

AZ IZOTÓP INTÉZET 10 ÉVES MUNKÁJÁRÓL*

TÉTÉNYI PÁL

a kémiai tudományok doktora

1959-ben határozta el az Országos Atomenergia Bizottság, hogy intézetet hoz létre, amelynek feladata az izotópok hazai alkalmazásának támogatása, ilyen irányú tudományos kutató, fejlesztő és szolgáltató tevékenység végzése.

Kézenfekvő volt, hogy a már néhány éve működő izotóp elosztó csoport kapja ezeket a feladatokat. Az izotópkémiai és technikai kutató és fejlesztő tevékenység összekapcsolása az izotópellátással biztosította a kialakuló intézet áttekinthető késztségét az országos igények és szükségletek vonatkozásában, lehetőséget nyújtott a hazánk határain kívül folyó izotóppalkalmazási tevékenység nyomon követésére. Jelenleg is az ország izotópellátásával kapcsolatos termelő, szolgáltató és ellátó tevékenység jelenti intézetünk számára azt az alapot, amely sok tekintetben megszabja a kutató, fejlesztő munka irányait, biztosítja állandó, élő kapcsolatunkat az izotóppalkalmazással foglalkozó intézményekkel, a népgazdaság, a gyógyászat és a tudományos kutatás különböző területeivel.

Intézetünk feladatkörét a szervezeti szabályzat a következőképpen jelöli meg:

„Az Intézet feladata, hogy tudományos-kutató és gyakorlati tevékenységet folytasson az izotópkészítmények előállítása és felhasználásuk módszereinek fejlesztése, valamint az ebben jártas szakemberek nevelése és továbbképzése terén . . .”

E feladatkörből következik intézetünk alapvető jellegzetessége, működésének vertikális volta. Az alap- és alkalmazott kutatások mellett műszaki fejlesztő, előállító és szolgáltató tevékenységet is végzünk. E különböző jellegű feladatok komplex megoldása sok nehézséggel jár, mégis véleményünk szerint tevékenységünk komplexitása az intézet életképességének, eredményességének fontos biztosítója. Az Intézetben kutatott témák többségének indításában a gyakorlat követelményei játszottak döntő szerepet, de e kutatások többségükben természetszerűen túlnőttek a közvetlen igényeken. Az alapkutatáso-

* Az Akadémia 1969. évi Közgyűlése keretében az Osztály, május 6-án az Izotóp Intézet alapításának 10. évfordulója alkalmából tartott, nyilvános jubiláris ülésén elhangzott előadás.

kon felnevelkedett szakemberek tapasztalatai viszont rendkívül előnyösek az egyes gyakorlati problémák megoldásában.

Szokás azt mondani, hogy 10 év viszonylag rövid idő egy intézet életében. Különösen áll ez az első évtizedre, amikor az Intézet létrehozása, felszerelése, berendezése, a kutatói együttes kialakítása a feladat. Mindezek az indokok természetesen jogosak, mégis úgy tűnik, hogy az atomenergia alkalmazásának a háború utáni fejlődési üteme mellett a tíz éves intervallum — jelentős időszak. Különösen jelentős ez hazánkban, ahol — más, kisebb országokhoz hasonlóan — az ötvenes évek második felében kezdődött meg az atomenergia nagyobb méretű békés alkalmazása. 1954-ben kezdődött meg a sugárzó anyagok szélesebb körű felhasználása az országban. 1956—57-re esik az első hazai nukleáris műszerek megjelenése. A Kísérleti Atomreaktor 1959-ben kezdte meg munkáját.

A fejlődés ütemét szemlélteti, hogy 1954—58-ban összesen 1518, 1959—63-ban 13 893, 1964—68-ban 26 870 izotópszállítmányt juttattunk el a magyar izotópkalkalmazóknak. A forgalmazott készítményfajták száma 1954—68 között mintegy 10-szeresére emelkedett.

Az izotópok iránti igények az elmúlt 10 évben igen gyorsan növekedtek, nemcsak mennyiségi, hanem minőségi szempontból is. Kiszélesedett a felhasználás területe. Gyorsan növekedett a különböző alkalmazási lehetőségek, módszerek száma, fejlődtek a mérés technikai eljárások. Mindez szükségessé tette az intézet gyors fejlesztését, mind a létszám, mind laboratóriumok létesítése, felszerelése tekintetében. A felkészüléshez igen kevés idő állt rendelkezésre. A beruházások közismert nehézségei miatt az Intézet hosszú időn keresztül ideiglenes laboratóriumokban működött.

Az izotópelőállítás bonyolítása mellett az Intézet viszonylag rövid idő alatt rátért elemi izotópok, jelzett szerves és szervetlen, zárt sugárforrások előállítására. Ez természetszerűen szerves- és radiokémiai kutatómunka kifejlődésével is járt.

Szerves- és radiokémiai kutatások

A KFKI Magkémiai Főosztálya 1960-ban megkezdte az első izotópkészítmények előállítását. 1962—63-ban Intézetünk átvette az izotópelőállítás feladatát. Mintegy 120 szerves- és szervetlen izotópkészítmény előállítási módszerét dolgoztuk ki. A technológia kidolgozása önálló kísérleti munkát igényelt, mert a publikációk alapján nem volt lehetőség más kísérleti eredmények egyszerű reprodukciójára.

A szerves izotópkészítmények egy részének előállítási módszerét saját önálló kutatási eredmények alapján dolgoztuk ki. Példaként említendő a Mn-54 előállítása vasból [1] illetve a Rb-84 előállítása stronciumból [2] n.p. reakció segítségével, a hordozómentes Cr-51 előállítása K_2CrO_4 -ból SZILÁRD —

CHALMERS reakcióval [3]. Ugyancsak önálló kutatási eredmények alapján dolgoztuk ki a Cr-51, In-114, Yb-169, Hg-179 EDTA és Co-58 DTPA előállítási módszereit. E komplexek kipróbálása a Budapesti Orvostudományi Egyetem klinikáin azt mutatja, hogy alkalmazásuk sokat ígérő elsősorban a vese funkcióvizsgálatok, vese és máj szcintigráfia és a tumor szcintigráfia területén, valamint az extracelluláris tér meghatározásában [3—9].

Külön említendő a különböző izotópgenerátorok előállítása. Ezek anyai és leányelemet együttesen tartalmazó rendszerek, amelyekből a felhasználásra kerülő igen rövid felezési idejű izotóp a helyszínen nyerhető ki. Az Intézet Sr-86, Tc-99, Rh-103m, In-115 és La-140 generátorok előállítási módszerét dolgozta ki [10—13].

