



Szent István Egyetem

Környezettudományi Doktori Iskola

RADIOLÓGIAI MÉRÉSI MÓDSZEREK, MODELLEK
ALKALMAZÁSA TERMÉSZETES ÖKOSZISZTÉMÁK ÉS
AZ ÉPÍTETT KÖRNYEZET VIZSGÁLATÁRA

Doktori értekezés tézisei

Gémesi Zoltán

Gödöllő
2008

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Dr. Barczy Atilla
mb. iskolavezető, Ph.D.
SZIE Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet

témavezető: Prof. Dr. Heltai György
tanszékvezető, az MTA Doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Kémia és Biokémia Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

BEVEZETÉS, A KUTATÓMUNKA CÉLKITŰZÉSEI

Három évtizedes radioökológiai kutatómunkám eredményeit foglalom össze. Ezért ez nem egyetlen téma kidolgozása, hanem párhuzamosan végzett módszerfejlesztés és alkalmazás a környezettudomány különböző területén, in memóriám Hevesy György radiokémikusra, aki felfedezte a hafniumot és 1944-ben a kémiai folyamatok kutatása során a radioizotópok indikátorként való alkalmazásáért kapta meg a Nobel díjat (Hevesy, 1948).

A jelentős anyagmennyiségeken is áthatoló radioaktív sugárzás alkalmazásával érintés nélkül, nagy tömegű anyagra jellemző, folyamatos mérések végezhetők. A különböző anyagok megkülönböztetésére, mozgásuk, koncentrációváltozásuk, keveredésük vizsgálatára használt radioaktív nyomjelző anyagok érzékeny és gyors módszerekkel kimutathatók. A nyomjelző az anyag tulajdonságait nem változtatja meg és a jelzett anyaggal azonos módon viselkedik.

A radioaktív sugárzás forrása az atommag. A sugárzások egyetlen érzékszervünkkel sem érzékelhetők, de kölcsönhatásba lépnek a különböző anyagokkal és így detektálhatóvá válnak. A mérések többnyire azon alapulnak, hogy az anyagba bejutott radioaktív sugárzás útja mentén ionizál, vagyis megfosztja elektronjaitól és töltötté teszi az atomokat, molekulákat. Megfelelő nukleáris mérő műszerekkel meg lehet határozni a részecskék számát, vagyis a sugárzás mennyiségét és mérhető a részecskék energiája is. A kibocsátott sugárzás fajtája, annak energiája jellemző az adott izotópra, ezért az ismeretlen eredetű sugárzás elemzéséből vissza lehet következtetni a kibocsátó izotópra. Ezen alapulnak az anyagok összetételét felderítő analitikai módszerek.

Az aktivációs analízis segítségével az anyagok elemi összetétele határozható meg. A vizsgált mintát neutron-, gamma-, vagy töltött részecske nyalábbal besugározzák. A kilépő sugárzások jellegéből, energiájából és intenzitásából következtetnek a mintát felépítő elemek fajtájára és mennyiségére. A módszer csak kis mintát igényel és nagyon érzékeny, vagyis nagyon kis anyagmennyiség kimutatását is lehetővé teszi. Kiterjedten alkalmazzák a környezetvédelmi analitikában, biológiai nyomelemek kimutatására (Marx, 1996).

A kísérleti atombomba robbantások, az atomerőművek által kibocsátott radioaktív szennyeződések különösen az 1986-ban bekövetkezett Csernobili atomerőmű baleset következtében Magyarországon a Cs-137 radioizotóp kihullásának eloszlása a felszínen egy nagyságrendben mutatott eltérést, jelenléte ma is jól kimutatható a felső talajrétegben és a felszíni vizek üledékében.

A téma aktualitásának, valamint indokoltságának megfelelően kutatómunkám legfőbb célja a radiológiai mérési módszerek fejlesztése és alkalmazásának lehetőségei az ökoszisztémában és az épített környezetben. Munkám céljai ennek megfelelően a következők voltak:

- Radioökológiai, és környezeti monitoring vizsgálatok Észak-közép Magyarország, főleg Pest megye és Gödöllő körzetében. Ezen belül a következő kérdésekkel foglalkoztam: Természetes ökoszisztémák vizsgálata: e kutatási program célja a talajok makro- és mikroelemtartalmában bekövetkezett változások nyomon követésére radioizotópos nyomjelzés-technikai és radioanalitikai módszerek alkalmazása. Ennek keretében az alábbi vizsgálatokat végeztem:
 - Részletes vizsgálatok, amelyek kifejezetten a Csernobil hatás követésére irányultak a Gödöllői-tórendszerben. Az üledék időskálájának meghatározása.
 - A talaj-üledék vizsgálat kiegészítése méz bioindikátorral.
 - Három kis vízgyűjtő területen a gamma-háttér felmérése, a talaj-víz-üledék kapcsolatokban a természetes és mesterséges nuklidok eloszlásának vizsgálata.

