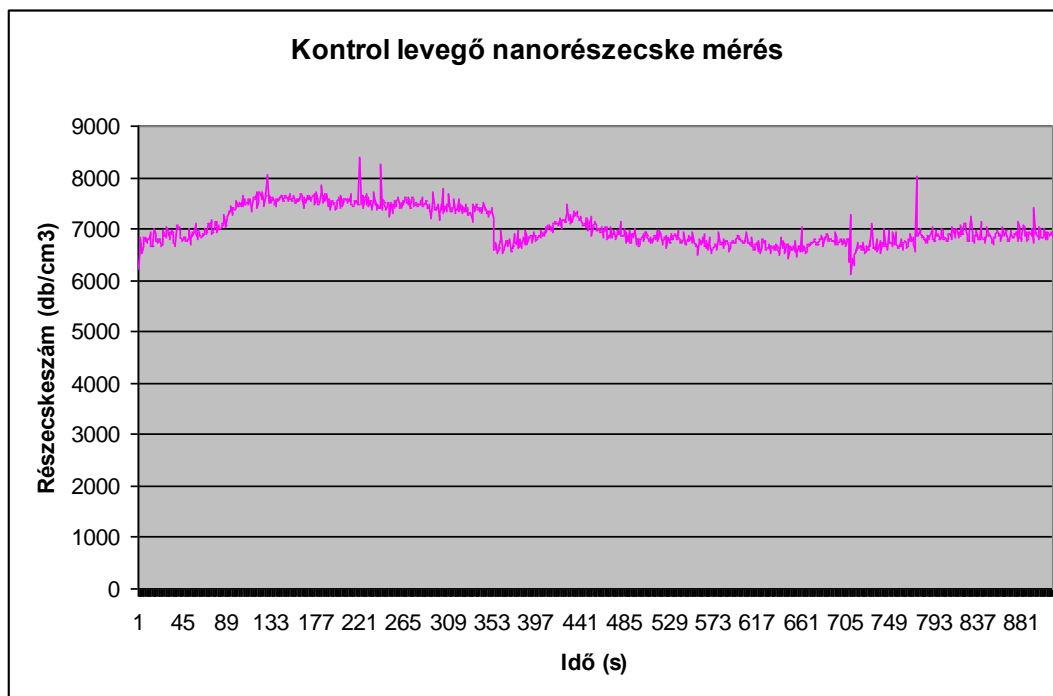


3. ábra: A kezelőkamrában mért nanorészecske koncentráció alakulása a TIG 96h 1. csoport kezelése közben



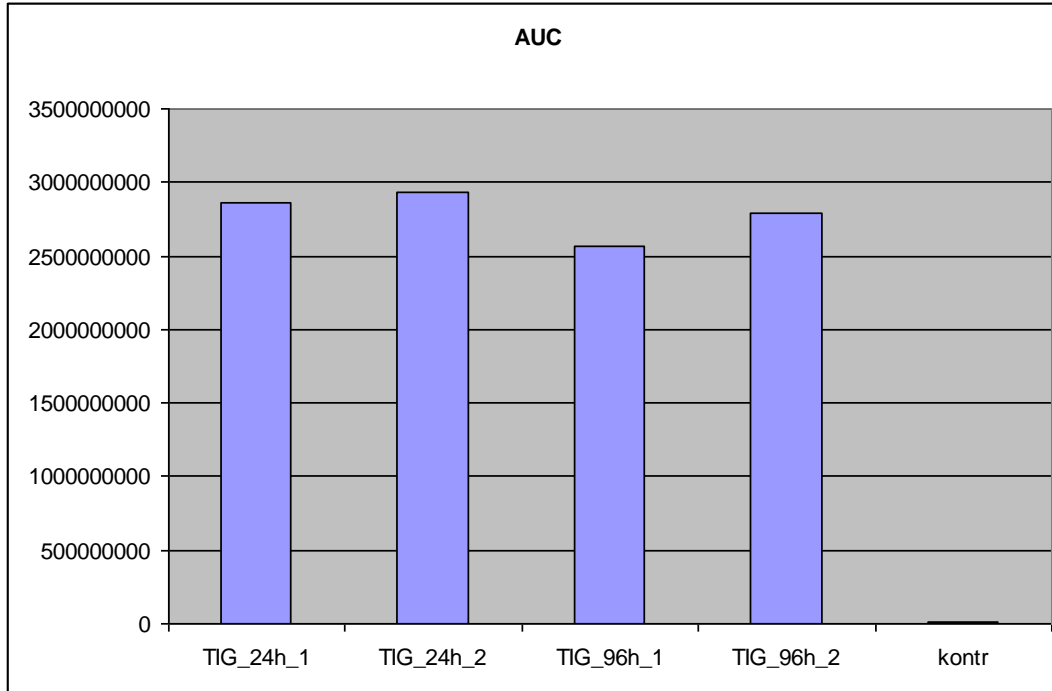
4. ábra: A kezelőkamrában mért nanorészecske koncentráció alakulása a TIG 96h 2. csoport kezelése közben

Referenciaként kontroll mérést végeztünk, hogy meghatározzuk a környezeti levegőben általában jelen lévő nanorészecskék koncentrációját egy átlagos budapesti szobában. A mérés 2,5 órán keresztül folyt és az eredményeit az 5. ábrán mutatjuk be.



5. ábra: A környezeti levegőben mérhető nanorészecske koncentráció alakulása egy kettő és fél órás időtartamú mérés során

Annak érdekében, hogy meggyőződjünk róla, hogy a kezelt csoportok nagyságrendileg hasonló mennyiségű részecskével érintkeztek, meghatároztuk a fenti diagramok görbe alatti területét (integrál, vagy area under the curve, AUC) beleértve a kontroll mérést is. Amint a 6. ábrán látható, a kezelésekkor nagyon hasonló össz-részecskeszám érte az állatokat, míg a kontroll esetében ehhez képest elenyésző az össz-nanorészecskeszám.