A szerves izotópok kémiájának egyik legfontosabb kérdése a mikrokoncentrációban jelenlevő anyagok leválasztása, elkülönítése. Természetes, hogy kutatóink egy részének figyelme a mikromennyiségek szétválasztására alkalmas folyamatok tanulmányozására irányul. Ilyen irányú kutatásaink részben közvetlen, az izotópelőállítási metodika tökéletesítésében kifejeződő eredményekkel járnak, másrészt érdekes felvilágosítással szolgálnak az elválasztási folyamatok mechanizmusára, fizikokémiájára nézve.

Az ioncserés elválasztás tanulmányozása során elsősorban szerves gyanták működését tanulmányozták az izotópelőállítás követelményei szempontjából. Megállapítást és igazolást nyert, hogy a szorpció mértéke igen előnyösen javítható extrakciós ioncserével [14, 15]. E kutatások során elméleti úton levezették és kísérletileg igazolták az optimális elválasztást biztosító eluens-térfogatot definiáló összefüggéseket [16]. Ezen összefüggések alapján tervezett készülékkel eredményesen oldották meg a ritkaföldfémek extrakciós ioncserén alapuló szétválasztását [14—16].

Az utóbbi években előrehaladtak folyékony ioncserélőkkel végzett kutatásaink is [17—22]. E vizsgálatok eredményeképpen számítható a különböző komplexek stabilitási állandója. Meghatározták In, Eu, Zn különböző oxisavakkal alkotott komplexeinek stabilitási állandóit és a komplexképződést jellemző termodinamikai függvényeket. Következtetéseket vontak le a sav disszociációs állandója és a komplex stabilitási állandói közötti összefüggés jellegére nézve.

A szerves ioncserélők mellett az izotóptechnikában egyre nagyobb teret nyer a szerves ioncserélő anyagok alkalmazása. Ezek előnye a nagyobb sugárállóság és az a körülmény, hogy alkalmazásuk során kisebb a pirogén anyagok oldatba kerülésének veszélye, ami a gyógyászati felhasználásra kerülő izotópoknál rendkívül fontos. [23]

A Moszkvai Tudományegyetem Radiokémiai Tanszékével közösen végzett kutatásaink során tanulmányoztuk Zr foszfát, volframát és titanát, valamint Ti és Cr foszfát ioncserélő tulajdonságait [24—29]. Megállapítottuk, hogy ezek vetekszenek a szerves gyantákéval. A cserélődő hidrogénionok

a hidrofoszfátok disszociációja, vagy a komplex bomlása során képződnek. Valószínűsíthető, hogy a foszfátok esetében a mechanizmus kétlépcsős, a heteropolisavak sói esetében egylépcsős. A vizsgálatok alapján több hordozómentes izotóp, pl. Ca-45 és a Fe-59 előállítási módszereit dolgoztuk ki [30–31].

Az elválasztási módszerek sorában jelentős helyet foglalnak el az adszorpció jelenségén alapuló eljárások. Ugyanakkor az izotópos nyomjelzés fontos szerepet játszik magának az adszorpció folyamatnak a tanulmányozásban.

A vizsgálatok elsősorban a jód és az ezüst platinán és palládiumon lejátszódó adszorpciójára vonatkoztak [32–36]. Az eredmények azt mutatták, hogy az adszorpció során tulajdonképpen felületi cserefolyamat játszódik le a felületen előzetesen adszorbeálódott hidrogénnel. A jelenség felhasználható nagy tisztaságú hordozómentes radiojód és radioezüst előállítására. Az adszorpció eljárás alkalmazását illusztrálja a következő példa [37, 38].

A hordozómentes Ag-111 előállítása Pd-ből történik n, γ reakcióval és a Pd-111-ből β -bomlással képződő Ag-111 leválasztásával. A Pd-ban jelenlevő ezüst szennyezés azonban rontja a képződő termék radiokémiai tisztaságát. Ezért ezt katódosan polarizált Pt-felületen adszorbeáltatva távolítják el.

Az adszorbensek felületének meghatározására kiterjedten alkalmaznak radioindikációs módszereket. Az egyik ilyen módszer a 14-C-sztearinsav adszorpcióján alapszik. A módszer — mintegy 15 adszorbensen elvégzett — kritikai felületvizsgálata során bizonyítást nyert [39], hogy a felületmérés adatait az oldószer adszorpció, a pórusediffúziós gátlás és főleg az adszorbens és az adszorbátum közötti kémiai kölcsönhatás jelentős mértékben befolyásolja, így a régebben kapott felületmérési adatok óvatosan kezelendők.

A szerves szubsztrátumok közül elsősorban a benzol kemisorpcióját tanulmányoztuk Co, Ni és Pt adszorbenseken az általunk kidolgozott izotóp hígítási módszerrel [40, 41]. Megállapítható, hogy a benzol 100–200° C között jelentős mértékű kemisorpciót szenved. A kemisorbeált réteg a felület 5–20%-át borítja. 120–150° C-tól a kemisorpció mértéke gyorsan csökken. Bizonyítást nyert, hogy a kemisorpció legalább részben C-H kötések disszociációjához vezet [40]. A kemisorpció mellett reverzibilis adszorpció is lejátszódik [41]. Az adszorpció és kinetikai adatok alapján kapott eredmények tanúsága szerint a reverzibilis adszorpció gyenge, az adszorpció hő (hasonlóan az oxidok esetében tapasztaltakhoz) nem haladja meg jelentősen a benzol párolgás hőjének értékét [41]. Telített szénhidrogének adszorpciójára vonatkozó adataink alapján valószínűsíthető a de BOER által feltételezett endoterm kemisorpció ténye [42].

Szerves kémiai kutatások

A radioszénnel jelzett vegyületek előállításával kapcsolatos első hazai lépéseket a Központi Kémiai Kutató Intézetben tették meg még az ötvenes évek második felében. Intézetünk 1961-től kezdődően fokozatosan rátért

e vegyületek előállítására is. A jelzett szerves vegyületek előállításának programja természetszerűen igényelte szerves kémiai kutatások megindítását.

Az Intézetben mintegy 100 különböző, radioszénnel és tríciummal jelzett szerves vegyület előállítási módszerét dolgozták ki. Előállítunk jelzett formában többek között különböző szerves alapvegyületeket, valamint aminosavakat, peptideket, nukleinsav-építőköveket. Mindez lehetővé teszi az ilyen irányú hazai igények kielégítése mellett viszonylag jelentős export eszközölését is.

