

A PAKSI ATOMERŐMŰ KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ FOLYÉKONY RADIO-
AKTÍV HULLADÉKAINAK AKTIVITÁS LETÁRA

Készítette:

BALOGH DÓRA

Pécs, 2011

A PAKSI ATOMERŐMŰ KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ FOLYÉKONY RADIO-
AKTÍV HULLADÉKAINAK AKTIVITÁS LETÁRA

Készítette:

BALOGH DÓRA



KÖRNYEZETTAN SZAK

Bachelor of Sciences

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Környezettudományi Intézet

Témavezető: Sánta Imre

Környezetfizika és Lézerspektroszkópia Tanszék

2011.május

A jelen dolgozatot – annak teljes, valamint a hallgató védésen nyújtott teljesítményének ismeretében – megalapozottnak és elfogadhatónak tartjuk. A hallgató államvizsgára bocsátható.

A védés bizottsági tagjai:

Bizottság elnöke

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megragadni az alkalmat arra, hogy köszönetemet fejezhetem ki mindenkinek, aki a szakdolgozatom elkészítéséhez nagyban hozzájárult.

Rendkívül inspirálónak találtam hallgatói koromban azon tanulmányaim előadóinak tudását és előadásmódját, akik ezen területen foglalkoztak. Figyelve az évek folyamán alakuló atomenergia hulladékaival kapcsolatos ideiglenes tárolási, elhelyezési folyamatokat kezdett el érdekelni az atomenergia alkalmazásának e része. Szeretném, tehát, megköszönni Dr. Sánta Imre tanár úrnak az előadások keretében átadott tudásanyagot, a szakdolgozatírás során nyújtott segítőkészséget és az építő jellegű információkat! Közvetetten, de nagy segítségemre volt Várhegyi András tanár úr is. Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet!

Rugalmasságáról, precízségéről és segítőkészségéről bizonyosságot téve ezúton szeretném kinyilvánítani köszönetemet külső konzulensemnek, Feil Ferenc vegyészmérnöknek, aki Radioaktív Hulladékkezelési Osztály vezetője a Paksi Atomerőmű Zrt.-ben, s kívánok neki kitartást a további munkájához.

Ahhoz, hogy a szakdolgozatom létrejöhessen köszönetemet kell kifejeznem Lóczy Dénes tanár úrnak, aki engedélyezte, hogy belső konzulensem a Fizika Intézet Környezetfizika és Lézerspektroszkópia Tanszékének egyik kiemelkedő tanára lehessen, és hogy szakdolgozatom témáját is más területről választhassam. Köszönet érte!

Végül, de nem utolsó sorban szeretném kifejezni megbecsülésemet, szívből jövő szeretetemet és köszönetemet mindazon családtagjaimnak, akik szeretetükkel és segítségükkel mindvégig támaszt nyújtottak TTK-s és az azt megelőző tanulmányaim során, és a szakdolgozatom elkészítésének teljes ideje alatt türelmet tanúsítottak irányomba, ill. igyekeztek nyugodt környezetet biztosítani gondolataim és a rendelkezésre álló tényanyag lehető legoptimálisabb feldolgozása reményében!

Köszönöm!

Tisztelettel:
Balogh Dóra

2011. május. 9.

ABSZTRAKT

Készítette: Balogh Dóra

Pécsi Tudományegyetem, Környezettudományi Intézet

2011. május

Konzulensek: Belső konzulens: Sánta Imre

Külső konzulens: Feil Ferenc

Kulcsszavak: radioaktivitás, kis és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladék, aktivitástartalom

A Paksi Atomerőmű Zrt. folyékony radioaktív hulladékaiban hasadványtermékek, aktivációs és korróziós termékek, urán és transzurán aktivitás-koncentrációk mérési adataiból a scaling-faktor módszer alkalmazásával számításokat végeztem. A számítások azt mutatják, hogy az atomerőmű technológiai ágaiban keletkező, és adott hulladékáramokra jellemző egyes végtermékekben (bepárlási maradékok, dekontamináló oldatok, egyéb folyékony radioaktív hulladékok), a hasadvány termékekre, aktivációs és korróziós termékekre, transzuránokra számolt scaling-faktor értékek általában egyezést mutatnak a mért értékekkel, de a transzurán-koncentráció meghatározására vonatkozóan a módszer nem ad egzakt analitikai információt. A scaling-faktor vizsgálatok rámutatnak arra, hogy az α és γ -spektrometria nem váltható ki matematikai modellszámítással.

Bepárlási maradékokkal (sűrítvények), dekontamináló oldattal és evaporátor savazó oldattal foglalkoztam a szakdolgozatom elkészítése során. Az előbbiekre további számítási feladatokat végeztem el, melynek lényege, hogy a lecsengetéses tárolás során, amikor a tartályokban lévő folyékony radioaktív hulladékokat állni hagyják figyelemmel kísérik a különböző izotópösszetételének és aktivitás tartalmának változását. Ezt a változást kellett nekem a meghosszabbított üzemidő végéig (2037-ig) előre jelezni a különböző tartályokra vonatkozóan.

TARTALOMJEGYZÉK

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	4
ABSZTRAKT	5
TARTALOMJEGYZÉK	6
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	7
ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	8
1. BEVEZETÉS	11
1.1. A Paksi Atomerőmű	11
1.2. Célkitűzés.....	12
1.3. Eszközök és módszerek	13
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	14
3.1. Radioaktivitás.....	14
3.1.1. Fogalmak, bomlási törvény, radioaktív bomlás típusai.....	14
3.1.2. Radioaktív bomlási sorok	16
3.2. Radioaktív hulladékokról	18
3.2.1. Radioaktív hulladék.....	18
3.2.2. Folyékony halmazállapotú radioaktív hulladék:	19
3.2.3. Folyékony radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei.....	19
3.3. A Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékok forrásai, összetétele, jellemzése, mennyisége	21
3.3.1. Folyékony radioaktív hulladékok forrásai, csoportosítása	21
3.3.2. Folyékony radioaktív hulladékok összetétele:	22
3.3.3. Folyékony radioaktív hulladékok jellemzése:	22
3.3.4. Folyékony radioaktív hulladékok izotóp összetétele:	23
3.3.5. Folyékony radioaktív hulladékok mennyisége:	24
3.3.6. Folyékony radioaktív hulladékok átmeneti tárolása:	27

3.3.7.	A folyékony radioaktív hulladékok minősítése:	28
3.3.8.	Gamma-spektrometria:	29
3.3.9.	A közvetlenül nehezen mérhető radionuklidok aktivitás-tartalmának becslése Scaling-faktor módszerrel, a scaling-faktorok meghatározása	31
3.3.10.	A fontosabb nuklidok és a kulcs izotópok.....	32
3.3.11.	A scaling-faktor számítás módszere.....	33
3.3.12.	Bátaapáti telephelyi aktivitás korlátai:	34
4.	EREDMÉNYEK ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE:	38
4.1.	Számítás a Radioaktív Hulladékkezelési Osztály adatbázisban	38
4.1.1.	A 2007-es, 2008-as, 2009-es izotóp és aktivitáskoncentrációk átlagának kiszámítása tartályonként a tisztára, az iszapra, és a teljes átlagra	38
4.1.2.	1 bizonyos tartályra össz-aktivitás számolás	52
4.1.3.	A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalma a keletkezés időpontjában	42
4.1.4.	A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalma a jelenlegi időpontra (2009)	47
4.1.5.	A jövőben keletkező hulladékok mennyisége	54
4.1.6.	A jövőben keletkező hulladékok izotóp és aktivitástartalmának meghatározása 55	
5.	ÖSSZEFOGLALÁS:	60
6.	IRODALOMJEGYZÉK.....	64
7.	MELLÉKLETEK:.....	66

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A Paksi Atomerőműben tárolt folyékony hulladékok mennyisége a 2009. december 31-i állapota szerint	25
2. táblázat: A fontosabb izotópok főbb nukleáris paraméterei	34
3. táblázat: A lerakható hulladék összaktivitás-készlete	36
1. táblázat: A tartályok töltési időszaka, és az első töltés időpontja (keletkezés éve)	42
5. táblázat: A scaling faktor számítás eredményei	44
A 02TW10B002-es tartály 2009. januári mintavétele	40
5. táblázat: A 02TW10B002-es tartály össz-aktivitása izotóponként	40
2. táblázat: Összesített a keletkezési időpontra hulladékáramok szerinti ábrához tartozó értékek.....	46
3. táblázat: Összesítés a jelenlegi időpontra:2009-es ábrához tartozó értékek.....	48
4. táblázat: 2009-re visszszámolt aktivitások című ábrához tartozó értékek.....	569
5. táblázat: Összes aktivitás 2009-re ábrához tartozó értékek	51
6. táblázat: A 02TW10B002-es tartály 2009. januári mintavétele	52
7. táblázat: A 02TW10B002-es tartály össz-aktivitása izotóponként	52
12. táblázat: A jövőben keletkező hulladékok mennyisége	54
8. táblázat: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra	55
9. táblázat: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra, 2es blokki sűrítmény	56
15. táblázat: Lecsengetés 2037ig a dekontamináló oldatra, 2es blokk	57
16. táblázat: Lecsengetés 2037ig az evaporátor savazó oldatra	58
17. táblázat: A sűrítmény rétegminták aktivitáskoncentrációi	66
18. táblázat: A sűrítményekből 2008. januárban vett rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitáskoncentrációi	68
19. táblázat: A sűrítmény rétegminták aktivitáskoncentrációi	68
20. táblázat: A sűrítmény rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitáskoncentrációi	69
21. táblázat: A sűrítmény rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitáskoncentrációi	690

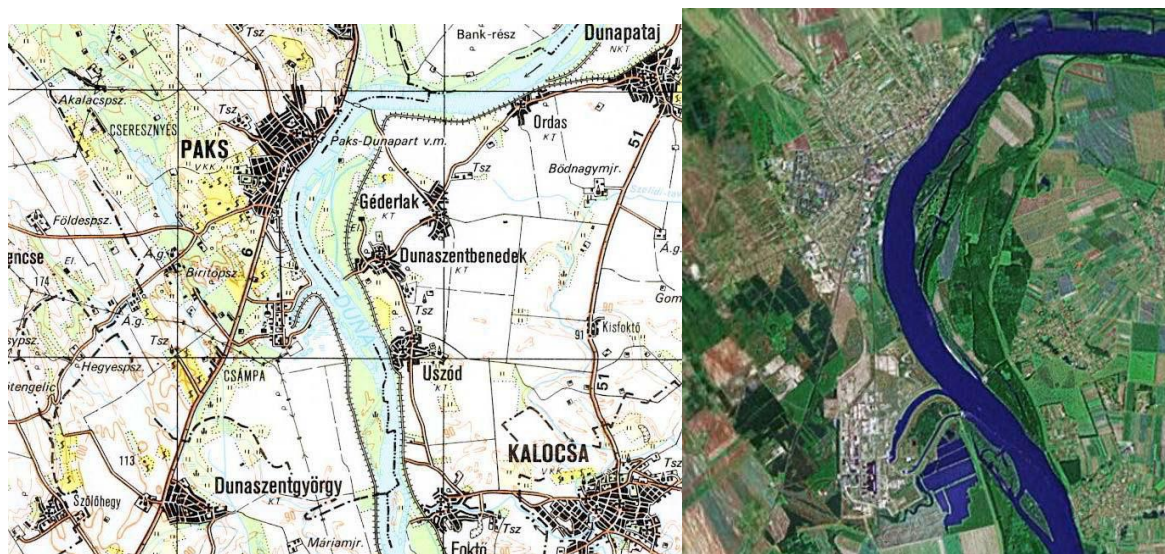
ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: Az atomerőmű telephelyének elhelyezkedése (térképen és űrfotón)	69
2. ábra: A Paksi Atomerőmű	11
3. ábra: A ^{238}U és ^{235}U bomlási sorának időbeli lefutása	17
4. ábra: A folyékony hulladék-tároló tartályok töltöttsége a 2009. december 31-i állapot szerint	26
5. ábra: A bepárlási maradékok képződésének éves alakulása	26
6. ábra: Bepárlási maradékok éves és göngyöltett mennyiségei 2009-ig	27
7. ábra: A 01TW30B001-es tartály tisztájának mintavételei 2007-es, 2008-es, 2009-es évből	39
8. ábra: A 01TW30B001-es tartály iszapjának mintavételei 2007-es, 2008-as, 2009-es évből	39
9. ábra: A 02TW10B002-es tartály átlagos izotóp és aktivitástartalma a 2007-es, a 2008-as, a 2009-es évre, és a 3 év teljes-átlaga	40
10. ábra: A 02TW10B002-es tartály 2009. januári mintavétele	53
11. ábra: A 02TW10B002-es tartály össz-aktivitása	53
12. ábra: Scaling-faktor eredmények tartályonként tisztára és iszapra	45
13. ábra: Az átlagos aktivitástartalom a keletkezés időpontjában tartályonként	45
14. ábra: Összesítés a keletkezési időpontra hulladékáramok szerint	46
15. ábra: Összesítés a jelenlegi időpontra: 2009 az aktivitástartalom és az izotópok függvényében a különböző hulladékáramok szerint	49
16. ábra: 2009-re visszszámolt aktivitás a különböző hulladékáramok szerint	50
1. ábra: Összes aktivitás 2009-re	51
18. ábra: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra	56
19. ábra: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra, 2es blokki sűrítmény	57
20. ábra: Lecsengetés 2037ig a dekontamináló oldatra, 2es blokk	58
21. ábra: Lecsengetés 2037ig az evaporátor savazó oldatra	59

1. BEVEZETÉS

1.1. A Paksi Atomerőmű

A telephely kiválasztásához számos környezetvédelmi szempontot vizsgáltak, többek között az országon belüli elhelyezkedést, a népsűrűséget, a földtani viszonyokat, a közlekedési és hűtővíz-ellátási lehetőségeket. A négy számításba vett helyszín (Bogyiszló, Dusnok, Paks és Solt) közül az atomerőmű végül az ország középső részén Paks közigazgatási területén, a településtől dél-délkeletre, a Duna jobb partján létesült, Budapesttől mintegy 110 kilométerre délre, a Mezőföldön.[1]



2. ábra: Az atomerőmű telephelyének elhelyezkedése (térképen és űrfotón)



3. ábra: A Paksi atomerőmű

Napjainkban a világon megtermelt elektromos energia mintegy 17 %-át atomerőművekben állítják elő. Magyarország energiahordozókban szegény ország, ezért, mint energiaforrás a nukleáris energia alkalmazása meghatározó jelentőségű az energiaigény biztosításának érdekében. Magyarországon jelenleg 4db VVER-440 típusú atomreaktor üzemel, villamos teljesítményük egyenként 440MW. A paksi atomerőmű blokkjai az ország villamosenergia-igényének 40%-át állítják elő.

A nukleáris alapon történő villamos energiatermelés elkerülhetetlen melléktermékei a radioaktív hulladékok, amelyek a tervezett nukleáris tevékenység során keletkeznek, de további felhasználásukra már nincs igény, ugyanakkor a bennük levő radioizotópok koncentrációja meghaladja a környezetbe történő, és biztonságosnak tekintett kibocsátás, vagy elhelyezés határértékeit.

A radioaktív hulladékok kezeléséről, átmeneti és végleges tárolásáról úgy kell gondoskodni, hogy ezek az anyagok a környezettől oly mértékben legyenek elszigetelve, hogy azok sem most, sem a jövőben ne jelentsenek elfogadhatatlan mértékű kockázatot az emberre és a természeti környezetre. Ennek megvalósítása érdekében az elhelyezésre, vagy környezetbe történő kibocsátásra szánt hulladékokat szigorú minősítésnek vetik alá.

A hulladéktárolás, végleges elhelyezés egyik fontos eleme a telephelyen elhelyezhető maximális aktivitáskészlet, ezért ismerni kell a tárolt hulladék izotóp-összetételét, és az egyes nuklidok aktivitáskoncentrációját. A meghatározás alapfeltétele a megbízható, kellő érzékenységű és jó reprodukálhatóságot biztosító analitikai és mérési módszerek alkalmazása.

1.2. Célkitűzés

A szakdolgozatban összefoglalom, hogy jelenleg milyen típusú folyékony radioaktív hulladékokat tárolnak az atomerőmű segédépületében. Áttekintem a scaling-faktor módszer alapjait, a scaling-faktorok meghatározásának módját. A jelenleg rendelkezésre álló összes adat alapján elvégeztem a számításokat.

Ismertetem a kis és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékok keletkező izotópok izotópösszetételét és aktivitástartalmának eredményeit. 15 db folyékony radioaktív hulladékot tartalmazó tartállyal dolgoztam, amelyekből vett minták minősített eredményeit kaptam meg feldolgozásra azért, hogy azokból meghatározzam a ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{90}Sr , $^{93\text{m}}\text{Nb}$, ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm izotópok aktivitáskoncentrációját, illetve azok várha-

tó alakulását az üzemidő végéig figyelembe véve a meglévő és a várhatóan keletkező hulladékmennyiségeket is.

A 2007-es, 2008-s, 2009-es adatokból, melyeket a Paksi Atomerőmű Zrt. biztosított számomra scaling-faktor számítást végeztem.

Bepárlási maradékokkal (sűrítmények), dekontamináló oldattal, evaporátor savazó oldattal foglalkoztam a szakdolgozatom elkészítése során. Az előbb felsoroltakra további számítási feladatokat végeztem el, melynek lényege a lecsengetései eljárás során a különböző hulladékok izotóp összetételének és mennyiségének, ill. azok időbeli változásának meghatározása tartályonként. Ezt a feladatot kellett a meghosszabbított üzemidő végéig (2037-ig) levezetnem a különböző kis- és közepes aktivitású folyékony hulladékokra.

1.3. Eszközök és módszerek

Az elvégzendő feladatom, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján a tartályparkban található bizonyos tartályokban lévő kis- és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékokra vonatkozóan a scaling- faktorok felhasználásával kiszámítani ezen folyékony radioaktív hulladékok nehezen mérhető komponenseinek mennyiségét.

A feladatot a nagy számú adat és a nagy számolási igény miatt a MS Excel program segítségével végeztem el.

Az Excel napjaink egyik legelterjedtebb táblázatkezelő programja. Segítségével könnyedén végezhetjük a napi munka során a felmerülő számítási feladatok jelentős részét. Egyszerű utasításokkal készíthetünk adatnyilvántartásokat, kimutatásokat, és ezekből diagramokat szerkeszthetünk.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Radioaktivitás

3.1.1. Fogalmak, bomlási törvény, radioaktív bomlás típusai

A radioaktivitás az elemek adott izotópjainak azon tulajdonága, hogy spontán módon - külső hatás nélkül – egy vagy több tulajdonságuk az idő függvényében változik, energiát sugároznak ki. [2]

Radioaktivitásnak az időegységre eső magbomlások számát nevezzük, egy adott radioaktív izotóp bomlási sebességének – radioaktivitásának (A) – mértékét az időegység alatt elbomló magok száma:

$$A = -dN/dt$$

ahol N az aktív magok száma a t időpontban.[2]

Az aktivitás mértékegysége a Becquerel, jele Bq. A Becquerel olyan radioaktív sugárforrás aktivitása, melyben 1 másodperc alatt 1 bomlás következik be. $1\text{Bq}=1\text{s}^{-1}$.

Egy anyag térfogati aktivitásán az egységnyi térfogatú anyag aktivitását (Bq/dm^3) értjük, fajlagos aktivitásán pedig a minta tömegegységének aktivitását (Bq/kg).[2]

A radioaktivitás arányos a radioaktív magok mindenkori számával:

$$A = -dN/dt = \lambda N$$

ahol λ a bomlási állandó, a magok egységnyi idő alatt bekövetkező elbomlásának valószínűsége. Értékét külső behatás, pl. nyomás, hőmérséklet, a radioaktív izotóp kémiai környezete nem befolyásolja, és független attól, hogy a mérés kezdetéig már mennyi idő telt el. A dt idő alatt az elbomlás valószínűsége λdt , s így az N atommagból

$$dN = -\lambda N dt$$

bomlik el dt idő alatt. A negatív jel arra utal, hogy a radioaktív magok N száma a bomlás következtében csökken. Ha a $t=0$ időpontban a meglévő magok száma N_0 , akkor integrálásával:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

$$A = \lambda N = N_0 \lambda \exp(-\lambda t) = A_0 \exp(-\lambda t)$$

Ez a bomlási törvény jellegzetesen statisztikus, tehát valószínűségi törvény.[2]

A bomlási állandó reciproka az ún. közepes (átlagos) élettartam. Ez az az idő, melynek elteltével a kiindulási állapot radioaktivitása az e -ad részére csökken. Az egyes magok

tényleges élettartama 0 és ∞ közötti érték lehet, nagyszámú atommag átlagos élettartama azonban jól definiált érték. Ha a $t=0$ időpontban a N_0 a részecskeszám, akkor t idő múlva $N=N_0\exp(-\lambda t)$ marad elbomlatlanul, azaz N számú mag élettartama hosszabb a t időtartamnál. Ezek közül azon magok élettartama, melyek t és $t+dt$ között elbomlanak: t . Ezen t élettartamú magok száma:

$$N\lambda dt = N_0\lambda \exp(-\lambda t) dt.$$

A bomlás valószínűségét sokszor az ún. felezési idővel ($T_{1/2}$) jellemezzük. Ez az az időtartam, mely alatt a bomló magok száma a kezdeti érték felére csökken. Az összefüggés λ és $T_{1/2}$ között:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,6931 / \lambda$$

A radioaktív bomlás a magok spontán (energia felszabadulással járó) átalakulása, melynek eredményeként növekszik a mag stabilitása. [2]

A radioaktív bomlásnak 6 fajtája van:

1, Az α -bomlásra jellemző, hogy a nuklid α -részecske kibocsátásával bomlik el, pl:

Az α -bomlás termékeként keletkező mag csaknem mindig gerjesztett, ezért az α -bomlást γ -átmenetek kísérik. [2]

Kb. 200 az ismert α -sugárzó nuklidok száma, többségük a $Z > 82$ rendszámoknál található. A hosszú élettartamú α -sugárzók között fontos megemlíteni a ^{235}U , ^{238}U izotópokat, amelyek a természetes bomlási sorok első elemei.

2, β^- bomlás során a mag 1 β^- részecskét (elektront) emittál (bocsát ki).

A β^- bomlás a legközönségesebb fajtája a radioaktivitásnak, hatására a magot alkotó neutronok egyike protonná alakul. Ezt a fajta bomlást a neutron túlsúllyal rendelkező magok mutatják.

3, β^+ bomláskor a mag 1 β^+ részecskét (pozitront) emittál.

4, Az elektronbefogadás során a mag befog 1 elektront az elektronehéjról.

5, Izomer átalakulásnak nevezzük azt a folyamatot, melyben a mag gerjesztett állapota sugárzás közben szűnik meg.