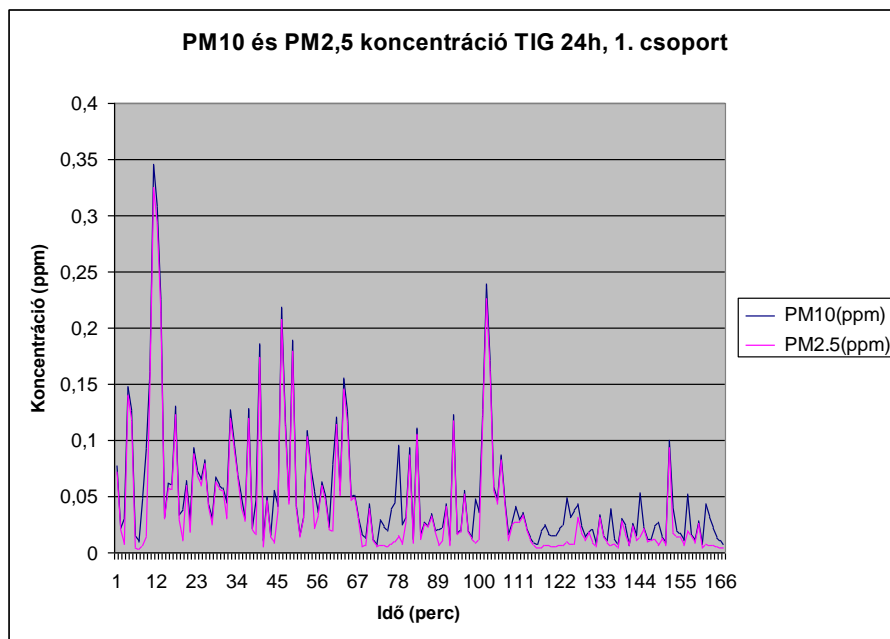
6. ábra: A kezelt csoportok és a kontrol mérés nanorészecske-görbék AUC értékeinek összehasonlítása

### 5.3.A keletkező füstben lévő PM10 és PM2,5 részecskék koncentráció meghatározása

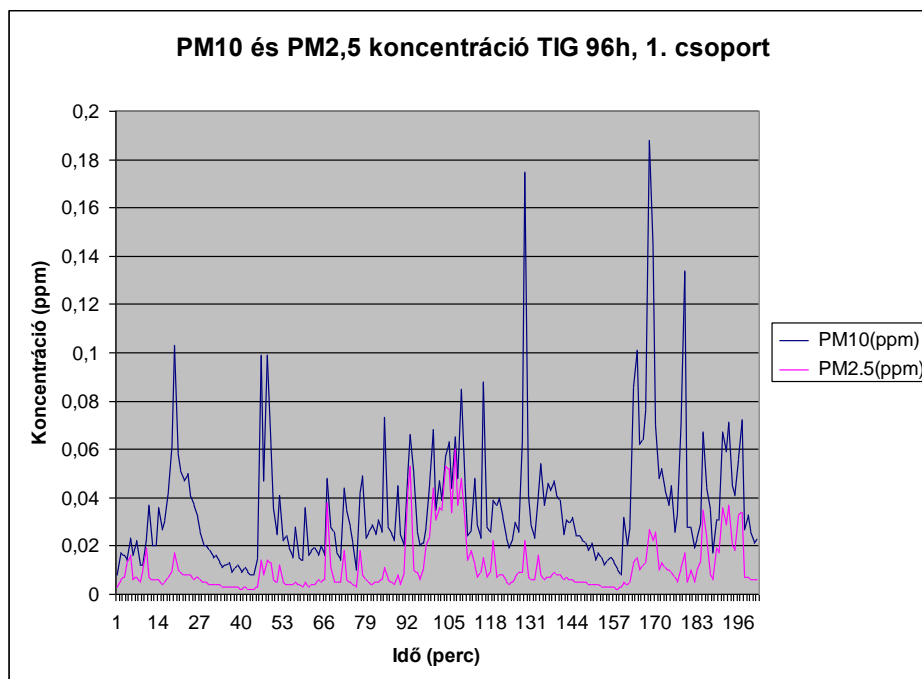
A hegesztési füstben lévő PM10 és PM2,5 mérettartományú részecskék mennyiségi meghatározásának az eredményei a 7-9. számú ábrákon látható. Mindkét ábra esetében a lila szín a PM2,5, a kék pedig a PM10 adatokat mutatja.

A PM10 esetében a mért értékek jellemzően 0,02-0,2 ppm közti sávban mozognak, míg PM2,5 esetében 0,01-0,2 ppm között, a kezelések alkalmával. A környezeti levegőben mérhető részecskekoncentrációk PM10 esetén 0,02-0,04 ppm között a PM2,5 esetén 0,02-0,03 között mérhetőek (10. ábra).

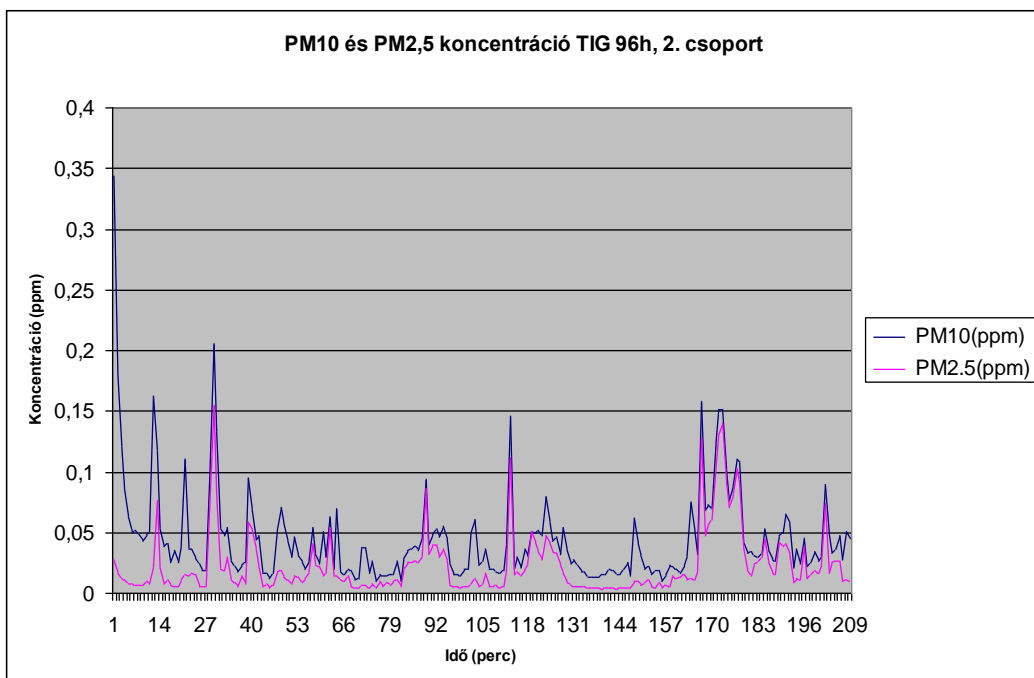
A TIG 24h 2. csoport esetében nem történt PM10-PM2,5 mérés.