A jelzett szerves vegyületek előállítása nem tekinthető egyszerűen a jól ismert szintézismódszerek aktív formában történő reprodukciójának. A jelzett vegyületek szintézise több speciális problémát vet fel. Fontos követelmény az izotópnak egy meghatározott helyen történő beépítése, ennek megfelelően a szintézis során az intramolekuláris átrendeződés elkerülése, vagy legalább mértékének és irányainak ismerete. Ezek a körülmények egyéb (radiokémiai tisztasági, sugárvédelmi és gazdaságossági) okokkal együtt szükségessé teszik a szokásos inaktív módszerek mellett speciális, jelzett vegyületek előállítására alkalmas szintézisutak kutatását.

Kutatóink részletesen tanulmányozták a karboxil-csoportban C-14-el jelzett aminosavak előállítására legmegfelelőbb STRECKER-szintézist (43–46). Új jelzett aminosavak (dl-glutaminsav 1-14-C, dl ornitin 1-14-C és dl arginin 1-14-C) szintézismódszerét dolgozták ki. A Strecker-szintézist kiterjesztették α -ketokarbonsavakra, ami számos metodikai előnnyel járt. A reakcióval kapcsolatban több elvi következtetés levonására is lehetőség adódott, elsősorban az intra- és intermolekuláris izotópeffektusok vizsgálatán keresztül.

Kutatóink tanulmányozták az aminosav rézkomplexek és karbonilvegyületek között lejátszódó reakciókat, ezek termékeit és mechanizmusát [44, 47–49]. E reakciók segítségével számos új α - és β -alkilszerint, antibiotikus hatású 4-alkilcikloszerineket és dipeptideket állítottak elő. Megállapították, hogy a réz-ion szerepe részben az aminosav-aminocsoport védelmében, részben az α -helyzetű C-H kötés aktiválásában jut kifejezésre. Az aminosav-réz komplexek és a karbonilvegyületek közötti reakció sebességmeghatározó lépése — mint megállapították — ennek az α -helyzetben levő C-H kötésnek a felhasadása vagy fellazulása. A Moszkvai Tudományegyetem Szerves Kémiai Tanszékével folyó együttműködés keretében végzett vizsgálatok során tisztázták a 4-alkil-cikloszerinek antibiotikus hatásának egyes vonatkozásait, az alkil-csoportok térkitöltésének mértéke és az antibiotikus hatás közötti összefüggéseket. A kapott dipeptidek szerkezetét a hidrolízis során képződő aminosavak analízise útján azonosították. Ennek kapcsán nagy pontosságú izotópos analitikai módszert dolgoztak ki az aminosavak meghatározására.

A radioszénnel jelzett purin és pirimidin-bázisok előállítására új radioszintetikus módszereket fejlesztettek ki kutatóink [50–52]. Az általában használt kétlépcsős szintézis helyett a nagy fajlagos aktivitású vegyüle-

tek előállítására szempontjából sokkal előnyösebb ömlesztéses módszert dolgoztak ki, amely a közbülső termék izolálása nélkül szolgáltatja a 8-as helyzetben jelezett purinbázisokat. Az ömlesztéses purinszintézist izomer gyűrű-rendszerek képződése nem kíséri.

Tekintettel a farmakológiai kutatások igényeire, az Intézet külön téma keretében több jelzett farmakont készített. Így például szintetizáltuk az E-250-et, az N-metil-N-propargil-fenil-izopropil-amint szén 14-gyel és tríciummal jelzett formában [51].

A radioszén mellett fokozatosan előtérbe került a tríciummal jelzett szerves vegyületek előállításának feladata is.

A tríciumos jelzés számára három alapvető módszer kínálkozik.

1. a WILZBACH-féle jelzés. Ez a gázfázisú trícium beépítése közvetlen H-T csere útján. Az eljárást nehezzé teszi a jelzést követő radiolitikus bomlás, ami különösen a termék tisztasága szempontjából okoz sok nehézséget. Ezért ezt a módszert kevéssé alkalmazzuk [50].

2. Sav-bór-trifluorid-komplexek hatására végbemenő hidrogénkicserélődéses reakciók. Kidolgoztuk az eredeti Yavorsky módszernek karbonsav-bór-trifluorid komplex alkalmazásán alapuló változatát [50, 53–55]. E kevésbé agresszív módszer segítségével sikerült számos biológiailag aktív molekulát lényeges strukturális változás nélkül jelzett formában előállítani.

3. A tríciumos jelzés céljait szolgáló folyamatok közül különösen a katalitikus T-addíciót és cserét tanulmányoztuk [50, 56].

Kutatóink megállapítása szerint a folyékony fázisban lejátszódó katalitikus tríciumozás mellett jelentős mértékű trícium–hidrogén csere is lejátszódik az oldószer és a tríciumgáz között. A folyadékfázisú hidrogénezés mechanizmusa szempontjából érdekessége van annak a ténynek, hogy a hidrogénezendő szubsztrátum *távolítottában* az oldószer hidrogén–trícium cseréje nagyságrendekkel kisebb mértékű, mint a szubsztrátum jelenlétében.

A katalitikus tríciumaddicionálódást és hidrogén–trícium cserét gázfázisban is vizsgáltuk nikkal és platina jelenlétében [57–62]. Megállapítást nyert; hogy a kicserélődés elsősorban a szénhidrogén adszorpciójának jellegétől függ. E mellett a fém-T kötés erőssége is befolyásolja a kicserélődés mértékét, minél gyengébb a fém-T kötés, annál kisebb mértékű a H-T csere a szénhidrogénekben. A telítetlen szénhidrogéneknél a kettős kötés telítődése mellett minden esetben lejátszódik a H-T csere is.

A szerves reakciók mechanizmusára vonatkozó kutatásaink között említést érdemel a katalitikus szénhidrogén-dehidrogénezés és a dehidrociklizáció tanulmányozása [63]. E mechanizmusvizsgálatokban szinte központi helyet foglal el a nyomjelző módszer alkalmazása.

A fémekekkel katalizált ciklohexán dehidrogénezése során 14-C-ciklohexán és kromotográfiai analízisek segítségével igazoltuk ciklohexén és ciklohexadién képződését [64–66]. A ciklohexén a dehidrogénezési reakció közti-

terméke, deszorpciója a katalizátor felületéről lassú, ezért régebben nem volt kimutatható a reakciótermékek között. A szénhidrogének dehidrogéneződése tehát a régebbi elméletekkel szemben több lépcsőben játszódik le. E megállapításunk utóbb több külföldi szerző által is igazolást nyert.

