

SUGÁREGÉSZSÉGÜGY
RADIATION HYGIENE

Sugáregészségügyi - sugárvédelmi ismeretek: dóziskorlátozás, határértékek
On radiation hygiene and protection: dose limitations, limits

PROF. DR. KÖTELES GYÖRGY AZ MTA DOKTORA

Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet, Budapest
„Frédéric Joliot-Curie” National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene, Budapest, Hungary

Összefoglalás: A közlemény a sugárterhelések biológiai-egészségügyi következményeinek figyelembe vételével mutatja be a sugárvédelmi határértékeket. A szerző a közegészségügyben dolgozó szakemberek számára kíván tömör tájékoztatást adni a balesetekre való felkészülés fogalomrendszerének néhány eleméről, a vonatkozó újabb nemzetközi ajánlásokról.

Kulcsszavak: sugárvédelem, dóziskorlátozás, dóziskorlátok.

Abstract: The dose limits in radiation protection are presented for normal and accidental conditions. The recent international recommendations for the population and for those persons participating in emergency handling are included.

Keywords: radiation protection, dose limitations, limits.

EGÉSZSÉGTUDOMÁNY
HEALTH SCIENCE

Közlésre érkezett:

Submitted:

Elfogadva:

Accepted:

58/4 10-20 (2014)

58/4 10-20 (2014)

2014. április 22

April 22 2014

2014. Május 20

May 20 2014

PROF. DR. KÖTELES GYÖRGY

OSSKI

1075 Budapest, Pf.: 101.

tel: 36 1- 476-1215

e-mail: koteles@osski.hu

Bevezetés

Az atomenergia gyakorlati felhasználása mindig is a társadalom figyelmének előterében állt. Az első „gyakorlati” alkalmazása a bomba és egyéb nukleáris fegyverek előállítása volt. Érthető az azóta is tartó küzdelem ezek betiltására, a világ fegyverarzenáljából való kiiktatására. Az atomenergia békés felhasználása azonban legalább kétirányú vitákat vált és váltott ki, elsősorban az atomerőművek létesítése, telepítése vonatkozásában, másrészt főleg egy-egy nagyobb balesetet követően hosszútávú környezeti veszélyeztetés miatt, sőt, ha a politikai viszonyok úgy hozzák, a viták élesednek, akár kemény politikai kampány témákká is válnak.

A közegészségügyben dolgozó szakembereknek nyilvánvalóan olyan ismeretekre van szüksége, amelyekkel átlátják a lakosság sugárterhelésének esetleges következményeit. Így tudnak hiteles választ adni a társadalom gyakran aggódó kérdéseire és rámutatni a tudományosan nem megalapozott hírvetések, pánikkeltés társadalomra, a civilizációra káros hatására.

A jelen közlemény tömör válaszok adásával kívánja segíteni azokat a népegészségügyi szakembereket is, akik részletes sugárvédelmi tanfolyamot nem végeztek, olyan kérdésekben, mint

- a lakosság sugárterhelése természetes és mesterséges sugárforrásoktól,
- a biológiai hatások és ezek kockázata
- a balesetek osztályozása,
- a lakosság egészségének védelmét szolgáló határértékek és ezek betartásának módjai,
- a hivatásos személyzet és a baleset elhárításban résztvevő személyek egészségének védelmét szolgáló határértékek és intézkedések,
- a sugárvédelem szerveződésében együttműködő nemzetközi szervezetek,
- az ismeretterjesztés fontossága és témái.

A lakosság sugárterhelése természetes és mesterséges sugárforrásoktól

Természeti és mesterséges környezetünkben többféle sugárforrás van. A természetes forrásokkal szemben csak bizonyos körülmények között kell védelmi intézkedéseket tennünk, a mesterségesekkel szemben pedig az észszerű és biztonságos alkalmazás biztosítása érdekében mindig.

