

Príloha č. 5
k nariadeniu vlády č. 345/2006 Z. z.

ZÁSADY HODNOTENIA OŽIARENIA

1. Pri hodnotení ožiarenia sa používajú veličiny uvedené v prílohe č. 1 v časti B.
2. Pri hodnotení vonkajšieho ožiarenia sa ďalej používajú operačné veličiny, ktoré sú určené na individuálne sledovanie na účely radiačnej ochrany.

2.1 Osobný dávkový ekvivalent $H_p(d)$ – dávkový ekvivalent v mäkkých tkanivách vo vhodnej hĺbke d pod stanoveným bodom tela. Jednotkou je Sievert.

2.2 Priestorový dávkový ekvivalent $H'(d)$ – dávkový ekvivalent v bode radiačného poľa, ktorý by bol vytvorený zodpovedajúcim rozšíreným a usporiadaným poľom v ICRU sfére v hĺbke d na polomere, ktorý je opačný ako smer poľa. Jeho jednotkou je Sievert.

2.3 Smerový dávkový ekvivalent $H'(d, \Omega)$ – dávkový ekvivalent v bode radiačného poľa, ktorý by bol vytvorený zodpovedajúcim rozšíreným poľom v ICRU sfére v hĺbke d v stanovenom smere poľa Ω . Jeho jednotkou je Sievert.

2.4 Rozšírené pole je pole odvodené zo skutočného poľa, pričom fluencia a jej smerové a energetické rozloženie majú rovnaké hodnoty v celom danom objeme, aké má skutočné pole v referenčnom bode.

2.5 Rozšírené a usporiadané pole je pole žiarenia, v ktorom fluencia a jej smerové a energetické rozdelenie sú rovnaké ako v rozšírenom poli, ale fluencia je usporiadaná jedným smerom.

2.6 Fluencia je definovaná ako podiel dN/da , kde dN je počet častíc, ktoré vstúpia do gule s plochou hlavného rezu da .

2.7 ICRU sféra je fantóm zavedený Medzinárodnou komisiou pre rádiologické jednotky (ICRU), ktorý aproximuje ľudské telo ohľadne absorpcie energie z ionizujúceho žiarenia. Pozostáva z tkanivu ekvivalentného materiálu tvaru gule s priemerom 30 cm s hustotou 1 g.cm^{-3} a má nasledujúce hmotnostné zloženie: 76,2 % kyslíka, 11,1 % uhlíka, 10,1 % vodíka, 2,6 % dusíka.

2.8 Faktor kvality Q je funkciou lineárneho prenosu energie (L) a používa sa na váhovanie absorbovanej dávky v bode tkaniva s ohľadom na biologické účinky ionizujúceho žiarenia.

2.9 Stredný faktor kvality \bar{Q} je stredná hodnota faktoru kvality v bode tkaniva, kde absorbovaná dávka je spôsobená časticami s rôznymi hodnotami lineárneho prenosu energie. Vypočíta sa podľa vzťahu

$$\bar{Q} = 1/\bar{D} \int_0^{\infty} Q(L)D(L)dL,$$

kde $D(L)dL$ je absorbovaná dávka v hĺbke 10 mm v rozmedzí l a $L+dL$,

$Q(L)$ je zodpovedajúci faktor kvality zistený podľa vzťahov uvedených v tabuľke č. 3.

2.10 Radiačný váhový faktor w_R je bezrozmerný koeficient používaný na váhovanie dávky absorbovanej v tkanive alebo orgáne. Príslušné hodnoty w_R sú uvedené v tabuľke č. 1.

2.11 Tkanivový váhový faktor w_T je bezrozmerný koeficient používaný na váhovanie ekvivalentnej dávky v tkanive alebo orgáne T . Príslušné hodnoty w_T sú uvedené v tabuľke č. 2.

2.12 Dávka absorbovaná v tkanive alebo orgáne D_T sa rovná pomeru energie odovzdanej tkanivu alebo orgánu a hmotnosti tohto tkaniva alebo orgánu.

2.13 Neobmedzený lineárny prenos energie L_{∞} je veličina definovaná ako

$$L_{\infty} = \frac{dE}{dl},$$

kde dE je stredná strata energie častice s energiou E na dráhe dĺžky dl vo vode. V tomto nariadení vlády sa L_{∞} označuje ako L .

3. Hodnotenie vonkajšieho a vnútorného ožiarenia

3.1 Pri osobnom monitorovaní a monitorovaní priestorov sa pre prenikavé žiarenie odporúča používať hĺbka 10 mm, pre slabšie prenikavé 0,07 mm a pre oko 3 mm.