6, Spontán maghasadás, melyben a mag kettő, közepes tömegű részre hasad (hasadási termékre), s közben pár neutron is szabaddá válik. Számos mag spontán maghasadásra képes (pl.: ^{235}U). [2]

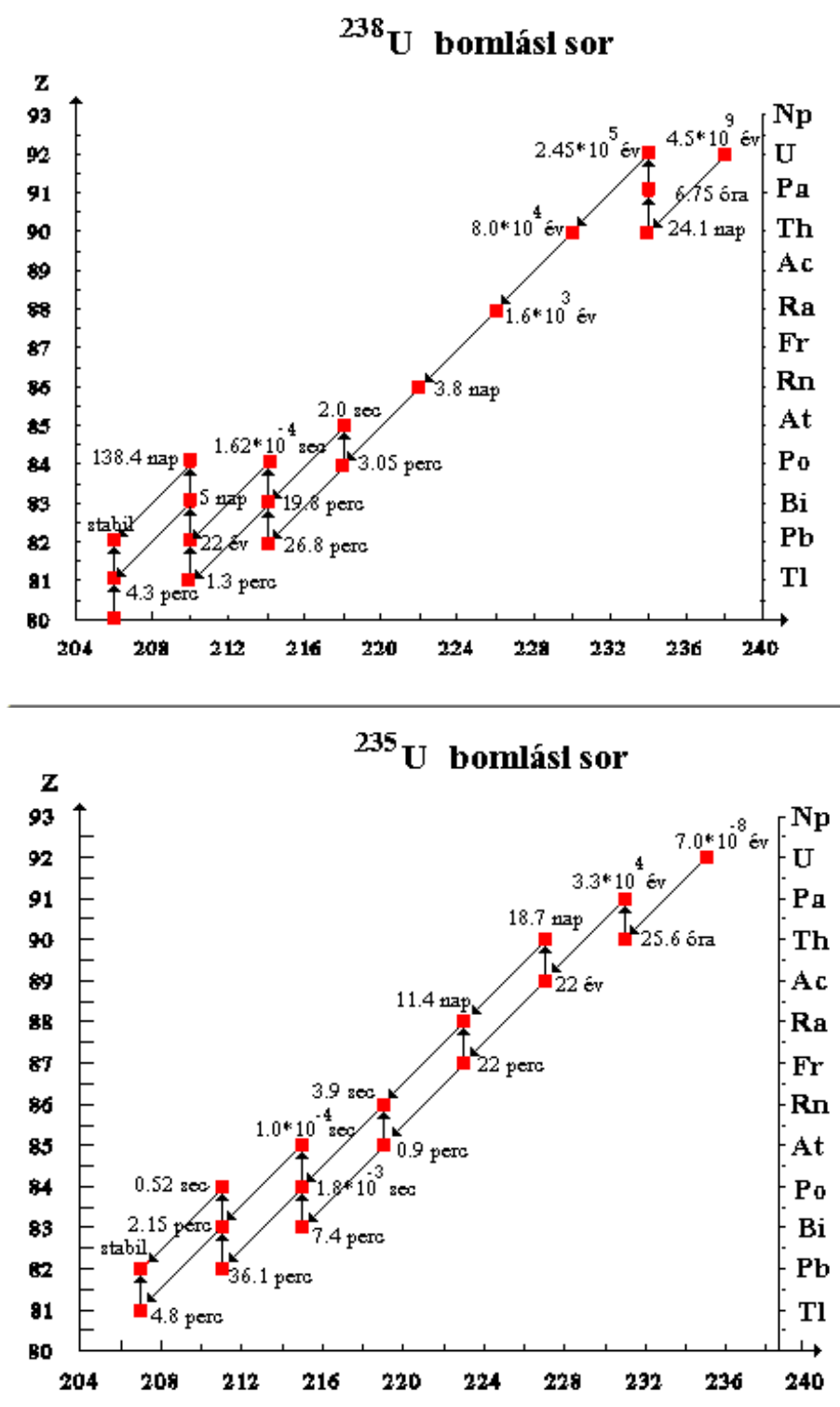
3.1.2. Radioaktív bomlási sorok

A természetben előforduló radioaktív nehézatommagok bomlási sorokba rendezhetők, melyeknek névadója a kezdő őselem (vagy a végső stabil elem). A radioaktív bomlás során a töltés és a nukleonszám nem változhat meg. Az α -bomlásnál az α -rész 2 pozitív töltést és 4 nukleont visz el a magból, ha a szülő nuklid rendszáma Z , tömegszáma A volt, akkor a leányelem rendszáma $Z-2$, tömegszáma pedig $A-4$ lesz. β^- -bomlásnál Z változik $Z+1$ -re, az A változatlan marad. A primer magátalakulást szekunder átalakulás követi (az α - vagy β -bomlást sokszor γ -sugárzás kíséri).

Mintegy 200 olyan nuklidot ismerünk, ahol a gerjesztett állapot élettartama annyira hosszú, hogy ezek az izotópok radiokémiai szempontból is fontosak.[2]

Az urán és a tórium α -bomlása során a tömegszám négygyel csökken, pl. az ^{238}U magból előállható tömegszámok 234, 230, 226, 222 stb. lehetnek négyesével lefelé haladva. Ebből a négy családból csak azok a sorok maradtak meg, amelyeknél a felezési idő összemérhető Földünk életkorával – ez az ^{238}U , az ^{235}U és a ^{232}Th „anyaelem”. A negyedik család anyaeleme a ^{237}Np -nek a felezési ideje 2,14 m év, így ez már lebomlott a Föld története során.

„Ha a bomlási sorokban az egyes elemek aktivitása megegyezik, akkor azt szekuláris egyensúlynak nevezzük. Így bármelyik leányelem aktivitását megmérve megkaphatjuk az anyaelem aktivitását. Az aktivitás és az anyaelem bomlásállandójának ismeretében egyszerű osztással meghatározhatjuk az anyaelem bomlásra kész atommagjainak számát.” [3]



4. ábra: A ^{238}U és ^{235}U bomlási sorának időbeli lefutása

3.2. Radioaktív hulladékokról

Minden emberi tevékenység során, így az izotópok felhasználásakor is hulladékok keletkeznek. Ezek a hulladékok rendszerint radioaktív izotópokat is tartalmaznak, amelyek radioaktivitása idővel csökken. A bomlások közben ezek az anyagok különféle ionizáló sugárzást bocsátanak ki.

3.2.1. Radioaktív hulladék

Radioaktív hulladéknak azokat a radioaktivitást tartalmazó anyagokat tekintjük, amelyek valamilyen tervezett nukleáris vagy izotóp alkalmazási tevékenység során keletkeznek, de további felhasználásra már nem alkalmasak, ill. amelyek felhasználójának, birtokosának nincs szándékában azokat a távolabbi jövőben sem újrahasznosítani, ugyanakkora a benne lévő radioizotópok koncentrációja meghaladja a környezetbe történő, és biztonságosnak tekintett kibocsátás, vagy kihelyezés (deponálás) határértékeit. „Magyarországon az 1996-ban elfogadott CXVI. törvény, a "második atomtörvény" szerint a radioaktív hulladékok végleges elhelyezéséről való gondoskodás állami feladat, melynek költségeit a radioaktív hulladék keletkezését előidéző létesítménynek kell viselnie.”[4]

A radioaktív hulladékokat igen sokféle kategóriába, csoportba sorolják. A magyarországi szabályzás alapja a 14344. számú 2004-ben módosított szabvány, , a 47/2003 számú ESZCSM rendelet, és a már említett atomtörvény végrehajtási utasításai között kiadott 23/1997. számú népjóléti miniszteri rendelet. A szabvány, illetve a rendeletek az osztályozás alábbi szempontjait említik meg:

- halmazállapot szerint: szilárd, biológiai eredetű, folyékony és nem tűzveszélyes, folyékony és tűzveszélyes, valamint légnemű radioaktív hulladékok;
- hőfejlődés szerint: kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak minősül az a hulladék, amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható, míg nagy aktivitású az a hulladék, melynek hőtermelését figyelembe kell venni;
- aktivitáskoncentráció szerint: kis-, közepes- és nagy aktivitású radioaktív hulladékok;
- a hulladékban jelenlévő radionuklidok felezési ideje szerint: rövid, közepes és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok.[4]

A radioaktív hulladékok további csoportosítása:

- eredet (hasadvány, korróziós termék, transzurán elem),
- egyéb fizikai jellemzők (méret, tömeg, összenyomhatóság stb.),
- kémiai jellemzők (éghetőség, gázképződés, szerves anyag tartalom stb.),
- biológiai jellemzők (toxicitás stb.).

A radioaktív hulladékok osztályozása az MSZ 14344/1-2204 szabvány szerint történik. A hulladékok osztályba sorolását e szabvány szerint az alábbi táblázat tartalmazza:[5]

Osztály	Aktivitáskoncentráció (kBq/kg)
Kis aktivitású	$< 5 \times 10^4$
Közepes aktivitású	$5 \times 10^4 - 5 \times 10^8$
Nagy aktivitású	$> 5 \times 10^8$

3.2.2. Folyékony halmazállapotú radioaktív hulladék:

„Az atomerőmű ellenőrzött zónájában különböző forrásokból radioaktív izotópokat tartalmazó vegyszeres hulladékvizek keletkeznek. Ezekben a kis szárazanyag tartalmú (3-5 g/dm³) vizes oldatokban mindazok az oldott vegyszerek megtalálhatók, amelyeket a primerkör vízüzeméhez, a víztisztítók regenerálására, a reaktorteljesítmény finomszabályozására, és dekontaminálási célokra használnak fel.” [7]

3.2.3. Folyékony radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei

A radioaktív hulladékok kezelése (angol kifejezéssel: management) igen széles fogalmkörre fog át. A radioaktív hulladékok kezelési módjának kiválasztásakor figyelembe kell venni az alábbi jellemzőket: hőtermelés, sugárzási szint (árnyékolási igény), kritikussági veszély, inhalációs veszély, radiotoxicitás és a hosszú életű radioizotópok mobilitása.[8]

A radioaktív hulladékok kezelésének csak egy része a hulladékok feldolgozása (processing). A teljes folyamat: a hulladékok összegyűjtése, előzetes minősítése és ideiglenes tárolása, a hulladékok szállítása, a hulladékfeldolgozás, melynek részlépései a halmazállapottól és a hulladékok osztályától függenek, a feldolgozott hulladék elszállítása és átmeneti tárolása, a hulladék végleges elhelyezése.[5]

Folyékony halmazállapotú, kis és közepes aktivitású hulladékok esetén az elhelyezési költségek csökkentését célzó térfogatcsökkentésre igen sok lehetőség van: alkalmazható az oldatok bepárlása, égetése, a radioaktív komponensek lecsapása, szűrése, extrakciója (vegyi kivonása), ioncseréje is. A kondicionálás többnyire cementbe, bitumenbe vagy polimerbe ágyazást, ill. vékony falú acél vagy vastag falú betonkonténerbe helyezést jelent. A hulladékcsomagok térfogata csökkenthető a kötőanyag (mártix) elhagyásával, a folyékony hulladék kiszáritásával, majd ezt követően a hamu tömörítésével. [5]

Valamennyi eljárás közös jellemzője, hogy a keletkező radioaktív anyag kisebb térfogatú és nyilvánvalóan nagyobb aktivitáskoncentrációjú lesz, mint a kiindulási oldat, és az "inaktív" anyagáram meg kell, hogy feleljen a mentességi kritériumoknak, a szelektív elválasztás, valamint a környezetre fokozottan veszélyes izotópok kivonására törekvés. [5]

A Földön keletkező radioaktív hulladék térfogatának 99 %-a kis és közepes aktivitású, ezek végleges elhelyezése igen jelentős és költséges feladat. A tárolók két típusa ismeretes: a felszín közeli (legfeljebb 15-30 m mélységű) és a felszín alatti (mélységi, geológiai, legalább 300 m mélységű) hulladéktárolók.

Magyarország jelenleg egyetlen üzemelő radioaktív hulladéktárolója Püspökszilágyon (5000 m³) egy felszín közeli tároló. A paksi atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékainak elhelyezésére tervezett tároló felszín alatti lesz. Ez a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló Létesítmény a Tolna megyei Bábaapáti térségében (Üveghuta) épül és 2008. decembere óta - felszíni létesítményében - fogadja a hulladékos hordókat. A felszín alatti végleges tároló építése jelenleg is folyik. [14]

3.3. A Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékok forrásai, összetétele, jellemzése, mennyisége

3.3.1. Folyékony radioaktív hulladékok forrásai, csoportosítása

Az atomerőmű üzemeltetése során keletkező folyékony radioaktív hulladékok forrásai az alábbiak:

- Primerkörü szervezetlen szivárgások, leürítések és légtelenítések bórsavas hulladécai.
- Helyiség dekontaminálások folyékony hulladécai és egyéb padlóvizek.
- Primerkörü víztisztítók regenerálási hulladécai és lazító vizei.
- Elszennyeződött technológiai bórsavoldatok.
- Primerkörü víztisztítók elhasznált ioncserélő gyantái.
- Berendezés (pl. gőzfejlesztő) dekontaminálások vegyszeres hulladécai.
- Evaporátor savazó oldatok.
- Primerkörü laboratóriumi és mosodai hulladékok, szennyezett zuhanyvizek.
- Szennyezett szerves oldószerek (mosóbenzin, alkohol, petróleum) és olajok. [5]

A folyékony radioaktív hulladékokat csoportosítani lehet aktivitás tartalmuk és vegyi anyag tartalmuk szerint. Ez alapján megkülönböztethető:

- nagy tisztaságú hulladék, amelyet a berendezések ürítésekor keletkező hulladék, a reaktor hűtőközeg, bepárlási kondenzátum stb. alkot,
- alacsony tisztaságú hulladék, amely a padlóvizekből, a szervezetlen szivárgásokból stb. adódik,
- vegyszeres hulladék, amelybe a dekontaminálás folyékony hulladécai, a regenerátumok, a bórsavoldatok stb. tartoznak,
- detergens tartalmú hulladék, amely a mosodai vizekből, zuhanyvizekből stb. keletkezik,
- a szekunderkör elszennyeződéséből eredő hulladék, amely a gőzfejlesztő leiszapolásából, a szennyezett kondenzátum tisztító regenerátumaiból stb. származik,
- különleges hulladék, amelyhez a laborvizeket soroljuk. [5]

3.3.2. Folyékony radioaktív hulladékok összetétele:

A folyékony radioaktív hulladékok fő típusai:

- bepárlási maradékok (sűrítmények),
- evaporátor savazó oldat,
- elhasznált primerkörü ioncserélő gyanták,
- dekontamináló oldatok,
- aktív iszapok,
- aktív oldószerkeverékek,
- elszennyeződött technológiai bórsavoldatok. [5]

A hulladékáramok rövid leírása:

- Sűrítmény: kb. 350-400 g/dm³ összes só-tartalmú bepárlási maradék.
- Iszap: a sűrítmény tároló tartályok aljáról származó üledék.
- Gyanta: elhasznált ioncserélő gyanták.
- Evaporátor savazó oldat: a 3. sz. víztisztító bepárlóinak tisztítására használt old

3.3.3. Folyékony radioaktív hulladékok jellemzése:

Bepárlási maradékok (sűrítmények)

Az atomerőmű ellenőrzött zónájában különböző forrásokból, radioaktív izotópokat tartalmazó vegyszeres hulladékvizek keletkeznek, melyek szelektív gyűjtésére nincs lehetőség. Ezekben a kis szárazanyag tartalmú (3-5 g/dm³) oldatokban a primerkör vízüzeméhez, dekontaminálási (mentesítési) célokra, a víztisztítók regenerálására, és a reaktorteljesítmény finomszabályozására használt oldott vegyszerek találhatóak meg. Az összegyűjtött hulladékvizek vegyszeres ("metaborátos") kezelés után a 3. sz. víztisztítón bepárlásra kerülnek kb. 200 g/dm³ bórsav koncentrációjú sűrítménnyé.[10]

A sűrítményekre a bepárlás miatt a magas sótartalom a jellemző (kb. 300-400 g/l összes sótartalom), a bórsav koncentráció 150-200 g/l érték körül van.

A sűrítmények pH-ja jellemzően 12-13 között van. Ez a pH tartomány teszi lehetővé a nátrium-metaborát oldott állapotban tartását. A pH 11 alá csökkentése a borátok kikristályosodásával jár együtt. Ezen alapul a bórsav visszanyerés technológiája. A sűrítmények még korróziós termékeket, dekontamináló vegyszerek maradványait, regenerálásból szár-

mazó vegyszerek maradványait és bizonyos mértékben szerves anyagokat is tartalmaznak.
[5]

Evaporátor savazó oldatok

A 3. sz. víztisztító bepárlóinak tisztítására használt oldat.

Az evaporátor savazó oldatok pH-ja 1-2 körül van. Nitrátokat tartalmaznak. Bórsav tartalmuk minimális, az összes só tartalmuk mintegy 100-200 g/l. Jelentős mennyiségű iszapot tartalmaznak, amely a bepárló felületéről leoldott lerakódásokból származik.[5]

Dekontamináló oldatok

Feldolgozásuk a csurgalékvizekkel együtt történik.

A dekontamináló oldatok citromsavat, oxálsavat, lúgot és kálium-permanganátot tartalmaznak, kisebb mennyiségben szulfátok és foszfátok is előfordulnak bennük, és ezen kívül nagyon kis mennyiségben tartalmazhatnak egyéb komplexképzőket és felületaktív anyagokat is.[5]

3.3.4. Folyékony radioaktív hulladékok izotóp összetétele:

A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékaiban található - a hulladéktárolás biztonsága szempontjából - "kritikus" radioizotópok egyrészt hasadási termékek mint pl. ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{134}Cs , ^{137}Cs és ^{129}I , másrészt aktivációs termékek úm. ^3H , ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{94}Nb . Ezen kívül található még - bár igen kis koncentrációban - transzurán izotópok is (^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm , $^{234,235,238}\text{U}$ és $^{238,239,240}\text{Pu}$ izotópok). Az izotópösszetétel szempontjából a hulladékáramok természetesen nem homogének, hiszen számos, különböző felezési idejű radioizotóp keverékéből állnak. További izotópok: ^{58}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{63}Ni , $^{93\text{m}}\text{Nb}$.

3.3.5. Folyékony radioaktív hulladékok mennyisége:

Bepárlási maradékok

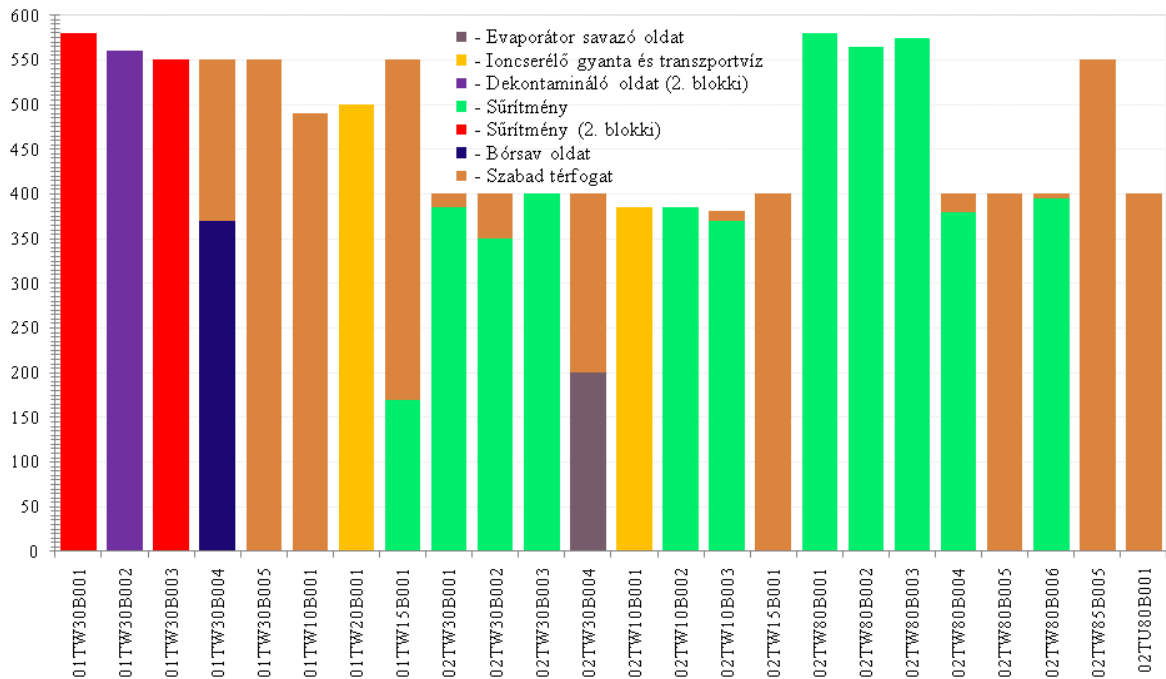
2008-ban 255 m³ bepárlási maradék keletkezett: 180 m³ az I., míg 75 m³ a II. kiépítésen. 2008. december 31-i állapot szerint 5601 m³ bepárlási maradék található a segédépületi tárolótartályokban, amelyből 1155 m³ alfa-sugárzókkal szennyezett. 2009-ben 250 m³ bepárlási maradék keletkezett: 145 m³ az I., míg 105 m³ a II. kiépítésen. A 2009. december 31-i állapot szerint 5685 m³ bepárlási maradék található a segédépületi tárolótartályokban, amelyből 1300 m³ alfa-sugárzókkal szennyezett. [6, 10]

Evaporátor savazó oldat

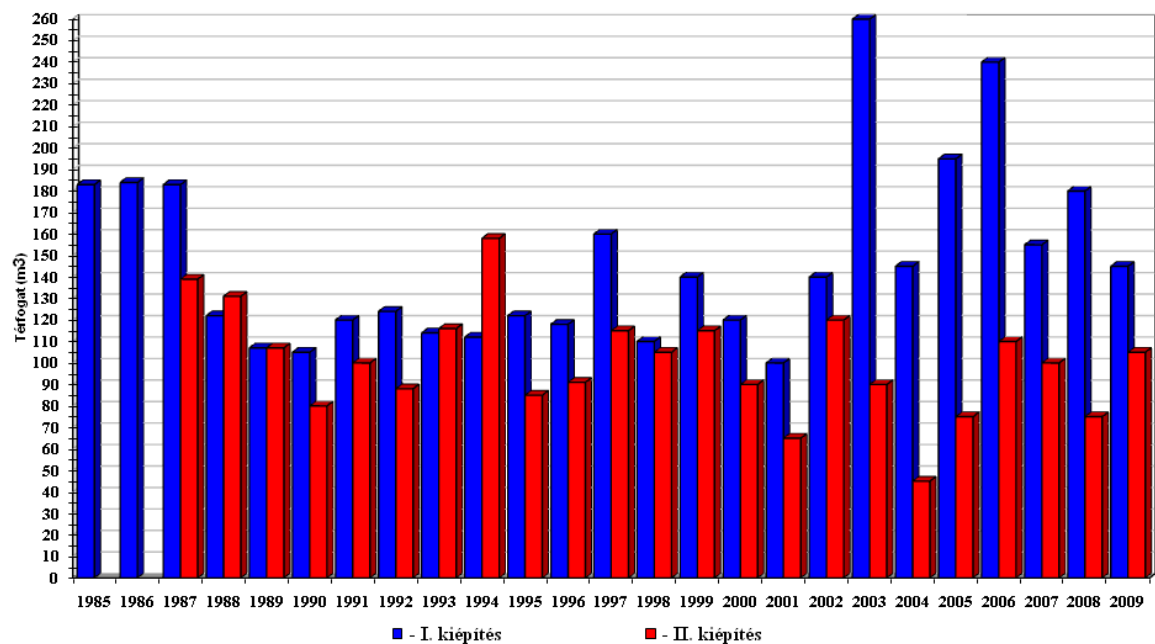
2008-ban nem keletkezett ilyen hulladék, így a 2008. december 31-i állapot szerint a tartályban 260 m³ evaporátor savazó oldat van. 2009-ben sem keletkezett ilyen hulladék, így a 2009. december 31-i állapot szerint a tartályban 200 m³ evaporátor savazó oldat van. 2009. év végén a tartályszintek lézeres távolságmérővel ellenőrzésre kerültek. A mérések alapján számolt hulladéktérfogatok a korábbi évekhez képest kisebb értékeket - evaporátor savazó oldat esetén 60 m³ – eredményeztek. [6, 10]

Alfanumerika	Tartálykapacitás (m3)	Tervezett tárolási funkció	Tárolt közeg megnevezése	Mennyiség (m3)	Töltöttség (%)
01TW15B001	550	üzemzavar-tartály	sűrítmény	170	31
01TW30B001	550	sűrítmény	sűrítmény (2. blokki)	550	100
01TW30B002	550	sűrítmény	dekontamináló oldat	560	100
01TW30B003	550	sűrítmény	sűrítmény(2. blokki)	580	100
02TW10B002	381	gyanta	sűrítmény	385	100
02TW10B003	381	gyanta	sűrítmény	370	97
02TW30B001	381	sűrítmény	sűrítmény	385	100
02TW30B002	381	sűrítmény	sűrítmény	350	92
02TW30B003	381	sűrítmény	sűrítmény	400	100
02TW30B004	381	sűrítmény	evaporátor savazó oldat	200	52
02TW80B001	550	sűrítmény	sűrítmény	580	100
02TW80B002	550	sűrítmény	sűrítmény	565	100
02TW80B003	550	sűrítmény	sűrítmény	575	100
02TW80B004	400	sűrítmény	sűrítmény	380	95
02TW80B006	400	sűrítmény	sűrítmény	395	99