A lépcsőzetes dehidrogénezés tényét igazolták a n-hexán és hexén aromatiszálására irányuló vizsgálataink is [66–69]. Jelzett hexán, hexén és ciklohexán segítségével megállapítást nyert, hogy a gyűrűzárást megelőzi a hexán → hexén → hexadién konverzió. A hexadién részben közvetlenül, részben hexatriéneken keresztül ciklizálódik.

A lágy béta-sugárzókkal végzett munkák fontos részét jelentik a mérés-technikai és analitikai vizsgálatok [70, 71]. Ilyen irányú munkánk nagy részét az előállított jelzett szerves vegyületek hitelesítése és tisztaságvizsgálata képezte. Új mintaelőkészítési, analitikai és mérés-technikai módszereket dolgoztunk ki. Többek között gyors égető és analízáló berendezést építettünk, amellyel nagy fajlagos aktivitású jelzett szerves vegyületek radioaktivitása 81 mp alatt határozható meg.

A folyadékszcintillációs aktivitásmérés terén egyéb kutatások mellett olyan tríciummérési módszert dolgoztunk ki, amelynél a különböző jelzett szerves vegyületekből származó minták kémiai azonosak és kis kioltóhatásúak [72]. A módszer lényege az égésből származó HTO átalakítása triciált ammóniává és elnyelése hyamin-só metanolos oldatában. A folyadék-szcintillációs mérések határfokának növelése céljából megfelelő detergenst kísérleteztünk ki, amelynek segítségével 40% HTO vagy vizes aktív oldat szolubilizálható. Így kis aktivitású vegyületek, különösen biológiai minták mérhetők [73].

A kidolgozott és alkalmazott mérési módszereket dicséri, hogy jelzett szerves vegyületeink — amelyek jelentős hányadát exportra készítjük — minősége tekintetében szinte egyáltalán nem érkeztek reklamációk az Intézethez.

Izotópanalitikai munkák keretében számos intézménynek, elsősorban egyetemi tanszékeknek nyújtottunk segítséget. Több helyen közreműködünk lágy β -sugárzásmérő berendezések építésében, üzembe helyezésében.

Ezen a területen végzett munkánk szoros együttműködésben folyt a Központi Kémiai Kutató Intézet Izotópanalitikai Laboratóriumával.

Sugárzásos vizsgálatok

Az előbbieken már említett katalitikus szénhidrogénkémiai kutatások mellett néhány évvel ezelőtt szénhidrogének sugárhatáskémiai reakcióinak tanulmányozására irányuló vizsgálatok is indultak. Elsősorban különböző telített és telítetlen szénhidrogének γ -sugárzással iniciált bomlását tanulmányozták széles hőmérsékleti tartományban [74–77]. Vizsgálták az olefinek,

diolefinek (diének) ciklooktatetraén, benzol protektív hatását telített szén-hidrogének radiolízisére, valamint a n-alkán-izo-alkán elegyek bomlását. Kitűnt, hogy a különböző alkének által kifejtett védőhatás részben fizikai kölcsönhatásokkal (energiaátadás) részben olyan kémiai reakciókkal függ össze, amelyek során az alkén gyökös folyamatokban gáz alakú hidrogén képződése nélkül vonja el a rendszerben jelenlevő és túlnyomóan az alkán komponens disszociációjából képződött hidrogén atomokat. Az egyes elemi lépésekre vonatkozó reakciómechanizmust sikerült valószínűsíteni és egyben az elemi reakciók kinetikai állandóinak felhasználásával olyan mérőszámokat értelmezni, amelyek alkalmasak a „védőhatás” jellemzésére.

Rövid idővel ezelőtt indultak és biztató kezdeti eredményekhez vezettek vizsgálataink, amelyek szubsztituált aromásak radiolízisének, valamint a sugárzásos alkilezés lehetőségeinek tanulmányozására irányulnak.

Sugárhatáskémiai és katalitikus kutatásainkhoz kapcsolódtak a fémkatalizátorok besugárzásával kapcsolatos vizsgálatok [78, 79]. Megállapítható, hogy a γ -sugárzás MRAD nagyságú dózisos esetében sem okoz változást nikkell, réz és ezüst dehidrogénező és dehidratáló aktivitásában. A n-sugárzás hatására képződő radioaktív elemek bomlása során létrejövő igen kis mennyiségű ($\sim 10^{-5}\%$) nyomszennyezők jelentős mértékben befolyásolják a katalitikus aktivitást attól függően, hogy tartalmaznak-e betöltetlen d-héjat vagy sem. Ez a mikropromoveálás jelensége, amelynek értelmezésére egyelőre nincsenek határozott elképzelések.

A sugárzásos vizsgálatok részben 80 000 Ci aktivitású Co-forrásunk üzemeltetésével kapcsolatosak. Ebből a szempontból leglényegesebb a megbízható és kielégítő pontosságú dózismérési módszerek kidolgozása [80, 81]. A dózisteljesítmény-eloszlás pontos megismerésére több, egymástól független módszert alkalmaztunk. Az abszolút érték mérésére a kémiai, a relatív adatok megszerzésére a gyorsabb fizikai módszerek látszólag alkalmasabbnak.

Kémiai dozimetriára négy módszert használtunk: a vas (II)-szulfát oxidációján alapuló Fricke-féle módszert, a réz (II)-szulfát-vas(II)-szulfát elegy oxidációját hasznosító ún. módosított Fricke-dozimetriát, a cérium(IV)-szulfát sugárhatáskémiai redukcióján alapuló eljárást, valamint az alkoholos-klórbenzolos dozimetriát, mely utóbbinál a keletkezett klór-hidrogént mérjük. Míg az előző három módszernél főleg adaptálás történt, az újabb és technikai szempontból előnyös klórbenzolos módszert több vonatkozásban tökéletesítettük.

A különféle módszerekkel kapott és számítógéppel értékelt mérésorozatok egymást megerősítő eredményekre vezettek és lehetővé tették a 10^4 és 10^7 rad közötti dózisos mintegy $\pm 5\%$ pontosságú meghatározását.

A múlt évben megkezdtük a szolgáltatásszerű, sterilizációs és tartósítási célú besugárzásokat. Természetesen a sugárforrás kutatási igények kielégítésére is rendelkezésre áll.

