

Nagyintenzitású gamma sugárterek dozimetriája II.

az MTA IKI 50 éves évfordulója alkalmából

Stenger Vilmos

NAÜ szakértő (1974-1996), ny. műszaki igazgató

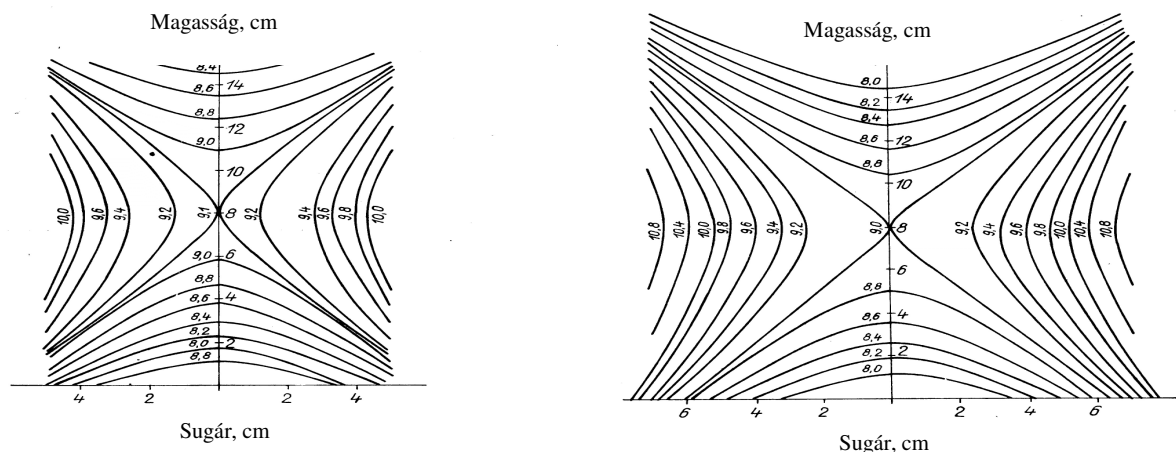
Cikksorozatunk második részében folytatjuk az elmúlt negyven évben a gamma sugárterek dozimetriája területén, az intézetünkben elért legfontosabb eredmények bemutatását. Nagy-intenzitású gamma sugárterek félvezető mérés technikáját, sugárterek dózisteljesítmény eloszlásának számítógépes modellezését fejlesztettük ki. Tevékenységünk kapcsán sugárálló detektort fejlesztettek ki hazánkban, melynek technológiáját külföldön átvették és svédországi gyártásban, a sugárterápia dozimetriai mérés technikájában világszerte elterjesztették. Módszereinket számos országban ma is használják. Félvezető mérőműszerünkben a NAÜ öt darabot rendelt ellenőrei számára. Számítástechnikai modellezési előadásaink, eredményeink az RPSMUG (Radiation Process Simulation and Modeling User Group) könyvtárában megtalálhatók, lehívhatók.