A geológiai szempontból rövid időtartamú ülepedési folyamatok időskálájának meghatározására olyan környezeti esemény azonosítása lehet alkalmas, amely az üledék összetételében nyomot hagy és bekövetkezésének időpontja pontosan ismert. Ilyen esemény volt az 1986-os csernobili reaktorbaleset, amelyből származó radioaktív kihullás a kiválasztott mintaterületeket erősen érintette, s ennek során Cs-134 és Cs-

¹³⁷ izotóp 1:2 arányú keveréke került a környezetbe s a Cs-134 és Cs-137 jól kimutatható mértékben jelent meg az üledékben is. A Cs-137 nuklid felezési ideje geológiai léptékben nagyon rövid (30 év), azonban élettartama már elegendő a gyors lefutású felszíni folyamatok követésére, folyók, tavak szedimentációs viszonyainak tanulmányozására.

- A másik kérdésben az épített környezet vizsgálatával foglalkoztam: e kutatási program célja az építőanyag természetes radioaktivitásának meghatározása, és az ehhez kapcsolódó sugárterhelés becslése, az építőanyagok gyártási folyamatainak ellenőrzése radioizotópos nyomjelzés technikai és radioanalitikai módszerekkel, a fajlagos energia felhasználás, a gyári selejt csökkentése érdekében. Ehhez kapcsolódóan az alábbi vizsgálatokat végeztem:
 - Építőanyagok természetes radioaktivitásának mérése és az ehhez kapcsolódó sugárterhelés becslése.
 - Az építőanyag gyártása során végzett radioizotópos nyomjelzés-technikai keverék és anyagáramlás vizsgálatok.
 - Az üveghibák radioanalitikai vizsgálata és hasznosítási lehetőségei.

Hevesy György dolgozta ki a radioaktív izotópok nyomjelzőként való alkalmazásának technikáját. A vizsgálandó nem radioaktív elemhez kis mennyiségű radioaktív elemet kevert. A sugárzó és a nem sugárzó izotóp kémiai módon azonos módon viselkedik, azonos módon vándorol, tehát a sugárzás mérésével nyomon követhetők a változások. A mesterséges radioaktivitás felfedezését követően nagymértékben kibővült a nyomjelzéses módszer lehetősége. Hevesy 1923-ban növényekben, 1935-től állatokban lejátszódó biológiai folyamatokat vizsgált. Többek között az élőlények vízfelvételét, a foszfor- és a vasanyagcserét tanulmányozta.

A csernobili atomkatasztrófa az atomenergia-ipar máig legnagyobb balesete idején uralkodó időjárás és az azt követő napok változó irányú légáramlási viszonyai különböző pályákon vitték szét Európában a radioaktív anyagokat. Magyarországot a radioaktív felhő 1986 április 29-én érte el, északkeleti irányból. A felhő elvonulását néhol csapadék is kísérte, emiatt az országon belül is jelentős eltérések voltak tapasztalhatók a szennyezettségben. Hazánkban a legszennyezettebb területek az Észak-Dunántúl, és a főváros környéke.

A csernobili atomerőmű baleset következménye a hazai lakosság külső és belső sugárterhelésének átlagosan mintegy 0,3 mSv effektív dózissal való megnövekedése. Ennek harmada az élelmiszerek fogyasztásából, a többi a talajfelszíni sugárzásból származik.

ANYAG ÉS MÓDSZER

1. A talaj és az üledék radioaktivitásának vizsgálata Észak-közép Magyarország kisvízgyűjtő területein

Ezek a vizsgálatok szorosan kapcsolódtak a Pest-megye ezen belül kiemelten a Rákos-patak vízgyűjtő területén, továbbá az Észak-közép Magyarország két további kisvíz-gyűjtő területén - a Galga-patak és a Mátrában a Nagy-patak és az erre telepített Csórréti Vízártó - folyó környezeti állapotfelmérésekhez. Ezek alapvetően az antropogén terhelés három különböző szintjét képviselik és érintettek a Csernobili kihullásban:

Rákos patak és Isaszegi-Gödöllői törendszert – a nagy szennyeződés antropogén eredetű;

Galga patak – átlagos, síkvidéki szennyeződés, vidéki környezet;

Csórréti vízártó és Nagy patak – tiszta, referencia terület.