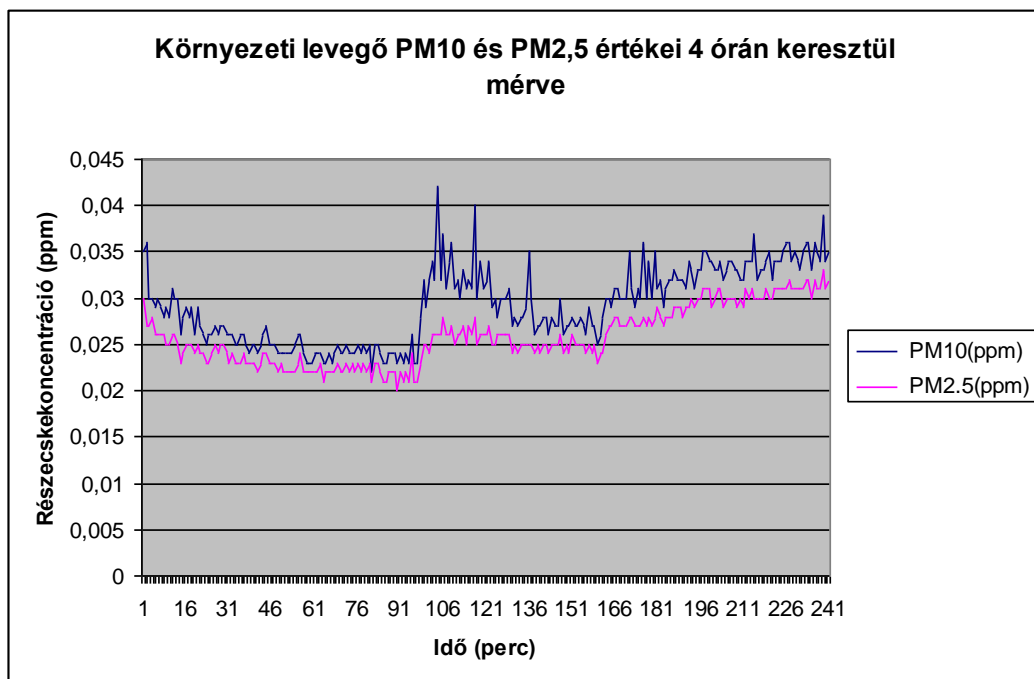
7. ábra: PM10 és PM2,5 mennyiség TIG 24h 1. csoport kezelése során



8. ábra: PM10 és PM2,5 mennyiség TIG 96h 1. csoport kezelése során



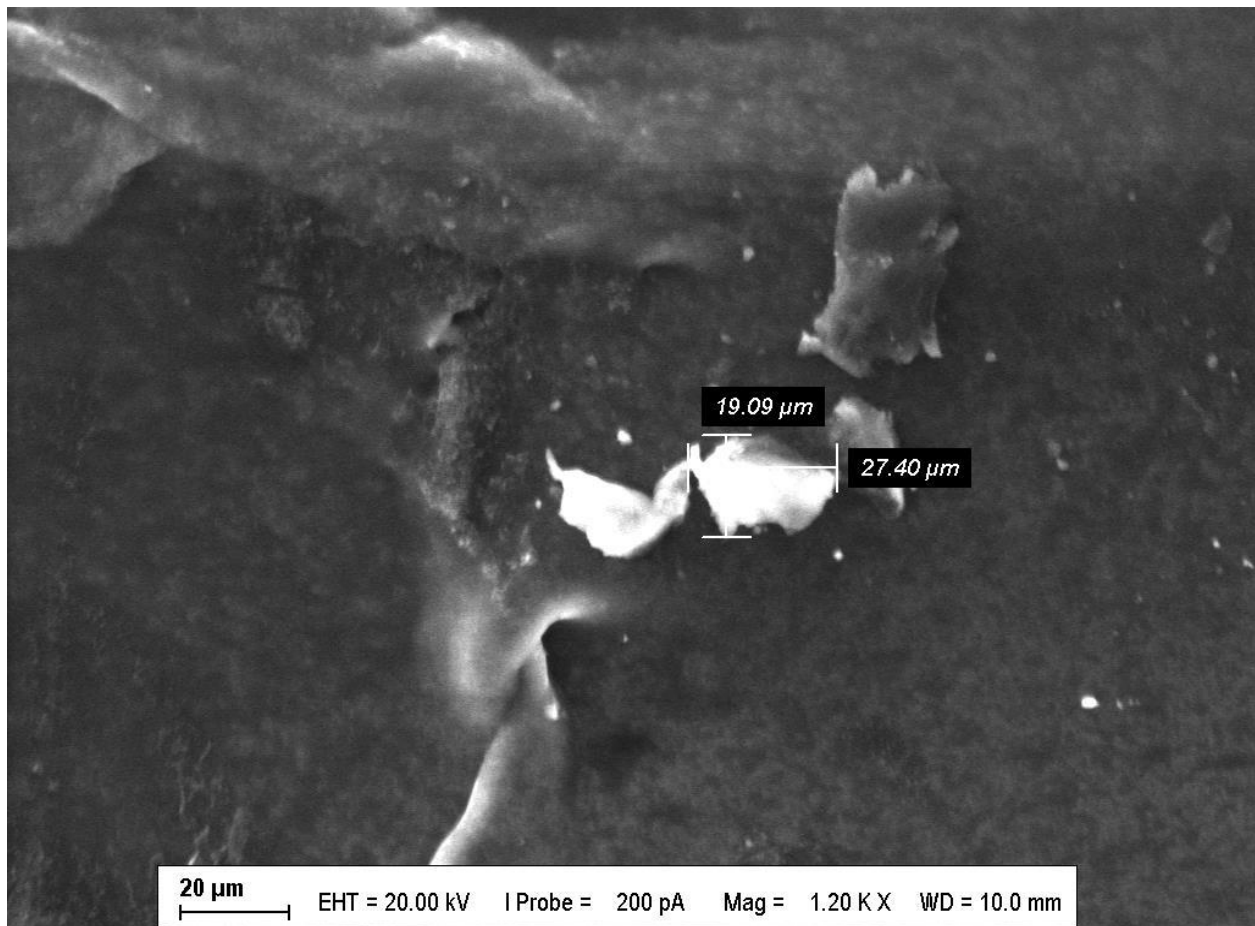
9. ábra: PM10 és PM2,5 mennyiség TIG 96h 2. csoport kezelése során



10. ábra: PM10 és PM2,5 mennyiség a környezeti levegőben 4 óra alatt

#### 5.4. Scanning elektronmikroszkópos és EDS vizsgálat

A SEM vizsgálat keretében a visszanyert porszemcsék morfológiáját, méretviszonyait és az EDS segítségével a megfigyelt partikulumok anyagi összetételét mértük. A 11-es ábrán a talált nagyobb méretű szemcsék egy jellemző képe látható a méretek feltüntetésével. A szemcsékre jellemző a bonyolult, sokszögletű alak, kinyúló, éles csúcsokkal-karmokkal.