Félvezető mérés technika

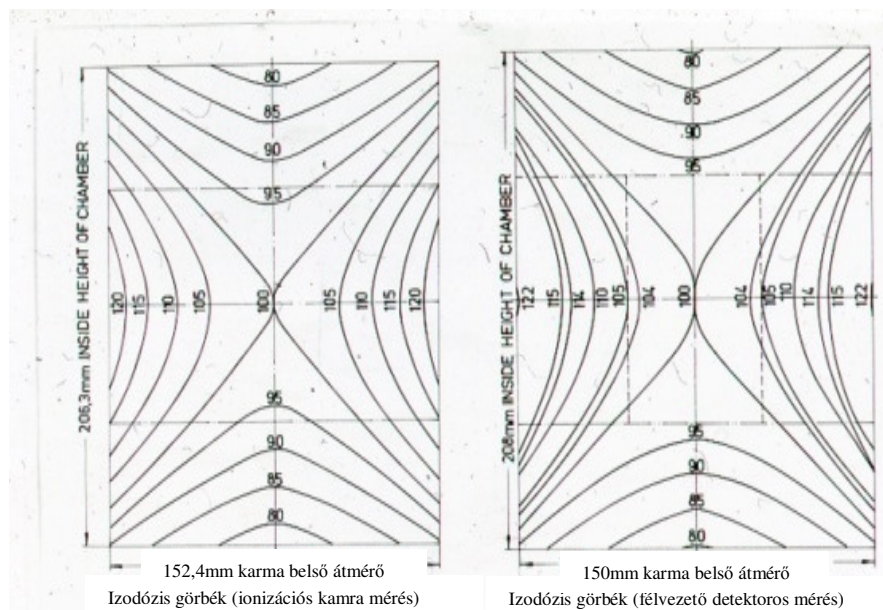
A rövidzáras kapcsolásban működő szilícium teljesítménydiódás gammasugár detektorunkat hazai és nemzetközi gyakorlatban körülbelül 20-25 országban használtuk. Az 1970-es évek elején ez a módszer egyedülállónak bizonyult a nagyaktivitású sugártechnika, technológia terén. Tárczy Károly okleveles félvezető szakos villamosmérnök egy sugárrezisztens diódát fejlesztett ki [1]. A Svéd TERADOS cég ilyen detektorokkal készült sugárzásmérőkkel árasztotta el a „Világot”. Egy 150A-es dióda p-n rétegével 4-5 nagyságrendben lehetett kalibrálás után relatív dózisintenzitást mérni. A detektor kizárólagos előnyvel bír a víz alatti méréseknél, mivel gyakorlatilag nincs feszültség a detektoron. A detektor sokoldalú alkalmazásának lehetőségét még csak felsorolni sem kísérlem meg. 1974-ben Szingapúrban okoztunk nagy meglepetést egy indiai Trombay-Bombay-i fizikusnak. Az indiai Gamma Chamber 4000 laborbesugárzó üzembe helyezéséhez kiküldött fizikus nem hitt a szemének, hogy az általuk gyártott besugárzó sugárterének a közepén három másodperc alatt megmondtuk a dózisteljesítményt, mely adat

kimérésén Ő kémiai doziméter segítségével hat hónapot dolgozott. Ennél a módszernél nem a mérési eredmény gyors megjelenítése volt a lényeg, ez minden műszeres mérés technikában így van, hanem az, hogy 0,5 Gy/s (0,2 MR/h) és körülbelül 150-300 Gy/s (50-100 MR/h) dózisteljesítmény tartományban nem volt ilyen egyszerű és mindenki számára elérhető módszer, és talán még ma sincs. Az ionizációs kamrával működő mérés technika csak 0,5 Gy/s-ig (0,2 MR/h) volt kapható a 70-es években. E műszerünk érzékenységre jellemző, hogy mikor egyszer véletlenül az ionkamrát a besugárzó helyiségen kívül hagytuk, a nagyfeszültségű árnyékolt vezeték önmagában is adott ionáramot. Mind a mai napig nem tudjuk, hogy a kapott ionizációs áram a detektorból, vagy a kábeltől származott. Félvezető módszerünket sok helyen használtuk itthon és külföldön egyaránt, de elsősorban a fejlődő országokban. Ezt a mérési technikánkat az NDK-ban is alkalmazták [2]. Az 1a. ábrán a félvezetővel mért izodózisgörbék, a 1b. ábrán pedig a számított görbeeloszlás látható.

A 2. ábrán az ionkamrával, és a félvezetővel (saját mérés) mért izodózisgörbék láthatók.



1. ábra: Félvezetővel mért (bal – 1a) és számított (jobb – 1b) izodózisgörbe.



2. ábra: Gammacell típusú laborbesugárzók izodózis görbe eloszlása

Próbadozimetria bevezetése

Nagy értékű termékeknel, amikor a dóziseloszlást még nem ismertük, próbadozimetriát alkalmaztunk. Például egy nyers birkabél sebvarró fonal doboz ára (körülbelül $0,03 \text{ m}^3$) 1,5 millió Ft volt a 70-es években, a besugárzás költsége pedig körülbelül 1000 Ft. Mivel nem volt szabad az importált nyersfonalat veszélyeztetnünk, ezért az igényelt dózis tizedével, vagy századával végeztünk méréseket. Ekkor Fricke-féle kémiai dozimétert használtunk, melynek felső határa 400 Gy (40 krad), azonban a 100-200 Gy (10-20 krad) tartományban is igen pontosan tudtunk a segítségével mérni $2000/20=100$ arányban kisebb dózissal, akár a mérést többször is ismételve határoztuk meg a dóziseloszlást.