A SZIE több projektben is vizsgálta ezeken a területeken a különböző elem-felhalmozódásokat és transzportfolyamataikat a talaj-víz-üledék rendszerben. Saját vizsgálataim ezekben a projekteknél a radioaktív nuklidok megjelenésének és mozgásának követésére irányultak.

Az üledékképződés időbeli nyomon követése céljából oszlopmintákat vettünk dugattyús elven működő mintavevővel, amelyet 5 cm-es rétegenként elemezve az elemkoncentrációk mélységi eloszlását határoztuk meg. Az oszlopmintákban gamma-spektrometriás módszerrel meghatároztam az adott geológiai környezetben előforduló természetes és mesterséges eredetű radioaktív izotópok eloszlását. A légköri atomrobbantások és a csernobili reaktorbaleset következtében a légkörbe kerülő Cs-137 nuklid mélységi eloszlásának meghatározása lehetővé tette az üledékképződés időskálájának becslését. 2001-ben a parti talajból vettem mintákat a gépgyári csapadék-bevezető csatorna közelében. Ezáltal a parti talaj és a szennyvízzel behordott üledék összehasonlítása vált lehetővé. A depozíció mérésénél a talaj és az üledék mintázása bolygatatlan területekről történt.

A talajmintákat kézi fúró, illetve a talaj felső rétegéből 15 cm-ig kézi ásó segítségével vettem. A rétegminták vételekor az egyes rétegeket külön gyűjtöttem. A mintákat a laboratóriumban kiterítve szárítottam és légszáraz állapotban kalapácsos darálóval 2 mm lyukátmérőjű szitán átdaráltam. A radioaktív izotópokat gamma-spektrometriával határoztam meg. Az aktivitás koncentrációkat Bq/kg egységekben fejeztem ki (a számlálási idő 10000-50000 s között volt).

2. Méhészeti termékek radiológiai vizsgálata, mint bioindikátor módszer

A gödöllői tavak környékén végzett talaj-üledék-víz vizsgálatokat kiegészítettem a méhészeti termékek gamma-spektrometriai mérésével. A minták származási helye a Gödöllői Méhészeti Park 5 km-es körzete a Rákos patak és Gödöllői tórendszer környékén. A minták várható kis aktivitása miatt hosszú mérési időt (170000 s) választottam. Az aktivitás koncentrációkat Bq/kg egységekben fejeztem ki.

3. Az építőanyagok /nyersanyagok, félkész és kész termékek/ természetes radioaktivitásának vizsgálata

Természetes eredetű sugárterhelésünk kb. kétharmada a belélegzett radioaktív anyagok, elsősorban a radon számlájára írható.

Az építőanyagok természetes ^{232}Th , ^{226}Ra - és ^{40}K tartalmának meghatározását gamma-spektrometriai módszerrel végeztem. A mérés relatív mérés, azaz a minta gamma-spektrumát ismert aktivitású etalonokról felvett energiaspektrumokkal hasonlítottam össze.

A módszer elve szerint az összetett spektrum bármely részén a vakháttér nélküli számlálási sebesség additíve tevődik össze az összetevő radioizotópok számlálási sebességeiből. A mérendő izotópok számával megegyező számú tagból álló, szimultán lineáris egyenletrendszert írhattam fel. Az egyenletrendszer állandóit az etalon sugárforrások mérésével határoztam meg. Az egyenletrendszer megoldásával megkaptam az ismeretlen radioaktív koncentrációkat.

A különböző helyeken vett mintákat golyósmalomban megőröltem, majd 160 μm -es szitán átszitáltam. A légszáraz mintát légmentesen Marinelli-edénybe zártam, tömegét és halmazsűrűségét meghatároztam. Az utóbbinál ügyelni kell arra, hogy a minta, miként az etalonok is, teljesen kitöltse a mintatartó térfogatát. Ha ugyanis nem teljes a térkitöltés, akkor a légrésekbe jutott radon- és toron gáz gammasugárzó bomlástermékei megváltoztatják az aktivitás homogenitását a mintán, mint térfogati sugárforráson belül. Ez a mérés során rendszeres hibát okoz.