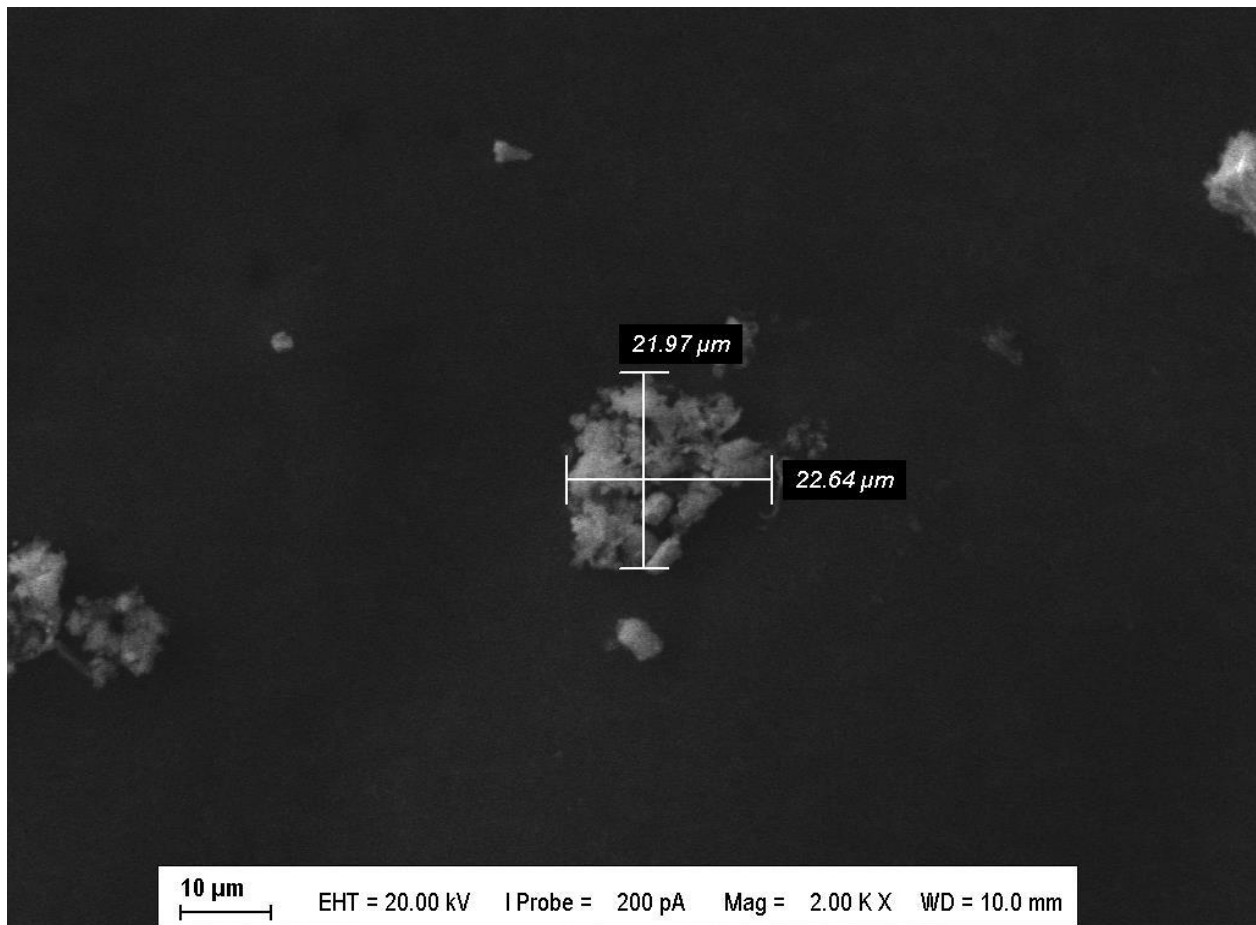


11. ábra: A TIG 24h 1. csoport kezelésekor gyűjtött pormintában fellelt nagyobb szemcsék egy jellemző képe. A felvett méretek μm-ben értendők, a nagyítás 1200-szoros

A 12. ábrán az ugyanabban a mintában talált kisebb részecskék konglomerátumának képe látható. Az ezeket alkotó partikulumok ~2-5 μm-es méretűek, alakjuk hasonló a nagyobb szemcsék



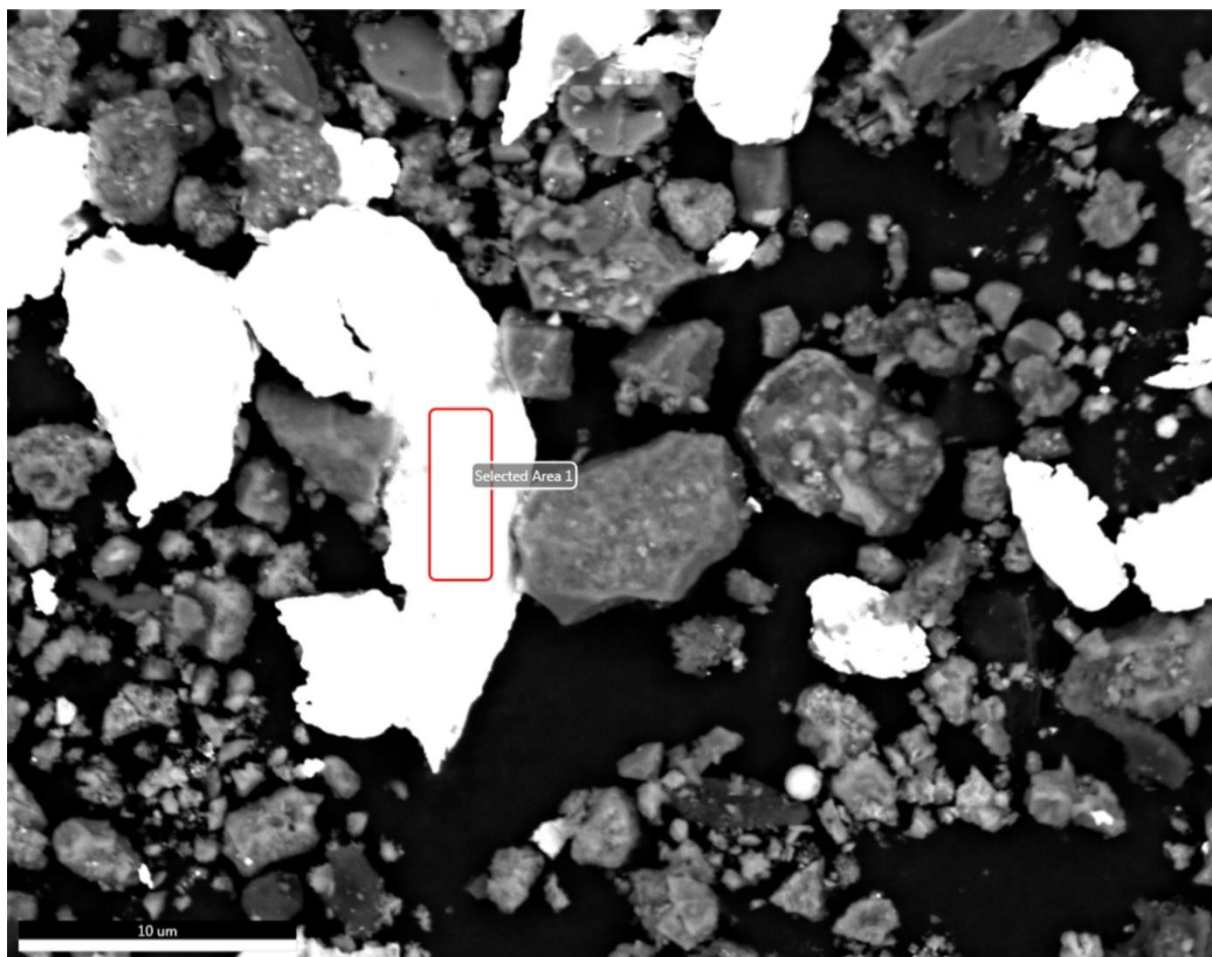
alakjához. A mérések szerint a képeken bemutatott részecskék fő összetevője a vas (a mért értékeket külön nem mutatjuk).