Természeti környezetünkben a kozmikus és földkérgi eredetű sugárzástól egész életünk folyamán jól mérhető mennyiségű sugárterhelést kapunk. Az *I. táblázat* ezek hazai össz-dózisát tartalmazza. Ehhez a sugárzási háttérhez érdemes viszonyítani a mesterséges források hozzájárulását - szintén a táblázatban szerepel ezekre vonatkozóan néhány adat -

annak megítélésére, hogy sok-e az, amit valamilyen civilizációs célból „hozzá teszünk”. A mesterséges források közül a lakosság a legnagyobb sugárterhelést az orvosi alkalmazásoktól kapja, s csak jóval kevesebbet az ipari létesítményektől, mint pl. egy atomerőmű normális működése során annak környezetében. Itt mindjárt megjegyezzük, hogy baleseti körülmények között a sugárterhelés mértéke változó lehet mind a lakosságra, mind a személyzetre.

I. TÁBLÁZAT: Néhány példa a természetes és mesterséges sugárforrásokból származó sugárterhelési szintekre

TABLE I: A few examples on the exposure levels from natural and artificial radiation sources

Forrás/ Source	Egyéni effektív dózisok/ Individual effective dose (mSv)	
	Átlagos éves/ Average yearly „per caput”	Esetileg/ Once
Hazai természetes háttér/ Natural background in the country	3,1–4,1	1,0–5,0
Orvosi diagnosztika/ Medical diagnostics	0,4–1,0	0,1–10,0
Foglalkozási körben/ Occupationally	0,002	0,5–5,0
Nukleáris energia felhasználás/ Use of nuclear energy	0,0002	–
Csernobili baleset következménye a hazai lakosságra/ Population dose from Chernobille accident in the country	–	0,1–0,3
Nukleáris fegyverkísérletek/ Nuclear arms tests	0,01	–

A biológiai hatások és ezek kockázata

Az ionizáló sugárzás biológiai hatásait sugárvédelmi szempontból sztochasztikus és determinisztikus hatásokra osztjuk. A sztochasztikus, valószínűségi hatások a rosszindulatú daganatképződés és az örökletes hatások, ezek valószínűsége egyenesen arányos az elnyelt dózissal. Ezt fejezi ki a lineáris-küszöbnélküli dózis-hatás összefüggés („linear no-threshold” LNT modell). A sztochasztikus hatások kockázatát a *II. táblázat* foglalja össze. A determinisztikus hatások, azaz a szöveti károsodások súlyossága arányos az elnyelt dózissal egy bizonyos „küszöb-dózis” felett. Néhány küszöbdózis értéket a *III. táblázat* mutat be. Mindezen hatások enyhítésére, vagy elkerülésére a nemzetközi szervezetek ajánlásokat és dóziskorlátokat dolgoztak ki.

II. TÁBLÁZAT: Sztochasztikus hatások előfordulásának valószínűsége (10-2Sv-1) kis dózisteljesítményű sugárexpozíció esetén

TABLE II: Detriment-adjusted nominal risk-coefficients (10-2Sv-1) for stochastic effects after exposure to radiation at low dose rate

Érintett népesség/ Population involved	Rosszindulatú daganatok képződése/ Malignant tumors	Örökletes hatások bekövetkezése/ Hereditary effects	Teljes kockázat/ Total risk
Teljes/ Total	5,5	0,2	5,7
Felnőtt/ Adults	4,1	0,1	4,2

III. TÁBLÁZAT: Néhány determinisztikus sugárhatás küszöbdózis értéke

Table III: Threshold dose levels for a few tissues

Szövet és hatás/ Tissue and effect	Egyenértékű dózis (Sv) egyszeri besugárzás esetén/ Equivalent dose (Sv) in case of one irradiation
Herék/ Testes	
Átmeneti sterilitás/ Temporary sterility	0,15
Végleges sterilitás/ Permanent sterility	3,5–6,0
Petefészek/ Ovarium	
Sterilitás/ Sterility	2,5–6,0
Szemlencse/ Eye lens	
Kimutatható homályok/ Detectable lesions	0,5–2,0
Látás károsodása (cataracta)/ Cataract	5,0
Csontvelő/ Red bone marrow	
Vérzékenység/ Bleeding	0,5
Sejtszám csökkenés/ Decrease of cell number	0,5
Magzati károsodás/ Injury of fetus	0,1

Sugárvédelmi dóziskorlátok

Ionizáló sugárforrás csak olyan technológiában használható, ahol ennek alkalmazása haszonnal jár, és ahol a kívánt eredmények más módszerrel nem válthatók ki. A sugárvédelmet olyan módon kell optimálissá tenni, hogy a sugárterhelés az észszerűen elérhető legalacsonyabb legyen, gazdasági és társadalmi szempontok figyelembe vételével. A jogszabályokban rögzített dóziskorlátokat nem szabad túllépni. Az érvényben lévő dóziskorlátokat a IV. táblázat mutatja be.