Biológiai doziméter

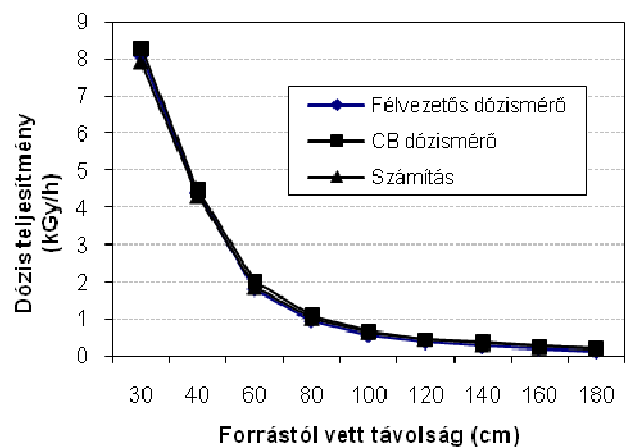
Ezt a mérés technikát mikrobiológusok kezdeményezték. A zárt műanyagzacskós, ismert baktérium törzsű és mennyiségű dozimétert a sugárkezelés után értékeli ki. A várt számú, arányú baktériumszám csökkenése után engedik a sugárkezelt terméket kereskedelmi forgalomba. Korábban a sugárkezelt zárt dobozok felbontásával vettek mintákat, ezek sterilizálását vizsgálva döntöttek a forgalomba hozatalról. Mindkét módszer kiértékelése heteket vett igénybe, a már kezelt termékek nagy raktárterületet foglaltak el.

Dózisindikátor

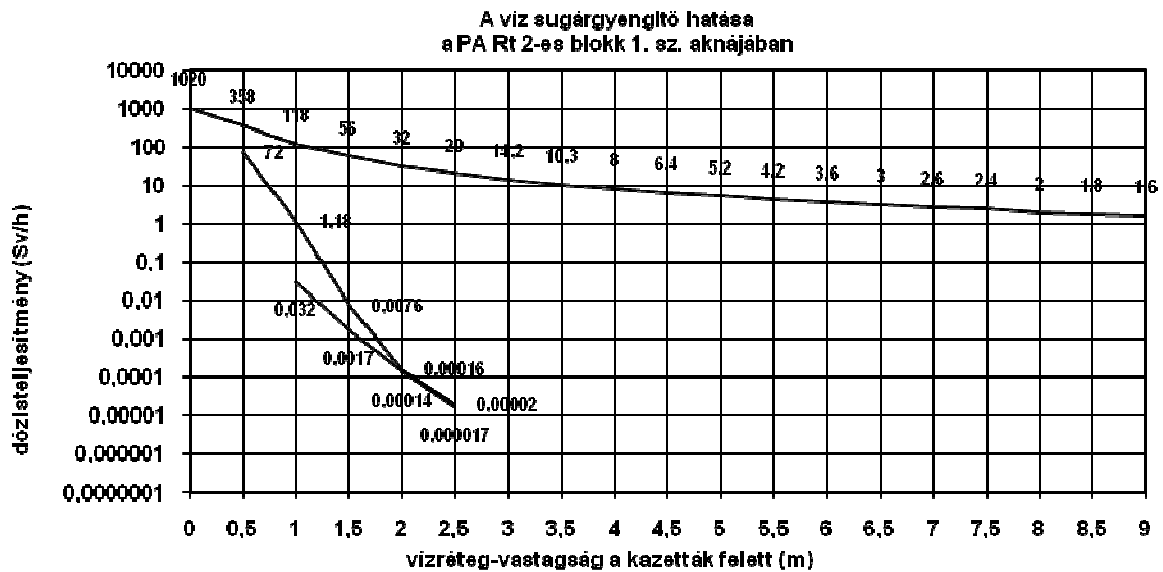
Ezek a műanyag bázisú bélyegek elsősorban arra szolgálnak, hogy a sugárkezelt, illetve kezeletlen termékeket a besugárzó berendezés helyszínén szemmel is meg lehessen különböztetni. A helyszínről kikerülő termékekre ragasztott bélyegek „információja” számtalanszor téves volt. A PVC-ből készült dózisindikátor színe a sugárzás hatására a felszabaduló sósav hatására változik meg. Ezt a hatást váltja ki az UV fény is, például raktárakban. Gumi bázisú termékeknel a felszabaduló ammónia gáz változtatja meg a dózisindikátor színét. Az ezekből az indikátorokból származó információt mi nem tartottuk megbízhatónak.