12. ábra: A TIG 24h 1. csoport kezelésekor gyűjtött pormintában fellelt szemcse-konglomerátum képe. A felvett méretek  $\mu\text{m}$ -ben értendők, a nagyítás 1200-szoros

A köszörű alatti porból vett minta SEM képét mutatja a 13. ábra. Amint az látható, a talált szemcsék alakja és mérete jelentős heterogenitást mutat. A kép készítésekor alkalmazott detektor az objektumok fényességét az alkotó elemek rendszámának függvényében állítja be, a nagy rendszámú elemek a fényesebbek. Ennek megfelelően az alumínium- és szilícium oxid tartalmú csiszolószemcsék sötétebbek, a csiszoláskor megolvadt vasszemcsék világosabbak és jellegzetes kerek alakúak, míg a volfrámelektrodáról levált részek általában nagyok, fehérek és éles szélűek. Annak érdekében, hogy igazoljuk ezeknek a szemcséknek az eredetét, EDS mérést végeztünk, melynek az eredménye a 3. táblázatban látható. A mérés alapján, a szennyező elemek mellett a

vizsgált szemcsét nagy részben volfrám alkotja, és kimutatható belőle a tórium is, közel azonos koncentrációban, mint nominálisan kellene lennie.



13. ábra: “Köszörűpor” SEM képe, a fehér területek nagy rendszámú elemet jeleznek. A bekeretezett területről EDS vizsgálat történt

Talált elem	Tömeg%
O	16.73
Al	2.53
<b>Th</b>	<b>3.72</b>
Ca	1.41
Fe	4.89
<b>W</b>	<b>70.72</b>

3. Táblázat: 13 ábrán látható bekeretezett terület EDS spektruma alapján számított elemösszetétele

## 6. Megbeszélés

Eredményeink összegzése és értelmezése előtt fontos leszögeznünk, hogy a bemutatott vizsgálatok egy nagyobb léptékű kutatási program során nyert adatok, és bizonyos mérések (így pl. az alfa-spektroszkópiai mérés) eredményei a szakdolgozat befejezésének idejében még nem voltak számunkra elérhetőek.

A szakirodalmi áttekintésben bemutattuk az alfa-sugárzás tulajdonságait, és a magasabb rendű élő szervezetekre gyakorolt biológiai hatásait. A tórium felhasználása az egészségügyben és az iparban visszaszorulóban van, bár ez utóbbi területen nagyon kevés olyan vizsgálat történt, amely a tórium által keltett egészségügyi kockázat mértékét kísérletes módon kívánta meghatározni. Vizsgálataink során mi ezt a kísérletes megközelítést igyekszünk alkalmazni a probléma tanulmányozására.

A kísérleti állatok kezelésekor a szakma szabályainak megfelelő technológiai beállításokkal végeztük el a hegesztési emisszió előállítását, azzal a megjegyzéssel, hogy a TIG hegesztéskor általánosan alkalmazott WT20-as (2% ThO tartalom) elektróda helyett a WT40-es (4% ThO tartalom) elektródát alkalmaztuk, számítva arra, hogy az emisszióban a tórium alapvetően igen kis koncentrációban lesz jelen, ami megnehezíti a vegyi- és egyéb módon történő kimutatását a későbbiekben. A szakirodalmi adatoknak megfelelően (Brand et al. 2013) a kezelések során igen jelentős nanorészecske koncentrációt mértünk, míg a nagyobb részecskék részaránya (PM10 és PM2,5), bár emelkedett a normál környezeti levegőben mérhető mennyiségekhez képest, de ez az emelkedés sok nagyságrenddel kisebb mértékű, mint ami a nanorészecskék terén tapasztalható. Ez az eredmény azt igazolja, hogy a TIG technológiai hegesztés következtében a létrejövő emisszió

legnagyobb mennyiségben nanoméretű részecskéket tartalmaz. Ismereteink szerint ezek a részecskék akadálytalanul eljutnak az emlős tüdőbe, és ott áthatolnak a légzőhámra és a keringésbe jutnak. Így tehát, az emisszióban megjelenő elemek részarányuknak megfelelően juthatnak be a szervezetbe. Ezt igazolja, hogy a kezelés után 24 órával a vas (mint a technológiában felhasznált anyagokban a legnagyobb mennyiségben jelen lévő fém) koncentrációja a tüdőben enyhén emelkedést mutat. Ezáltal logikus a feltételezés, hogy az alkalmazott tórium-oxid tartalmú volfrámelektroda párolgása során a füstbe kerülő tóriumnak is esélye van eljutni a szervezetbe a légutakon keresztül. A hegesztési emisszióból visszanyerhető részecskék elektronmikroszkópos és EDS-sel történő vizsgálata során nem sikerült mérhető mennyiségű tóriumot tartalmazó szemcsét kimutatni, bár ezt az eredményünket kritikával kell kezelni, hiszen nem áll rendelkezésünkre olyan nagy hatékonyságú kaszkád impaktor berendezés a részecskék visszanyeréséhez, mint amivel más kutatók dolgoztak. Megvizsgáltuk azt a törmelék is, mely a TIG hegesztés technológiájából következően, az elektróda rendszeres kihegyezésekor keletkezik a köszörülés során. A vizsgálat kimutatta a nagy rendszámú elemet tartalmazó szemcsék jelenlétét, számos egyéb (Al és Si tartalmú csiszolószemcsék, egyéb környezeti szennyeződés) mellett, és a spektroszkópiás vizsgálat igazolta a volfrám és a tórium jelenlétét ezekben a szemcsékben, tehát ezek valóban az általunk alkalmazott elektródából származnak. Ezeknek a szemcséknek a mérete több 10 µm, így igazolva látjuk a szakirodalom azon megállapítását, hogy a köszörülésnél jelentős mennyiségű sugárzó anyag-tartalmú részecske kerülhet a környezetbe, de ezek méretüknél fogva nem alkalmasak arra, hogy a tüdőn keresztül a szervezetbe jussanak (Ludwig et al. 1999).

A biológiai minták vegyi elemzése során azt tapasztaltuk, hogy a kezelés után 24 órával vett mintákban a tórium jelenléte nem igazolható, kivéve egyetlen lépminta esetében volt enyhén a kimutatási határ felett mérhető koncentrációban jelen a fém. Ezzel szemben 96 órával a kezelés után a második csoport szerveiből kimutatható volt a tórium jelenléte, a vese, máj, vér és agy esetében a méréshatár közelében, míg a lép és a tüdő esetében jelentősebb mennyiségben.