Pri vonkajšom ožiarení ekvivalentnej dávke v každom orgáne s výnimkou kože zodpovedá hĺbkový osobný dávkový ekvivalent $H_p(10)$, ekvivalentnej dávke v koži povrchový osobný dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$.

Ak ide o nerovnomerné ožiarenie, pre ekvivalentnú dávku v koži sa berie do úvahy priemer z plochy 1 cm² v najviac ožiarenej oblasti.

Ekvivalentnej dávke v očnej šošovke zodpovedá osobný dávkový ekvivalent H_p(3) v hĺbke 3 mm.

Pri monitorovaní prostredia sa používa
priestorový dávkový ekvivalent H* (d),
smerový dávkový ekvivalent H' (d, Ω),
pričom d je hĺbka v mm pod povrchom ICRU sféry a Ω je uhol dopadu.

3.2 Limity efektívnej dávky E sa vzťahujú na súčet efektívnej dávky z vonkajšieho ožiarovania a úväzkov efektívnej dávky z jednotlivých príjmov rádioaktívnej látky v kalendárnom roku zo všetkých zdrojov ionizujúceho žiarenia, ktorým sú vystavené osoby pracujúce so zdrojmi žiarenia a jednotlivci z obyvateľstva.

Efektívna dávka sa vypočíta takto:

$$E = E_{\text{external}} + \sum_j h(g)_{j,\text{ing}} \cdot I_{j,\text{ing}} + \sum_j h(g)_{j,\text{inh}} \cdot I_{j,\text{inh}} \quad [\text{Sv}],$$

kde:

E_{external} je príslušná efektívna dávka z vonkajšieho ožiarovania,
 $I_{j,\text{ing}}$ je príjem rádionuklidu j (Bq) potravou za rok,
 $I_{j,\text{inh}}$ je príjem rádionuklidu j (Bq) dýchaním za rok,
 $h(g)_{j,\text{ing}}$ je konverzný faktor na výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu j (Sv/Bq) potravou pre rôzne vekové skupiny g,
 $h(g)_{j,\text{inh}}$ je konverzný faktor na výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu j (Sv/Bq) dýchaním pre rôzne vekové skupiny g.

Hodnoty konverzných faktorov pre jednotlivé rádionuklidy sú uvedené v prílohe č. 6.

4. Príjem rádionuklidov potravou $I_{j,\text{ing}}$ sa vypočíta takto:

$$I_{j,\text{ing}} = \sum_P a_{p,j} \cdot P_p \quad [\text{Bq}],$$

kde:

$a_{p,j}$ je priemerná ročná merná aktivita j-tého rádionuklidu v potravině P a vode [Bq/kg, resp. Bq/l],
 P_p je spotreba potravy P v jednom roku [kg].

Ročnú spotrebu potravy je potrebné určiť zo štatistických prehľadov, a to osobitne pre jednotlivé vekové kategórie.

5. Príjem rádionuklidov dýchaním $I_{j,\text{inh}}$ sa vypočíta takto:

$$I_{j,\text{inh}} = a_{v,j} \cdot B \quad [\text{Bq}],$$

kde:

$a_{v,j}$ je priemerná ročná merná aktivita j-tého rádionuklidu vo vzduchu [Bq · m⁻³],
 B je množstvo vdychovaného vzduchu v jednom roku [m³ · rok⁻¹].

Hodnoty množstva vdychovaného vzduchu pre jednotlivé skupiny osôb sú uvedené v tabuľke č. 4.

6. Ožiarovanie spôsobené produktmi rádioaktívnej premeny ²²²Rn a ²²⁰Rn sa hodnotí na základe ich príjmu a expozície. Limitom ožiarovania zodpovedajú hodnoty príjmu a expozície uvedené v tabuľke č. 5.

Objemová aktivita radónu $1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ pri faktore rovnováhy 0,4 a ročnej pracovnej dobe 2 000 hodín zodpovedá expozícii latentnej energie alfa žiarenia $4,45 \cdot 10^{-3} \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$.

Expozícii latentnej energie alfa žiarenia $1 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ pri faktore rovnováhy 0,4 a ročnej pracovnej dobe 2 000 hodín zodpovedá efektívna dávka 1,4 mSv pre osobu pracujúcu so zdrojmi žiarenia.

Produkty rádioaktívnej premeny ^{222}Rn (krátkožijúce): ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{214}Po .

Produkty rádioaktívnej premeny ^{220}Rn (krátkožijúce): ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po a ^{208}Tl .