A mintatartó belső furatában NaI/Tl/ kristállyal ellátott szcintillációs detektort helyeztem el. Az alacsony háttér biztosítása céljából kettős ólomárnyékolást alkalmaztam. A detektor jeleit sokcsatornás amplitúdó analízátorra vezettem.

4. Az építőanyagok gyártása során radioizotópos nyomjelzéssel végzett keverék, anyagáramlás vizsgálatok

A radioaktív nyomjelzéssel végzett keverékvizsgálat alapelve az, hogy egy-egy komponensben egyenletesen eloszló sugárzó izotóp keverés után az adott komponens eloszlását jellemzi. Ha sikerül a keverék különböző helyeiről megfelelő számú mintát úgy venni, hogy ezzel a keverék összmenyisége gyakorlatilag ne változzék meg, a minták adataiból nyert eloszlási kép a komponens elkeveredéséről tájékoztat.

Az összetett rendszer adott komponensének eloszlása akkor egyenletes, ha a rendszerből vett elvileg végtelenszámú mintában a minta méretétől, tömegétől, a mintavétel helyétől függetlenül ezen elem koncentrációja ugyanakkora.

Az egyenletes eloszlástól való eltérés mértéke a koncentráció szórása. Az egyes mintákon mért számlálási sebesség a jelzett anyag koncentrációjával egyenesen arányosak. A relatív standard szórás jelen esetben tartalmazza a radioaktív mérések elvi szórását, a mérési módszer elvi hibáit, a mérőműszerek konstrukciójából eredő szórását, a statisztikai ingadozást.

Az eloszlás ingadozását 100 %-ból kivonva a komponens $Q = 100 - RSD$ keveredési fokát kapjuk. Ez az adott komponens elkeveredésének mértéke.

Egy összetett rendszer keveredési foka valamennyi komponensének keveredési fokából becsülhető meg. Első közelítésben a legkisebb keveredési fokú komponens keveredési foka fogadható el a keverék jellemzésére.

Az üvegyári nyerskeverék optimális keverési idejét szakaszos mintavételezéssel határoztam meg. Nyomjelzőként Na-24, La-140 és P-32 radioizotópot használtam. Ezek szerint a koks gyakorlatilag 1,5, a csontliszt 2 perc alatt éri el az optimális keveredési fokot. Szódával és glaubersóval a mérések szerint ehhez 3 perc keverés kell. A szóda keveredési fokára a száraz és nedves keverésnél kapott optimális keveredési értékek közelítőleg ugyanakkorák. A száraz keverésnél ehhez rövidebb idő kell.

A beton optimális keverési idejének meghatározásánál a komponensek közül a vizet nyomjeleztem Na-24 radioizotóppal. A keveredési fok meghatározásához szükséges intenzitásváltozást a keverődob mellett a palástra merőlegesen álló kollimált detektorokkal folyamatosan mértem. Az ábrán az egyenes körüli ingadozás mértéke a keverés előre haladtával csökken. Optimálisnak nevezhető az a keverési idő, amikor a szórás a határértéket 5%-ra megközelíti: ekkor a keveredési fok 95% (Földiák, 1986).

Üvegolvasztó kádkemence radioizotópos anyagáramlás vizsgálata

Az olvadék- és öblösüvegyári végtermék minták fajlagos intenzitását porítás, majd szitálás után határoztam meg. Síküvegyári vizsgálatok esetén az üvegtábla teljes szélességének megfelelő mintát vettem, a 15-20 cm-széles üvegcsíkot több azonos méretű részre vágva mértem, így az áramlási paraméterek mellett az üvegtábla homogenitására vonatkozóan is nyerhető információ. A nyomjelzéshez Na-24 radioizotópot használtam hordozó vegyületben.

A felszíni sebességek számítása diagrammok alapján történik. Meghatározható a radioaktív anyag megérkezéséből a sebesség, továbbá a maximális mennyiséghez tartozó sebesség.

A mérőhely oldalfala mellett elhelyezett kollimált detektorokkal felvett regisztrátumok nemcsak a sugárzó anyag megérkezéséről, hanem az átáramlás jellegéről is tájékoztatást nyújtanak. Megmutatják, hogy az átáramlás folytonos vagy impulzusszerű-e? Tájékoztatnak a sugárzó anyag elkeveredésének mértékéről. Az anyag felszíne alatt különböző magasságokban elhelyezett detektorokkal kapott regisztrátumokból meg lehet becsülni a mélyebb rétegekben létrejövő áramlások intenzitását.