Felmerül a kérdés, hogy a másik kezelt csoport mintáiban miért nem találtuk meg a fém nyomát. Erre jelen pillanatban még nem tudunk egyértelműen válaszolni, de felmerül több magyarázat is. A legfontosabb tényező a feldolgozott biológiai minta igen kicsi mennyisége. A vegyi elemzés előkészítése során alkalmazott roncsolási és hígítási lépések során az eredeti mintában amúgy is kis mennyiségben jelen lévő tórium olyan mértékben kihígul, hogy a végső mérendő oldatban a koncentrációja már a készülék kimutatási határa alá eshet vissza. A szakirodalommal való

összevetésben a lépben mérhető fémkoncentráció a vártnak megfelelően alakul, hiszen a korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a tórium a szervezetben a retikuloendotheliális sejtek révén eljuthat a nyirokcsomókba, illetve a lépbe. Mivel, a sejtek migrációjához időre van szükség, ez magyarázza, hogy miért a későbbi időpontban vett mintában látunk magasabb fémkoncentrációt a lépben. A tüdőben mérhető koncentráció magyarázata kettős lehet. Egyrészt lehetséges, hogy a mintavételkor a tüdővel együtt a mediasztinális nyirokcsomók egy része is bekerülhetett a mintába, és a mérésnél az ott felhalmozódott tóriumot sikerült visszamérni. Ezt támasztja alá az is, hogy szintén a hosszabb inkubációs idő eltelte után vett mintánál jelentkezett ez az eredmény. Másrészt, lehetséges, hogy ebben a mintában a kivett szervek mennyisége valamivel nagyobb volt a többihez képest, és a későbbi mintaelőkészítési protokoll során nem hígult ki annyira a vizsgálandó elem koncentrációja, és így mérhető maradt. Ennek eldöntésére további kezelések és mérések elvégzésére lesz szükség. Az alfa-spektroszkópiás mérések, melyek elsősorban a tüdő alfa-sugárzási aktivitását hivatottak meghatározni a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetében, sajnos a szakdolgozat lezárásakor még nem fejeződtek be. Így erre vonatkozólag nem rendelkezünk kiértékelhető eredményekkel.

Összegezve, a folyamatban lévő vizsgálataink eddigi eredményeit, a TIG hegesztés során felszabaduló emisszió belélegzése során valóban bekerülhet kis mennyiségű alfa-sugárzó tórium a szervezetbe. Az adatok alapján az egyszeri expozíció során bekerülő adag igen kis mennyiségű, de figyelembe véve a szakirodalmi adatokat, ennek a bekerült dózisonak egy része hosszabb ideig képes perzisztálni a tüdőben, illetve a nyirokszervekben. Figyelembe véve a tórium radioaktív tulajdonságát, ez egészségügyi kockázatot jelent, különösen akkor, ha az expozíció ismétlődik. A kockázat mértékének a pontos meghatározásához azonban további kísérletek (mind egyszeri expozíció, mind többszöri expozíció alkalmazásával és hosszabb inkubációs idő után vett mintákkal) elvégzésével és ezek eredményeinek elemzése után határozható meg.

## 7. Összefoglalás

A természetben számos különböző tulajdonságú sugárzás fordul elő. Ezek egyik nagy csoportja az elektromágneses sugárzás. E csoporton belül megkülönböztetünk nem ionizáló és ionizáló sugárzást, az utóbbiba soroljuk a radioaktív sugárzást, mely az élő szervezetek szempontjából igen jelentős hatással bír. A radioaktív sugárzásokat elektromos vagy mágneses mezővel szét tudjuk választani. Ennek alapján 3 fajtáját különböztetjük meg: alfa-, béta- és gamma-sugárzás.

Vizsgálataink fókuszában a tóriumra jellemző alfa-sugárzás áll; melynek bár az áthatoló képessége kicsi, a savós- és nyálkahártyák nem jelentenek barriert számára. A szervezetbe kerülve - lenyelve, belélegezve vagy akár sérülésen keresztül - biológiai molekulákkal kölcsönhatásba lépve képes azokat nagymértékben roncsolni és ionizálni. Sokáig az egyik legjelentősebb alkalmazási területe a röntgendiagnosztika volt; ahol, mint kontrasztanyag vált elterjedté Thorotrast néven. Miután bebizonyosodott karcinogén és egyéb egészségre káros hatása, kivonták a forgalomból. Manapság a  $^{232}\text{Th}$  izotóp gyakori felhasználási területe az argon védőgázos-volfrámelektrodás ívhegesztés (TIG), melynek során olyan elektródát használhatnak, melyben tórium-oxid is található 0,4-4% mennyiségben. A tórium tartalom növeli a volfrám vezetőképességét, segítve az ív kialakítását, javítja annak stabilitását és csökkenti a hegesztett fémek kontaminációját. A másik veszélyforrás az, hogy az elektródákat a munka során újra és újra köszörülni kell, hogy tökéletes legyen az ív.

A korábbi évtizedekben leírt tórium hatásait vizsgáló tanulmányok eredményei közel sem egységesek. Kísérletes kutatásaink során azt kívántuk megvizsgálni, hogy az elektromos ív hatására potenciálisan levegőbe kerülő, tórium-oxid tartalmú fémes részecskéket tartalmazó emisszió belélegzése során milyen mértékű tórium-terhelés mutatható ki a kísérleti állatok szervezetében. Spektroszkópiás vizsgálattal igazoltuk a volfrám és a tórium jelenlétét a köszörüléssel keletkezett szemcsékben, melyek mérete több 10  $\mu\text{m}$  volt. Az egyszeri expozíció során bekerülő tóriumot sikerült kimutatnunk több szervben is. Az adatok alapján az egyszeri expozíció során bekerülő adag igen kis mennyiségű, de figyelembe véve a szakirodalmi adatokat, ennek a bekerült dózisonak egy része hosszabb ideig képes perzisztálni a tüdőben illetve a nyirokszervekben. Amennyiben az expozíció ismétlődik, ez egészségügyi kockázatot jelenthet. A kockázat mértékének a pontos meghatározásához azonban további kísérletek szükségesek.

## 8. Summary

There are several kinds of radiation in the nature. One big group of these is the electromagnetic radiations. This group can be further divided into the subgroups of non-ionizing and ionizing radiations, The later one has high impact on the living organisms. These nuclear radiations can be further sorted on the base of their behaviour in magnetic fields. So, finally we have three kinds of nuclear radiation, the alpha-, the beta- and the gamma-rays. In the focus of our investigations there is the alpha radiation emitted by the thorium, since it has low penetrability, however the mucosal and serosal layers are not barrier against this radiation. After the incorporation of the Th (swallowing, inhaling or even through an injury) it is capable to react with the molecules of the body, and can ionize and destroy them.