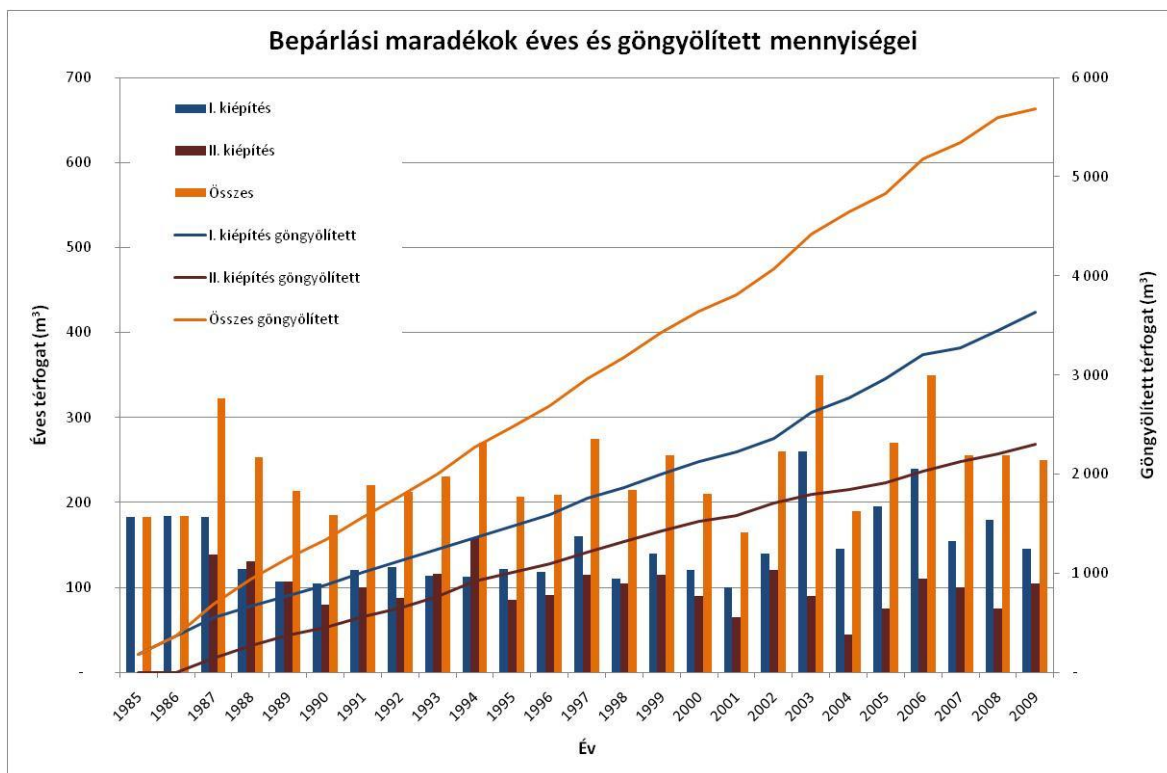
10. táblázat: A Paksi Atomerőműben tárolt folyékony hulladékok mennyisége a 2009. december 31.-i állapota szerint



5. ábra: A folyékony hulladék-tároló tartályok töltöttsége a 2009. december 31.-i állapot szerint [10]



6. ábra: A bejárási maradékok képződésének éves alakulása [10]



7. ábra: Bepárlási maradékok éves és göngyöltett mennyiségei 2009-ig

3.3.6. Folyékony radioaktív hulladékok átmeneti tárolása:

A folyékony radioaktív hulladékok gyűjtésére és átmeneti tárolására kiépítésenként egy-egy rendszer létesült az 1. sz. (1-2 blokk) és a 2. sz. (3-4 blokk) segédépületben. A folyékony radioaktív hulladékok feldolgozás előtti átmeneti tárolása megoldott az atomerőmű segédépületeiben található TW 30 jelű rozsdamentes tartályokban.

Az üzemzavari primerkörüri ürítések fogadására kiépítésenként egy-egy tartály (0*TW15B001) szolgál. Ezeknek tisztán és üresen kell állniuk, hogy funkciójukat bármikor el tudják látni.

Az átmeneti tárolás célja alapvetően a rövid felezési idejű radionuklidok lecsengetéses eliminálása, illetve az oldhatatlan részek ülepedése.[5]

Az átmeneti tárolás célja a hulladékok ellenőrzött, ideiglenes tárolása a végleges elhelyezést megelőzően. Kondicionálatlan - azaz nem a végleges elhelyezés követelményének megfelelő formájú - hulladékok esetében az átmeneti tárolás a következő előnyöket nyújthatja:

- Abban az esetben, ha a hulladék radioaktív komponenseinek felezési ideje kellően rövid, akkor az ún. „lecsengetéses” tárolás módját adhat arra, hogy a hatóság által a

radioaktív hulladékká nyilvánítás alsó határértékét el nem érő koncentrációjú hulladékokat közönséges (inaktív) hulladékként kezelhessék.

- Hosszú életű (a felezési idő 30 évnél hosszabb) radioizotópokat tartalmazó hulladékok esetében az átmeneti tárolással a későbbi kezelhetőséget teszik egyszerűbbé és biztonságosabbá, mivel a tárolási idő alatt jelentősen csökken az aktivitás.

Bepárlási maradékok

Az 1. sz. segédépületben 2008. október 1-től a 01TW15B001 tartály a fogadó tartály. A II. kiépítésen keletkező sűrítményeket a 02TW30B001 tartály fogadja. A 2. sz. segédépület tartályai közül a 02TW30B001, -B002, -B003, a 02TW10B002, -B003 tartályokban található bepárlási maradék. A 2. sz. segédépületi tartálypark bővítés tartályai közül a 02TW80B001, -B002, -B003, -B004 és -B006 tartályokban található sűrítmény. [10]

Evaporátor savazó oldat:

Az evaporátor savazó oldatok tárolása a 2. sz. segédépület 02TW30B004 tartályában történik.

3.3.7. A folyékony radioaktív hulladékok minősítése:

A radioaktív hulladékok feldolgozásával szemben támasztott kritériumok egyik fontos eleme a végleges tárolóban elhelyezhető maximális aktivitáskészlet. Ahhoz, hogy a tárolóra megadott hatósági korlátok betarthatók legyenek, ismerni kell a hulladék izotópösszetételét és aktivitáskoncentrációját. Ezért 1992-ben elkezdődött az aktivitáskészlet meghatározására szolgáló program. A program alapján legfőképpen a bepárlási maradékokat tartalmazó tartályokból évente legalább egyszer történik mintavétel, melyeknek kémiai és radiokémiai összetétele kerül meghatározásra. A γ -spektrometriai méréseket és a kémiai összetétel meghatározását az atomerőmű radiokémiai laborjai, míg a nehezen mérhető izotópok vizsgálatát külső intézetek (BME, illetve MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen) végzik. [5]

3.3.8. Gamma-spektrometria:

Az α bomló, és a lágy β -sugárzó izotópok mennyiségének meghatározása két úton lehetséges: laboratóriumi, roncsolásos mérések elvégzése, illetve valamilyen elven történő számítása. A közvetlen mérési módszer kivitelezéséhez reprezentatív minták kellene. Az összegyűjtött hulladékokból kell egy jól kiválasztott módszer szerint reprezentatív mintagyűjtést végezni. Ez utóbbi módszer előnye, hogy az aktivitáskoncentrációk közvetlen meghatározásával nem csak számított értékek álnak rendelkezésünkre, hanem mérési eredmények is, így a két meghatározási módszer eredményeit összevethetjük, a kapott eredményeket kontrollálni tudjuk.

A γ -sugárzás energiaspektruma minőségi és mennyiségi vizsgálatra alkalmas. A spektrumfelvételre a napjainkban legelterjedtebb módszer a γ -spektrometria. A környezeti mintákban a γ -sugárzó nuklidok kimutatásához a legérzékenyebb módszer a félvezetős gamma-spektrometria. A nukleáris környezetvédelem feladata, hogy meghatározza az adott anyagban a radioaktív izotópok minőségét, mennyiségét.

A γ -spektrometriai mérés technikát alkalmazva a radioizotópok néhány csoportja nem határozható meg, részarányuk azonban közvetett módon becsülhető, mivel aktivitás γ -spektrometriailag mérhető izotópok mennyiségével arányban van. A nemzetközileg is folytatott gyakorlat az, hogy a primerkörű hőhordozó, vagy a folyékony radioaktív hulladékok egy részének rendszeres ellenőrzésével követik nyomon ezen komponenseket, majd a Scaling-faktor módszerrel elvégzik a becslést. A várható izotópösszetétel, és aktivitáskoncentráció értékekre a szilárd radioaktív hulladékokban mért értékek alapján közelítő becslések adhatók.

A γ -spektrometria a γ -sugárzó nuklidok γ -energiájának meghatározása alapján a nuklid minőségi meghatározását teszi lehetővé megfelelő nuklidkönyvtár segítségével. [12]

A minőségi analízis mellett a γ -spektrum teljesenergia csúcsainak intenzitásaiból (csúcs alatti terület) megfelelő határfok ismeretében az aktivitás, a radioizotóp mennyisége határozható meg.

Az észlelt γ -sugárzás kvalitatív (minőség szerinti), illetve kvantitatív (mennyiség szerinti) összetételének megállapítása megmutatja azt, hogy mely radioaktív elemek milyen arányban járulnak hozzá a vizsgált anyag radioaktivitásának kialakulásához, valamint meghatározható az aktív anyagok mennyiségi aránya is.

Az α és β bomlások, a maghasadás valamint számos más jellegű magreakció is, igen gyakran a termékmag gerjesztett állapotához vezetnek. Az atommag a gerjesztett állapotból

egy, vagy egymás után több γ kvantum kibocsátásával tér vissza alapállapotba. A γ -spektroszkópia a γ -sugárzást is kibocsátó radioaktív izotópok azon sajátosságán alapul, hogy a kibocsátott γ fotonok energiája, szögeloszlása stb. jellemző az emittáló atommagra.

A γ -sugárzás mérése a detektoranyaggal való kölcsönhatások révén történik.

A γ -sugárzás és az anyag kölcsönhatása három alapvető folyamattal jellemezhető: fotoeffektus, Compton-szórás és párkeltés. [11]

A fotoeffektusra, melynek során a γ -foton teljes energiáját átadja a detektoranyag valamelyik kötött elektronjának - a következő összefüggések érvényesek:

$$E_f = E_\gamma - E_k$$

ahol E_k = a fotoelektron kötési energiája az adott elektron héjon,

E_γ = a beeső gamma foton energiája,

E_f = a fotoelektron által nyert energia;

a folyamat hatáskeresztmetszete (bekövetkezési valószínűsége):

$$\mu_f = N * Z^5 (E_\gamma)^{-3,5}$$

ahol: N = az anyag atomsűrűsége,

Z = a detektoranyag rendszáma.

A Compton-szórás szabad és kötött elektronon is létrejöhet. A folyamatot leíró összefüggés leírható: a Compton elektron energiája:

$$E_e = E_\gamma - E_{\gamma'}$$

A párkeltés folyamatánál a kölcsönhatás $2 mc^2 = 1.022\text{MeV}$ küszöbenergia fölött jöhet létre, mivel ennyi a pozitron + elektron nyugalmi tömegének megfelelő energia. A párkeltés hatáskeresztmetszete:

$$\mu_p = N Z^2 (E_\gamma - 2mc^2)$$

Ezek az elektronok azután energiájukat a detektor anyagban ionizációs vagy gerjesztési folyamatokban veszítik el. A detektor az így létrehozott töltéshordozókat összegyűjtve jeleníti meg a kimenetén feszültség vagy áram impulzus formájában, melynek amplitúdója arányos az abszorbeált γ foton energiájával.

Összegezve tehát a detektálás folyamata általánosan a következő lépésekből áll:

- a foton energiájának konverziója (a fent ismertetett kölcsönhatási folyamatokban) az elektronok (pozitronok) kinetikus energiájává;
- ezen energiával rendelkező elektronok által elektron - pozitív ion (félvezetőben "lyuk") párok létrehozása;
- a töltéshordozók összegyűjtése és további feldolgozása (feszültség vagy áram impulzus formában). [11]

3.3.9. A közvetlenül nehezen mérhető radionuklidok aktivitás-tartalmának becslése Scaling-faktor módszerrel, a scaling-faktorok meghatározása

A Scaling-faktor módszer alapfeltételezése az, hogy egy üzemi periódus (kampány, év stb.) során a folyékony radioaktív hulladékok izotópösszetétele hasonlóan alakul, mint a szilárd hulladékoké, mivel a forrás minden esetben a primerkörü hőhordozó. Mivel a folyékony hulladékokból viszonylag egyszerűen lehet az egész térfogatra jellemző reprezentatív mintát venni, ezért a nehezen mérhető komponensek meghatározására is mód nyílik. A teljes analízis elvégzését követően képezni lehet az egyes radioizotópoknak a meghatározó (kulcs vagy vonatkoztatási) nuklidokra vonatkoztatott arányait, azaz a scaling-faktorokat. Ezután már „csak” a szilárd hulladékok kulcsizotópjait kell meghatározni. [12]

A meghatározás utolsó lépése egy egyszerű számítás, amikor is a szilárd hulladékok nehezen mérhető komponenseinek értékét a folyékony hulladékokra meghatározott scaling-faktorok, és a szilárd hulladékokra kimért kulcsizotópok alapján határozzuk meg.

Vonatkoztatási izotópként két radionuklidot szokás használni, a ^{60}Co -t az aktivációs, korróziós, míg a ^{137}Cs -t a hasadási termékek becslésére. [12]

A radionuklid tartalom meghatározása az egyes hulladék fajtákra az alábbi módon történik:

Bepárlási maradékban:

- a minták közvetlen γ -spektrometriai mérése,
- az alfa, a tiszta béta és a lágy- γ sugárzók izotópösszetételének és aktivitáskoncentrációjának meghatározása kémiai feltárást követően.

A paksi atomerőmű bepárlási maradékaiban jelenlévő nehezen mérhető radioaktív izotópok közül az alábbiak meghatározását végzik el:

- ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{129}I ,
- a transzurán nuklidok közül az ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Am .

A scaling-faktorokkal történő izotópleltár megadásakor azokat a faktorokat használhatjuk, amelyekre fennáll a korreláció. Az eddigi minősítési eredmények felhasználásával meg lehet határozni a nehezen mérhető radionuklidokhoz rendelhető vonatkoztatási izotópokat és a megfelelő scaling-faktorokat.

A scaling-faktor meghatározásának alapfeltétele egyrészt, hogy elegendően nagyszámú mérési adat álljon rendelkezésre a megfelelő statisztikai elemzéshez, másrészt, hogy az

alkalmazott analitikai módszerek és mérési eljárások kellő érzékenységgel és megfelelő reprodukálhatósággal rendelkezzenek.[12]

3.3.10. A fontosabb nuklidok és a kulcs izotópok

A fontosabb izotópok három fő csoportba sorolhatók:

- Hasadványtermékek (pl. ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{137}Cs , ^{129}I)
- Aktivációs és korróziós termékek (pl. ^3H , ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{94}Nb)
- Transzuránok (^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm , U és Pu izotópok)

Az egyes csoportokhoz tartozó izotópokat és azok főbb nukleáris adatait a következő táblázatban foglaltam össze. A táblázatban látható izotópok közül könnyen detektálható izotópnak minősül a ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co és a ^{54}Mn . A többi, nehezen mérhető izotóp meghatározására a scaling-faktorok alkalmazása a célszerű. A legfontosabb követelmény, hogy a meghatározni kívánt izotóp és a kulcs izotóp hasonló viselkedést mutasson a forrásuktól az adott hulladékáramba való kerülésükig. Az aktivitás-koncentrációk arányát ugyanis a keletkezés sebességén túlmenően az adott izotópok eltérő kémiai-, fizika-kémiai viselkedése is megváltoztathatja. [12]

A forrás szempontjából a korróziós termékek esetében kulcs nukliként a ^{60}Co izotóp választása indokolt, hiszen viszonylag hosszú a felezési ideje (5 év), gyakorlatilag valamennyi hulladéktípusban megjelenik és gamma-spektroszkópia segítségével könnyen mérhető.

A hasadvány termékek közül a ^{137}Cs izotóp oldható formában van jelen, a legtöbb hulladékban megtalálható, viszonylag hosszú a felezési ideje (30 év) és gamma-spektroszkópia segítségével jól mérhető. Ezért potenciális kulcs izotóp lehet a szintén jól oldódó, nem gammasugárzó hasadvány termékek meghatározásához.

A transzurán izotópok esetében gyakran a ^{60}Co vagy a ^{137}Cs -t veszik alapul, azonban ezen izotópok között nagyon gyenge korrelációt sikerült csak kimutatni, ezért az egyéb transzurán izotópoknak a ^{238}Pu –al történő összehasonlítása a jellemző. [12]

3.3.11. A scaling-faktor számítás módszere

A nehezen mérhető nuklidok (NMN) és a kulcsnuklidok (KN) aktivitásarányát kifejező scaling- faktorokat az aktivitás-koncentráció értékek logaritmusaira alkalmazott lineáris regresszió számításával lett meghatározva.

A logaritmikus lineáris regresszió számítása során feltételezik, hogy az aktivitáskoncentráció értékek között az alábbi kapcsolat áll fenn:

$$C_{NMN}=b*(C_{KN})^m$$

ahol: C_{NMN} a nehezen mérhető nuklidok aktivitáskoncentrációja,

C_{KN} a kulcs nuklidok aktivitáskoncentrációja,

m, b paraméter

Az $C_{NMN}=b*(C_{KN})^m$ egyenlet logaritmusát véve, lineáris összefüggéshez jutunk:

$$\log(C_{NMN})=\log(b) + m*\log(C_{KN})$$

Az $y= \log(C_{NMN})$, az $x= \log(C_{KN})$, és a $b' = \log(b)$ helyettesítéseket felhasználva egy egyszerű egyenes egyenletét kapjuk:

$$y=mx+b'$$

Az $y=mx+b'$ egyenlet paramétereit (m és b') lineáris regresszióval számíthatjuk, a különböző kiegészítő regressziós adatok alapján pedig becsülhetjük, hogy mennyire szignifikáns a kérdéses izotópok között a korreláció. [12]

Kategória	Izotóp	$T_{1/2}$	Bomlási mód*
	^{90}Sr	28 év	β^-
	^{135}Cs	$2.13 \cdot 10^5$ év	β^-
Hasadványtermékek	^{134}Cs	2.06 év	β^- , γ
	^{137}Cs	30 év	β^- , γ
	^{129}I	$1.57 \cdot 10^7$ év	β^- , E.C.
	^3H	12 év	β^-
	^{14}C	$5.73 \cdot 10^3$ év	β^-
	^{54}Mn	312 nap	γ
	^{55}Fe	2.7 év	E.C.
Aktivációs termékek	^{59}Ni	$7.5 \cdot 10^4$ év	E.C.
	^{63}Ni	100.1 év	β^-
	^{60}Co	5.3 év	β^- , γ
	^{94}Nb	$2.03 \cdot 10^4$ év	β^- , γ
	^{241}Am	432.2 év	α
	^{242}Cm	163 nap	α
Transzurán izotópok	^{235}U	$7.03 \cdot 10^8$ év	α , γ
	^{238}U	$4.46 \cdot 10^9$ év	α
	^{239}Pu	$2.42 \cdot 10^4$ év	α
	^{240}Pu	$6.54 \cdot 10^3$ év	α

11. táblázat: A fontosabb izotópok főbb nukleáris paramétereit

3.3.12. Bátaapáti telephelyi aktivitás korlátai:

A földalatti tároló és felszíni létesítményeinek helye: Bátaapáti külterületén található. A telephely a völgyfenéken elhelyezkedő - kerítéssel körülhatárolt, ezen belül őrségi úton körüljárható – 7 ha nagyságú terület. A létesítmény környezetvédelmi és létesítési engedélye egy felszíni fogadó és kiszolgáló telephelyet, valamint a felszín alatt 17 tárolókamrát és a hozzájuk vezető megközelítő vágatokat tartalmazza.

A létesítmény a Paksi Atomerőmű Zrt.-ben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgál. Ezen hulladékok elhelyezésének jogszabályban rögzített célja a hulladékban lévő – az emberre és a környezetre potenciális veszélyt jelentő – radioaktív izotópok elszigetelése a bioszférától, és ezáltal a jelenlegi és jövőbeni nemzedékek, valamint a környezet védelme. A Paksi Atomerőmű beüzemelése kezdete óta kb.

6100 m³ folyékony radioaktív hulladék keletkezett. Az atomerőmű 30 évre tervezett üzemideje alatt összesen kb. 20.000 m³ kis és közepes aktivitású hulladék keletkezésével kell számolni, és nagyjából ugyanekkora térfogat adódik az erőmű leszerelésekor. Ennek megfelelően a végleges lerakó tervezett tárolókapacitása: 40.000 m³. [16]

Az NRHT létesítése és üzembe helyezése szakaszosan történik. Az első fázisban elkészültek a felszíni telephely mindazon létesítményei és rendszerei, amelyek lehetővé teszik a paksi atomerőműben felhalmozódott szilárd hulladékok egy részének (tömörített vegyes szilárd hulladék, 200 literes hordókba csomagolva) átvételét, tárolását és a felszín alatti elhelyezésük előkészítését a technológiai épület e célt szolgáló csarnokában. A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (NRHT) technológiai csarnokában az üzembe helyezési engedély maximum 3000 hordó elhelyezését teszi lehetővé. Ebből 2010. 12. 31-ig 2400 hordó került betárolásra. [16]

A lerakóban elhelyezhető, a Paksi Atomerőmű üzemeltetése és üzemviteli karbantartása során keletkezett folyékony halmazállapotú radioaktív hulladékok fajtái:

- radioaktív hulladékvizek bepárolt sűrítményei, bepárlási maradékok, keletkező mennyiség kb. 250 m³/év;
- ioncserélő gyanták lazítására, átmosására és regenerálására szolgáló oldatok, keletkező mennyiség kb. 200 m³/év;
- elhasznált dekontamináló oldatok, keletkező mennyiség 5 m³/év;
- bepárló berendezések periodikus tisztításából keletkező savazó oldatok, keletkező mennyiség 15 m³/év. [16]

Izotóp	Felezési idő, év	Sűrítmény, Bq	Gyanta, Bq
³ H	12,3	9,69E+12	6,89E+10
¹⁴ C	5730	4,18E+11	2,48E+12
³⁶ Cl	301000	1,54E+08	4,01E+08
⁴¹ Ca	140000	7,69E+08	6,82E+07
⁵⁴ Mn	312 nap	1,80E+13	3,43E+13
⁵⁵ Fe	2,7	2,38E+13	1,44E+15
⁵⁸ Co	70,8 nap	4,65E+13	8,32E+11
⁵⁹ Ni	75000	5,35E+10	2,08E+10
⁶⁰ Co	5,27	4,55E+13	1,36E+13
⁶³ Ni	96	5,89E+12	2,63E+12
⁹⁰ Sr	29,1	3,18E+10	1,70E+11
⁹⁴ No	20300	1,69E+09	6,25E+09
⁹⁹ Tc	213000	5,07E+08	3,03E+08
^{110m} Ag	250 nap	1,04E+13	3,38E+13
¹²⁴ Sb	60,2 nap	4,12E+11	2,97E-05
¹²⁹ I	1,57E+07	6,27E+06	3,62E+07
¹³⁴ Cs	2,06	9,08E+12	9,75E+12
¹³⁷ Cs	30	4,28E+13	8,28E+13
¹⁴¹ Ce	32,5 nap	kha	kha
¹⁴⁴ Ce	284 nap	3,37E+10	4,24E+11
²³⁴ U	244000	4,53E+08	1,57E+09
²³⁵ U	7,04E+08	2,43E+07	4,81E+07
²³⁸ U	4,47E+09	1,52E+08	3,20E+08
²³⁸ Pu	87,7	1,12E+11	4,77E+11
²³⁹ Pu	2,40E+04	6,09E+10	2,59E+11
²⁴⁰ Pu	6550	5,03E+10	2,14E+11
²⁴¹ Am	432	5,80E+10	2,46E+11
²⁴² Cm	163 nap	5,07E+07	1,91E+08
²⁴³ Am	7380	5,77E+08	2,25E+09
²⁴⁴ Cm	18,1	2,58E+10	1,09E+11

kha:kimutatási határ alatt lévő mennyiség [16]

12. táblázat: A lerakható hulladék összaktivitás-készlete

A folyékony hulladékokat korábban 400 l-es hordókba tervezték cementezni. A hulladéktermelő paksi atomerőmű bejelenti a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit (RHK) Kft. számára, hogy egy adott hulladéktípust át akar adni végleges elhelyezésre. A bejelentéssel egyidejűleg röviden összefoglalja a végleges hulladék csomag előállításának lépéseit. Az RHK Kft. ennek alapján a HÁK teljes kritérium listájából kiindulva megvizsgálja, hogy az adott hulladéktípus átvehetőségének eldöntéséhez elegendő paramétert tartalmaz-e, ill., hogy alkalmazható-e minden paraméter az adott hulladéktípusra.