A valódi áramlás bonyolult folyamatok eredője. Az üvegolvadék fő árama a lineáris áramlásból és az axiális keveredésből alakul ki, és az olvadék bizonyos hányada visszaáramlik az adagoló elé.

Az intenzitás-idő függvényből a rendszer számos paramétere meghatározható, így például: az anyag tartózkodási helye, és áramlási sebessége a berendezésben, visszaáramlások intenzitása és periódusa, a holt-terek helye és volumene (Földiák, 1986).

A tartózkodási idő vizsgálata nemcsak arra ad felvilágosítást, hogy az olvasztótérben elegendő ideig tartózkodik-e az üveg az olvasztás fizikai-kémiai folyamatainak lejátszódásához, hanem arra is, hogy a kemence egyes szerkezeti megoldásai, a fűtémód, az elektródok helyzete hogyan befolyásolja az eloszlási függvények alakját. Például egy kádkemence vizsgálatánál megállapítottam, hogy küszöb nélkül az üvegnek mintegy 70%-a közvetlenül az átfolyóba jut és csak 30% kerül a felszínre (a melegebb rétegbe), és tesz meg hosszabb utat. A beépített küszöb viszont az áramlások nagy részét a felszínre tereli, így az előző arány 40-60%-a módosult.

5. Radioanalitikai aktiválásos módszerek üveghiba vizsgálatára

A töltött elemi rész aktiválásos analízise (CPAA) alkalmas az üveghibákban található szennyező nyomelemek azonosítására és koncentrációjának meghatározására. Érzékenysége a ppb szintnél is alacsonyabb lehet. Ezzel egyidejűleg a hibátlan üvegtermék komponenseinek kvantitatív meghatározására is felhasználható.

Mivel a ciklotron a protonon kívül további elemi részek (deutérium, trícium és alfa) gyorsítására alkalmas, ezért töltött elemi részek aktiválásos-analízisével nagy érzékenységgel lehet meghatározni az üveghibákban az oxigén térfogati koncentrációját is.

A ciklotron gyors neutronaktiválásos analízisre (NAA) is alkalmas. Ez a módszer jól használható azoknak az elemeknek a kimutatására, amelyeknek termikus hatáskeresztmetszete kicsi. Így például S, P, O.

A vékonyréteg aktiválásának technikája az üvegfelület színezésekor keletkező foltosodás és a törésfelület vizsgálatára alkalmas. Az aktiválás nehéz elemi részekkel történik. Az aktiválásmélység összefüggésének ismeretében a felületen jelentkező feldúsulást és hiányt pontosan meg lehet határozni. Az aktivált réteg vastagsága ennél a vizsgálatnál 10-1000 mikrométer között változhat. Az aktivált felület néhány mm^2 -től néhány cm^2 -ig terjedhet.

Az elemi részekkel keltett röntgen emisszió (PIXE) a belső héjak közötti elektronátmeneteket kísérő röntgensugárzás detektálásán alapszik. Ez is alkalmas az üveghibákban található elemek azonosítására és koncentrációjának mérésére. A kimutathatóság alsó határa általában a 12. rendszám körül van, de speciális detektorokkal könnyebb elemek felé is kiterjeszhető. A módszer érzékenysége ppm szintű és jól alkalmazható mélységi és felületi üveghiba eloszlás feltérképezéséhez.

Az elemi részekkel keltett gamma emisszió (PIGE) az atommag gerjesztett állapotai közötti átmeneteket kísérő gammasugárzás detektálásán alapszik. Lehetővé teszi az elemek azonosítását és koncentrációjának meghatározását.

Érzékenysége ppm- és ppb-szint közé esik. Vákuumban és levegőben is végezhető.

Az elemi részek szóródásának módszere a minta felületi rétegében rugalmasan szóródott bombázó részek detektálásán alapul. Egyes szennyeződések mélységi eloszlásának és az üveg felületére párologtatott vékony réteg vastagságának és minőségének mérésére alkalmas. A mérések a töltött elemi részek korlátozott hatótávolsága miatt csak vákuumban végezhető (Ditrói et al., 1990).

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A természetes ökoszisztémák vizsgálata során a következő új megállapításokat tettem.