Fizikai kutatások

Az Intézetben folyó fizikai alapkutatások a γ -sugárzással iniciált magizomeria jelenségére vonatkoznak, így szerencsésen illeszkednek az Intézetben folyó egyéb kutatásokhoz.

Sikerült megállapítani [82], hogy nagy intenzitású radioaktív sugárforrások γ -sugaraival különböző nuklidok gerjeszthetők. Utóbbiak hosszabb-rövidebb idő után sugárzás kibocsátásával térnek vissza alapállapotukba. Így Co-60, Na-24, Sc-46 és Praeodimium-142 γ -sugaraival is sikerült különböző nuklidokat magasabb nívóra gerjeszteni. 14 különböző nuklid (Br, Sr, Cd, In, Au, Pt stb.) besugárzásával hoztak létre hosszabb-rövidebb felezési idejű izomereket [82–84].

Meghatározták az aktivációs hatáskeresztmetszetek értékeit, amelyek $0,1-0,01 \mu\text{barn}$ nagyságrendűnek adódtak [85].

Megállapítást nyert, hogy a γ -sugárzással indukált radioaktivitás igen kicsiny, maximálisan $30-60 \text{ dpm/g}$.

A magizomeria sokat ígérő a gyakorlati alkalmazás szempontjából. Lehetőséget nyújt nagy intenzitású (20 Ci feletti) sugárforrások aktivitásának mérésére [86], dózismérésre és nyomelemek meghatározására γ -aktivációval [87].

A jelenség tanulmányozásának ugyanakkor elméleti jelentősége is van: a nívóélettartam vizsgálatok különböző modellek szempontjából nagy fontosságúak.

Az Intézetben folyó egyéb fizikai vizsgálatok közvetlen segítséget nyújtanak az izotópelőállítás munkájához. Az alkalmazott aktivitás-, tisztaság-, és sterilításvizsgálati módszereket dicséri az a tény, hogy az előállított készítmények tulajdonságaival kapcsolatban csak elenyésző a reklamációk száma. A dozimetria kutatások terén kiemelendő a lágy β -sugárzók inkorporációjával kapcsolatos dózisszámítás az exkrétumok izotóptartalma alapján [88, 89].

Technológiai kutatások

Az Intézet feladatkörének megfelelően megalakulása után néhány évvel megkezdte a nukleáris módszerek közvetlen ipari alkalmazását is, majd az e téren szerzett tapasztalatok felhasználását újabb alkalmazási módszerek kifejlesztésére és bevezetésére.

Kutatásaink részben technológiai folyamatok különböző paramétereinek nyomjelző módszerrel történő meghatározására, másrészt izotópvezérlésű berendezések segítségével mérési-szabályozási feladatok megoldására irányulnak.

A kidolgozott nyomjelzéses módszerek segítségével keverési, homogenizálási folyamatokat ellenőriztünk, pl. a növényvédőszer [90], műtrágya

[91], etilbenzin [92] és üvegyártásban [93]. Vizsgáltuk a komponensek eloszlását és meghatároztuk a homogenizálás optimális időtartamát a műszerek [94] és különféle tűzálló anyagok [95] nyersanyagainak előkészítésénél. Tanulmányoztuk az anyagáramlást, pl. réz előállítására szolgáló aknáskemenében [96], üvegolvasztó kádkemencében [97], timföldgyári berendezésnél [98], kőolajvezetékben [90, 99], kaprolaktámgyártó reaktorban [100]. Meghatároztuk különböző gyártási folyamatok anyagvesztését, pl. elektrolizáló cellák higanyvesztését a klóralikáli elektrolízisben izotóp dilúciós módszerrel [101]. A gombakkumulátor gyártással kapcsolatban tanulmányoztuk a különféle galvánrétegek leválásának egyenletességét [102].

Az előbbieken vázlatosan ismertetett nyomjelzéses vizsgálatok jelentős része a technológia módosítására vezető javaslatokkal járt a meglévő kapacitások jobb kihasználásával, esetenként bizonyos technológiai korrekciók bevezetésével, vagy kisebb átalakításokkal. Ezeket a vizsgálatokat a jövőben kohászati és gépipari folyamatokra is ki kívánjuk terjeszteni.

Az Intézet 1962 óta rendszeresen és növekvő mértékben foglalkozik izotóppal vezérelt műszerek ipari bevezetésével. A munka első fázisában a műszerek üzembe helyezése és üzemeltetése képezte fő feladatunkat, később átdolgozásuk, módosításuk és korszerűsítésük került napirendre. Az összegyűlt tapasztalatok és a kialakult széles körű ipari kapcsolatok lehetőséget adtak újabb alkalmazási területek felkutatására. Az utolsó években rátértünk mérési módszerek kidolgozására, speciális feladatok megoldását célzó műszerek, mérőberendezések elkészítésére, beillesztésére automatikai szabályzókörokbe. Tevékenységünket a jövőben főleg ezekben az irányokban kívánjuk továbbfejleszteni.

A kohóipar, bányászat, energiaipar, ércfeldolgozás, könnyűipar és élelmiszeripar területén végzett munkáink közül példaképpen említenék néhányat.

Tanulmányoztuk a szén hamutartalmának meghatározására szolgáló különböző nukleáris módszereket. Arra a következtetésre jutottunk, hogy ipari méretekben és körülmények között elsősorban a γ -reflexión alapuló eljárások alkalmazhatók [103, 104]. Kidolgoztunk és használatba adtunk egy gyors szénminősítő berendezést.

Vizsgáltuk az iszapzóna helyzetét timföldgyári Dorr-ülepítőben [105]. Most folyik a megfelelő mérőrendszer kialakítása, amelynek segítségével a diffúz zónahatár ellenére megfelelő pontossággal biztosítható az ülepítő kapacitásának optimális kihasználása. Neutron fékeződésen alapuló módszert dolgoztunk ki a timföldhidrát nedvességtartalmának meghatározására.

Különböző zagyok sűrűségének mérésére γ -abszorpción alapuló módszert dolgoztunk ki.

Megoldottuk erőművi dobkazánok vízállásának folyamatos mérését, távjelzését és regisztrálását [106].

Az izotópos ipari mérés-technika egyik legelterjedtebb és talán leg-gazdaságosabb alkalmazási területe a vastagságmérés. Ezt a metodikát az utóbbi időben főleg a műbörgyártás terén alkalmaztuk. A regisztrálásról rátérünk az automatikus, izotóppal vezérelt szabályozásra [106].