Amikor az RHK Kft. összeállítja egy adott hulladéktípusra alkalmazandó kritériumokat, akkor ez alapján a paksi atomerőmű elkészíti a hulladékcsomag specifikációt (HS). Ez tartalmazza az összes olyan adminisztratív intézkedést, folyamatellenőrzési lépést, minőségbiztosítási tevékenységet, illetve utólagos ellenőrzést, amellyel a paksi atomerőmű igazolja, hogy az általa előállított végtermék megfelel az adott hulladéktípusra alkalmazandó követelményeknek. A hulladékcsomag specifikációt a szükséges egyeztetések után az RHK Kft. fogadja el.[16]

A hordók aktivitástartalmának meghatározása érdekében a Paksi Atomerőmű Zrt. először elvégzi a hordók szegmentált γ -spektrometriai mérését, melynek segítségével meghatározható a hordóban lévő γ -sugárzó izotópok aktivitás tartalma.

A nehezen mérhető (döntően α -, β - és Röntgensugárzó) nuklidok aktivitás tartalmát az úgynevezett „scaling factor”-ok segítségével számítják ki (ahogy már említettem).

Az γ -spektrometriai berendezéssel történő minősítés után így a SF-ok ismeretében meghatározható a hordóban lévő összes, a tárolás szempontjából lényeges izotóp aktivitása. A fentiekén túl megméri minden hordó felületi dózisteljesítményét, valamint nem fixált felületi szennyezettségét is. [16]

4. EREDMÉNYEK ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

4.1. Számítás a Radioaktív Hulladékkezelési Osztály adatbázisban

4.1.1. A 2007-es, 2008-as, 2009-es izotóp és aktivitáskoncentrációk átlagának kiszámítása tartályonként a tisztára, az iszapra, és a teljes átlagra

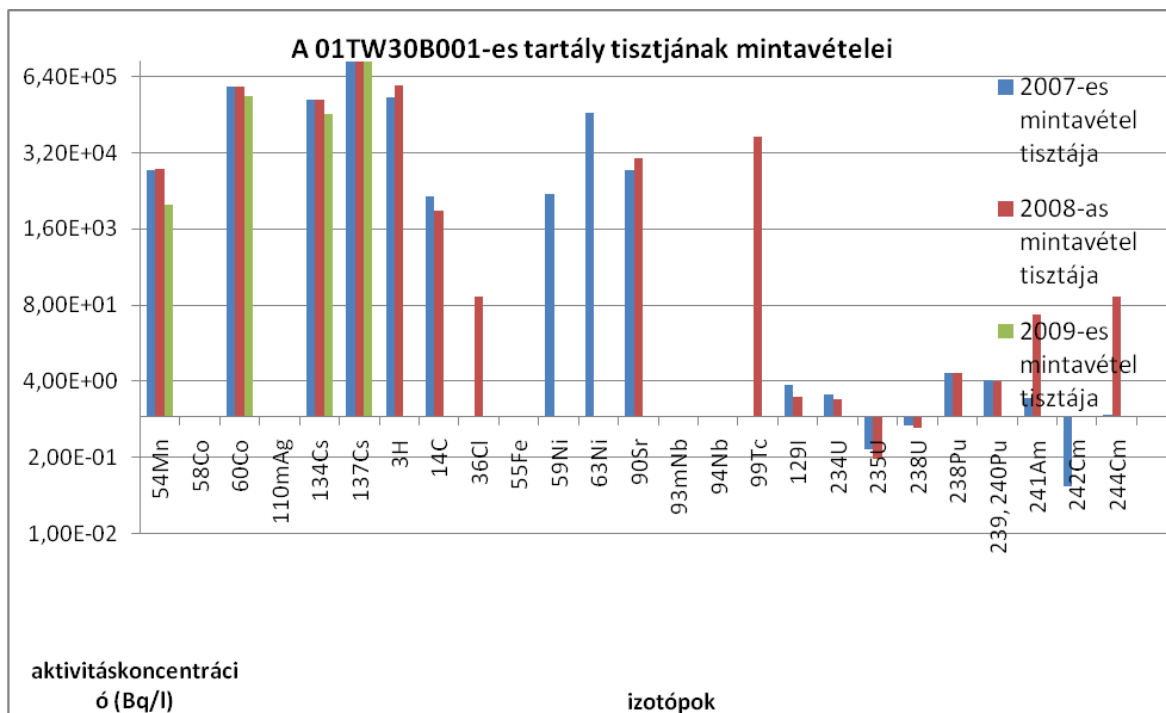
A 2007-es, 2008-as, 2009-es adatokat kaptam feldolgozásra (2008-as, 2009-es jelentés), melyben a következő tartályokra végeztem el a számítási feladatokat: 01TW15B001, 01TW30B001, 01TW30B002, 01TW30B003, 02TW10B002, 02TW10B003, 02TW30B001, 02TW30B002, 02TW30B003, 02TW30B004, 02TW80B001, 02TW80B002, 02TW80B003, 02TW80B004, 02TW80B006. A 2007-es, 2008-as, 2009-es évekből származó adatok átlagos izotóp és aktivitástartalmának számítása számítógépen az Excel program segítségével történt. Mint az előbb említettem a különböző jelentésekből származó aktivitáskoncentrációkat felhasználva egyszerű átlag számítással végeztem el a feladatot.

Ennek menete:

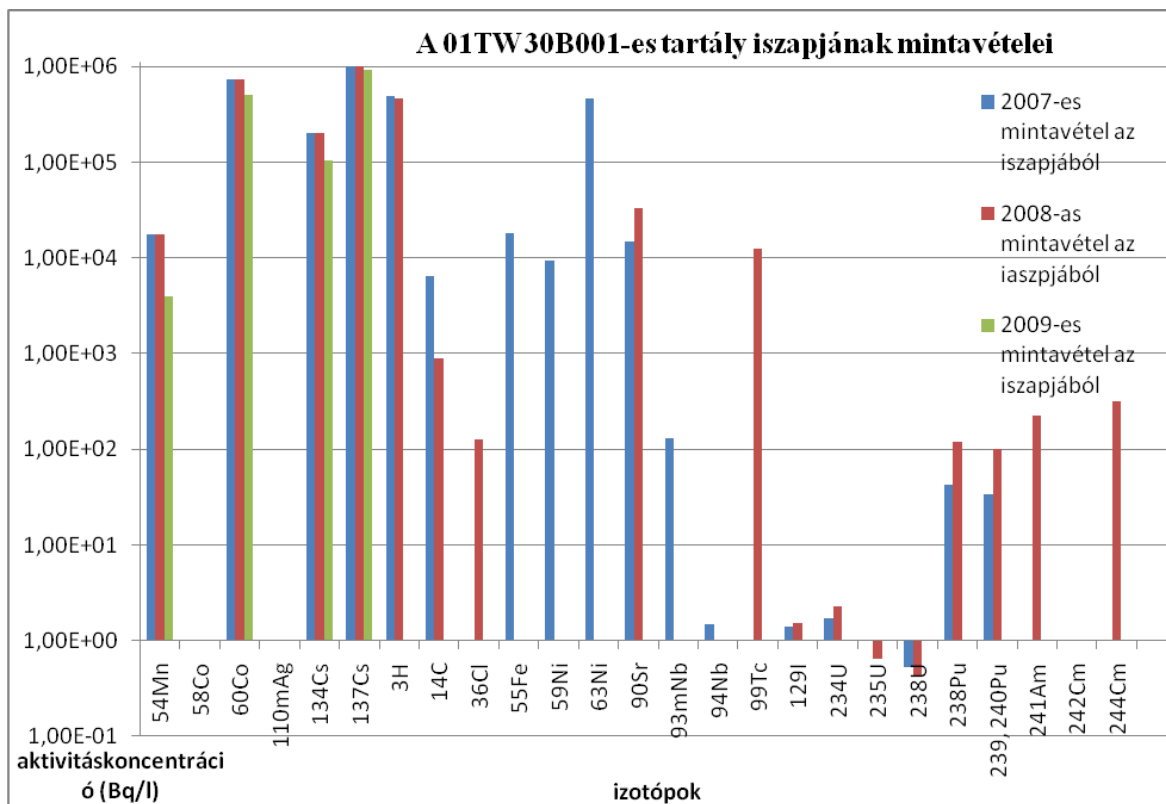
- A különböző tartályokban külön-külön évenként el kellett végezni a felső, és középső részre az átlag számítást, mert ez adja ki az adott tartály tisztájára vonatkozó eredményt. E 2 érték összeadása, majd elosztása 2vel adja meg az értéket, amivel további számolási feladatokat végeztem el.
- A tartály tisztájára kapott értéket összeadva az alja értékével, majd elosztva 2-vel kaptam meg az adott tartály átlagos izotóp és aktivitástartalmát a mérés időpontjában.
- Ezeket a lépéseket minden tartályra minden évben elvégeztem, hogy megfelelő számú adattal rendelkezek a további számolásokhoz.

Azon sorok, és oszlopok, melyek üresek, illetve azokban a cellákban, ahol nincs érték feltüntetve, ott is történt az adott évben mintavétel, de az aktivitáskoncentráció a kimutathatósági határ alatt van, és ezért nincs ott adat.

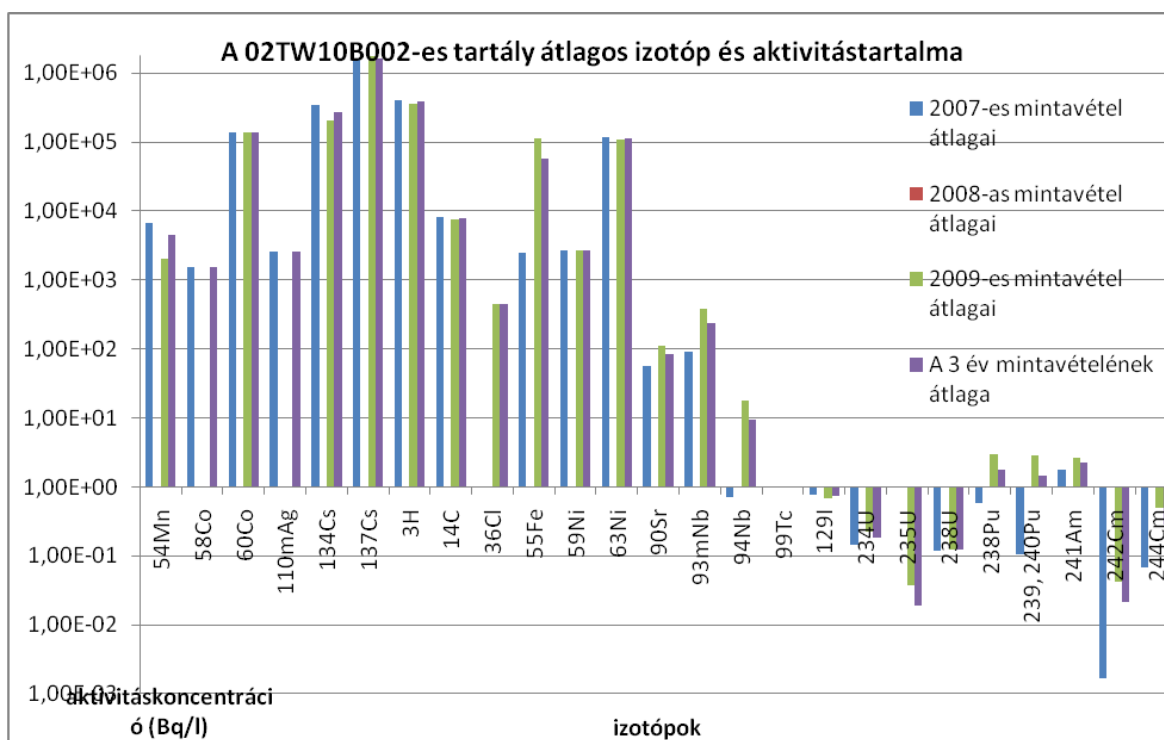
Ezen számolásomhoz is készítettem ábrákat, melyek szemléltetik a különböző években keletkezett izotópok aktivitástartalmát a kiválasztott tartályban, melynek címe: „A 02TW10B002-es tartály átlagos izotóp és aktivitástartalma”.



8. ábra: A 01TW30B001-es tartály tisztjának mintavételei 2007-es, 2008-as, 2009-es évből



9. ábra: A 01TW30B001-es tartály iszapjának mintavételei a 2007-es, 2008-as, 2009-es évből



10. ábra: A 02TW10B002-es tartály átlagos izotóp és aktivitástartalma a 2007-es, a 2008-as, a 2009-es évre, és a 3 év teljes-átlaga

Kapott eredmények értékelése:

Tartályokra levetítve az aktivitásokból az szűrhető le, hogy a tartályok alsó részéből származó minták aktivitáskoncentrációja (Bq/l, Bq/dm³) a legtöbb izotóp esetében magasabb, mint a középső, és felső részből vett mintákéban.

Mint a táblázatból kitűnik a hosszú felezési idejű izotópokból van a legtöbb mennyiség az adott tartályok mindegyikében a 3 év adatait tekintve.

A hosszú felezési idejű izotópoknál észrevehető, hogy a különböző években vett mintáknál az adott aktivitástartalom nemhogy csökkenő tendenciát mutat, hanem magasabb értéket láthatunk, ez abból következhet, hogy a tartály térfogata növekedett az adott évben a rátöltés miatt

A 2007-es mintavételből származó adatoknál észrevehető, hogy átlagban a ⁵⁴Mn, a ⁶⁰Co, a ¹³⁴Cs, és a ¹³⁷Cs izotópokból van a legtöbb az adott tartályokban.

A 2008-as mintavételből származó adatok elég hiányosak, de így is a ⁵⁴Mn, a ⁶⁰Co, a ¹³⁴Cs, és a ¹³⁷Cs izotópokból van a legtöbb az adott tartályokban, de ezen kívül még jelentős aktivitástartalmú ³H, ⁹⁰Sr, és ¹²⁵Sb van jelen.

A lényegesen kevesebb adat annak köszönhető, hogy míg a korábbi években a teljes tartálypark mintavételezését elvégezték, 2008-tól csak azokat a tartályokat mintázták, ame-

lyek az üzemviteli manipulációk során (töltés, ürítés, áttárolás) érintettek voltak. Azon tartályok esetében, amelyek nem voltak érintettek üzemviteli műveletekben, az izotópösszetétel és az aktivitástartalom az előző évi adatokból a bomlástörvények alkalmazásával meghatározható.

A 2009-es mintavételnél a fenti okok miatt szintén kevés adat állt rendelkezésemre, de így is értékelhető az adott izotópok aktivitástartalmának a mennyisége az adott tartályokban.

A teljes mérési eredmény sor a 02TW10B002 nevű tartályból származik, úgyhogy ez alapján szűrtem le a következtetéseimet. Ugyan úgy, mint az előbbi éveknél, itt is ugyan azon izotópokból van jelen a legtöbb (^{54}Mn , a ^{60}Co , a ^{134}Cs , és a ^{137}Cs), de ezen kívül még jelentős mennyiségű ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni is megjelenik.

4.1.2. A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalma a keletkezés időpontjában

Az alábbi táblázat tartalmazza azokat az adatszolgáltatásként kapott adatokat, amelyek az egyes tartályokban lévő hulladékok keletkezési időpontjaira vonatkoznak.

Tartály	Keletkezés éve	Töltési időszak (megjegyzés)
01TW30B001	2004	2004-2005 (üzemzavari hulladék)
01TW30B003	2007	2007-től (α -sugárzókkal szennyezett)
01TW30B002	2007	2006-től (α -szennyezett dekontamináló oldat)
02TW10B002	2007	2005-2009
02TW10B003	2001	1998-2003 két tartály összetárolásával:
		01TW30B001 (2002-2003) + 02TW10B002(1998-2003)
02TW30B001	1996	1995-1997
02TW30B002	1988	1995 előtt
02TW30B003	1991	1995 előtt
02TW30B004	2004	1995-2009 (evaporátor savazó oldat)
02TW80B001	1999	1998-2001 (01TW10B001-ből áttárolva)
02TW80B002	1989	1995 előtt (: 01TW30B002 +
		01TW30B003 alsó rétegeinek összetárolása)
02TW80B003	1988	1995 előtt (: 01TW30B002 +
		01TW30B003 felső rétegeinek összetárolása)
02TW80B004	2004	2003-2005 két tartály összetárolásával:
		02TW10B002 + 02TW15B001
02TW80B006	1994	Két tartály összetárolásával:
		01TW30B003 (1995 előtt) + 01TW30B005 (1995-2007)

13. táblázat: A tartályok töltési időszaka, és az első töltés időpontja (keletkezés éve)

A keletkezés időpontjára visszszámolt aktivitás és izotópösszetétel számolása a tartályok tisztjára és iszapjára összesen a kapott, és eddig számolt eredmények alapján a következő módon történt:

- Az adott aktivitástartalmat ($\ln 2/T_{1/2}$)-szeres kitevőre emeltem.

- Az előbbi értéket megszoroztam a (2009 - a keletkezés éve)-vel. Azért 2009-cel, mert a 2010-es adatok még nemáltak rendelkezésemre, hisz az év végi minták mérése még nem lett elkezdve.
- Végül az egész értéket megszoroztam 365-tel, ami az 1 év 265 napját jelenti, nem tekintve a szökőéveket, mikor 1 nappal tovább tart az év. Ez az eltérés anynira minimális különbséget okozna, hogy az elhanyagolható.
- Nehezen mérhető izotópok esetén, ha nem volt mérési eredmény, akkor a scaling-faktor módszert alkalmazzuk, melynek menete a következő: b paraméter szorozva a kulcsnuklid aktivitásának m-edik paraméterének hatványának hányadosával.
- Ez után pedig az azonos minőségű hulladékfajták eredményeit átlagoltam, hogy az adott hulladéktípusra egy a keletkezés időpontjára jellemző reprezentatív eredményt kaphassak.

Ehhez a fejezethe tartozó ábra a következő: „Az átlagos izotóp és aktivitástartalom a keletkezés időpontjában tartályonként”.

Ezek az értékek a folyadék tiszta és iszapos fázisára összesen, valamint külön a tisztájára és külön az iszapos fázisra is ki vannak számolva.

Azon sorok, és oszlopok, melyek üresek, illetve azokban a cellákban, ahol nincs érték feltüntetve, ott is történt az adott évben mintavétel, de az aktivitáskoncentráció a kimutathatósági határ alatt van, és ezért nincs ott adat.

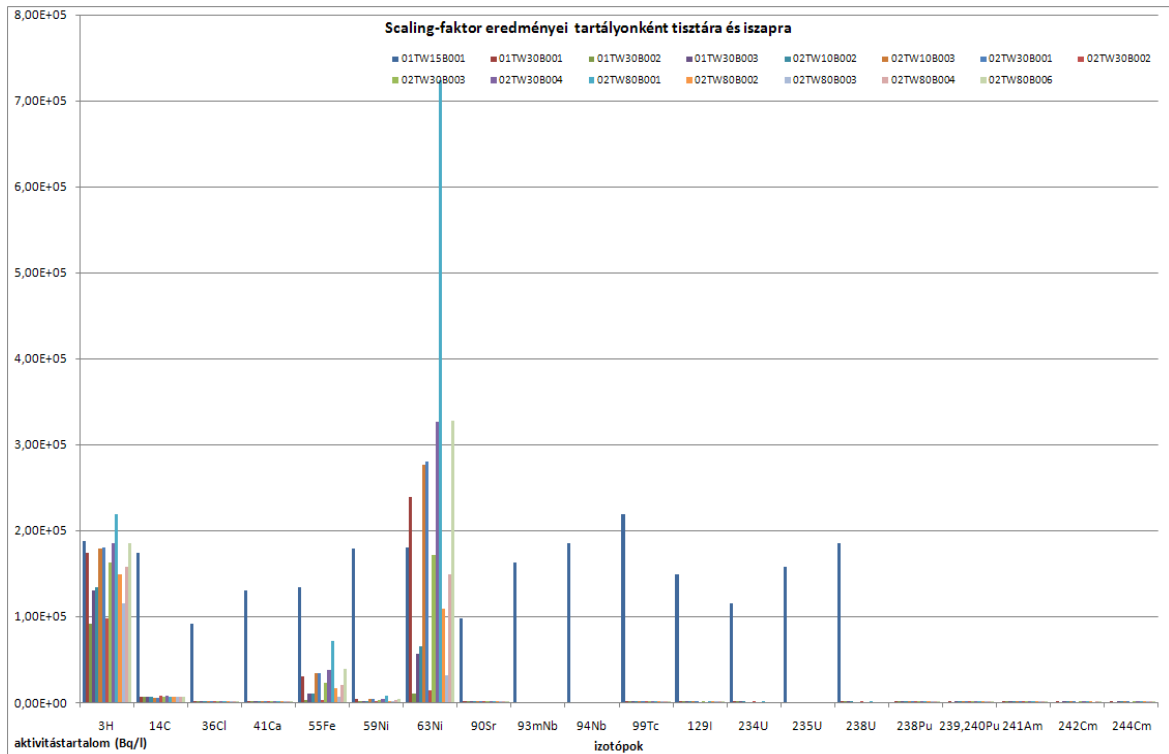
Mint a táblázatból kitűnik a hosszú felezési idejű izotópokból van a legtöbb mennyiség az adott tartályok mindegyikében a 3 év adatait tekintve.

A számítások azt mutatják, hogy az atomerőmű technológiai ágaiban keletkező, és adott hulladékáramokra jellemző egyes végtermékekben (bepárlási maradékok, dekontamináló oldatok, egyéb folyékony radioaktív hulladékok), a hasadványtermékekre, aktivációs és korróziós termékekre, transzuránokra számolt scaling-faktor értékek alátámasztani, ellenőrizni, hogy egyezést mutatnak-e a nemzetközileg ismert értékekkel. A scaling-faktor vizsgálatok rámutatnak arra, hogy az α és γ -spektrometria nem váltható ki matematikai modell-számítással.