Számítástechnika bevezetése

A K-120 besugárzó sugárterének számítógépes modellezését elsőnek Dr. Fejes Pál professzor végezte el intézetünkben [3]. A számítógépi adatok használhatóságát a 3. ábrán szemléltetjük, ahol a klórbenzolos és félvezetős mérés technikával mért, továbbá a számítógépen számított dóziseloszlás látható a besugárzó helyiség középpontjától vett távolság függvényében. Ez az első program jelentősen hozzájárult a K-120 sugárterének feltérképezéséhez. A személyi számítógépek megjelenésével szükség volt e program továbbfejlesztésére, hozzáférhetőségére. Dr. Naszodi László írta az FLINEL elnevezésű programot Commodore 64 és Apple II gépekre [4]. Ez az egyszerű program négyféle forrásgeometriára tette lehetővé a gammaterék dózisteljesítmény-eloszlásának gyors modellezését levegő közegre. Munkatársaink, Szántó Attila, Dr. Hargittai Péter és más külföldi NAÜ ösztöndíjasok írták újra az alapkódot az új, éppen futó PC típusok alkalmazásaihoz.



3. ábra: Dóziseloszlás a besugárzó helyiség középpontjától vett távolság függvényében.



4. ábra: A vízréteg vastagsága a kazetták felett.

Az FLINE programok sok tucatját osztottuk szét itthon és szerte a világban, különböző NAÜ tanfolyamokon, szakértői küldetéseken. Az első elismerő észrevételt a Szingapúri Egyetem Fizika Tanszékéről kaptuk 1974-ben, majd még ugyanebben az évben a NAÜ trombayi konferenciáján tartott előadás után az angol Marsh Co. Ltd. fizikusa gratulált. Hasonló élményben volt részünk Dániában egy nemzetközi dozimetria kerek asztal konferencián, ahol az amerikai F. Rizzo ismerte el tevékenységünket, jelezvén, hogy ők is hasonló programokkal dolgoznak. Az 1980-as évek közepén találkoztam Mike Saylor amerikai kutatóval, aki később egy RPSMUG elnevezésű számítógépes programozó csapatot szervezett, mely csoportnak később mi is tagjai lettünk. Ez a nemzetközi csapat Monte-Carlo módszert alkalmaz a NAÜ szakértői csapatához hasonlóan. Azt kellett megállapítanunk, hogy fejlesztéseikkel 30-40 évvel később járják azt az utat, amit mi hajdanán megkezdtünk és a gyakorlatban is alkalmaztunk már. Bár találtam 1963-ból keltezett irodalmat, németek, amerikaiak és indiaiak tollából, ahol hasonló programok fejlesztéséről számoltak be, de nemzetközi megbeszéléseken nem találkoztunk ezekkel a szerzőkkel. Így ezekhez a programokhoz mi nem férhettünk hozzá. Megjegyzem még, hogy számunkra nagyon sokat jelentett a számítástechnika alkalmazása, mivel nem tudtunk hatalmas, 10 millió dolláros próbatermeket, nagyaktivitású forrásokat, vizes-aknákat építeni a sugárterek, berendezések modellezéséhez, mint azt a nagy ipari háttérrel rendelkező államok tehetők.

Atomerőművi alkalmazás kipróbálása

A paksi erőműben a 2003. évben bekövetkezett fűtőelemroncsolódás felszámolása során az FLINE programmal határoztuk meg a minimális vízvédelem vastagságát. Az orosz félhez hasonlóan mi is 2,5 m vastagságot számoltunk ki az aknába leeresztett sugárvédelem alja és a fűtőelem roncsok közötti távolságra. Megjegyezzük, hogy a téma kapcsán közölt dózisteljesítményeket a mindenkor remanens hőteljesítmény 50%-ból (amely érték önkényesen lett megválasztva) származó aktivitással számoltuk, illetve a 15 kW teljesítményű