IV. TÁBLÁZAT: Sugárvédelmi dóziskorlátok normál körülmények között

TABLE IV: Dose limits under normal conditions

Érintett csoportok/ <i>Population involved</i>	DÓZISKORLÁTOK/ DOSE LIMITS			
	Effektív dózis/ <i>Effective dose</i>	Egyenérték dózis/ <i>Equivalent dose</i> (mSv)		
		Szemlencse/ <i>Eye lens</i>	Bőr */ <i>Skin</i>	Végtag/ <i>Extremities</i>
Munkavállalók/ <i>Workers</i>	20 mSv/év 5 évre átlagolva (<i>averaged for 5 years</i>), azaz 10 mSv / 5 év, de 1 évben nem több mint (<i>for a single year not more than</i>) 50 mSv	150	500	500
Tanulók, gyakornokok (16-18 év/years között)/ <i>Students</i>	6 mSv/év	50	150	150
Lakosság tagjai/ <i>Members of population</i>	1 mSv/év	15	50	

* Bőr: 1 cm² területre átlagolva (*averaged for 1 cm²*)

Dózis fogalmak és egységek

Elyelt dózis: az anyag tömegében elnyelt energia átlagérték, J•kg⁻¹, egysége: Gray (Gy).

Egyenérték dózis: a sugárzás jellemző súlytényezőjével súlyozott elnyelt dózis, J•kg⁻¹, egysége: Sievert (Sv)

Effektív dózis: a szervek és szövetek sugárérzékenységét jellemző súlytényezővel súlyozott egyenérték dózis, J•kg⁻¹, egysége: Sievert (Sv)

A balesetek osztályozása

A világon jelenleg több mint 400 atomerőmű működik. Mindeddig három nagyobb méretű baleset történt. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (International Atomic Energy Agency, Vienna) ún. nukleáris esemény skálát állított össze annak érdekében, hogy egy baleset után annak a jellegéről gyors tájékoztatást lehessen adni és kapni (V. táblázat). A mindeddig előfordult három legnagyobb balesetnek környezeti hatásai is voltak, ennek megfelelően az Egyesült Államokban, a pennsylvaniai Three Mile Island-on 1977-ben bekövetkezett baleset 5-ös fokozatú, az 1986-ban történt csernobili baleset 7-es fokozatú, és a

2011-ben bekövetkezett fukushimai baleset szintén a legmagasabb, 7-es fokozatú besorolást kapta.

V. TÁBLÁZAT: **Nukleáris balesetek fokozatai a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség beosztása szerint**

TABLE V: **International Nuclear Event Scale**

FOKOZAT/ GRADE	Esemény leírása/ <i>The type of event</i>	Csoportosítás
7	Nagy baleset/ <i>Major accident</i>	Baleset
6	Súlyos baleset/ <i>Serious accident</i>	
5	Baleset környezeti kockázattal/ <i>Accident with off-site risk</i>	
4	Baleset jelentősebb környezeti kockázat nélkül/ <i>Accident without significant off-site risk</i>	
3	Súlyos rendkívüli esemény/ <i>Serious incident</i>	Rendkívüli esemény
2	Rendkívüli esemény/ <i>Incident</i>	
1	Anomália/ <i>Anomaly</i>	
0	Eltérés/ <i>Deviation</i>	Eltérés
	Biztonságot nem veszélyeztető rendkívüli esemény/ <i>Incident not related to safety</i>	Kisebb, mint egy eltérés

A lakosság védelmét szolgáló baleseti határértékek és intézkedési ajánlások

A nemzetközi szervezetek a baleseti sugárterhelés mértékére és megítélésére ún. referencia dózistartományt jelölnek ki. Ez az érték az összes lehető expozíciós útból származóan (a külső expozíció, továbbá a belső expozíciók belégzésből, lenyelésből, bőrön át felszívódásból) 20-100 mSv effektív dózis összesen. Így tehát egy baleseti helyzetben a közegészségügyi-sugáregészségügyi hatóságnak a védelmi stratégiát úgy kell kialakítania, hogy az egyes intézkedések révén a lakosság egyedeinek sugárterhelése ezen dózistartományon belül maradjon. Fontos tehát megjegyezni, hogy az egyes védelmi intézkedések meghozatalára nincsenek előírt dózishatárok – mint korábban! – hanem a nemzeti hatóságokra van bízva a körülményektől függő intézkedések jellege és mértéke (VI. táblázat).