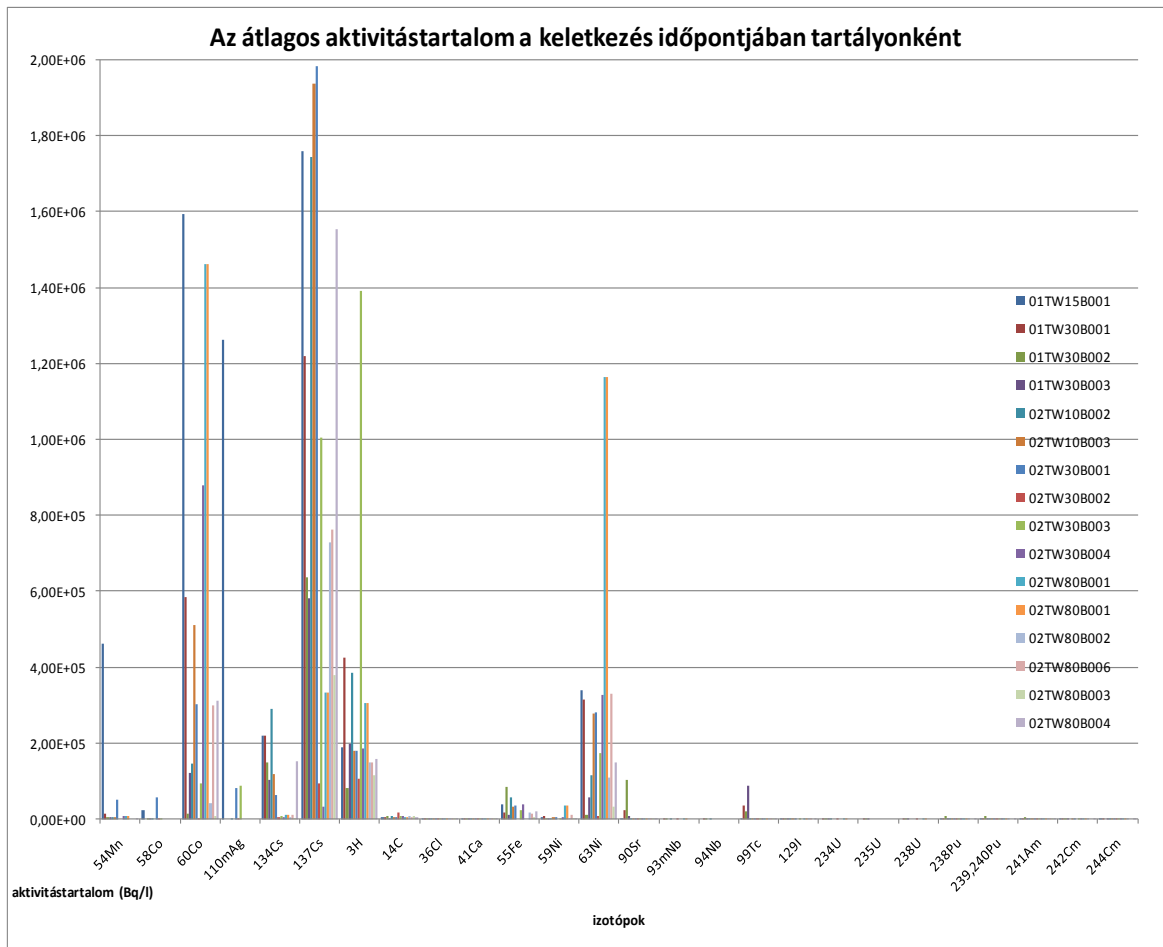
scaling faktor számítás								
3H	14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	99Tc
1,87E+05	6,10E+03	3,91E+00	2,54E+00	3,97E+04	4,75E+03	3,40E+05	4,95E+02	6,34E+00
1,75E+05	6,28E+03	3,31E+00	2,06E+00	3,03E+04	3,65E+03	2,40E+05	4,19E+02	5,85E+00
9,16E+04	6,60E+03	2,46E+00	1,43E+00	2,62E+03	3,37E+02	1,01E+04	3,12E+02	2,80E+00
1,30E+05	6,65E+03	2,36E+00	1,36E+00	9,96E+03	1,24E+03	5,69E+04	3,00E+02	4,19E+00
1,34E+05	6,10E+03	3,89E+00	2,53E+00	1,11E+04	1,37E+03	6,51E+04	4,92E+02	4,32E+00
1,80E+05	6,05E+03	4,08E+00	2,69E+00	3,39E+04	4,07E+03	2,76E+05	5,17E+02	6,04E+00
1,80E+05	6,04E+03	4,12E+00	2,72E+00	3,42E+04	4,11E+03	2,80E+05	5,22E+02	6,06E+00
9,76E+04	7,66E+03	1,04E+00	4,82E-01	3,34E+03	4,27E+02	1,39E+04	1,32E+02	3,01E+00
1,63E+05	6,37E+03	3,03E+00	1,85E+00	2,35E+04	2,85E+03	1,72E+05	3,84E+02	5,41E+00
1,86E+05	8,30E+03	6,48E-01	2,67E-01	3,85E+04	4,61E+03	3,27E+05	8,24E+01	6,28E+00
2,19E+05	6,95E+03	1,83E+00	9,84E-01	7,14E+04	8,41E+03	7,24E+05	2,32E+02	7,56E+00
1,49E+05	6,53E+03	2,61E+00	1,54E+00	1,65E+04	2,03E+03	1,10E+05	3,31E+02	4,87E+00
1,15E+05	6,87E+03	1,95E+00	1,06E+00	6,25E+03	7,85E+02	3,12E+04	2,47E+02	3,64E+00
1,58E+05	6,16E+03	3,69E+00	2,37E+00	2,10E+04	2,55E+03	1,49E+05	4,67E+02	5,23E+00
1,86E+05	6,51E+03	2,67E+00	1,58E+00	3,86E+04	4,62E+03	3,28E+05	3,39E+02	6,29E+00

129I	234U	235U	238U	238Pu	239,240Pu	241Am	242Cm
3,12E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,65E-01	7,86E-01	4,25E+00	6,24E-01
2,55E-01	2,84E-01	2,35E-02	1,50E-01	6,07E-01	6,03E-01	2,94E+00	4,24E-01
1,78E-01	2,94E-01	2,39E-02	1,53E-01	7,52E-02	5,47E-02	1,05E-01	1,28E-02
1,69E-01	4,09E-01	2,81E-02	1,79E-01	2,35E-01	2,03E-01	6,46E-01	8,65E-02
3,11E-01	7,06E-02	1,19E-02	7,77E-02	2,57E-01	2,24E-01	7,45E-01	1,00E-01
3,29E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,67E-01	6,72E-01	3,42E+00	4,96E-01
3,34E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,73E-01	6,79E-01	3,46E+00	5,04E-01
6,20E-02	1,10E-01	1,47E-02	9,57E-02	9,24E-02	6,94E-02	1,46E-01	1,82E-02
2,29E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,88E-01	4,69E-01	2,08E+00	2,94E-01
3,51E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,45E-01	7,63E-01	4,07E+00	5,97E-01
1,24E-01	9,94E-02	1,41E-02	9,14E-02	1,26E+00	1,40E+00	9,43E+00	1,44E+00
1,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-01	3,33E-01	1,29E+00	1,78E-01
1,34E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,58E-01	1,28E-01	3,43E-01	4,44E-02
2,91E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,43E-01	4,20E-01	1,78E+00	2,50E-01
1,97E-01	4,08E-02	9,11E-03	5,99E-02	7,47E-01	7,64E-01	4,09E+00	5,99E-01

14. táblázat: A scaling faktor számítás eredményei



11. ábra: A scaling-faktor eredmények tartályonként tisztára és iszapra



12. ábra: Az átlagos aktivitástartalom a keletkezés időpontjában tartályonként

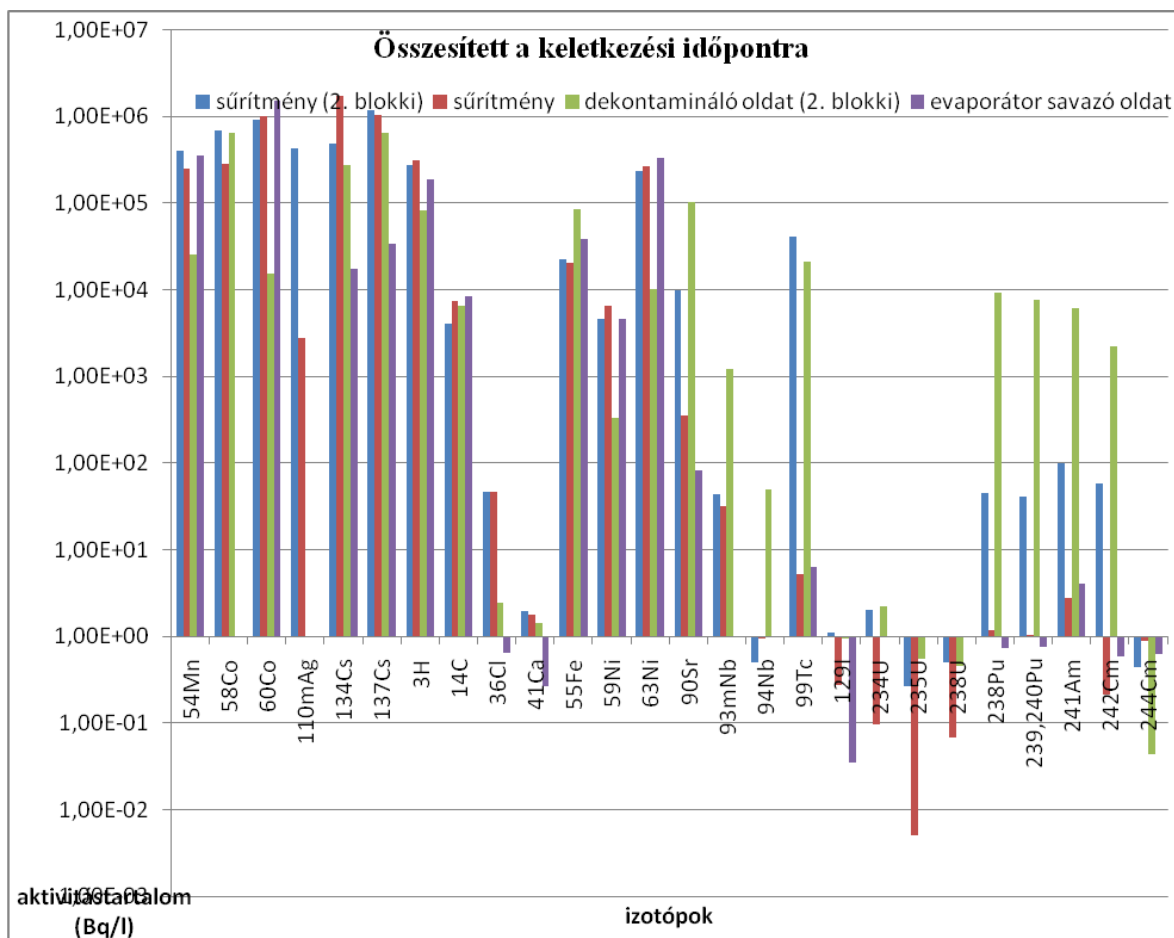
	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs
sűrítmény (2. blokki)	4,01E+05	6,83E+05	9,17E+05	4,21E+05	4,90E+05	1,19E+06
sűrítmény	2,50E+05	2,79E+05	1,01E+06	2,77E+03	1,74E+06	1,05E+06
dekontamináló oldat (2. blokki)	2,54E+04	6,41E+05	1,55E+04	0,00E+00	2,76E+05	6,38E+05
evaporátor savazó oldat	3,47E+05	0,00E+00	1,51E+06	0,00E+00	1,72E+04	3,37E+04

3H	14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr
2,70E+05	4,12E+03	4,65E+01	1,99E+00	2,26E+04	4,58E+03	2,37E+05	9,88E+03
3,12E+05	7,34E+03	4,70E+01	1,78E+00	2,06E+04	6,49E+03	2,63E+05	3,49E+02
8,27E+04	6,60E+03	2,46E+00	1,43E+00	8,41E+04	3,37E+02	1,01E+04	1,04E+05
1,86E+05	8,30E+03	6,48E-01	2,67E-01	3,85E+04	4,61E+03	3,27E+05	8,24E+01

93mNb	94Nb	99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu
4,33E+01	5,00E-01	4,15E+04	1,11E+00	2,02E+00	2,63E-01	5,00E-01	4,55E+01
3,19E+01	9,35E-01	5,24E+00	2,77E-01	9,71E-02	5,11E-03	6,85E-02	1,17E+00
1,20E+03	5,00E+01	2,14E+04	9,37E-01	2,22E+00	5,55E-01	4,60E-01	9,28E+03
0,00E+00	0,00E+00	6,28E+00	3,51E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,45E-01

239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
4,07E+01	9,83E+01	5,86E+01	4,41E-01
1,03E+00	2,74E+00	2,13E-01	8,79E-01
7,53E+03	6,05E+03	2,22E+03	4,39E-02
7,63E-01	4,07E+00	5,97E-01	6,27E-01

15. táblázat: Összesített a keletkezési időpontra hulladékáramok szerinti ábrához tartozó értékek



13. ábra: Összesítés a keletkezési időpontra hulladékáramok szerint

4.1.3. A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalma a jelenlegi időpontra (2009)

^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{137}Cs értékei megegyeznek az általam számolt 2007-es, 2008-as, 2009-s aktivitáskoncentráció értékekkel, mert ezek hosszú felezési idejű elemek. A többi elemnél a következő módon történt a számolás:

- Az összesített aktivitástartalmat, vagyis az átlagos izotóp és aktivitástartalmat a keletkezés időpontjában ($-\ln 2/T_{1/2}$)-szeres kitevőre emeltem.
- Az előbbi értéket megszoroztam a (2009 - a keletkezés éve)-vel. Azért 2009-cel, mert a 2010-es adatok még nemáltak rendelkezésemre, hisz az év végi minták mérése még nem lett elkezdve.
- Az egész értéket megszoroztam 365-tel, ami az 1 év 365 napját jelenti, nem tekintve a szökőéveket, amikor 1 nappal tovább tart az év. Ez az eltérés annyira minimális különbséget okozna, hogy az elhanyagolható.
- Megszoroztam az adott aktivitástartalmat az adott hulladék mennyiségével, ami az addigi években keletkezett.
- Végül az azonos minőségű hulladékfajtákra vonatkozó értékeket összeadtam, és átlagoltam, hogy könnyebben értékelhető és az adott évre reprezentatív eredményekkel dolgozhassak.

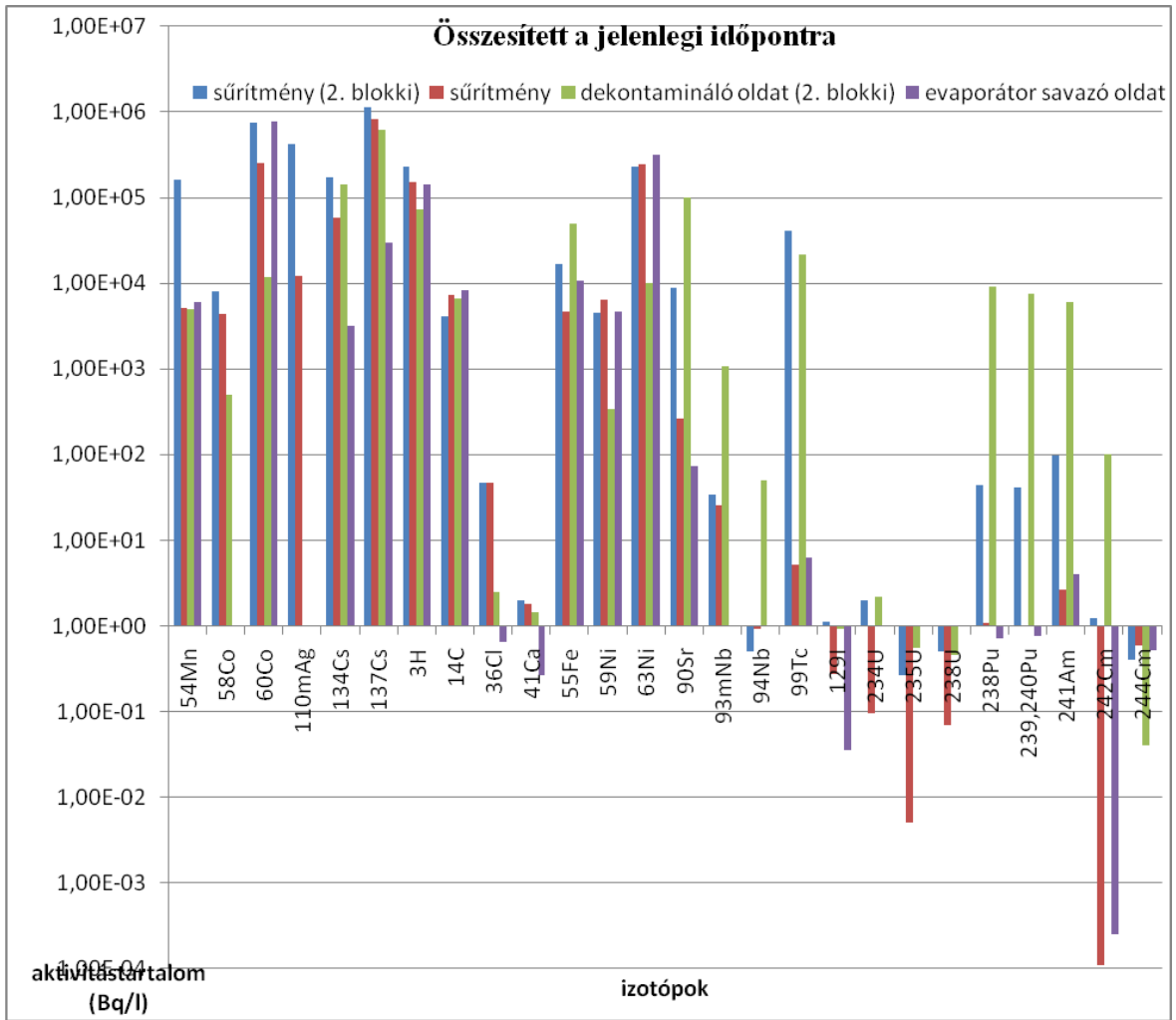
	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs
sűrítmény (2. blokki)	1,59E+05	8,05E+03	7,44E+05	4,21E+05	1,72E+05	1,13E+06
sűrítmény	5,19E+03	4,38E+03	2,53E+05	1,22E+04	5,88E+04	8,35E+05
dekontamináló oldat (2. blokki)	5,05E+03	5,05E+02	1,19E+04	0,00E+00	1,41E+05	6,09E+05
evaporátor savazó oldat	6,08E+03	0,00E+00	7,84E+05	0,00E+00	3,20E+03	3,01E+04

3H	14C	36Cl	⁴¹ Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr
2,28E+05	4,12E+03	4,65E+01	1,99E+00	1,69E+04	4,58E+03	2,33E+05	8,94E+03
1,52E+05	7,33E+03	4,70E+01	1,78E+00	4,68E+03	6,49E+03	2,44E+05	2,62E+02
7,38E+04	6,60E+03	2,46E+00	1,43E+00	5,03E+04	3,37E+02	9,99E+03	9,90E+04
1,40E+05	8,30E+03	6,48E-01	2,67E-01	1,07E+04	4,61E+03	3,16E+05	7,31E+01

93mNb	94Nb	99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu
3,42E+01	4,99E-01	4,15E+04	1,11E+00	2,01E+00	2,63E-01	5,00E-01	4,44E+01
2,55E+01	9,34E-01	5,24E+00	2,77E-01	9,57E-02	5,11E-03	6,85E-02	1,07E+00
1,09E+03	5,00E+01	2,14E+04	9,37E-01	2,22E+00	5,55E-01	4,59E-01	9,13E+03
0,00E+00	0,00E+00	6,28E+00	3,51E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,16E-01

239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
4,07E+01	9,79E+01	1,25E+00	4,07E-01
1,03E+00	2,69E+00	1,08E-04	5,85E-01
7,53E+03	6,03E+03	9,96E+01	4,06E-02
7,63E-01	4,04E+00	2,54E-04	5,17E-01

16. táblázat: Összesítés a jelenlegi időpontra:2009-es ábrához tartozó értékek



14. ábra: Összesítés a jelenlegi időpontra: 2009 az aktivitástartalom és az izotópok függvényében a különböző hulladékáramok szerint

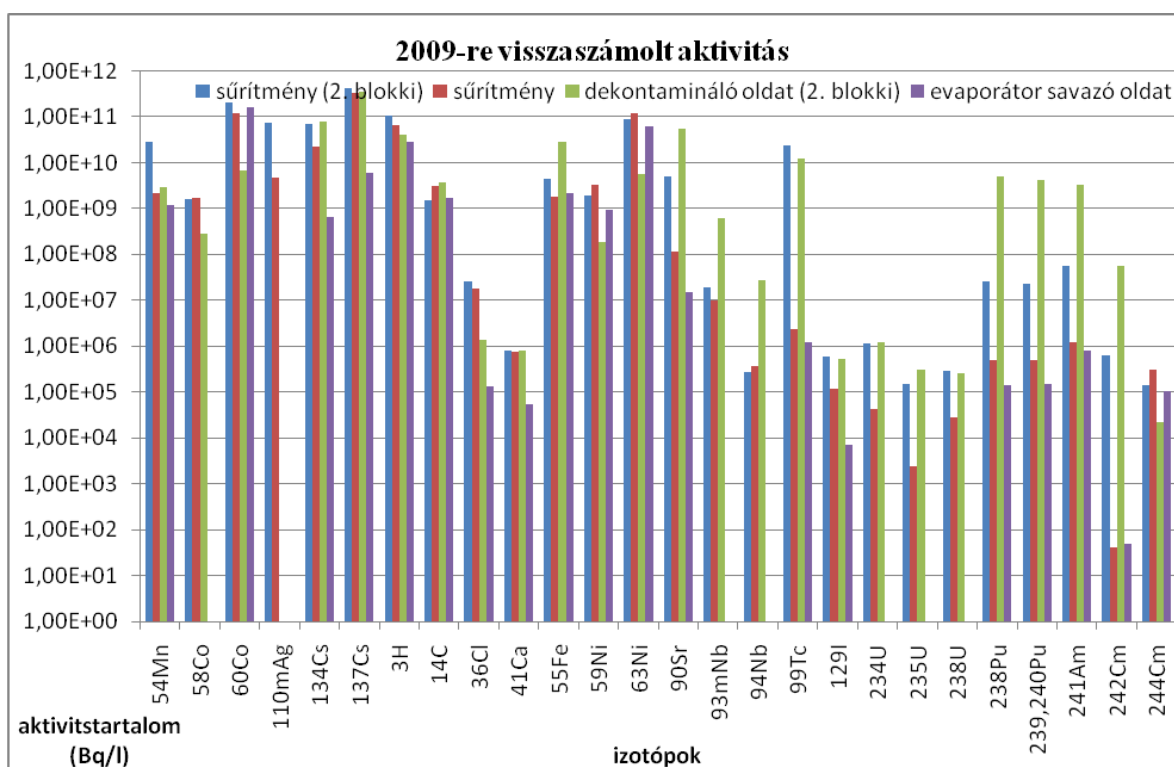
	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs
sűrítmény (2. blokki)	2,91E+10	1,59E+09	2,08E+11	7,16E+10	6,76E+10	4,06E+11
sűrítmény	2,11E+09	1,69E+09	1,20E+11	4,78E+09	2,27E+10	3,38E+11
dekontamináló oldat (2. blokki)	2,83E+09	2,83E+08	6,68E+09	0,00E+00	7,90E+10	3,41E+11
evaporátor savazó oldat	1,22E+09	0,00E+00	1,57E+11	0,00E+00	6,39E+08	6,01E+09

3H	14C	36Cl	⁴¹ Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr
1,04E+11	1,51E+09	2,52E+07	7,85E+05	4,32E+09	1,93E+09	8,57E+10	4,92E+09
6,40E+10	3,14E+09	1,82E+07	7,50E+05	1,80E+09	3,26E+09	1,17E+11	1,18E+08
4,14E+10	3,70E+09	1,38E+06	7,99E+05	2,82E+10	1,89E+08	5,60E+09	5,55E+10
2,81E+10	1,66E+09	1,30E+05	5,35E+04	2,14E+09	9,23E+08	6,31E+10	1,46E+07