Folyamatban van a gyöngyösi Gagarin Hőerőmű számára az automa-tikus izotópvezérlésű szénirányító rendszer kifejlesztése és létesítése. Ez körül-belül 200 mérőhely adatainak alapján működik.

Összefoglaló adatok

Az előbbieken a teljesség igénye nélkül áttekintést kívántam adni arról a tevékenységről, amelyet Intézetünk az izotópelőállítás, alkalmazás és a kapcsolódó tudományos problémák kutatása terén végzett. Legyen szabad most néhány összefoglaló, számszerű adattal jellemezni munkánkat.

Különböző szintű kutatási eredményeinkről 1961–68 között több mint 300 közleményben, 150 előadásban, 3 akadémiai doktori és 8 kandidátusi értekezésben számoltunk be.

1958–68 között mintegy 41 000 izotópszállítmányt jutattunk el a hazai izotópfelhasználókhoz, közel 120 millió Ft értékben. 1961-től 1968-ig az Intézet mintegy 30 millió Ft értékű izotópot állított elő, melynek több mint egyhar-madát exportáltuk. Izotópotat szállítottunk Bulgáriába, Csehszlovákiába, a Német Demokratikus Köztársaságba, Romániába, a Szovjetunióba és Jugoszláviába, valamint az Egyesült Államokba, Kanadába, Hollandiába, Belgiumba, a Német Szövetségi Köztársaságba, Japánba, Svédországba és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségnek.

Különböző iparvállalatoknál mintegy 220 izotópvezérlésű műszert helyeztünk üzembe. Közel száz ipari mérési feladatot oldottunk meg, és mintegy 30 technológiai folyamatvizsgálatot végeztünk el.

Az Intézet dolgozói a lehetőségekhez mérten kivették részüket a szak-emberképzés és szakmai továbbképzés munkájában. Többen tartanak egye-temi előadásokat, oktató munkát végeznek az atomtechnikai szakmérnöki tanfolyamokon. Jelenleg 3 aspiráns dolgozik az intézetben. Több könyv, kézikönyv és jegyzet jelent meg kutatóink tollából.

Az Intézet működésének körülményei

Az Intézet alakulásától kezdve elsődleges problémánk volt az izotóp-előállító laboratórium létesítése. Nagy nehézséget jelentett ez, hiszen ilyen szintű és rendszerű magkémiai forró laboratórium az országban nem működött. Így az izotópelőállítás során az ideiglenes laboratóriumokban szerzett tapaszt-

talatokat tervezés és létesítés közben kellett felhasználni a részben szovjet tervdokumentáció alapján épülő laboratóriumnál.

A laboratórium 1966-ban készült el, néhány hónap alatt üzembe helyezték és azóta nagyobb hibák nélkül működik [107]. Külön kiemelendő az ott létesített komplex szennyvízkezelő és tisztító állomás, amely az intézet saját munkája [108, 109]. A radioaktív szennyvizek feldolgozása bepárlással, kémiai kezeléssel és ioncserés tisztítással folyik. A keletkezett koncentrátumok megkötésére új módszert dolgoztunk ki.

1968-ban kezdte meg működését 80 000 Ci aktivitású sugárállomásunk [110]. A létesítésnél szerzett tapasztalatokat felhasználjuk a Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet sugárágyójánál, amelynek automatikai vezérlő berendezését Intézetünk készíti, csakúgy, mint az saját sugárállomásunk esetében történt.

Intézetünk eredményeiben a legfőbb szerep természetesen dolgozóinké, kutatóké, technikusoké, laboránsoké, a gazdasági és műszaki személyzeté. Az Intézet dolgozóinak jelenlegi létszáma 220 fő, ebből tudományos beosztásban van 53 fő, közülük 13 tudományos fokozattal rendelkezik. Az Intézet kollektívájában szerencsésen ötvöződtek akadémiai intézetek (elsősorban a KFKI és KKKI) munkatársai ipari kutatóintézetekből és gyárakból jött kutatókkal. A munkatársak mintegy 20%-a közvetlenül az egyetem padjaitól került az intézetbe.

Az Intézet 1959-től 1967-ig közvetlenül az Országos Atomenergia Bizottság irányítása alatt működött. A Bizottság vezetői sok segítséget nyújtottak nekünk az első igen nehéz években. Különösen sok segítséget kaptunk az Izotópkalkalmazási Szakbizottságtól. 1967-től Intézetünk az Akadémia irányítása alá került. Az Akadémia és a Kémiai Tudományok Osztálya részéről őszinte segítő szándékot, támogatást és megértést tapasztalunk.

Bár a beszámoló során elsősorban az Intézet által megtett utat, elért eredményeket kívántam érzékeltetni, nem szeretném azt a látszatot kelteni, hogy az Intézet munkájában mindent kielégítőnek tartunk. Nem a szokásos, kötelezőnek tűnő szerénység mondatja ezt, hanem az a tény, hogy az elmúlt évek során mi magunk is állapítottunk meg több hibát, elmulasztott alkalmat az Intézet munkájában és nyilván vannak olyanok amelyek elkerülték figyelmünket.

Beszámolómat legyen szabad azzal zárnom, hogy megköszönöm a segítséget mindazoknak az intézményeknek és személyeknek akik munkánkban támogattak, akiknek bizalmát élvezhettük. Kérjük segítségüket, támogatásukat a jövőben is.