VI. TÁBLÁZAT: Teendők baleseti helyzetben a sztochasztikus hatások kockázatának csökkentésére

TABLE VI: Generic criteria for protective actions and other response actions in emergency exposure situations to reduce the risk of stochastic effects

Körülmények <i>Conditions</i>		Főbb védekezési teendők és egyéb intézkedések <i>Examples of protective actions and other response actions</i>
Ha a várható dózis meghaladja a jelzett szinteket: sürgős védelmi és egyéb intézkedések szükségesek <i>Projected dose that exceeds the following generic criteria: urgent protective and other response actions</i>		
H Pajzsmirigy <i>Thyroid</i>	50 mSv az első 7 napon (<i>in the first 7 days</i>)	Pajzsmirigy jód blokádnak <i>Iodine thyroid blocking</i>
E	100 mSv az első 7 napon (<i>in the first 7 days</i>)	Elzárkóztatás, áttelepítés, dekontaminálás, élelmiszer (tej és víz) fogyasztás korlátozása, szennyeződés ellenőrzése, a közösség tájékoztatása
H Magzat <i>Fetus</i>		<i>Sheltering; evacuation; decontamination; restriction of consumption of food, milk and water; contamination control; public reassurance</i>
Ha a várható dózis meghaladja a jelzett szinteket: Korai védelmi tevékenység és egyéb válaszadások <i>Projected dose that exceeds the following generic criteria: protective and other response actions early in the response</i>		
E	100 mSv egy évben (<i>per annum</i>)	Átmeneti áttelepítés, dekontaminálás, élelmiszer (tej és víz) pótlása, széleskörű tájékoztatás
H Magzat <i>Fetus</i>	100 mSv a teljes méhen belüli időszakban (<i>for the full period of in utero development</i>)	<i>Temporary relocation; decontamination; replacement of food, milk and water; public reassurance</i>
Ha a kapott dózis meghaladja az alábbi értékeket: hosszútávú orvosi ellenőrzés a sugárzás okozta egészségi hatások kimutatására és hatékony kezelésére <i>Dose that has been received and that exceeds the following generic criteria: take longer term medical actions to detect and to effectively treat radiation induced health effect</i>		
E	100 mSv egy hónapban (<i>in a month</i>)	Egyenérték dózis alapján a specifikus sugárérzékeny szervekre (ez a követéses orvosi vizsgálat alapja) tanácsadás <i>Screening based on equivalent doses to specific radiosensitive organs (as a basis for medical follow-up), counselling</i>
H Magzat <i>Fetus</i>	100 mSv a teljes méhen belüli időszakban (<i>for the full period of in utero development</i>)	Tanácsadás, amely lehetővé teszi a tájékozott elhatározást az egyéni körülményektől függően <i>Counselling to allow informed decisions to be made in individual circumstances</i>

H: egyenérték dózis, E: effektív dózis

A hivatásos személyzet védelmét szolgáló határértékek és intézkedési ajánlások
A hivatásos személyzet és a mentésben részt vevő személyek védelmét szolgáló ajánlott határértékek és intézkedések a VII. és a VIII. táblázatban találhatóak. Itt is hangsúlyozni kell, hogy az egyes védelmi intézkedések elbírálása és meghozatala a sugárvédelmi hatóságok feladata.