93mNb	94Nb	99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu
1,88E+07	2,75E+05	2,37E+10	5,83E+05	1,14E+06	1,50E+05	2,84E+05	2,52E+07
1,01E+07	3,60E+05	2,32E+06	1,17E+05	4,20E+04	2,41E+03	2,85E+04	5,09E+05
6,11E+08	2,80E+07	1,20E+10	5,25E+05	1,24E+06	3,11E+05	2,57E+05	5,11E+09
0,00E+00	0,00E+00	1,26E+06	7,01E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E+05

239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
2,31E+07	5,55E+07	6,40E+05	1,44E+05
5,10E+05	1,21E+06	4,17E+01	3,06E+05
4,22E+09	3,37E+09	5,58E+07	2,28E+04
1,53E+05	8,08E+05	5,09E+01	1,03E+05

17. táblázat: 2009-re visszszámolt aktivitások című ábrához tartozó értékek



15. ábra: 2009-re visszszámolt aktivitás a különböző hulladékáramok szerint

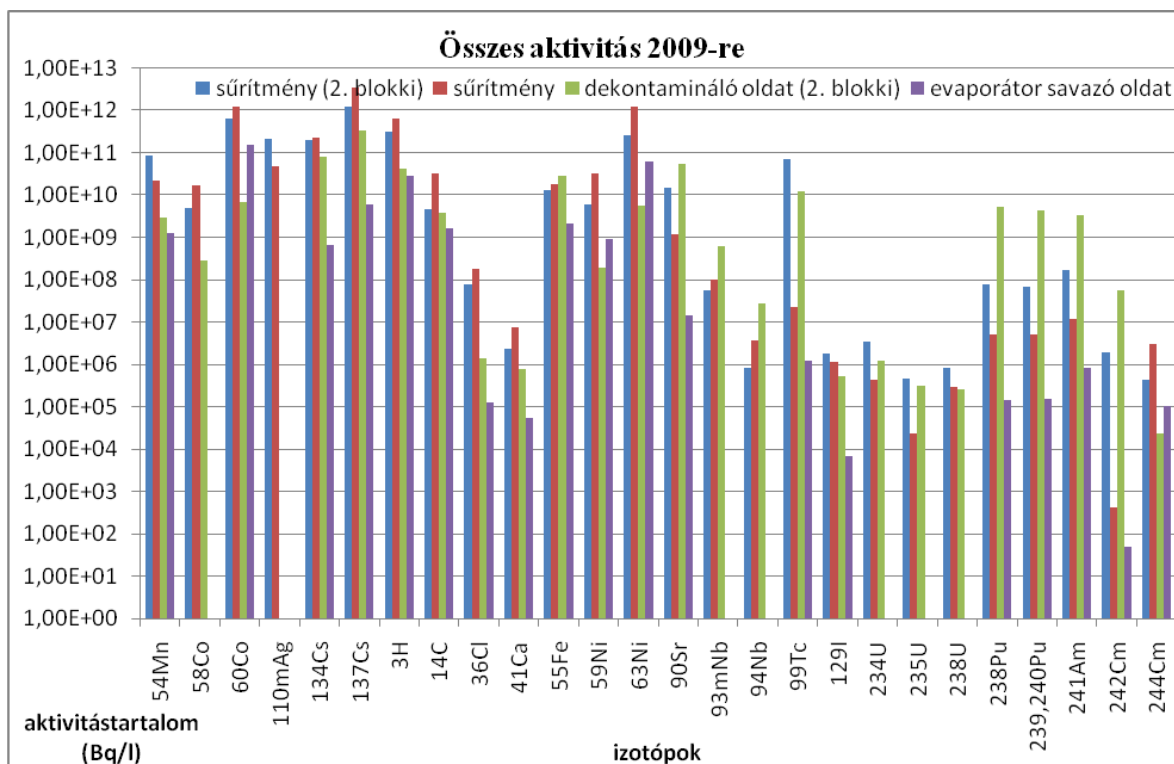
	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs
sűrítmény (2. blokki)	8,73E+10	4,76E+09	6,25E+11	2,15E+11	2,03E+11	1,22E+12
sűrítmény	2,11E+10	1,69E+10	1,20E+12	4,78E+10	2,27E+11	3,38E+12
dekontamináló oldat (2. blokki)	2,83E+09	2,83E+08	6,68E+09	0,00E+00	7,90E+10	3,41E+11
evaporátor savazó oldat	1,22E+09	0,00E+00	1,57E+11	0,00E+00	6,39E+08	6,01E+09

3H	14C	36Cl	⁴¹ Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr
3,11E+11	4,54E+09	7,57E+07	2,35E+06	1,30E+10	5,79E+09	2,57E+11	1,47E+10
6,40E+11	3,14E+10	1,82E+08	7,50E+06	1,80E+10	3,26E+10	1,17E+12	1,18E+09
4,14E+10	3,70E+09	1,38E+06	7,99E+05	2,82E+10	1,89E+08	5,60E+09	5,55E+10
2,81E+10	1,66E+09	1,30E+05	5,35E+04	2,14E+09	9,23E+08	6,31E+10	1,46E+07

93mNb	94Nb	99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu
5,64E+07	8,24E+05	7,10E+10	1,75E+06	3,43E+06	4,49E+05	8,52E+05	7,57E+07
1,01E+08	3,60E+06	2,32E+07	1,17E+06	4,20E+05	2,41E+04	2,85E+05	5,09E+06
6,11E+08	2,80E+07	1,20E+10	5,25E+05	1,24E+06	3,11E+05	2,57E+05	5,11E+09
0,00E+00	0,00E+00	1,26E+06	7,01E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E+05

239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
6,94E+07	1,67E+08	1,92E+06	4,31E+05
5,10E+06	1,21E+07	4,17E+02	3,06E+06
4,22E+09	3,37E+09	5,58E+07	2,28E+04
1,53E+05	8,08E+05	5,09E+01	1,03E+05

18. táblázat: Összes aktivitás 2009-re ábrához tartozó értékek



16. ábra: Összes aktivitás 2009-re

Kapott eredmények értékelése:

Tartályonként a legnagyobb mennyiségben a ^{134}Cs , a ^{137}Cs , a ^3H , a ^{41}Ca , és a legnagyobb mennyiségben a ^{55}Fe , a ^{63}Ni , és a ^{90}Sr van jelen, ez azért van, mert ezen izotópoknak hosszú a felezési idejük, így sok ideig tart, míg elbomlanak. (a kiugró értékek annyira magasak, hogy a többi értéket így nem lehetne szemléltetni)

4.1.4. Egy bizonyos tartályra vonatkozó össz-aktivitás számolás

A 02TW10B002-es tartál térfogatára össz-aktivitást számoltam, melynek mente:

- tartály tetejének aktivitástartalma/4, hozzáadva a tartály közepének aktivitástartalma/4, hozzáadva a 2-szer a tartály aljának aktivitástartalma/4 érték
- majd ezt az értéket összeszorozom az adott tartály térfogatával, mely adott esetben 385 m^3
- Ez egy súlyozott számítási feladatmenet, melyben a tartály aljának aktivitástartalmát kétszer vesszük, azaz kétszeresen súlyozzuk.

Alfanumerika	Azonosító	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H
02TW10B002	teteje	2,06E+03	5,14E+03	5,54E+04	4,00E+03	4,95E+04	2,57E+05	3,97E+05
02TW10B002	közepe	1,19E+04	4,03E+03	1,09E+05	1,93E+04	9,98E+04	5,46E+05	4,33E+05
02TW10B002	alja	9,28E+03	3,25E+03	1,82E+05	1,47E+04	3,01E+05	1,90E+06	3,05E+05

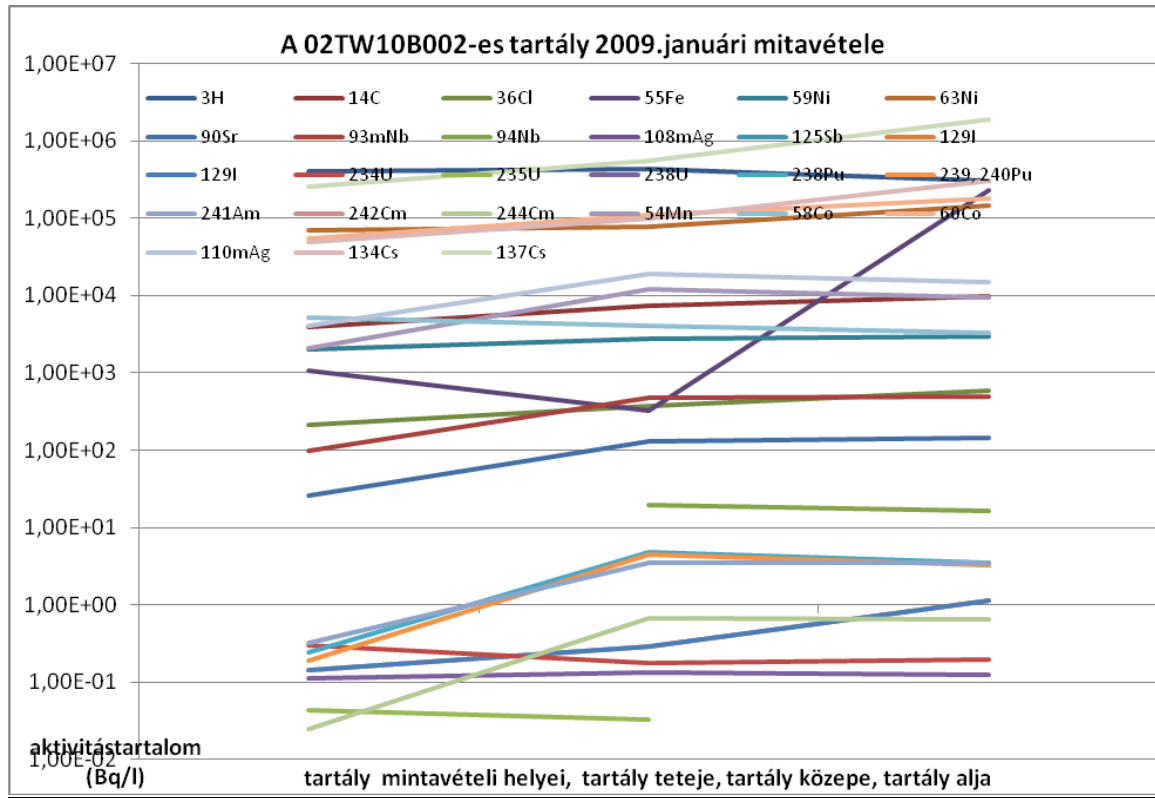
14C	36Cl	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb	108mAg
3,95E+03	2,13E+02	1,06E+03	1,99E+03	6,98E+04	2,59E+01	9,74E+01		
7,39E+03	3,76E+02	3,25E+02	2,79E+03	7,81E+04	1,30E+02	4,83E+02	1,98E+01	
9,69E+03	5,96E+02	2,27E+05	2,99E+03	1,46E+05	1,45E+02	4,89E+02	1,62E+01	4,62E+01

125Sb	129I	234U	235U	238U	238Pu	239, 240Pt	241Am	242Cm	244Cm
	1,45E-01	3,04E-01	4,29E-02	1,14E-01	2,41E-01	1,87E-01	3,18E-01		2,44E-02
	2,93E-01	1,78E-01	3,23E-02	1,35E-01	4,81E+00	4,45E+00	3,47E+00	4,18E-02	6,68E-01
9,13E+02	1,13E+00	1,98E-01		1,23E-01	3,45E+00	3,30E+00	3,45E+00		6,38E-01

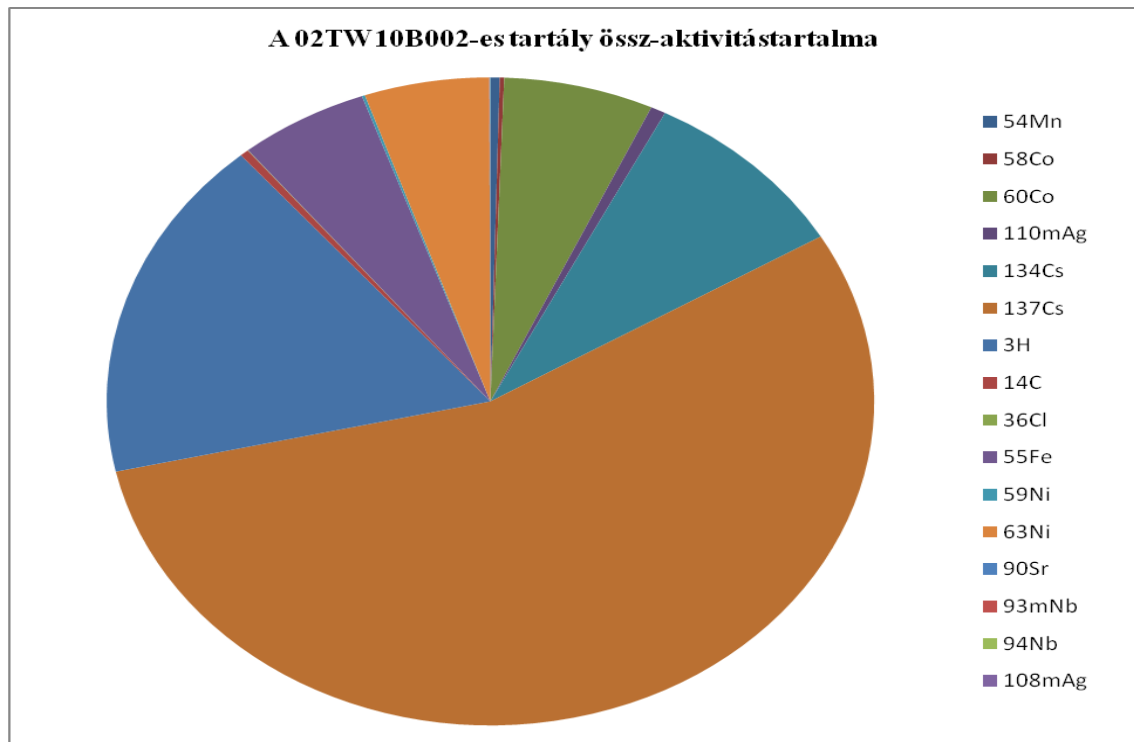
19. táblázat: A 02TW10B002-es tartály 2009. januári mintavétele

54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H	14C	36Cl
3,13E+06	1,51E+06	5,09E+07	5,07E+06	7,23E+07	4,43E+08	1,39E+08	2,96E+06	1,71E+05
55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb	108mAg	125Sb	129I
4,38E+07	1,04E+06	4,23E+07	4,29E+04	1,50E+05	5,02E+03	8,89E+03	1,76E+05	2,60E+02
234U	235U	238U	238Pu	239, 240Pt	241Am	242Cm	244Cm	
8,45E+01	7,24E+00	4,76E+01	1,15E+03	1,08E+03	1,03E+03	4,02E+00	1,89E+02	

20. táblázat: A 02TW10B002-es tartály össz-aktivitása izotóponként



17. ábra: A 02TW10B002-es tartály 2009. januári mintavétele



18. ábra: A 02TW10B002-es tartály össz-aktivitása

Kapott eredmények értékelése:

Mint az ábrán is látható az adott tartályban a ¹³⁷Cs izotóp volt a 2009. januári mintavétel folyamán a legnagyobb mennyiségben az adott tartályban, de ezen kívül jelentős mennyiség volt található a ⁵⁴Mn, és a ¹³⁴Cs izotópokból is, hisz ezen elemek relatív hosszú felezési idejük.

4.1.5. A jövőben keletkező hulladékok mennyisége

A folyékony radioaktív hulladékok keletkezésének üteme 250 m³/év.

keletkezés éve	bepárlási maradék, sűrítmény	bepárlási maradékra, dekont oldat 2. blokk keletkezésének mennyisége (m3)	bepárlási maradékra, evaporátor savazó oldat keletkezésének mennyisége (m3)
	keletkezésének mennyisége (m3)	keletkezésének mennyisége (m3)	keletkezésének mennyisége (m3)
2009	250	0	15
2010	90	0	15
2011	90	0	15
2012	90	0	15
2013	250	0	15
2014	250	0	15
2015	250	0	15
2016	250	0	15
2017	250	0	15
2018	250	0	15
2019	250	0	15
2020	250	0	15
2021	250	0	15
2022	250	0	15
2023	250	0	15
2024	250	0	15
2025	250	0	15
2026	250	0	15
2027	250	0	15
2028	250	0	15
2029	250	0	15
2030	250	0	15
2031	250	0	15
2032	250	0	15
2033	250	0	7,5
2034	250	0	7,5
2035	125	0	7,5
2036	125	0	7,5
2037	60	0	0
Összesen:	6330	0	390

21. táblázat: A jövőben keletkező hulladékok mennyisége

4.1.6. A jövőben keletkező hulladékok izotóp és aktivitástartalmának meghatározása

A kiértékelés ezen részében a 2037-es üzemidő hosszabbításig tervezett értékek számolását és eredményeit jellemzem.

A számolás lépései a következők:

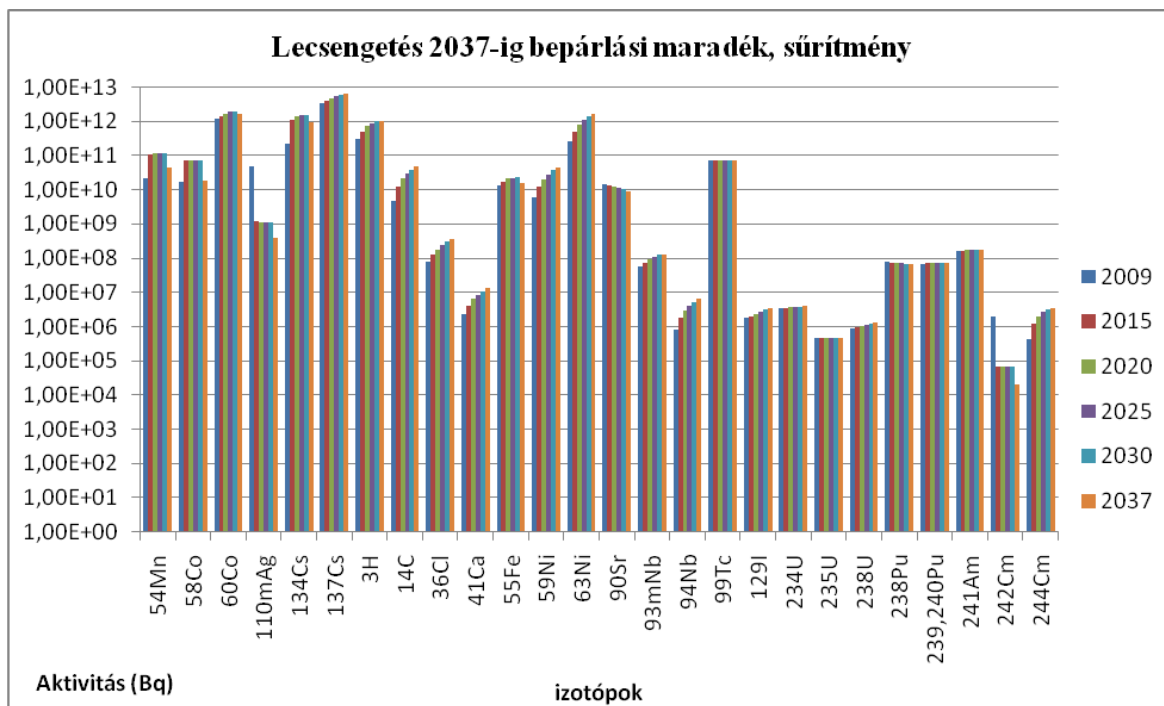
- Az adott izotóp előző aktivitásából levonjuk az egy év alatt lebomlott aktivitást a bomlási törvény alkalmazásával.
- Ehhez az értékhez pedig hozzáadjuk a keletkező hulladékmennyiség és a keletkezés időpontjára vonatkozó aktivitáskoncentrációk szorzatát.
- Ezt a lépést külön-külön elvégeztem a bepárlási maradékra (a 2. blokki sűrítményre, a 2. blokki dekontamináló oldatra, és az evaporátor savazó oldat tisztjára és iszapjára összesen, külön iszapjára és külön tisztjára).

bepárlási maradék, sűrítmény	lecsengetés éve	54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H
	2009	2,11E+10	1,69E+10	1,20E+12	4,78E+10	2,27E+11	3,38E+12	3,11E+11
	2015	1,06E+11	7,19E+10	1,38E+12	1,17E+09	1,13E+12	3,97E+12	5,10E+11
	2020	1,13E+11	7,19E+10	1,70E+12	1,09E+09	1,45E+12	4,80E+12	7,34E+11
	2025	1,13E+11	7,19E+10	1,87E+12	1,09E+09	1,51E+12	5,53E+12	9,03E+11
	2030	1,13E+11	7,19E+10	1,96E+12	1,09E+09	1,52E+12	6,19E+12	1,03E+12
2037	4,50E+10	1,78E+10	1,61E+12	3,91E+08	9,28E+11	6,53E+12	1,03E+12	

14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb
4,54E+09	7,57E+07	2,35E+06	1,30E+10	5,79E+09	2,57E+11	1,47E+10	5,64E+07	8,24E+05
1,20E+10	1,24E+08	4,17E+06	1,71E+10	1,24E+10	5,12E+11	1,31E+10	7,24E+07	1,78E+06
2,12E+10	1,82E+08	6,40E+06	2,12E+10	2,05E+10	8,19E+11	1,21E+10	9,35E+07	2,94E+06
3,04E+10	2,41E+08	8,62E+06	2,24E+10	2,86E+10	1,12E+12	1,11E+10	1,10E+08	4,10E+06
3,95E+10	3,00E+08	1,08E+07	2,27E+10	3,67E+10	1,40E+12	1,03E+10	1,23E+08	5,27E+06
4,91E+10	3,62E+08	1,32E+07	1,53E+10	4,52E+10	1,67E+12	9,13E+09	1,24E+08	6,48E+06

99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu	239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
7,10E+10	1,75E+06	3,43E+06	4,49E+05	8,52E+05	7,57E+07	6,94E+07	1,67E+08	1,92E+06	4,31E+05
7,10E+10	2,03E+06	3,51E+06	4,54E+05	9,22E+05	7,34E+07	7,05E+07	1,68E+08	6,73E+04	1,18E+06
7,11E+10	2,38E+06	3,62E+06	4,60E+05	1,01E+06	7,20E+07	7,17E+07	1,70E+08	6,76E+04	1,99E+06
7,11E+10	2,72E+06	3,72E+06	4,67E+05	1,09E+06	7,06E+07	7,30E+07	1,72E+08	6,76E+04	2,67E+06
7,11E+10	3,07E+06	3,82E+06	4,73E+05	1,18E+06	6,93E+07	7,43E+07	1,74E+08	6,76E+04	3,22E+06
7,11E+10	3,43E+06	3,92E+06	4,80E+05	1,27E+06	6,71E+07	7,56E+07	1,76E+08	2,03E+04	3,46E+06