1.1. A mintaterületeken a Csernobili kihullás eredményei 1986-tól 2005-ig kimutathatók. A Cs-137 radioizotóp eredeti kihullási képe fokozatosan átrendeződött, s a vízfolyások mentén, a legmélyebb területeken az üledékben akkumulálódott. Ezeket a felhalmozódásokat a Gödöllői - tórendszerben kapcsolatba lehetett hozni az egyéb szennyező elemek felhalmozódásával.

1.2. A Gödöllői -tórendszerben bizonyítottam, hogy a Cs -137 kihullás nyomjelzőként hasznosítható az üledékképződés sebességének meghatározására. A módszer jelentősége, hogy hazánkban az elmúlt évben bekövetkezett Tisza-Szamos katasztrófát követő üledékvizsgálatoknál is alkalmazásra került.

1.3. Méhészeti termékek radiológiai vizsgálata során a mérési adatok azt mutatták, hogy bioindikátorként használhatók a méhek. Ez a méhészeti termékekben jelen lévő radioaktív nyomelemek vizsgálatára kifejlesztett módszer bizonyította, és mint a bioindikáció elvén működő monitoring rendszer a méhészeti telepek körzeteiben működtethető.

2. Az épített környezet vizsgálata során az elért eredmények igazolták, hogy új információ nyerhető az építőanyagok gyártási folyamatáról a radioizotópos áramlási és eloszlási vizsgálati módszerek különböző alkalmazási területein.

2.1. Az építőanyagok természetes radioaktivitását a rádium ekvivalens ($C_{Ra,ekv.}$), illetve a mentességi szintet megadó gamma-faktor (m_γ) segítségével értékeltem. A mérési eredmények alapján elsősorban a hazai szenek elégetéséből származó másodlagos nyersanyagok (pernye, salak), valamint a szintén szenet tartalmazó „szénbeégetés” téglagyári termékek és a cirkon tartalmú mázas burkoló lapok jelentenek nagyobb hozzájárulást a lakosság sugárterheléséhez. Szabványosításra alkalmas módszer került bevezetésre az építőanyagok természetes radioaktivitásának meghatározására. Ennek birtokában dönteni lehetne a meglévő építőanyagok gyártásáról (korlátozás, megszüntetés) és minősíteni lehetne az új termékeket.

2.2. Az üvegipari nyerskeverék optimális keverési idejét és keverési sorrendjét a komponensek megfelelő radioizotópos nyomjelzésével és statisztikusan elegendő számú minta elemzésével határoztam meg. Az üvegipari nyerskeverékek optimális keverési idejének meghatározása, a radioizotópos homogenitás-vizsgálatok a termékminőség optimalizálását segítik elő.

Üvegipari kádkemencék radioizotópos áramlásvizsgálata, az üveggyári kádkemencék áramlási viszonyainak tanulmányozása (az áramlási sebességeloszlások, tartózkodási idők, keveredési tényezők stb. meghatározása) számos információt szolgáltat a kádkemencék tervezéséhez és üzemeltetéséhez (pl. az anyagáramlás szimmetriájáról, a holt terek volumenéről, a vertikális keveredéshez szükséges kemence mélység meghatározásához stb.).

2.3. Mérési eredmények az üveghibák radioanalitikai vizsgálatánál:

Új vizsgálati módszerként került bevezetésre az üveghibák nyomelemeinek aktivációs analízise.

A hibátlan üvegtermékek előállításának legfőbb feltétele

- egyenletes eloszlású keverék olvasztása;
- korróziómentes kádkemence.

Az ideális határesetet a gyakorlatban 90-95%-ban közelítik meg, a korrózióból eredő hibát a kádkemencéknek 3-4 évenkénti átépítésével csökkenthető.

A késztermékben jelentkező hibák eredete teljes mértékben ma még nem egészen, illetve csak részben tisztázott. A zárványok, fonalak, kristálygócok nemcsak minőségi hibákat okoznak, hanem a környezetükben tapasztalható feszültségek miatt váratlan törések is keletkezhetnek.

A ciklotronban felgyorsított elemi részeckekkel történő aktiválás kb. 1 mm²-es méretű felületen a hiba és közvetlen környezetének analízisével lehetővé válik az egyenletes eloszlástól való eltérés (inhomogenitás), az elemek dúsulása okozta hibák felderítése illetve tanulmányozása. Különös jelentősége van azoknak az eseteknek, amikor az olvadátfázisba beépült elemek kristályai okozzák a környezetükben ezeknek az elemeknek a hiányát.