Podklady na stanovovanie veličín radiačnej ochrany

Tabuľka č. 1
Radiačné váhové faktory¹⁾

Typ/druh žiarenia (prípadne energie)	Radiačný váhový faktor w_R
Fotóny (všetky energie)	1
elektróny, mióny (všetky energie)	1
²⁾ neutróny, menej ako 10 keV	5
neutróny, 10keV až 100 keV	10
neutróny, 100 keV až 2 MeV	20
neutróny, 2 MeV až 20 MeV	10
neutróny, viac ako 20 MeV	5
protóny, viac ako 2 MeV, (okrem odrazených)	5
častice alfa, ťažké jadrá, štiepne fragmenty	20

Tabuľka č. 2
Tkanivové váhové faktory

Tkanivo, orgán	Tkanivový váhový faktor w_T
Gonády	0,20
Červená kostná dreň	0,12
Hrubé črevo	0,12
Pľúca	0,12
Žalúdok	0,12
Močový mechúr	0,05
Mliečna žľaza	0,05
Pečeň	0,05
Pažerák	0,05
Štítina žľaza	0,05
Koža	0,01
Povrchy kostí	0,01
Ostatné orgány a tkanivá ³⁾ ⁴⁾	0,05

Poznámky:

¹⁾ Radiačný váhový faktor w_R vyjadruje rozdielny biologický účinok jednotlivých druhov ionizujúceho žiarenia. Hodnoty radiačného váhového faktoru w_R závisia od druhu a kvality externého radiačného poľa alebo od typu a kvality žiarenia emitovaného interne deponovaným rádionuklidom.

Ak sa radiačné pole skladá z viacerých druhov a energií s rozdielnym w_R , absorbovaná dávka sa rozdeľuje do skupín s rovnakými hodnotami w_R a potom sa sčítava do celkovej ekvivalentnej dávky, prípadne sa vyjadruje spojitém rozdelením vzhľadom na energiu, pričom sa každý element medzi E a $E+dE$ násobí príslušnou hodnotou z tabuľky č. 1.

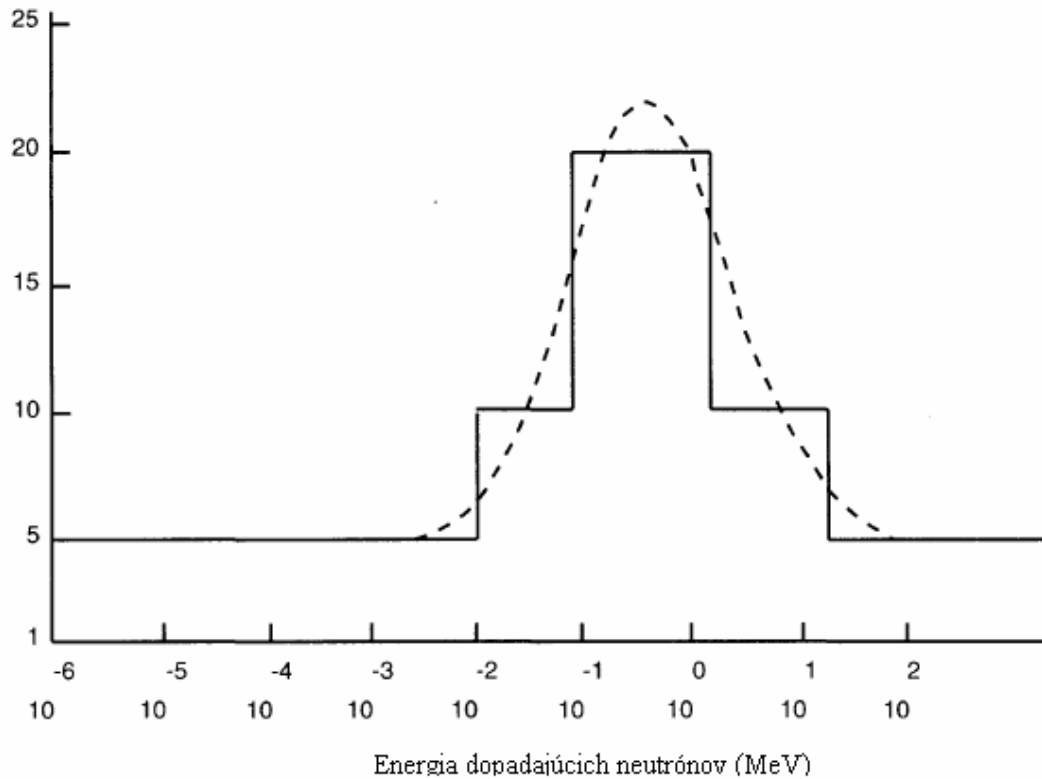
²⁾ V odôvodnených prípadoch možno použitie stupňovitej funkcie pri výpočtoch s neutrónmi nahradiť náhradnou funkciou:

$$w_R = 5 + 17 \cdot e^{-\frac{1}{6}[\ln(2 \cdot E)]^2}$$

kde E je energia neutrónov v MeV.