For a long time, the thorium was used widely as contrast material for X-ray examinations, named as Thorotrast. It was withdrawn after the adverse properties, like carcinogenicity of it were proven. These days the main application of the  $^{232}\text{Th}$  is the tungsten inert gas welding technology (TIG). In this technology the tungsten electrode is mixed with ThO in 0,4-4 weight% to enhance the electrical properties of the electrode. It enhances the conductivity, arc ignition and –stability during the welding. Hence this electrode needs to be sharpened regularly during the work, the grinding also releases free Th containing particles in the air, which means additional risk.

The earlier investigations of the thorium induced biological effects are showing a diverse picture. In our investigations we wanted to measure the amount of thorium inhaled by experimental animals treated with ThO containing welding emission. We demonstrated the presence of ThO containing tungsten particles in the waste of the grinder with spectroscopic method, these particles were bigger than  $10\ \mu\text{m}$ . After a single exposition, we were able to demonstrate the presence of the Th in various organs of the experimental animals. According our results, the single incorporated dose is rather small, but considering the capability of the Th to stay in the organs for a long period of time, it can persist in the lungs and in the lymphatic organs. For multiple exposition this can cause health risk. To precisely evaluate the magnitude of this risk, further investigations are required.

## 9. Irodalomjegyzék

- Al-Zoughool, M. és Krewski, D.: **Health effects of radon: A review of the literature**, Int J Radiat Biol **85**(1): 57-69. 2009
- Berlinger, Balázs 2009: **Munkahelyi levegőben megjelenő hegesztési füstök toxikus fémtartalmának meghatározására szolgáló mintavételi és analitikai eljárások továbbfejlesztése és összehasonlító vizsgálata** from [http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/berlinger\\_b.pdf](http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/berlinger_b.pdf)
- Boecker, B. B., Thomas, R. G. és Scott, J. K.: **Thorium Distribution and Excretion Studies II. General Patterns Following Inhalation and the Effect of the Size of the Inhaled Dose**, Health Phys **9**(2): 165-176. 1963
- Brand, P., Lenz, K., Reisinger, U. és Kraus, T.: **Number Size Distribution of Fine and Ultrafine Fume Particles From Various Welding Processes**, Ann Occup Hyg **57**(3): 305-313. 2013
- Bridges, B. A., Cole, J., Arlett, C. F., Green, M. H. L., Waugh, A. P. W., Beare, D., Henshaw, D. L. és Last, R. D.: **Possible Association between Mutant Frequency in Peripheral Lymphocytes and Domestic Radon Concentrations**, Lancet **337**(8751): 1187-1189. 1991
- Conibear, S. A.: **Long-Term Health-Effects of Thorium Compounds on Exposed Workers - the Complete Blood-Count**, Health Phys **44**: 231-237. 1983
- Csákány Antal, F. G., Gnädig Péter, Holics László, Juhász András, Sükösd Csaba, Tasnádi Péter. **Fizika**, Akadémiai Kiadó. 2011
- da Cunha, K. D., Lipsztein, J. L., Azeredo, A. M., Melo, D., Juliao, L. M. Q. C., Lamago, F. F., Santos, M. és Leite, C. V. B.: **Study of worker's exposure to thorium, uranium and niobium mineral dust**, Water Air Soil Poll **137**(1-4): 45-61. 2002
- Environmental Protection Agency, U. S. "Radiation Basics." 2020, from <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics#ioniandnonioni>.
- Gafvert, T., Pagels, J. és Holm, E.: **Thorium exposure during tungsten inert gas welding with thoriated tungsten electrodes**, Radiat Prot Dosim **103**(4): 349-357. 2003
- A. A. Letavet and E. B. Kurlyandskaya (Szerk), Thorium-232 and Uranium-238. Pergamon: 66-82. 1970
- István, d. B.: **Környezettechnika**, Mezőgazda Kiadó. 2003
- József, V.: **Orvosi - biológiai izotóplaboratóriumok sugárvédelme**, Debreceni Egyetem. 2011
- Jeanson A, Ferrand M, Funke H, et al.: **The role of transferrin in actinide(IV) uptake: Comparison with iron(III)**. Chemistry **16**(4):1378-1387.
- Kitamura, K., Imazawa, Y., Morimoto, T., Sato, K., Higuchi, H., Imai, K. és Watari, K.: **Determination of thorium in the organs of deceased Thorotrast patients**, J Radioanal Nucl Ch **217**(2): 175-178. 1997
- Kumar, A., Ali, M. és Pandey, B. N.: **Understanding the biological effects of thorium and developing efficient strategies for its decorporation and mitigation**, Barc Newsletter **335**: 55-60. 2013



- Likhachev Iu, P., Liarskii, P. P. és Elovskaja, L. T.: [**Morphological changes in the lungs in chronic inhalation of thorium dioxide**], Meditsinskaia radiologija **18**(11): 35-41. 1973
- Ludwig, T., Schwass, D., Seitz, G. és Siekmann, H.: **Intakes of thorium while using thoriated tungsten electrodes for TIG welding**, Health Phys **77**(4): 462-469. 1999
- Moore, S. R., Black, A., Lambert, B. E., Lindop, P. J., Morgan, A., Pritchard, J. és Walsh, M.: **Deposition of Thorium and Plutonium oxides in the respiratory tract of the mouse**. United States: 103-118. 1980
- Paul, A. C., Pillai, P. M. B., Haridasan, P. P., Radhakrishnan, S. és Krishnamony, S.: **Population exposure to airborne thorium at the high natural radiation areas in India**, J Environ Radioactiv **40**(3): 251-259. 1998
- Pesznyák Csilla, S. G., Ed. **Sugárbiológia elektronikus tankönyv**, OSSKI. 2016
- Saito, H., Hisanaga, N., Okada, Y., Hirai, S. és Arito, H.: **Thorium-232 exposure during tungsten inert gas arc welding and electrode sharpening**, Ind Health **41**(3): 273-278. 2003
- Sándor Damjanovich, J. F., János Szöllősi. **Orvosi biofizika**, Medicina Könyvkiadó Zrt. 2007
- A. A. Letavet and E. B. Kurlyandskaya (Szerk), Thorium-232 and Uranium-238. Pergamon: 30-41. 1970
- A. A. Letavet and E. B. Kurlyandskaya (Szerk), Thorium-232 and Uranium-238. Pergamon: 9-19. 1970
- Tanszék, E. L. T. A. (2020). "Dózisteljesítmény meghatározása az Ásványtár különböző pontjain gyakorlat." Környezetfizikai Laboratóriumi Gyakorlatok, 2020, from <http://atomfizika.elte.hu/kornyfizlab/docs/ADM/index.html>.
- Wang, L. Q., Zhong, B. Q., Liang, T., Xing, B. S. és Zhu, Y. F.: **Atmospheric thorium pollution and inhalation exposure in the largest rare earth mining and smelting area in China**, Sci Total Environ **572**: 1-8. 2016

## 10. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretném megköszönni Dr. Kóvágó Csabának az ÁTE Gyógyszer és Méregtani Tanszék munkatársának és Dr. Szücs-Somlyó Évának, az ÁTE Járványtani Tanszék PhD hallgatójának a sok segítséget, tanácsot és azt, hogy lehetővé tették, hogy a diplomadolgozatom elkészüljön.