22. táblázat: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra



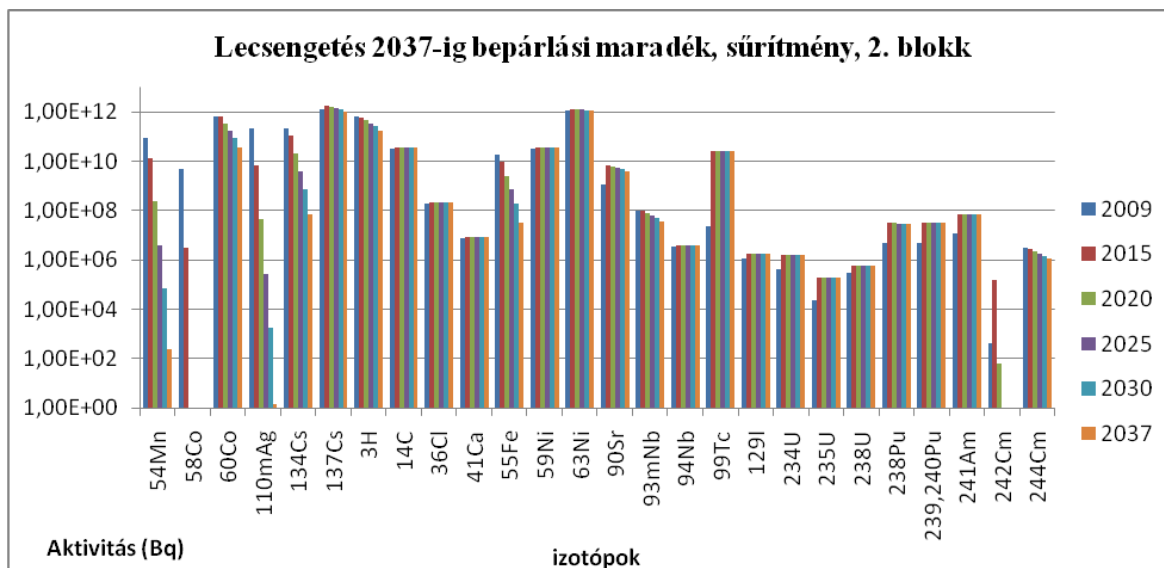
19. ábra: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra

		54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H
bepárlási maradék, sűrítmény, 2. blokk	2009	8,73E+10	4,76E+09	6,25E+11	2,15E+11	2,03E+11	1,22E+12	6,40E+11
	2015	1,29E+10	3,26E+06	6,27E+11	6,85E+09	1,10E+11	1,74E+12	5,92E+11
	2020	2,26E+08	0,00E+00	3,25E+11	4,35E+07	2,06E+10	1,56E+12	4,47E+11
	2025	3,95E+06	0,00E+00	1,68E+11	2,76E+05	3,83E+09	1,39E+12	3,37E+11
	2030	6,91E+04	0,00E+00	8,72E+10	1,75E+03	7,13E+08	1,24E+12	2,54E+11
	2037	2,40E+02	0,00E+00	3,47E+10	1,47E+00	6,78E+07	1,05E+12	1,71E+11

14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb
3,14E+10	1,82E+08	7,50E+06	1,80E+10	3,26E+10	1,17E+12	1,18E+09	1,01E+08	3,60E+06
3,39E+10	2,11E+08	8,75E+06	9,05E+09	3,55E+10	1,27E+12	6,69E+09	9,89E+07	3,91E+06
3,39E+10	2,11E+08	8,75E+06	2,51E+09	3,55E+10	1,23E+12	5,93E+09	7,80E+07	3,90E+06
3,39E+10	2,11E+08	8,75E+06	6,95E+08	3,55E+10	1,19E+12	5,27E+09	6,15E+07	3,89E+06
3,39E+10	2,11E+08	8,75E+06	1,92E+08	3,55E+10	1,15E+12	4,68E+09	4,85E+07	3,89E+06
3,38E+10	2,11E+08	8,75E+06	3,19E+07	3,55E+10	1,09E+12	3,96E+09	3,48E+07	3,88E+06

99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu	239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
2,32E+07	1,17E+06	4,20E+05	2,41E+04	2,85E+05	5,09E+06	5,10E+06	1,21E+07	4,17E+02	3,06E+06
2,61E+10	1,87E+06	1,68E+06	1,90E+05	6,00E+05	3,26E+07	3,07E+07	7,35E+07	1,47E+05	2,67E+06
2,61E+10	1,87E+06	1,67E+06	1,90E+05	6,00E+05	3,13E+07	3,07E+07	7,29E+07	6,27E+01	2,20E+06
2,61E+10	1,87E+06	1,66E+06	1,90E+05	6,00E+05	3,01E+07	3,07E+07	7,23E+07	0,00E+00	1,82E+06
2,61E+10	1,87E+06	1,66E+06	1,90E+05	6,00E+05	2,90E+07	3,07E+07	7,18E+07	0,00E+00	1,50E+06
2,61E+10	1,87E+06	1,64E+06	1,90E+05	6,00E+05	2,74E+07	3,07E+07	7,10E+07	0,00E+00	1,15E+06

23. táblázat: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra, 2es blokki sűrítmény



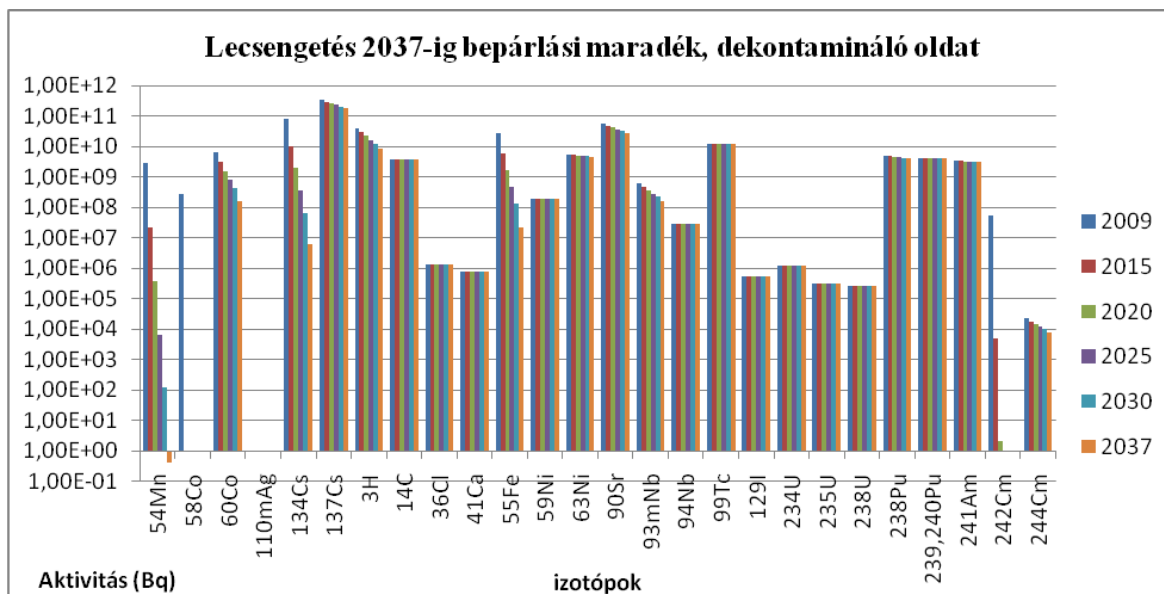
20. ábra: Lecsengetés 2037ig a bepárlási maradékra, 2es blokki sűrítmény

		54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H
bepárlási maradék, dekontamináló oldat	2009	2,83E+09	2,83E+08	6,68E+09	0,00E+00	7,90E+10	3,41E+11	4,14E+10
	2015	2,20E+07	0,00E+00	3,03E+09	0,00E+00	1,05E+10	2,97E+11	2,95E+10
	2020	3,85E+05	0,00E+00	1,57E+09	0,00E+00	1,96E+09	2,65E+11	2,22E+10
	2025	6,75E+03	0,00E+00	8,14E+08	0,00E+00	3,65E+08	2,36E+11	1,68E+10
	2030	1,18E+02	0,00E+00	4,22E+08	0,00E+00	6,79E+07	2,11E+11	1,27E+10
	2037	4,10E-01	0,00E+00	1,68E+08	0,00E+00	6,46E+06	1,79E+11	8,54E+09

14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb
3,70E+09	1,38E+06	7,99E+05	2,82E+10	1,89E+08	5,60E+09	5,55E+10	6,11E+08	2,80E+07
3,69E+09	1,38E+06	7,99E+05	6,04E+09	1,89E+08	5,37E+09	4,81E+10	4,60E+08	2,79E+07
3,69E+09	1,38E+06	7,99E+05	1,67E+09	1,89E+08	5,19E+09	4,27E+10	3,63E+08	2,79E+07
3,69E+09	1,38E+06	7,99E+05	4,63E+08	1,89E+08	5,01E+09	3,79E+10	2,86E+08	2,78E+07
3,69E+09	1,38E+06	7,99E+05	1,28E+08	1,89E+08	4,84E+09	3,36E+10	2,25E+08	2,78E+07
3,68E+09	1,38E+06	7,99E+05	2,13E+07	1,89E+08	4,61E+09	2,85E+10	1,62E+08	2,77E+07

99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu	239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
1,20E+10	5,25E+05	1,24E+06	3,11E+05	2,57E+05	5,11E+09	4,22E+09	3,37E+09	5,58E+07	2,28E+04
1,20E+10	5,25E+05	1,23E+06	3,11E+05	2,57E+05	4,88E+09	4,22E+09	3,34E+09	5,04E+03	1,81E+04
1,20E+10	5,25E+05	1,23E+06	3,11E+05	2,57E+05	4,69E+09	4,21E+09	3,32E+09	2,15E+00	1,49E+04
1,20E+10	5,25E+05	1,22E+06	3,11E+05	2,57E+05	4,51E+09	4,21E+09	3,29E+09	0,00E+00	1,23E+04
1,20E+10	5,25E+05	1,21E+06	3,11E+05	2,57E+05	4,33E+09	4,21E+09	3,26E+09	0,00E+00	1,02E+04
1,20E+10	5,25E+05	1,21E+06	3,11E+05	2,57E+05	4,10E+09	4,21E+09	3,23E+09	0,00E+00	7,79E+03

24. táblázat: Lecsengetés 2037ig a dekontamináló oldatra, 2es blokk



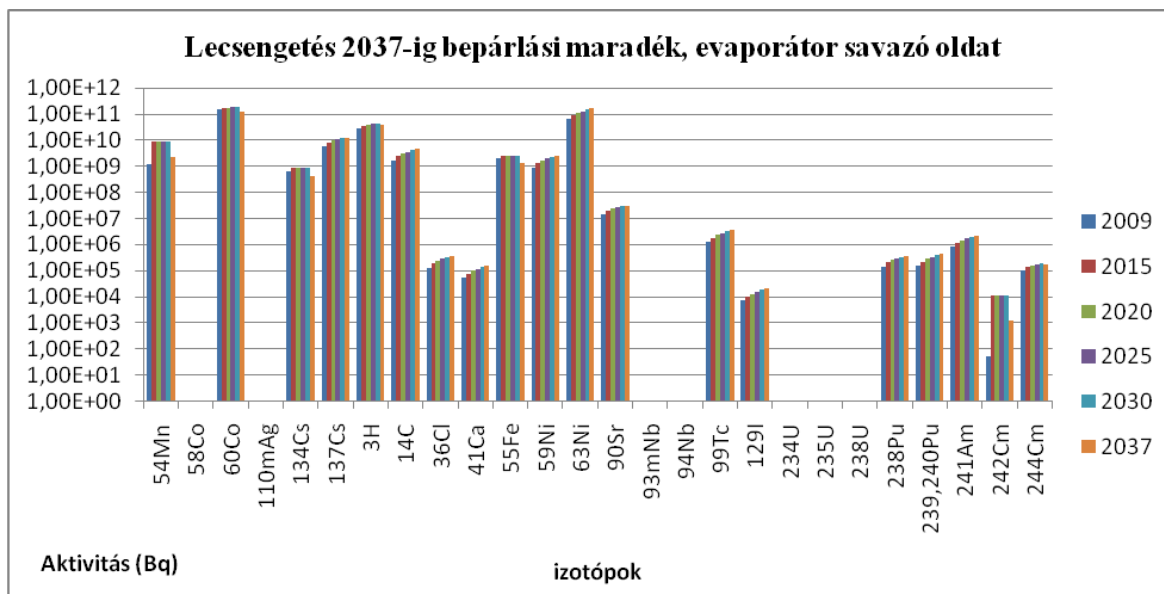
21. ábra: Lecsengetés 2037ig a dekontamináló oldatra, 2es blokk

		54Mn	58Co	60Co	110mAg	134Cs	137Cs	3H
bepárlási maradékra, evaporátor savazó oldat	2009	1,22E+09	0,00E+00	1,57E+11	0,00E+00	6,39E+08	6,01E+09	2,81E+10
	2015	9,33E+09	0,00E+00	1,72E+11	0,00E+00	8,66E+08	8,10E+09	3,46E+10
	2020	9,39E+09	0,00E+00	1,78E+11	0,00E+00	8,95E+08	9,64E+09	3,86E+10
	2025	9,39E+09	0,00E+00	1,81E+11	0,00E+00	9,00E+08	1,10E+10	4,16E+10
	2030	9,39E+09	0,00E+00	1,82E+11	0,00E+00	9,01E+08	1,22E+10	4,39E+10
	2037	2,17E+09	0,00E+00	1,28E+11	0,00E+00	4,06E+08	1,23E+10	3,85E+10

14C	36Cl	41Ca	55Fe	59Ni	63Ni	90Sr	93mNb	94Nb
1,66E+09	1,30E+05	5,35E+04	2,14E+09	9,23E+08	6,31E+10	1,46E+07	0,00E+00	0,00E+00
2,40E+09	1,88E+05	7,75E+04	2,46E+09	1,34E+09	8,95E+10	1,97E+07	0,00E+00	0,00E+00
3,03E+09	2,37E+05	9,76E+04	2,53E+09	1,68E+09	1,11E+11	2,34E+07	0,00E+00	0,00E+00
3,65E+09	2,85E+05	1,18E+05	2,55E+09	2,03E+09	1,31E+11	2,66E+07	0,00E+00	0,00E+00
4,27E+09	3,34E+05	1,38E+05	2,55E+09	2,38E+09	1,51E+11	2,95E+07	0,00E+00	0,00E+00
4,76E+09	3,73E+05	1,54E+05	1,34E+09	2,65E+09	1,63E+11	2,95E+07	0,00E+00	0,00E+00

99Tc	129I	234U	235U	238U	238Pu	239,240Pu	241Am	242Cm	244Cm
1,26E+06	7,01E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E+05	1,53E+05	8,08E+05	5,09E+01	1,03E+05
1,82E+06	1,02E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,02E+05	2,21E+05	1,17E+06	1,14E+04	1,34E+05
2,29E+06	1,28E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,50E+05	2,78E+05	1,46E+06	1,14E+04	1,54E+05
2,76E+06	1,54E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,95E+05	3,36E+05	1,75E+06	1,14E+04	1,71E+05
3,24E+06	1,81E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,39E+05	3,93E+05	2,04E+06	1,14E+04	1,85E+05
3,61E+06	2,02E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,64E+05	4,38E+05	2,27E+06	1,21E+03	1,73E+05

25. táblázat: Lecsengetés 2037ig az evaporátor savazó oldatra



22. ábra: Lecsengetés 2037ig az evaporátor savazó oldatra

Kapott eredmények kiértékelése

A kapott eredményekből jól kivehető, hogy az adott izotópok mennyisége tartályonként nagyon különböző értékeket vesznek fel, a nagyon-nagy értékektől kezdve az egészen kis értékekig. A magas értékek a hosszú felezési idejű izotópokra jellemzőek, hisz ezeknek a lebomlása sokkal tovább tart, mint az egyéb izotópoké, közben más leányelemek is keletkeznek növelve a tartályban lévő izotópok mennyiségét és aktivitástartalmát. A legnagyobb mennyiségben a ^{55}Fe , a ^{63}Ni , és a ^{90}Sr van jelen, de ezen kívül még jelentős mennyiség található a kulcsnuklidokból is a tartályokban.

5. ÖSSZEFOGLALÁS:

A radioaktív hulladékok minősítése az az eljárás, melynek során meghatározzuk a hulladékban, ill. a hulladékcsomagban lévő radionuklidok koncentrációját és mennyiségét. A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékaiban található - a hulladéktárolás biztonsága szempontjából - "kritikus" radioizotópok egyrészt hasadási termékek mint pl. ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{134}Cs , ^{137}Cs és ^{129}I , másrészt aktivációs termékek úm. ^3H , ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{94}Nb . Ezen kívül található még - bár igen kis koncentrációban - transzurán izotópok is (^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm , U és Pu izotópok). Az izotópösszetétel szempontjából a hulladékáramok természetesen nem homogének, hiszen számos, különböző felezési idejű radioizotóp keverékéből állnak. A hulladékminősítés nehézsége abban áll, hogy azon radioizotópok, melyek (tiszta) β - ill. α -sugárzók, nem mérhetők olyan közvetlen módszerekkel, mint a γ -sugárzók. Ezek meghatározása olyan radiokémiai és nukleáris mérés technikai módszereket igényel, melyek rutinszerű alkalmazása nem könnyű feladat.

A γ -spektrometriai mérés technikát alkalmazva a radioizotópok néhány csoportja nem határozható meg, részarányuk azonban közvetett módon becsülhető, mivel aktivitásuk γ -spektrometriailag mérhető izotópok mennyiségével arányban van. A nemzetközileg is alkalmazott gyakorlat az, hogy a primer körű hőhordozó, vagy a folyékony radioaktív hulladékok egy részének rendszeres ellenőrzésével követik nyomon ezen komponenseket, majd a scaling-faktor módszerrel elvégzik a becslést. A várható izotópösszetétel, és aktivitáskoncentráció értékekre a szilárd radioaktív hulladékokban mért értékek alapján közelítő becslések adhatók.

Az erőmű ellenőrzött zónájában keletkező a jövőben feldolgozandó folyékony radioaktív hulladékainak, valamint a feldolgozási technológiák másodlagos hulladékainak átmeneti tárolása az I. és II. sz. segédépületben történik.

Figyelembe kell venni azon igényeket, hogy mind a kezelő, és kiszolgáló helyiségbe, mind a tároló külső, szabad téri részén, mind az üres tartályoknál végzett tevékenységnél, s mind az esetleges javítás során a további tartályoknál dolgozók olyan sugárzási viszonyok között legyenek, amelyek megfelelő sugárvédelmi intézkedésekkel kezelhetők. A hulladékkezelési rendszernek egyik fontos láncszeme a radioaktív hulladéktároló tartályok paramétereinek széleskörű ismerete.

Az I. sz. segédépület üzembehelyezéséhez kiadott Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Igazgatósága (OAH NBI) határozat előírta a hulladékos tartályok időszakos felülvizsgálatát, melynek ki kell terjednie a tartályok fizikai, radiológiai állapotának ellenőrzésére. Ezen ellenőrzés előkészítését, megszervezését, lebonyolítását, a munkát végzők sugárterhelésének csökkentését jelentősen megkönnyíti a tartályokról vezetett pontos, és minél teljesebb körű számítógépes adatnyilvántartás. Ennek megfelelően, a betárolást megelőzően meg kell ismerni a tartályok tartalmának fizikai-kémiai összetételét és izotóponkénti aktivitását. A hulladékok nem- γ sugárzó izotópjainak mennyiségét is ismerni kell, hogy egy esetlegesen bekövetkező baleseti szituációban jó hatásfokkal meg lehessen határozni a kárelhárító, kárcsökkentő tevékenységeket. Ezen izotópok mennyiségi meghatározásához a scaling-faktor módszert használják. A scaling-faktorok verifikálásához évente el kell végezni az úgynevezett nehezen mérhető komponensek mennyiségének meghatározását a folyékony radioaktív hulladékokban, primerköri hőhordozóban. A folyékony hulladékokban viszonylag nagy fajlagos aktivitással jelenlévő néhány α -sugárzó és lágy- β emittáló izotóp esetében nem csak számítást, hanem közvetlen mérést is végeztek a Paksi Atomerőmű Zrt.-ben azért, hogy a számított értékeket ellenőrizni lehessen. Ezen összehasonlításból kiderült, hogy a számított értékek jó becslést adnak a hulladékban lévő izotópok mennyiségére vonatkozóan.

Bepárlási maradékok (sűrítmények)

A sűrítmény-tartályokból vett rétegminták minősítési eredményeit elemezve megállapítható, hogy a tartályok alsó részéből származó minták aktivitáskoncentrációja a legtöbb izotóp esetében magasabb, mint a középső, illetve a felső rétegmintákban. Ezt az ülepedő részecskékhez (elsősorban korróziós termékekhez) kötődő izotópok okozzák, ennek következtében a tartályban felhalmozódott aktivitáskészlet jelentős része a tartályok alján található. Ez a tulajdonság kedvező a sűrítmények feldolgozása szempontjából (szeparáltan lehet kezelni a kevésbé aktív és az aktívabb részt).

Az egymást követő években vett minták eredményeit összevetve megállapítható, hogy az előzőben említett pozitív hatást tovább erősíti a radioaktív sűrítmény "lecsengetéses" tárolása, melynek során a rövidebb felezési idejű, de magas aktivitáskoncentrációjú komponensek (jellemzően gamma-sugárzó izotópok) aktivitáshányada jelentősen csökken a radioaktív bomlások következtében.

A sűrítményekben nagyobb mennyiségben található ^{134}Cs és ^{137}Cs ionos formában fordul elő, mennyiségük domináns az összaktivitás tekintetében. Jelentős mennyiségű ^{60}Co , ^{58}Co

és ^{54}Mn izotóp fordul elő a korróziós termékekben. A főleg dekontamináló oldatokból származó $^{110\text{m}}\text{Ag}$ szintén számottevő lehet. E radionuklidok jellemzően kolloid diszperz formában találhatók meg, míg a kobaltnuklidok ionos formában is lehetnek. Az egyes tartályokban a ^{124}Sb kolloid diszperz formában fordul elő. A sűrítvényekben kis mennyiségben megjelennek még a ^{90}Sr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{14}C , ^3H és alfa-sugárzó transzurán radionuklidok is, melyeknek a kibocsátás és a végleges elhelyezés szempontjából van jelentősége, mivel ezekre szigorú korlátozások vannak, illetve várhatók a későbbiekben.

Evaporátor savazó oldatok

Az evaporátor savazó oldatok alapvetően a sűrítvényeknek megfelelő nuklidokat tartalmaznak. Az egyes radionuklidok aktivitásának nagyságrendje azonban kisebb.

Dekontamináló oldatok

A dekontamináló oldatok aktivitását a korróziós termékek adják, főleg a kobalt, a mangán, a vas és a króm nuklidjai, de megjelennek még az ezüst, illetve az antimon radionuklidjai is. A fajlagos aktivitás a dekontamináló berendezések szennyezettségétől függően változik.

Az atomerőmű egyes technológiai ágaiban keletkező, az adott hulladékáramokra jellemző egyes végtermékeinek (bepárlási maradékok, evaporátor savazó oldatok, dekontamináló oldatok) eddigi mérési adatok alapján számított hasadványtermékek, aktivációs és korróziós termékek, urán és transzuránokra vonatkoztatott scaling-faktor értékei, általában egyezést mutatnak a nemzetközi értékekkel.

Az irodalmi tapasztalatokból, és az eddig rendelkezésre álló hazai vizsgálatok mérési adatai alapján elvégzett számításokból levonható az a következtetés, hogy scaling-faktor módszer a radioaktív hulladékok transzurán koncentrációjának meghatározására vonatkozóan nem ad egzakt analitikai információt. További mérési adatok szükségesek, amelyekkel folyamatosan kiegészítve az adatbázist és elvégezve az értékelést, megbízhatóbb scaling-faktor értékeket kaphatunk, melyek elősegíthetik a radioaktív hulladékok minősítését.

Általánosan megállapítható ^{14}C aktivitásértékük tipikusan 1 Bq/liter érték alatt marad. A legnagyobb ^{14}C aktivitás érték sem éri el a 10 Bq/literes értéket.