VII. TÁBLÁZAT: **Baleseti védelmi tevékenységek a determinisztikus hatások elkerülésére vagy csökkentésére**

TABLE VII: **Generic criteria for acute doses for which protective actions and other response actions are expected to be undertaken under any circumstances to avoid or to minimize severe deterministic effects**

Külső akut sugárexpozíció 10 órán belül <i>External acute exposure (<10 hours)</i>		Várható dózis esetén: Azonnali védelmi intézkedések a dózis csökkentésére. A társadalom tájékoztatása és figyelmeztetések. Sürgős dekontaminálás végrehajtása. <i>If the dose is projected:</i> Take precautionary urgent protective actions immediately (even under difficult conditions to keep doses below the generic criteria) Provide public information and warnings Carry out urgent decontamination Elnyelt dózis esetén: Azonnali orvosi vizsgálat, konzultáció és a szükséges orvosi kezelés. A szennyezés mértékének megállapítása. Azonnali dekorporáció, ha szükséges. Előjegyzés a későbbi hosszútávú egészségellenőrzéshez. Átfogó pszichológiai tanácsadás biztosítása. <i>If the dose has been received:</i> Perform immediate medical examination, consultation and indicated medical treatment Carry out contamination control Carry out immediate decorporation (if applicable) Carry out registration for long term health monitoring Provide comprehensive psychological counselling
D Vörös csontvelő <i>Red marrow</i>	1 Gy	
D Magzat <i>Fetus</i>	0,1 Gy	
D Szövet <i>Tissue</i>	25 Gy 0,5 cm mélyen a felszín alatt (<i>in depth under surface</i>)	
D Bőr <i>Skin</i>	10 Gy 100 cm ² -re	
Belső expozíció radioaktív anyag felvételéből 30 nap alatt <i>Internal exposure from acute intake (in 30 days)</i>		
D (Δ) Csontvelő <i>Red marrow</i>	0,2 Gy 90-nél nagyobb atomszámú radionuklidok esetén (<i>for radionuclides with atomic number more than 90</i>)	
	2 Gy 89-nél kisebb atomszámú radionuklidok esetén (<i>for radionuclides with atomic number less than 89</i>)	
D (Δ) Pajzsmirigy <i>Thyroid</i>	2 Gy	
D (Δ) Tüdő <i>Lung</i>	30 Gy	
D (Δ) Vastagbél <i>Colon</i>	20 Gy	
D (Δ) Magzat <i>Fetus</i> a méhen belüli fejlődés alatt	0,1 Gy	

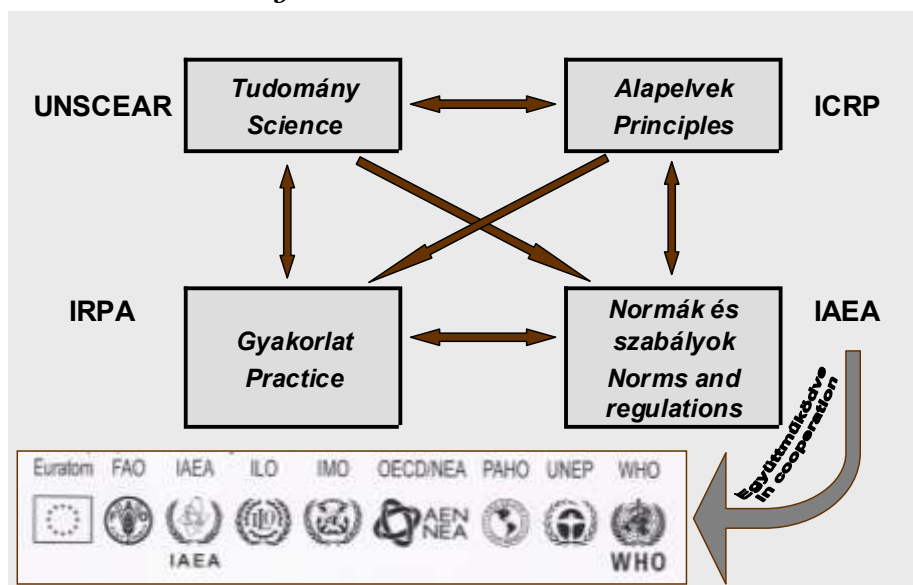
D: elnyelt dózis (*absorbed dose*), D (Δ): az elnyelt dózis a felvétel ideje (Δ) során (*absorbed dose during uptake*)

VIII. TÁBLÁZAT: A mentő személyzet sugárexpozíciójának korlátozása
 TABLE VIII: Guidance values for restricting exposure of emergency workers