Továbbá köszönettel tartozom Dr. Kovács Dorinának, a BME Gépészkari Anyagtudomány és Technológia Tanszék munkatársának, hogy elvégezte számunkra az elektronmikroszkópos vizsgálatot. Dr. Orosz Lászlónak, a BME Természettudományi Kar, Fizika Tanszék címzetes egyetemi docensének és Dr. Szalóki Imrének, a BME Nukleáris Technikai Intézet egyetemi docensének, akik lehetővé tették, hogy a kísérletek egy részét elvégezhessük a Budapesti Műszaki Egyetemen. Szeretném megköszönni Magyar Tündének, az Állatorvostudományi Egyetem Anatómia Tanszék munkatársának, hogy elkészítette a lemérendő mintákat.

Végül, de nem utolsósorban, köszönettel tartozom a szüleimnek, barátaimnak és Dr. Bodrogi Andreának, akik minden körülmények között támogattak a tanulmányaim során.

# Mellékletek

## Konzulensi ellenjegyzés

Alulírott ..... Dr Kővágó Csaba ..... Igazolom, hogy

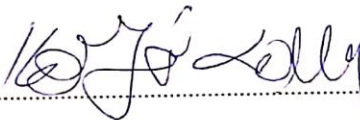
..... Bodgál Petra ..... (a hallgató neve)

..... A tórium kinetikája a szervezetben, különös tekintettel a nanorészecskékre

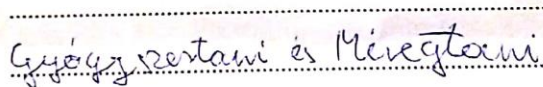
..... című

..... diplomamunkáját ismerem, azt beadásra és védésre alkalmasnak tartom.

Budapest, 2020. 11. 03.

.....  


Aláírás

.....  


Tanszék

**HuVetA**  
**ELHELYEZÉSI MEGÁLLAPODÁS ÉS SZERZŐI JOGI NYILATKOZAT\***

Név: BODGAL PETRA  
Elérhetőség (e-mail cím): pe.tra.bodgal@gmail.com  
A feltöltendő mű címe: A tudomány éneke és a természetbeni kultúra  
A tudomány és a természetbeni kultúra  
A mű megjelenési adatai: 2020  
Az átadott fájlok száma: 1

---

Jelen megállapodás elfogadásával a szerző, illetve a szerzői jogok tulajdonosa nem kizárólagos jogot biztosít a HuVetA számára, hogy archiválja (a tartalom megváltoztatása nélkül, a megőrzés és a hozzáférhetőség biztosításának érdekében) és másolásvédett PDF formára konvertálja és szolgáltatassa a fenti dokumentumot (beleértve annak kivonatát is).

Beleegyezik, hogy a HuVetA egynél több (csak a HuVetA adminisztrátorai számára hozzáférhető) másolatot tároljon az Ön által átadott dokumentumból kizárólag biztonsági, visszaállítási és megőrzési célból.

Kijelenti, hogy az átadott dokumentum az Ön műve, és/vagy jogosult biztosítani a megállapodásban foglalt rendelkezéseket arra vonatkozóan. Kijelenti továbbá, hogy a mű eredeti és legjobb tudomása szerint nem sérti vele senki más szerzői jogát. Amennyiben a mű tartalmaz olyan anyagot, melyre nézve nem Ön birtokolja a szerzői jogokat, fel kell tüntetnie, hogy korlátlan engedélyt kapott a szerzői jog tulajdonosától arra, hogy engedélyezhesse a jelen megállapodásban szereplő jogokat, és a harmadik személy által birtokolt anyag rész mellett egyértelműen fel van tüntetve az eredeti szerző neve a művön belül.

A szerzői jogok tulajdonosa a hozzáférés körét az alábbiakban határozza meg **(egyetlen, a megfelelő négyzetben elhelyezett x jellel)**:

- engedélyezi, hogy a HuVetA-ban -ban tárolt művek korlátlanul hozzáférhetővé váljanak a világhálón,
- az Állatorvostudományi Egyetem belső hálózatára (IP címekre) korlátozza a feltöltött dokumentum(ok) elérését,
- a Könyvtárban található, dedikált elérést biztosító számítógépre korlátozza a feltöltött dokumentum(ok) elérését,
- csak a dokumentum bibliográfiai adatainak és tartalmi kivonatának feltöltéséhez járul hozzá (korlátlan hozzáféréssel),

Kérjük, nyilatkozzon a négyzetben elhelyezett jellel a helyben használatról is:



Engedélyezem a dokumentum(ok) nyomtatott változatának helyben olvasását a könyvtárban.

Amennyiben a feltöltés alapját olyan mű képezi, melyet valamely cég vagy szervezet támogatott illetve szponzorált, kijelenti, hogy jogosult egyetérteni jelen megállapodással a műre vonatkozóan.

A HuVetA üzemeltetői a szerző, illetve a jogokat gyakorló személyek és szervezetek irányában nem vállalnak semmilyen felelősséget annak jogi orvoslására, ha valamely felhasználó a HuVetA-ban engedéllyel elhelyezett anyaggal törvénytörtő módon visszaélne.

Budapest, 2010. év december...hó ...4....nap

aláírás

szerző/a szerzői jog tulajdonosa

---

*A HuVetAMagyar Állatorvos-tudományi Archívum – Hungarian Veterinary Archive az Állatorvostudományi Egyetem Hutýra Ferenc Könyvtár, Levéltár és Múzeum által működtetett egyetemi és szakterületi online adattár, melynek célja, hogy a magyar állatorvos-tudomány és -történet dokumentumait, tudásvagyonát elektronikus formában összegyűjtse, rendszerezze, megőrizze, kereshetővé és hozzáférhetővé tegye, szolgálta, a hatályos jogi szabályozások figyelembe vételével.*

*A HuVetA a korszerű informatikai lehetőségek felhasználásával biztosítja a könnyű, (internetes keresőgépekkel is működő) kereshetőséget és lehetőség szerint a teljes szöveg azonnali elérését. Célja ezek révén*

- *a magyar állatorvos-tudomány hazai és nemzetközi ismertségének növelése;*
- *a magyar állatorvosok publikációira történő hivatkozások számának, és ezen keresztül a hazai állatorvosi folyóiratok impakt faktorának növelése;*
- *az Állatorvostudományi Egyetem és az együttműködő partnerek tudásvagyonának koncentrált megjelenítése révén az intézmények és a hazai állatorvos-tudomány tekintélyének és versenyképességének növelése;*
- *a szakmai kapcsolatok és együttműködés elősegítése,*
- *a nyílt hozzáférés támogatása.*