Számítási feladataim az alább felsoroltak voltak:

1. A 2007-es, 2008-as, 2009-es aktivitáskoncentrációk átlagának kiszámítása tartályonként a tisztára, az iszapra, és a teljes átlagra

2. A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalmának meghatározása a keletkezés időpontjában
3. A tartályok átlagos izotóp és aktivitástartalmának meghatározása 2009. év végén
4. A teljes hulladékmennyiség izotóp és aktivitástartalmának meghatározása
5. A jövőben keletkező hulladékok mennyiségének meghatározása
6. A jövőben keletkező hulladékok izotóp és aktivitástartalmának meghatározása

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1]

<http://www.atomeromu.hu/download/261/K%C3%B6rnyezeti%20hat%C3%A1stanulm%C3%A1ny%20-%20K%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91%20%C3%B6sszefoglal%C3%B3.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[2] Nagy Lajos György- radiokémia és izotóptechnika Bp, 1989 Egyetemi tankönyv

[3] <http://pavogy.web.elte.hu/Kornyez/NAI/NAI.html>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[4]

<http://www.atomeromu.hu/download/700/Radioakt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20%C3%A9s%20besorol%C3%A1suk.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[5] Paksi Atomerőmű ZRt. Szilárd- és folyékony radioaktív hulladékok kezelése.doc

[6] A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése tárolása és elhelyezése - 2008 éves jelentés.docx

[7] <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/nrht/hulladekleltar/>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[8]Dr. Ormai Péter – Radioaktív hulladékok kezelése BME OMIKK Műszaki – Gazdasági Kiadványok osztálya 2002. december

[9]

<http://www.atomeromu.hu/download/1600/Radioakt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20kezel%C3%A9s%C3%A9nek%20lehet%C5%91s%C3%A9gei.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[10] A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése tárolása és elhelyezése - 2009 éves jelentés.docx

[11] <http://mf2002.uw.hu/anyagok/gamma.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

[12] Szilárd hulladékok minősítése, a nehezen mérhető radioaktív izotópok meghatározása2009.doc

[13]Nukleáris tudományos műszaki folyóirat III. Évfolyam, 4. szám 2010.december

[14]Radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei. pdf

[15] Bátaapáti, kis- és közepes radioaktivitású atomerőművi hulladék végleges elhelyezésére alkalmas földalatti tároló környezetvédelmi engedélye 2007

[16] <http://www.chem.elte.hu/departments/kolloid/personnel/hj/mtech3-uc.pdf>

(utolsó megtekintés ideje: 2011-05-04)

[18] A Paksi Atomerőműben folyamatosan keletkező radioaktív hulladékok évenkénti minősítéséhez a hosszú idejű tárolás és végső elhelyezés szempontjából fontos „nehezen mérhető” nuklidok aktivitáskoncentrációjának meghatározása.doc(2009.június)

1.22.v3 Felkészülés a radioaktív hulladékok kezelésének hatósági ellenőrzésére.doc(2005.október)

Sugáregészségügyi ismeretek.pdf

Szilárd és folyékony radioaktív hulladék kezelése a Paksi Atomerőműben.doc(2007)

Az ellenőrzött zónában keletkező hulladékok szelektív gyűjtése.doc(TLÜ502_VU01_V01)

<http://pavogy.web.elte.hu/Kornyez/NAI/NAI.html><http://www.atomeromu.hu/download/700/Radioakt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20%C3%A9s%20besorol%C3%A1suk.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

<http://www.atomeromu.hu/download/1600/Radioakt%C3%ADv%20hullad%C3%A9kok%20kezel%C3%A9s%C3%A9nek%20lehet%C5%91s%C3%A9gei.pdf>

<http://mf2002.uw.hu/anyagok/gamma.pdf>

(utolsó megtekintés ideje:2011-04-28)

7. MELLÉKLETEK:

Alfanumerik	Azonosító	Mintavétel ideje	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
01TW30B001	teteje	2008. január			1,40E+05		3,21E+05	1,31E+06
01TW30B001	közepe	2008. január	1,63E+04		7,22E+05		2,02E+05	1,06E+06
01TW30B001	alja	2008. január	1,74E+04		7,27E+05		2,01E+05	1,02E+06
01TW30B003	átlag	2009. január	9,42E+03	1,02E+03	1,37E+05	1,08E+03	8,76E+04	5,52E+05
01TW15B001	átlag	2009. január	1,80E+04	2,38E+03	1,68E+04	2,29E+04	5,39E+04	3,17E+05
02TW10B001	teteje	2008. január	1,52E+03		6,35E+03		8,55E+03	3,35E+04
02TW10B001	közepe	2008. január	2,21E+03		9,03E+03		1,23E+04	4,33E+04
02TW10B002	teteje	2009. január	2,06E+03	5,14E+03	5,54E+04	4,00E+03	4,95E+04	2,57E+05
02TW10B002	közepe	2009. január	1,19E+04	4,03E+03	1,09E+05	1,93E+04	9,98E+04	5,46E+05
02TW10	alja	2009. január	9,28E+03	3,25E+03	1,82E+05	1,47E+04	3,01E+05	1,90E+06
02TW10B003	teteje	2008. január			5,13E+05		1,39E+05	1,74E+06
02TW10B003	közepe	2008. január	4,68E+03		5,08E+05		1,36E+05	1,72E+06
02TW10B003	alja	2008. január	5,35E+03		4,65E+05		1,27E+05	1,58E+06
02TW30B001	átlag	2009. január	4,92E+02	4,76E+02	3,05E+04	4,92E+02	2,98E+04	1,77E+06
02TW30B002	átlag	2009. január	1,24E+02	1,27E+02	2,61E+03	1,80E+02	3,86E+03	1,16E+05
02TW30B003	átlag	2009. január	6,79E+02	6,88E+02	1,17E+05	7,55E+02	7,43E+03	1,39E+06
02TW80B001	teteje	2008. január	2,95E+03		6,16E+05		8,77E+03	3,41E+05
02TW80B001	közepe	2008. január			1,47E+06		1,19E+04	2,73E+05
02TW80B001	alja	2008. január	8,99E+03		1,38E+06		1,15E+04	2,56E+05
02TW80B002	teteje	2008. január			1,10E+05		4,52E+03	3,12E+05
02TW80B002	közepe	2008. január			7,99E+03		2,29E+03	3,38E+05
02TW80B002	alja	2008. január			1,44E+04		3,13E+03	4,82E+05
02TW80B003	teteje	2008. január			5,69E+03		1,77E+03	2,81E+05
02TW80B003	közepe	2008. január			3,79E+03		1,37E+03	2,18E+05
02TW80B003	alja	2008. január			3,88E+03		1,48E+03	2,19E+05
02TW80B004	teteje	2008. január	1,64E+03		3,20E+05		1,85E+05	1,49E+06
02TW80B004	közepe	2008. január	2,30E+03		3,26E+05		1,95E+05	1,52E+06
02TW80B004	alja	2008. január	1,92E+03		3,14E+05		1,80E+05	1,47E+06
02TW80B006	teteje	2008. január			2,17E+05		1,02E+04	5,58E+05
02TW80B006	közepe	2008. január			2,14E+05		8,28E+03	5,45E+05
02TW80B006	alja	2008. január			2,07E+05		7,89E+03	5,28E+05

26. táblázat: A sűrítmény rétegminták aktivitáskonzentrációi (Bq/dm³)

Alfanumerika	Azonosító	³ H	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁵⁵ Fe	⁵⁹ Ni	⁶³ Ni
01TW30B001	teteje	3,86E+05	1,01E+03	5,00E+01			
01TW30B001	közepe	5,11E+05	5,52E+03	1,71E+02			
01TW30B001	alja	4,68E+05	8,79E+02	1,26E+02			
01TW30B002	teteje	6,90E+04		<1,00E+00	4,51E+04		
01TW30B002	alja	9,63E+04		<2,46E+00	1,23E+05		
01TW30B003	teteje	2,14E+05	3,37E+03	3,33E+01			
01TW30B003	közepe	1,98E+05	3,74E+03	<4,09E+00			
01TW30B003	alja	1,92E+05	7,26E+02	1,21E+00			
02TW10B002	teteje	3,30E+05	1,05E+04	2,63E+02			
02TW10B002	közepe	3,38E+05	6,75E+03	<4,86E+00			
02TW10B002	alja	2,34E+05	6,53E+03	3,31E+02			
02TW30B002	teteje	7,67E+04	1,27E+04		7,80E+01		4,36E+03
02TW30B002	közepe	8,46E+04	1,15E+04	1,93E+01	1,35E+02		4,16E+03
02TW30B002	alja	7,80E+04	1,29E+04		6,30E+01		4,04E+03
02TW30B003	teteje	1,39E+05	4,60E+03		7,10E+01	2,30E+03	8,27E+04
02TW30B003	közepe	1,29E+05	4,44E+03	1,02E+02			
02TW30B003	alja	1,44E+05	4,39E+03		5,40E+01		8,23E+04
02TW80B003	teteje	6,83E+04	5,74E+03	2,15E+02	5,20E+01		8,99E+03
02TW80B003	közepe	7,78E+04	7,37E+03	2,70E+01	5,00E+01		7,29E+03
02TW80B003	alja	7,76E+04	4,84E+03	9,94E+01	1,45E+02		7,17E+03
Alfanumerika	Azonosító	⁹⁰ Sr	^{93m} Nb	⁹⁴ Nb	¹²⁵ Sb	¹²⁹ I	²³⁴ U
01TW30B001	teteje	1,97E+04			1,08E+05	2,67E+00	2,19E+00
01TW30B001	közepe	3,16E+04			1,28E+04	1,68E+00	1,74E+00
01TW30B001	alja	3,29E+04			1,25E+04	1,51E+00	2,28E+00
01TW30B002	teteje	8,27E+04	1,30E+03		6,23E+03	4,64E-01	1,46E+00
01TW30B002	alja	1,25E+05	1,10E+03	5,00E+01	3,65E+04	1,41E+00	2,98E+00
01TW30B003	teteje	5,66E+03			7,76E+04	9,76E-01	3,82E+00
01TW30B003	közepe	6,90E+03			8,91E+04	8,62E-01	3,55E+00
01TW30B003	alja	7,00E+03			9,25E+04	9,05E-01	4,23E+00
02TW10B002	teteje	4,88E+02				5,96E-01	5,15E-01
02TW10B002	közepe	4,20E+02				9,95E-01	2,99E-01
02TW10B002	alja	5,36E+02				1,28E+00	2,96E-01
02TW30B002	teteje	1,23E+02	2,80E+01				
02TW30B002	közepe	1,20E+02	3,60E+01			4,77E-02	2,47E-01
02TW30B002	alja	1,25E+02	3,20E+01				2,57E-01
02TW30B003	teteje	4,00E+02					2,53E-01
02TW30B003	közepe					1,52E-01	
02TW30B003	alja	4,10E+02	3,80E+01				2,49E-01
02TW80B003	teteje	1,50E+01				8,27E-02	1,09E-01
02TW80B003	közepe	4,40E+02				8,24E-02	2,47E-01
02TW80B003	alja	1,40E+01				1,69E-01	1,20E-01
Alfanumerika	Azonosító	²³⁵ U	²³⁸ U	²³⁸ Pu	²³⁹	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm
01TW30B001	teteje	7,40E-02	8,77E-01	6,18E+00	4,91E+00	4,28E+00	3,66E+00
01TW30B001	közepe	3,12E-01	4,14E-01	4,81E+00	3,06E+00	1,08E+02	2,17E+02
01TW30B001	alja	6,40E-01	4,18E-01	1,20E+02	1,01E+02	2,22E+02	3,16E+02
01TW30B002	teteje	2,66E-01	3,50E-01	8,58E+02	6,59E+02	2,11E+03	8,52E+02
01TW30B002	alja	8,44E-01	5,69E-01	1,77E+04	1,44E+04	9,98E+03	3,59E+03
01TW30B003	teteje	5,06E-01	9,73E-01	8,27E+01	7,17E+01	1,95E+02	6,71E+01

01TW30B003	közepe	6,01E-01	8,50E-01	9,95E+01	7,97E+01	2,24E+02	7,42E+01
01TW30B003	alja	4,71E-01	9,44E-01	9,36E+01	9,54E+01	2,32E+02	6,68E+01
02TW10B002	teteje	≤2,33E-01	7,00E-02	1,38E+00	1,23E+00	1,75E+00	4,05E-01
02TW10B002	közepe	≤1,99E-01	1,07E-01	6,50E-01	5,67E-01	5,06E-01	1,86E-01
02TW10B002	alja	≤2,23E-01	1,07E-01	1,27E+00	8,80E-01	8,74E-01	3,30E-01
02TW30B002	teteje			1,72E-02	1,23E-02	9,16E-02	
02TW30B002	közepe	≤1,20E-02	2,07E-01	5,80E-03	1,08E-02		
02TW30B002	alja	≤1,70E-02	2,32E-01	7,20E-03	7,60E-03	1,08E-01	
02TW30B003	teteje	≤3,50E-02	1,94E-01	5,36E-02	1,37E-02	1,70E-01	
02TW30B003	közepe						
02TW30B003	alja	≤1,70E-02	1,88E-01	≤2,00E-03	2,79E-02	4,60E-02	
02TW80B003	teteje	≤2,60E-02	9,80E-02	2,82E-02	6,57E-03	6,27E-01	
02TW80B003	közepe	≤2,30E-02	1,81E-01	4,80E-02	6,65E-02	6,42E-01	
02TW80B003	alja	≤2,00E-02	1,10E-01	5,63E-02	5,55E-02		

27. táblázat: A sűrítvényekből 2008. januárban vett rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitáskoncentrációi (Bq/dm³)

Alfanumerika	Azonosító	Mintavétel ideje	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
01TW15B00	teteje	2009. december	6,87E+03	9,34E+02	6,78E+04	1,67E+04	1,44E+05	1,10E+06
01TW15B00	alja	2009. december	9,16E+05	4,42E+04	3,12E+06	2,51E+06	2,94E+05	2,42E+06
01TW30B00	teteje	2009. december			1,22E+05		1,75E+05	1,32E+06
01TW30B00	közepe	2009. december	4,11E+03		4,79E+05		1,25E+05	1,05E+06
01TW30B00	alja	2009. december	3,94E+03		5,08E+05		1,05E+05	9,21E+05
01TW30B00	teteje	2009. december	2,54E+03		1,01E+05		4,11E+04	3,41E+05
01TW30B00	közepe	2009. december	4,23E+03		1,19E+05		6,00E+04	5,06E+05
01TW30B00	alja	2009. december	4,15E+03		1,14E+05		5,68E+04	4,89E+05
02TW10B00	alja	2009. december	2,04E+03		1,40E+05		2,05E+05	1,75E+06
02TW10B00	alja	2009. december	7,52E+02		3,60E+05		6,28E+04	1,57E+06
02TW30B00	teteje	2009. december		4,81E+03	2,40E+04		1,64E+05	7,06E+05
02TW30B00	közepe	2009. december	6,65E+02	2,10E+02	2,83E+04		2,02E+04	1,60E+06
02TW30B00	alja	2009. december	1,46E+05	1,65E+05	8,03E+05	1,19E+05	2,08E+04	1,37E+06
02TW30B00	átlag	2009. január	1,24E+02	1,27E+02	2,61E+03	1,80E+02	3,86E+03	1,16E+05
02TW30B00	átlag	2009. január	6,79E+02	6,88E+02	1,17E+05	7,55E+02	7,43E+03	1,39E+06
02TW80B00	alja	2009. december			1,11E+06		6,01E+03	2,46E+05
02TW80B00	alja	2009. december			1,49E+04		2,42E+03	5,15E+05
02TW80B00	teteje	2008. január			5,69E+03		1,77E+03	2,81E+05
02TW80B00	közepe	2008. január			3,79E+03		1,37E+03	2,18E+05
02TW80B00	alja	2008. január			3,88E+03		1,48E+03	2,19E+05
02TW80B00	alja	2009. december			2,37E+05		8,76E+04	1,28E+06
02TW80B00	teteje	2008. január			2,17E+05		1,02E+04	5,58E+05
02TW80B00	közepe	2008. január			2,14E+05		8,28E+03	5,45E+05
02TW80B00	alja	2008. január			2,07E+05		7,89E+03	5,28E+05

28. táblázat: A sűrítvény rétegminták aktivitáskoncentrációi (Bq/dm³)

Alfanumerika	Azonosító	Mintavétel ideje	³ H	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁵⁵ Fe	⁵⁹ Ni
01TW15B001	átlag	2009. január	3,59E+05	2,62E+03	2,60E+01	5,96E+06	1,19E+04
01TW30B001	teteje	2008. január	3,86E+05	1,01E+03	5,00E+01		
01TW30B001	közep	2008. január	5,11E+05	5,52E+03	1,71E+02		
01TW30B001	alja	2008. január	4,68E+05	8,79E+02	1,26E+02		
01TW30B003	teteje	2008. január	2,14E+05	3,37E+03	3,33E+01		
01TW30B003	közep	2008. január	1,98E+05	3,74E+03	<4,09E+00		
01TW30B003	alja	2008. január	1,92E+05	7,26E+02	1,21E+00		
02TW10B002	teteje	2009. január	3,97E+05	3,95E+03	2,13E+02	1,06E+03	1,99E+03
02TW10B002	közep	2009. január	4,33E+05	7,39E+03	3,76E+02	3,25E+02	2,79E+03
02TW10B002	alja	2009. január	3,05E+05	9,69E+03	5,96E+02	2,27E+05	2,99E+03
02TW30B001	átlag	2009. január	1,17E+05	7,46E+03	9,89E+01	1,61E+05	3,29E+02
02TW30B002	teteje	2008. január	7,67E+04	1,27E+04		7,80E+01	
02TW30B002	közep	2008. január	8,46E+04	1,15E+04	1,93E+01	1,35E+02	
02TW30B002	alja	2008. január	7,80E+04	1,29E+04		6,30E+01	
02TW30B003	teteje	2008. január	1,39E+05	4,60E+03		7,10E+01	2,30E+03
02TW30B003	közep	2008. január	1,29E+05	4,44E+03	1,02E+02		
02TW30B003	alja	2008. január	1,44E+05	4,39E+03		5,40E+01	
02TW80B003	teteje	2008. január	6,83E+04	5,74E+03	2,15E+02	5,20E+01	
02TW80B003	közep	2008. január	7,78E+04	7,37E+03	2,70E+01	5,00E+01	
02TW80B003	alja	2008. január	7,76E+04	4,84E+03	9,94E+01	1,45E+02	
Alfanumerika	Azonosító	Mintavétel	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	^{93m} Nb	⁹⁴ Nb	^{108m} Ag
01TW15B001	átlag	2009. január	4,96E+05	7,72E+04	4,42E+04	2,33E+03	4,07E+03
01TW30B001	teteje	2008. január		1,97E+04			
01TW30B001	közep	2008. január		3,16E+04			
01TW30B001	alja	2008. január		3,29E+04			
01TW30B003	teteje	2008. január		5,66E+03			
01TW30B003	közep	2008. január		6,90E+03			
01TW30B003	alja	2008. január		7,00E+03			
02TW10B002	teteje	2009. január	6,98E+04	2,59E+01	9,74E+01		
02TW10B002	közep	2009. január	7,81E+04	1,30E+02	4,83E+02	1,98E+01	
02TW10B002	alja	2009. január	1,46E+05	1,45E+02	4,89E+02	1,62E+01	4,62E+01
02TW30B001	átlag	2009. január	2,23E+04	7,30E+02			
02TW30B002	teteje	2008. január	4,36E+03	1,23E+02	2,80E+01		
02TW30B002	közep	2008. január	4,16E+03	1,20E+02	3,60E+01		
02TW30B002	alja	2008. január	4,04E+03	1,25E+02	3,20E+01		
02TW30B003	teteje	2008. január	8,27E+04	4,00E+02			
02TW30B003	közep	2008. január	8,23E+04	4,10E+02	3,80E+01		
02TW30B003	alja	2008. január	8,99E+03	1,50E+01			
02TW80B003	teteje	2008. január	7,29E+03	4,40E+02			
02TW80B003	közep	2008. január	7,17E+03	1,40E+01			
02TW80B003	alja	2008. január					

29. táblázat: A sűrítmény rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitás koncentrációi (Bq/dm³)

Alfanumerika	Azonosító	Mintavétel ideje	¹²⁵ Sb	¹²⁹ I	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U
01TW15B001	átlag	2009. január	1,24E+05	4,27E-01	6,93E+00	1,07E+00	1,73E+00
01TW30B001	teteje	2008. január	1,08E+05	2,67E+00	2,19E+00	7,40E-02	8,77E-01
01TW30B001	közepe	2008. január	1,28E+04	1,68E+00	1,74E+00	3,12E-01	4,14E-01
01TW30B001	alja	2008. január	1,25E+04	1,51E+00	2,28E+00	6,40E-01	4,18E-01
01TW30B003	teteje	2008. január	7,76E+04	9,76E-01	3,82E+00	5,06E-01	9,73E-01
01TW30B003	közepe	2008. január	8,91E+04	8,62E-01	3,55E+00	6,01E-01	8,50E-01
01TW30B003	alja	2008. január	9,25E+04	9,05E-01	4,23E+00	4,71E-01	9,44E-01
02TW10B002	teteje	2009. január		1,45E-01	3,04E-01	4,29E-02	1,14E-01
02TW10B002	közepe	2009. január		2,93E-01	1,78E-01	3,23E-02	1,35E-01
02TW10B002	alja	2009. január	9,13E+02	1,13E+00	1,98E-01		1,23E-01
02TW30B001	átlag	2009. január		6,47E-01	1,76E-01	1,08E-02	1,93E-01
02TW30B002	teteje	2008. január					
02TW30B002	közepe	2008. január		4,77E-02	2,47E-01	≤1,20E-02	2,07E-01
02TW30B002	alja	2008. január			2,57E-01	≤1,70E-02	2,32E-01
02TW30B003	teteje	2008. január			2,53E-01	≤3,50E-02	1,94E-01
02TW30B003	közepe	2008. január		1,52E-01			
02TW30B003	alja	2008. január			2,49E-01	≤1,70E-02	1,88E-01
02TW80B003	teteje	2008. január		8,27E-02	1,09E-01	≤2,60E-02	9,80E-02
02TW80B003	közepe	2008. január		8,24E-02	2,47E-01	≤2,30E-02	1,81E-01
02TW80B003	alja	2008. január		1,69E-01	1,20E-01	≤2,00E-02	1,10E-01
Alfanumerika	Azonosító	Mintavétel ideje	²³⁸ Pu	^{239, 240} Pu	²⁴¹ Am	²⁴² Cm	²⁴⁴ Cm
01TW15B001	átlag	2009. január	9,87E+03	9,01E+03	8,35E+03	1,96E+01	1,61E+03
01TW30B001	teteje	2008. január	6,18E+00	4,91E+00	4,28E+00		3,66E+00
Tartály	közepe	2008. január	4,81E+00	3,06E+00	1,08E+02		2,17E+02
01TW30B001	alja	2008. január	1,20E+02	1,01E+02	2,22E+02		3,16E+02
01TW30B003	teteje	2008. január	8,27E+01	7,17E+01	1,95E+02		6,71E+01
01TW30B003	közepe	2008. január	9,95E+01	7,97E+01	2,24E+02		7,42E+01
01TW30B003	alja	2008. január	9,36E+01	9,54E+01	2,32E+02		6,68E+01
02TW10B002	teteje	2009. január	2,41E-01	1,87E-01	3,18E-01		2,44E-02
02TW10B002	közepe	2009. január	4,81E+00	4,45E+00	3,47E+00	4,18E-02	6,68E-01
02TW10B002	alja	2009. január	3,45E+00	3,30E+00	3,45E+00		6,38E-01
02TW30B001	átlag	2009. január	1,76E-01	9,01E-02	2,12E-01		3,60E-02
02TW30B002	teteje	2008. január	1,72E-02	1,23E-02	9,16E-02		
02TW30B002	közepe	2008. január	5,80E-03	1,08E-02			
02TW30B002	alja	2008. január	7,20E-03	7,60E-03	1,08E-01		
02TW30B003	teteje	2008. január	5,36E-02	1,37E-02	1,70E-01		
02TW30B003	közepe	2008. január					
02TW30B003	alja	2008. január	≤2,00E-03	2,79E-02	4,60E-02		
02TW80B003	teteje	2008. január	2,82E-02	6,57E-03	6,27E-01		
02TW80B003	közepe	2008. január	4,80E-02	6,65E-02	6,42E-01		
02TW80B003	alja	2008. január	5,63E-02	5,55E-02			

30. táblázat: A sűrítmény rétegminták nehezen mérhető izotópjainak aktivitáskoncentrációi (Bq/dm³)