Feladatok Tasks	Irányadó dózisegyenértékek Guidance value $H_p(10)$
Életmentés Life saving actions	<500 mSv Ez lehet több szükség esetén a mentő önkéntes vállalásával This value may be exceeded under circumstances in which the expected benefits to others clearly outweigh the emergency worker's own health risks, and the emergency worker volunteers to take the action and understand and accepts this health risk
Súlyos determinisztikus hatások megelőzésére, olyan katasztrófa helyzetek megelőzése, mely jelentősen érinti az embereket és a környezetet Actions to prevent severe deterministic effects and actions to prevent the development of catastrophic conditions that could significantly affect people and the environment	<500 mSv
Olyan tevékenység, mely nagy kollektív dózist hárit el Actions to avert a large collective dose	<100 mSv

$H_p(10)$ A személyes dózis egyenérték (personal dose equivalent) $H_p(d)$, ahol (where) $d=10\text{mm}$

Nemzetközi szervezetek a sugárvédelemben



1. ábra: A sugárvédelemmel foglalkozó nemzetközi szervezetek és működési területei

Fig. 1: Network of international organizations dealing with radiation protection

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, ICRP: International Committee on Radiological Protection, IRPA: International Radiation Protection Association, IAEA: International Atomic Energy Agency

Az elmúlt évtizedek során kialakult az a rendszer, amely bármely nukleáris, vagy ionizáló sugárzást alkalmazó technológia sugárvédelmi feltételeit széleskörű, nemzetközi szakembergárda és intézmények közreműködésével szabályozza. Ezek a kormányközi és nem kormányközi, szakmai szervezetek rendszerint ajánlásokat dolgoznak ki, amelyeket a tagállamok jogrendjükbe illesztenek (1. ábra). Hazánkban is a sugárvédelmet törvények és ezeken alapuló rendeletek írják elő.

Az ismeretterjesztés fontossága és témái

A korszerű és folyamatosan korszerűsödő sugaras technológiák társadalmi elfogadottsága érdekében, a kockázat:haszon józan belátásához és értékeléséhez feltétlenül szükséges a tudományos ismeretterjesztés. Ennek tartalmaznia kell néhány fontos alapismeretet is, például

- annak tudatosítása, hogy az ionizáló sugárzás életünk velejárója,
- a természetes expozíciós szint jó támpont a „nagy és kis szintek” józan megítélésében.
- A sugárzás dózisa jól mérhetőek,
- a mesterséges forrásokból származó többletsugárzás ellenőrizhető,
- a biológiai hatások és kockázataik ismertek, kellő sugárvédelemmel megelőzhetőek, csökkenthetőek,
- erre a megfelelő jogszabályi, műszeres, szervezeti feltételek adottak.
- Minden műszaki folyamat magában rejti a balesetek lehetőségét,
- számos radiológiai és nukleáris technológia jelenlegi civilizációnkban nélkülözhetetlen, ezek biztonságos alkalmazását nemzetközi előírások és nemzeti jogszabályok segítik.
- Az atomerőművek kiváltása más energiaforrásokkal ez idő szerint csak nagyon lassú és költséges fejlesztési feladat.
- hazailag is szükségünk van erre, sőt bővítésére is.
- A balesetek megelőzésére és bekövetkeztekor a károk csökkentésére fel kell készülni, mint ez eddig is történt, nagy felelősséggel.

Mindezekben mindannyiunknak van feladata. Ezzel a tevékenységgel is csökkenthetjük a sokszor tudatlanságból, vagy akár rosszindulatú számításból gerjesztett – akár hisztérikusan megnyilvánuló – aggályokat.

IRODALOM**REFERENCES**

1. *Köteles Gy. (szerk.): Sugáregészségtan* Medicina kiadó, 2002
2. Fundamental safety principles, IAEA safety standards series No. SF-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006
3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, 2007, Elsevier Ltd.
4. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, IAEA Vienna, 2011
5. *Köteles, Gy.:* A sugáregészségügyi ismeretterjesztésről, *Egészségtudomány* 55. 38-44. 2012.
6. *Köteles, Gy.:* Az atomenergia néhány közegészségügyi vonatkozása, *Magyar Tudomány* 2013, <http://www.matud.iif.hu/2013/10/05.htm>
7. *Turai I., Köteles Gy. (szerk.): Sugáregészségtan, második bővített kiadás, 2014.*