Eddigi vizsgálataimmal nagyszámú elem jelenlétét és ezek kristályosodásának helyét mutattam ki. Ezekkel a termékek hibáinak okaira, a kristályosodás folyamatára, a keletkezési helyekre sikerült támpontot szerezni. Megállapítottam, hogy a magfizikai anyagvizsgálási módszerek a jelenlegi mérési módszerek kiegészítéseként a hibákban előforduló elemek kimutatására nagyságrendekkel nagyobb pontossággal alkalmasak.

2.4. A betonkeverőgépek optimális keverési idejének meghatározására módszerfejlesztésként került bevezetésre újszerű radioizotópos nyomjelzéstechnika. A szakaszos mintavételezés helyett a keverék folyamatos detektálással határoztam meg a keveredés fokát. Így másodperc pontossággal adható meg az optimális keverési idő és elkerülhető a beton szilárdságát lerontó fajtázódás.

A módszerek alkalmazhatóságát több száz elvégzett radiológiai vizsgálat igazolja, amit a SZIE különböző kutatási projekteiben, valamint hazai és osztrák, német, amerikai építőanyagipari cégeknek végeztem.

A témában tudományos kutatási együttműködést folytattam: a KFKI, a BM Tanreaktor, az ATOMKI, a Seibersdorfi, a Freibergi és a Varsói kutató intézetekben, valamint a Cadizi Egyetemen.

JAVASLATOK

1. További vizsgálatokat tartok szükségesek a Cs-137-nek különböző talajtípusokhoz való kötődésének meghatározásához, valamint ehhez kapcsolódóan új módszer bevezetését a talaj erózió mértékének becsléséhez.
2. Indokolt a hazai tavak, vízfolyások üledékének Cs-137 radioizotóp tartalmának becslése és térbeli eloszlásának feltérképezése, valamint az üledéktranszport nyomon követése.
3. Egyes ipari hulladékok (pernye, salak, gipsz, stb.) hasznosítása az építőanyag-iparban jelentős gazdasági előnyökhöz vezethet, de felhasználásukat sugár-egészségügyi szempontból ellenőrizni kell. Ezt országos felmérés keretében az EU direktívák figyelembevételével javasolt a hazai szabványosítás céljából elvégezni. Ennek megfelelően az építőanyagok hazai forgalomba hozatalánál, illetve importjánál tanúsítani kell a sugár-egészségügyi előírásokat.
4. Korszerű módszereket kell bevezetni az atomreaktorok és a radioaktív hulladéktárolók telemetrikus radiológiai megfigyelő és korai előrejelző, riasztó rendszerének hazai működtetéséhez.

A Mohi atomreaktor radioaktív szennyezésének környezeti megfigyelésére az általam elkészített terv szerint 21 automata mérőállomás felállítását javaslom az atomerőmű 30-100 km-sugarú körzetén belül. A mérőhálózat rendelkezik a háttér gamma-sugárzásnak, az aeroszoloknak és a felszíni vízbázisok radioaktivitásának mérőeszközeivel. A vezeték nélküli mérőállomások alkalmazásának feltételei, hogy elhelyezésük sűrűn lakott területen legyen,

figyelembe véve az egész évben uralkodó szélirányt, valamint a monitoring terület rádiófrekvenciás lefedettségét.

IRODALOM

HEVESY G. (1948): Radioactive Indicators. Interscience Publishers, Inc., New York 556 p.

MARX GY. (1996): Atommag közelben. Szeged: Mozaik Oktatási Kiadó. 246 p.

FÖLDIÁK G. (1986): Radiation Technology and Environmental Protection. Budapest: Akadémiai Kiadó. 564 p.

DITRÓI F., TAKÁCS S., MAHUNKA I., GÉMESI Z.(1990): Trace-element study of glass samples by using activation methods. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 50, 62-64 p.

Az értekezéshez kapcsolódó publikációk

Publikációk folyóiratban:

1. **GÉMESI Z.**, DITRÓI F., TAKÁCS S., MAHUNKA I. (1988): Microelemental investigation of different types of glasses by using cyclotron beams
Atomki Annual Report
2. DITRÓI F., TAKÁCS S., MAHUNKA I., **GÉMESI Z.** (1990): Trace-element study of glass samples by using activation methods.
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 50, 62-64 p.
3. HELTAI GY, FEKETE I, **GÉMESI Z.**, PERCSICH K, FLÓRIÁN K. (1998): Environmental evaluation of a local lake-chain effected by waste water by means of spectrochemical analytical methods.
Microchem. J., 59, 125-135 p.
4. FEKETE I., HELTAI GY., **GÉMESI Z.**, PERCSICH K., FLÓRIÁN K., TARR ZS.(1999): Time-scale study of heavy metals pollution in lake sediment.
Transactions of the University of Kosice, 1, 57-62. p.