Priame porovnanie týchto dvoch prístupov je znázornené na obrázku 1.

Radičné váhové faktory



Obrázok 1

Radiačné váhové faktory pre neutróny. Krivku treba považovať za aproximáciu

Pre druhy žiarenia, ktoré nie sú uvedené v tabuľke č. 1, sa w_R zisťuje spočítaním strednej hodnoty faktora kvality \bar{Q} v hĺbke 10 mm ICRU sféry.

Tabuľka č. 3
Faktory kvality Q *) podľa neobmedzeného lineárneho prenosu energie L

Lineárny prenos energie L [keV/ μ m]	Faktor kvality $Q(L)$
Menej ako 10	1
10 až 100	$0,32 L^{-2,2}$
Viac ako 100	$300/\sqrt{L}$

*) Faktor kvality Q vyjadruje rozdielnu biologickú účinnosť jednotlivých druhov ionizujúceho žiarenia.

³⁾ Pre potreby výpočtu sú ako ostatné orgány a tkanivá (zvyšok tela) volené nasledujúce tkanivá a orgány: nadobličky, mozog, vzostupná časť hrubého čreva, tenké črevo, obličky, svaly, podžalúdková žľaza, slezina, týmus, maternica. Zoznam zahŕňa orgány, ktoré môžu byť s istou pravdepodobnosťou ožiarené selektívne. O niektorých z nich je známe, že môžu byť citlivejšie na vznik nádoru. Ak sa aj pri ostatných tkanivách a orgánoch následne preukáže možnosť rizika vzniku nádoru, budú tieto tiež zahrnuté so svojou špecifickou hodnotou w_T do hlavného zoznamu, prípadne budú zaradené do zoznamu orgánov a tkanív tvoriacich zvyšok tela.

⁴⁾ V tých výnimočných prípadoch, pri ktorých tkanivo alebo jeden orgán zaradený do zvyšku tela dostane ekvivalentnú dávku presahujúcu najvyššiu dávku v ktoromkoľvek z dvanástich orgánov uvedených v hlavnom zozname, mal by byť pre také tkanivo alebo orgán aplikovaný váhový faktor 0,025 a pre priemernú dávku ostatného zvyšku tela (tak ako bol definovaný vyššie) váhový faktor 0,025.

Tabuľka č. 4

Hodnoty množstva vdychovaného vzduchu pre jednotlivé skupiny osôb

Skupina osôb	Vek v rokoch	B (m ³ .rok ⁻¹)
Pracovníci so zdrojmi ionizujúceho žiarenia	nad 18	2000
Ostatní obyvatelia	0 - 1	1000
	1 - 2	2000
	2 - 7	4000
	7 - 12	6000
	12 - 17	8000
	nad 17	8500

Tabuľka č. 5

Hodnoty príjmu a expozície produktmi rádioaktívnej premeny ²²²Rn a ²²⁰Rn v kalendárnom roku zodpovedajúce limitom ožiarenia

Efektívna dávka 20 mSv v kalendárnom roku			
	Jednotka	Produkty premeny ²²² Rn	Produkty premeny ²²⁰ Rn
Príjem latentnej energie alfa žiarenia	J	0,017	0,051
Expozícia latentnej energii alfa žiarenia	J.h.m ⁻³	0,014	0,042
Efektívna dávka 50 mSv v kalendárnom roku			
	Jednotka	Produkty premeny ²²² Rn	Produkty premeny ²²⁰ Rn
Príjem latentnej energie alfa žiarenia	J	0,042	0,127
Expozícia latentnej energii alfa žiarenia	J.h.m ⁻³	0,035	0,105

Pre dcérske produkty premeny radónu a torónu platia tieto konvenčné konverzné koeficienty vyjadrujúce efektívnu dávku na jednotku ožiarenia latentnou energiou alfa:

Radón v domácnosti	1,1
Radón na pracovisku	1,4
Torón na pracovisku	0,5

Udávajú sa v Sv/ (J.h.m⁻³).

Latentná energia alfa dcérskeho produktu premeny radónu alebo torónu je celkové množstvo energie alfa častíc vyžiarených počas rádioaktívnej premeny dcérskeho produktu radónu a torónu, pričom pre ²²²Rn sa sumarizuje energia častíc v celom premenovom rade po ²¹⁰Pb, pričom tento izotop sa neberie do úvahy, pre ²²⁰Rn (torón) v celom premenovom rade až po stabilné ²⁰⁸Pb.

Jednotkou je J (Joule). Jednotkou expozície latentnej energii alfa žiarenia za daný čas je J.h.m⁻³.