IRODALOM

1. SZIRTES L., ZSINKA L.: *Radiochimia* 9, 389 (1967)
2. ZSINKA L., SZIRTES L.: *Radiochimia* (közlés alatt)
3. TÖRÖK J.: *Kernenergie* 7, 753 (1964)
4. PÁL I., FARKAS GY., GÁCS J., KOCSÁR L., SINKOVICS M., TOMKA I.: *Gyógyszerészet* 9, 339 (1965)
5. PÁL I., GÁCS J., TÖRÖK J., FARKAS G.: *Radioaktive Isotope in Klinik v. Forschung*, VII. k. Unrban v. Schwarzenberg. München, 1967
6. KRASZNAI I., PÁL I., FÖLDES J.: *Nucl. Medicine* 5, 56 (1965)
7. MOLNÁR GY., ROMICS L., FEJÉREGYHÁZI I., PÁL I.: *The Lancet* 261 (1969)
8. MOLNÁR GY., PÁL I.: *Congr. Urologicus et Nephrologicus*. Budapest, 1968
9. PÁL I., MOLNÁR GY., GÁCS J., KOLINSKA J., OPPELT A., KASSALICKY J.: *Congr. Urologicus et Nephrologicus*. Budapest, 1968
10. TÖRÖK J.: *Atompraxis* 12, 97 (1966)
11. LENGYEL T., SOMOGYI GY.: *Magy. Kém. Lapja*, 19, 428 (1964)
12. BEDROSSZÁN P., LENGYEL T., TÖRÖK J.: *Atompraxis* 14, 415 (1968)
13. DEÁK M.: *Magy. Kém. Lapja* 19, 65 (1968)
14. LENGYEL T.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 52, 375 (1967)
15. LENGYEL T.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 52, 391 (1967)
16. LENGYEL T.: *Ritka fémek elválasztásának lehetőségei extrakciós ioncserével*. Akad. Doktori Ért. Budapest 1966.
17. TÖRÖK J.: *Magy. Kém. Folyóirat*, 74, 590 (1968)
18. TÖRÖK J., LENGYEL T.: *11th Int. Conf. on Coordination Chem.*, Haifa, 1968.
19. LENGYEL T., TÖRÖK J.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 54, 27 (1967)
20. LENGYEL T.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 57, 291 (1968)
21. LENGYEL T.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 58, 313 (1968)
22. LENGYEL T.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 60, 225 (1969)
23. SZIRTES L., ZSINKA L.: *Magy. Kém. Lapja*, 17, 465 (1966)
24. SZIRTES L., ZSINKA L.: *Chemické Zvesti* 21, 620 (1967)
25. ZABORENKO K., SZIRTES L., ZSINKA L.: *Vestnik MGU Ser. Kkim.* N° I, 59 (1968)
26. SZIRTES L., ZSINKA L.: *Magy. Kém. Folyóirat*, 74, 258 (1967)
27. SZIRTES L., ZSINKA L., ZABORENKO K., IOFA B.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* 54, 215 (1967)
28. SZIRTES L.: *Kand. Ért. Moszkva*, 1968.
29. ZSINKA L., SZIRTES L.: *Izotópkémiai Kutatások 11. o. Izotóp Intézet*, Budapest 1969.
30. ZSINKA L., SZIRTES L.: *Magy. Kém. Lapja*, 17, 536 (1966)
31. IOFA B., SZIRTES L., ZSINKA L.: *Radiochimia* 10, 491 (1968)
32. TÓTH G.: *Radiochimia* 5, 411 (1963)
33. TÓTH G.: *Isotopenpraxis* 4, 59 (1968)
34. TÓTH G.: *Magy. Kém. Folyóirat* 70, 361 (1964)
35. TÓTH G.: *J. Inorg. Nucl. Chem.* 19, 186 (1961)
36. TÓTH G., NAGY A.: *Intern. J. App. Rad. Isotopes* 17, 539 (1966)
37. MILLER J., TÓTH G.: *Isotopenpraxis* 3, 19 (1967)
38. MILLER J.: *Isotopenpraxis* 4, 63 (1968)
39. ZSINKA L., TÉTÉNYI P.: *Isotopenpraxis* (közlés a.)
40. TÉTÉNYI P., BABERNICS L., *J. Catalysis* 8, 215 (1967)
41. BABERNICS L., TÉTÉNYI P.: *J. Catalysis* (közlés a.)
42. TÉTÉNYI P., BABERNICS L., SCHÄCHTER K.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* (közlés a.)
43. MEZŐ I., TEPLÁN I., MÁRTON J.: *Proc. 2nd Int. Conf. on Methods Preparing a. Storing Labelled Compounds*. Eur. 3776 443. o. Bruxelles, 1966.
44. TANÁCS B., TEPLÁN I., MÁRTON J., MEZŐ IM., BURSICS L.: *Izotópkémiai Kutatások*. 197 o., Izotóp Intézet Budapest, 1969.
45. TEPLÁN I., MEZŐ I., BURSICS L., MÁRTON J.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* (közlés a.)
46. MEZŐ I., TEPLÁN I., MÁRTON J.: *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* (közlés a.)
47. TEPLÁN I.: *Kand. Ért. Moszkva*, 1966.
48. TEPLÁN I., TANÁCS B., MÁRTON J., VÉGH G., SZILAJEV A.: *Zh. Obshch. Khim.* 35, 169 (1965)
49. TANÁCS B., TEPLÁN I., KERESÉ I., MÁRTON J., SZILAJEV A.: *Zh. Obshch. Khim.* 35, 176 (1965)
50. MÁRTON J.: *Kand. Ért. Budapest*, 1967.
51. TEPLÁN I., TANÁCS B., MÁRTON J.: *Izotópkémiai Kutatások*. 253 o., Izotóp Intézet Budapest, 1969