Konferencia kiadványok:

5. NIKL I., VÉGVÁRI I., HUNYADI I., CSIGE I., GALLYAS M., **GÉMESI Z.** (1988): Mátrai gázbeton blokkból épült lakások sugár-egészségügyi vizsgálata.
XIII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Balatonkenese
6. **GÉMESI Z.**, NAGY Á. Z. (1998): CO₂ emission from animal husbandry, A case study for Hungary based on production data for 1980.
5th International Conference on Energy and Environmental, Cairo 275-282. p.

7. SZLEPÁK E., HELTAI GY., PERCSICH K., **GÉMESI Z.** (2003):
Az erózió és a nehézfém tartalmú lebegőanyag mozgásának követése a geológiai dúsítási
faktorok és a radionuklidok változása alapján kis vízfolyások üledékében.
Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Szeged, 102-106. p.

8. BARDÓCZYNÉ SZ. E., HARKÁNYINÉ SZ. ZS., LÁSZLÓ J., LOKSA G., **GÉMESI Z.**
(1998):
New Concepts of Environmental Management in Small Drainage Basins.
XIXth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological
Bases of Water Management Osijek, 1033-1038. p.

Absztrakt:

9. **GÉMESI Z.**, BÁLINT Á., MÉSZÁROS CS., HELTAI GY. (2004):
Planning proposal for radiological emergency surveillance network in Hungary.
NATO Environmental and Catastrophe Defence Conference, Gödöllő

10. BARDÓCZYNÉ SZ.E., HARKÁNYINÉ SZ.ZS., LÁSZLÓ J., LOKSA G., **GÉMESI Z.**
(1997):
New ways to increase the urban green spaces covered with vegetation (biologically active
surfaces).
Gereco 97. Kárpát-medence Eurorégió Nemzetközi Konferencia, Miskolc - Lilafüred, 107. p.

11. MÉSZÁROS CS., BÁLINT Á., **GÉMESI Z.** (2005):
"Talajoszlopban zajló nitrogén-transzformációs folyamatok matematikai modellezése".
MTA Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottságának XXIX. Kutatási és
Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő, 129 p.

12. **GÉMESI Z.**, DITRÓI F., TAKÁCS S., MAHUNKA I. (1989):
Trace Element Study of Glas Samples by Using Activation Methods.
European Conference on accelerators in applied research and tech. Frankfurt

13. **GÉMESI Z.** (1990):
Microelemental Investigation of Different of glasses by Using Cyclotron Beams and Nuclear
Reactor
International Conference Advances in Fusion and Processing of Glass, Düsseldorf

14. HELTAI GY., FEKETE I., **GÉMESI Z.**, PERCSICH K., FLÓRIÁN K. (1997):
Environmental evaluation of a local lake-chain effected by waste water by means of
spectrochemical analytical methods.
8th Hungarian-Italian Symposium an Spectrochemistry, Debrecen

15. FEKETE, I., HELTAI, GY., **GÉMESI, Z.**, PERCSICH, K., FLÓRIÁN, K., TARR, ZS.
(1998):
„Time-scale study of haevy metals pollution in lake sediment”.
28th Annual International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, University of
Geneva-Switzerland

16. HELTAI GY., **GÉMESI Z.**, FEKETE I., SZLEPÁK E., KAMPFL GY. (2002):
Cs-137-deposition as tracer of surface water sedimentation processes in middle Hungary.
12th Annual Meeting of SETAC, Bécs, 145. p.

17. SZLEPÁK E., **GÉMESI Z.**, HELTAI GY. (2003):
Tracing of suspended material transport in the Galga stream in Hungary.
13th Annual Meeting of SETAC, Hamburg, 111. p.

Közlésre elküldött cikkek:

18. **GÉMESI Z.** (2008):
Detection of pollutants in apiary products using radiological methods for the national
environmental monitoring network in Hungary.
Transactions of the University of Kosice, közlésre elküldve

19. **GÉMESI Z.** (2008):
Betonkeverőgépek optimális keverési idejének meghatározása radioizotópos technikával,
Beton folyóirat
közlésre elküldve.