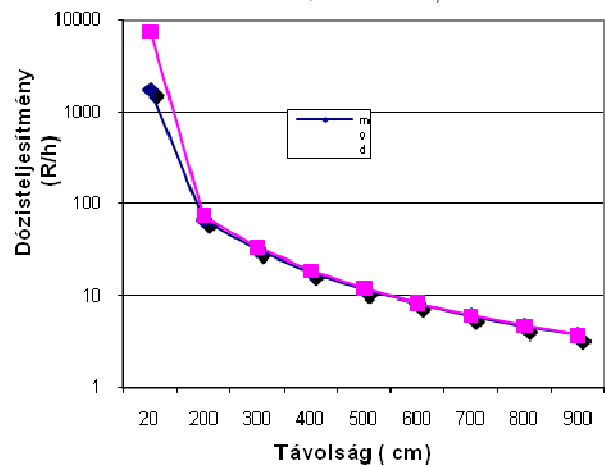
sugárenergia 37000 TBq (1 MCi) Co-60-nak, ill. 148000 TBq (4 MCi) Cs-137-nek felel meg.

A 4. ábra felső görbéje a levegőre, a következők a vízvédelemre számolt adatokat szemléltetik, a legalsó görbe pedig az orosz fél adatait reprezentálja. A vízvédelemre számolt eloszlások 2,5 m távolságban találkoznak. Az ez alatti rétegekre számolt adatok eltérése talán a modellszámításhoz vett geometria eltérő volta miatt van.

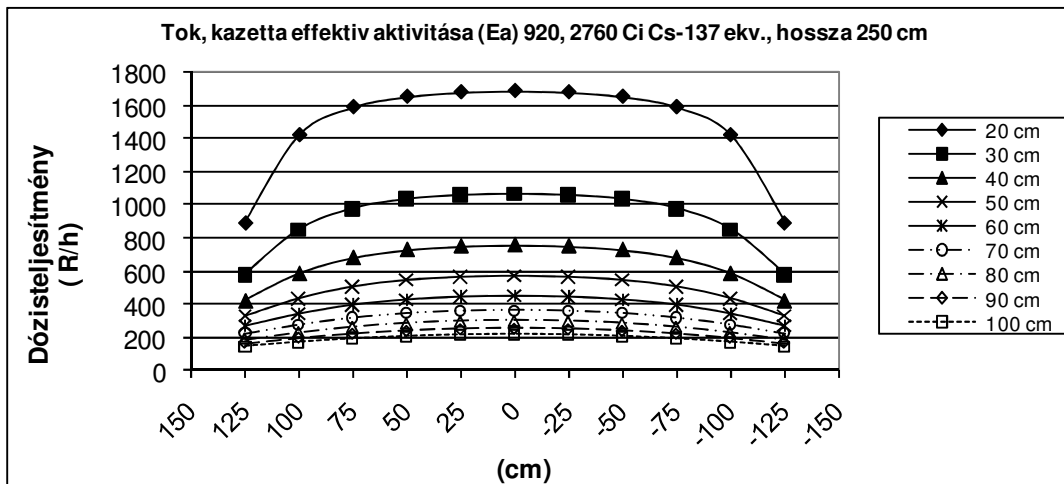
A tokozott fűtőelem roncsok levegőben való szállításához kiszámoltuk az 1-es számú aknapódium és környezetére várható teljesítményeloszlást. Ez látható az 5. ábrán.

Kiszámoltuk továbbá egy töltött tok felületére várható teljesítményt is. Ezt az adatot az intézetünk által végzett nukleáris anyagmérleg mérés technikájának az előkészítéséhez adtuk meg elfogadható eredménnyel (6. ábra).

Sérült fűtőelemmel töltött tok dózisteljesítmény-eloszlása légtérben (tok, kazetta effektív aktivitás a (Ea), 920, 2760 Ci Cs-137 ekv., hossza 250 cm)



5. ábra: Az 1. számú aknapódium környezetére várható teljesítményeloszlás a sérült fűtőelemek levegőben történő szállításakor.



6. ábra: Sérült fűtőelemmel töltött tok dózisteljesítmény-eloszlása.

Nagyaktivitású kiterjedt gammaforrások dózisteljesítménye

Számítógépes modellekkel nemcsak pontforrások, hanem kiterjedt források (ld. 7. ábra, ahol John Masefield, az International Irradiation Association (IIA) elnöke kezében C-188 típusú inaktív modellforrások, valamint a vizesaknában levő egy kb. 360x200 cm kiterjedt 185000 TBq-es (5 MCi) Co-60 lap sugárforrás látható) által létrehozott dózismezőt is meg tudtuk határozni. Példaként nagyaktivitású 37000 TBq-es (1 MCi) pont és kiterjedt Co-60 források számítógéppel számolt dózisteljesítményének összevetése 10 és 100 cm-re a forrás felületétől a szimmetria pontban látható az 1. táblázatban.