52. TANÁCS B., MÁRTON J., BURSICS L.: Proc. 2nd Int. Conf. on Methods of Preparation and Storing Labelled Compounds. Eur 3776 473. o. Brussels 1966.
53. GOSZTONYI T., MÁRTON H., KOVÁCS Á.: Nature 208, 381 (1965).
54. GOSZTONYI T., MÁRTON J., KOVÁCS Á., KOCSÁR L., VIRÁG S.: Proc. Conf. on Problems of Preparation a. Use of Labelled Proteins in Tracer Studies Eur., 53. o., Pisa, 1966.
55. GOSZTONYI T., KOVÁCS Á., MÁRTON J.: Proc 2nd Int. Conf. on Methods of Preparing a Storing Labelled Compounds Eur. 3776, 781. o. Brüssele, 1966.
56. MÁRTON J., TEPLÁN I., KOVÁCS Á.: Izotópkémiai Kutatások. 231. o., Izotóp Intézet, Budapest, 1969
57. GUCZI L., BABERNICS L., TÉTÉNYI P.: Izotópkémiai Kutatások. 137. o., Izotóp Intézet, Budapest, 1969.
58. GUCZI L.: Kand. Ért. Budapest 1967.
59. TÉTÉNYI P., GUCZI L.: Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 51, 275 (1967)
60. GUCZI L., TÉTÉNYI P.: Z. Phys. Chem. (Leipzig) 237, 356 (1968).
61. GUCZI L., TÉTÉNYI P.: Isotopenpraxis 3, 184 (1967)
62. GUCZI L., TÉTÉNYI L.: IV. Int. Congr. on Catalysis. Moszkva, 1968.
63. TÉTÉNYI P., BABERNICS L., SCHÄCHTER K., PAÁL Z.: Izotópkémiai Kutatások. 163. o., Izotóp Intézet, Budapest, 1969.
64. TÉTÉNYI P., BABERNICS L., THOMSON S. J.: Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 34, 335 (1963).
65. TÉTÉNYI P., BABERNICS L., SCHÄCHTER K.: Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 58, 321 (1968).
66. PAÁL Z., TÉTÉNYI P.: Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 55, 273 (1968).
67. PAÁL Z.: Kand. Ért. Budapest 1967.
68. PAÁL Z., TÉTÉNYI P.: Acta. Chim. Acad. Sci. Hung. 53, 193 (1967).
69. PAÁL Z., TÉTÉNYI P.: Kémiai Közlemények 28, 13 (1967)
70. SZARVAS T., MÁRTON J., HORVÁTH L., VÉGH G.: Izotópkémiai Kutatások. 315. o., Izotóp Intézet, Budapest, 1969.
71. SZARVAS T., ÖMBÖLY Cs., VÉGH G.: Izotópkémiai Kutatások. 329. o., Izotóp Intézet, Budapest, 1969.
72. SZARVAS T., ÖMBÖLY Cs., VÉGH G.: Proc. 2nd Int. Conf. on Methods of Preparing a Storing Labelled Compounds Eur. 3776 1111 o. Brüsseles, 1966.
73. SZARVAS T., ÖMBÖLY Cs., VÉGH G.: Előadás az „Arbeitstymig über higenandte Radioaktivität” c. konferencián. Leipzig. 1966. okt.
74. FÖLDIÁK G., Cserép Gy., Stenger V.: Radiation Chemical Investigations of Alkane-Alkane Mixtures.
75. FÖLDIÁK G., CSERÉP Gy., STEGNER V., WOJNÁROVITS L.: Egyes szénhidrogének sugárhatáskémiai védőhatása („Tudomány a vegyipar szolgálatában”) a Veszprémi Tudományos Intézmények Konferenciája, Veszprém 1968. 136. o.
76. FÖLDIÁK G., CSERÉP Gy., FETES P., STENGER V., WOJNÁROVITS L.: Telített és különféle telítetlen szénhidrogénelegyek radiolízise szobahőmérsékleten. Izotópkémiai kutatások. 83. o. Izotóp Intézet, Budapest, 1969.
77. FÖLDIÁK G., CSERÉP Gy., STENGER V., WOJNÁROVITS L.: Telített és telítetlen szénhidrogének elegyeinek sugárhatáskémiaja. Kémiai Közlemények, 31, (1969).
78. TÉTÉNYI P., BABERNICS L.: Dokl. Akad. Nauk. SSSR. 143, 616 (1962).
79. TÉTÉNYI P., GUCZI L., BABERNICS L., SCHÄCHTER K.: Industrial Uses of Large Radiation Sources. IAEA Bécs. 2, 57 (1963).
80. HORVÁTH Zs.: Kémiai doziméterek összehasonlító vizsgálata nagy dózisteljesítmények mérésére. Diplomamunka, Budapesti Műszaki Egyetem — MTA Izotóp Intézete Budapest, 1969.
81. HORVÁTH Zs., BÁNYAI É.: Földiák G.: Nagyfrekvenciás (oszillometriás) alkoholos klórbenzol doziméter. Radiochimica Acta (közlés alatt).
82. VERES Á.: J. Appl. Rad. Isotopes 14, 123 (1963).
83. VERES Á., LAKÓSI L.: Acta Phys. Hung. (közlés alatt)
84. VERES Á.: Magyar Fizikai Folyóirat XVI. 143 (1966).
85. VERES Á.: Izotópkémiai Kutatások. 293 o., Izotóp Intézet, Budapest. 1969.
86. VERES Á., PAVLICSEK I., OZSGYÁNI M.: Proc. Standardisation of Radionuclides. 453 o. IAEA Vienna, 1967.
87. VERES Á., PAVLICSEK I.: Radioanalytical Chemistry (közlés a.).
88. BIRO T., CZIBOLY Cs.: Determination of Internal Radiation Dose for Tritium Intake. 2nd Symposium on Health Phys. Pécs, 1966.
89. BIRO T., CZIBOLY Cs., TANÁCS B., UCHRIN Gy.: International Contamination Hazard Involved in the Preparation of Soft-emitters. Osztrák—Magyar Sugárvédelmi Szimpózium. Bécs, 1969 (közlés a.)

90. BALLA B., FÖLDIÁK G., TÉTÉNYI P.: Proc. 7th Japan Conf. on Radioisotopes. 556 o. Tokio 1967.
91. BALLA B., RÓNA V., KÁLMÁN L.: Izotóp Intézet. Jelentés, 1967.
92. BALLA B., NAGY K.: Izotóp Int. Közl. 1965, 16.
93. BALLA B., CSETÉNYI J., NAGY K.: Építőanyag 2, 68 (1965)
94. BALLA B., NAGY K., CSETÉNYI J.: Magy. Kém. Lapja 20, 551 (1965)
95. BALLA B., CSETÉNYI J.: Izotóp Int. Közleményei 1965, 18
96. CSETÉNYI J., GYURICZA J.: Kohászati Lapok 8, 346 (1963)
97. BALLA B., CSETÉNYI J.: Radioisotope Tracers in Industry Geophysics 2, 551 (1967). IAEA Bécs.
98. BALLA B., KÁLMÁN L.: Izotóp Int. Jelentés, 1966.
99. BALLA B., VERECZKY L., NAGY K.: Izotóp Int. Közl. 1965, 19
100. BALLA B., CSETÉNYI M.: Kémiai Közlemények (közlés a.).
101. BALLA B., KÁLMÁN L.: Kémiai Közlemények (közlés a.).
102. BALLA B., NAGY K.: Izotóp Int. Jelentés, 1966.
103. TÓTH E.: Izotóp Int. Közl. 1966, 33.
104. NAGYMIHÁLYI D., PÁLOS M., RÓZSA S., TÓTH E.: Előadás, MTA Radioanalitikai Kollokvium. Balatonboglár, 1968.
105. NAGYMIHÁLYI D., RÓZSA S., TÓTH E., VERECZKY L.: Izotóp Int. Jelentés, 1966.
106. Rózsza S.: Atomtechnikai Táj. 11, 677 (1968)
107. HIRLING J.: Atomtechnikai Táj. 9, 272 (1966).
108. HIRLING J.: Előadás, Eötvös Lóránd Fizikai Társ. Sugárvédelmi Szakcsoport, 1967.
109. HIRLING J.: Proc. Symp. Treatment of Airborne Radioactive Vastes. 465. o., IAEA Bécs, 1968
110. HIRLING J.: STENGER V.: Energia és Atomtechn. (közlés a.)