1. táblázat Nagyaktivitású 37000 TBq-es pont és kiterjedt Co-60 források számítógéppel számolt dózisteljesítményének összevetése 10 és 100 cm-re a forrás felületétől a szimmetria pontban

10cm-re a forrástól [Gy/s] (MR/h)	100cm-re a forrástól [Gy/s] (MR/h)	Forrás
24,5 (8,82)	1,84 (0,665)	4,5 m hosszú vonal forrásnál
12,83 (4,62)	1,87 (0,675)	4,5 m hosszú 0,4 m átmérőjű forrásnál
11,02 (3,97)	1,84 (0,664)	4,5 m hosszú 1 m széles lapforrásnál
22,88 (8,24)	2,69 (0,97)	1 m x 2 m méretű lapforrásnál
361,11 (130)	3,61 (1,3)	pontforrás esetén

A második és harmadik forrásméretet a forrás-tűllapolt típus besugárzóknál alkalmazzák, míg az 1 m magas, 2 m széles forráskereteket az úgynevezett terméktűllapolt típusú berendezéseknél, ahol a forráson túlnyúló termékszállító pálya miatt nagyobb sugárhatásfok biztosítható.

A fenti táblázat adataiból látható, hogy egy 1 x 2 m-es forráskeret közelében kb. 1 m-re nincs már túlélési lehetősége

annak, aki itt tartózkodik, és netalán percekig próbálja a fennakadt sugárforrás keretet letuszkolni a vizes aknába [5].

A táblázatból az is látható, hogy a kiterjedt források 10 cm-re leadott dózisteljesítménye mennyire eltér a pontszerű forrás adatától (kb. 20 szoros), és ami a témában járatlan személy számára még meglepőbb, hogy 1 méterre ez mindössze körülbelül 40-100%. Korábbi vizsgálatainkból tudjuk, hogy 2 m-re minden létező megépített sugárforrás dózisteljesítménye mindössze 25%-kal kisebb a pontforrás teljesítményénél, és követi az $1/r^2$ összefüggést. A forrástól való távolságfüggés ismerete leegyszerűsíti a dózisteljesítmény becslését, a különféle programokkal számolt eredmények ellenőrzését.



7. ábra: John Masefield a IIA elnöke C-188 típusú inaktív modell forrásokkal a kezében.

Összefoglalás

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy e kétrészes cikksorozatban áttekintett vizsgálataink, eredményeink a nagyintenzitású gamma sugárterek dozimetriájával kapcsolatban lehetővé tették számunkra ipari besugárzók tervezési irányelveinek a megfogalmazását, ilyen berendezések előállítását [6].

Irodalomjegyzék

- [1] Osvay, M.-Tárczy, K., *Measurements of γ -dose rates by n- and p-type semiconductors*, *Physica Status Solidi*, 27, 285, (1975)
- [2] J. Schmidt, M. Remer, *Praktische Dosimetrie an Gamma-Bestrahlungsanlagen*, *Isotopenpraxis (Isotopes in Environmental and Health Studies)*, 20, 29, (1984)
- [3] Fejes P., Horváth Zs., Stenger V., *The calculation of the Relative Irradiation Dose Rate of a High-Power Gamma-Source by Digital Computer*, *Isotopenpraxis (Isotopes in Environmental and Health Studies)*, 6, 98, (1970)
- [4] Stenger V., Földiák G., Horváth Zs., Naszódi L., *Planning of Gamma-Fields: Forming and Checking Dose Rate Homogeneity in Irradiation Facilities*, *Proc. Radiosterilization of Medical Products and Biological Tissues*, IAEA, Bombay, 9/13 December IAEA Vienna, 323, (1974)
- [5] <http://pages.prodigy.net/wrjohnston/nuclear/radevents/index.html> IAEA sugárbaesetek publikációja.
- [6] Stenger V., Hargittai P., Kálmán B., Styevko M., *Design Principles of High-Activity Gamma-Irradiation Facilities*, *Radiation Physics and Chemistry*, 26, 591, (1985)