

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

## ДИЛЕМА LNT ИЛИ HORMESIS МОДЕЛ У ЗАШТИТИ ОД ЗРАЧЕЊА И НУКЛЕАРНО ОРУЖЈЕ

Марко М. НИНКОВИЋ,

Институт за нуклеарне науке, Винча, Београд, СРБИЈА, [markon@vinca.rs](mailto:markon@vinca.rs)

### САДРЖАЈ

Јануара месеца 2015. године у САД је прихваћено покретање поступка могуће замене тренутно важећег LNT модела у заштити од зрачења, HORMESIS моделом. Разлика између ових модела је што према првом, свако додатно излагање зрачењу, без обзира на ниво, је опасно, док према другом је супротно – не само да није опасно већ може бити и корисно, ако је довољно ниско. Истовремено у свету се све чешће помиње и нуклеарно оружје са нагласком на његовом усавршавању. При чему се под усавршавањем подразумева израда прецизнијег оружја мање снаге односно, мањег радијуса накнадне опасности по становништво погођене локације. Поставља се логично питање да ли се ове две акције, које су покренуте приближно у исто време, могу међусобно повезати. Одговор би могао бити пре позитиван него негативан, јер, усвајањем HORMESIS модела несумњиво би се олакшало прихватање, од стране становништва, употребе нуклеарног оружја у специфичним хипотетичким околностима. У раду су приказане основне карактеристике и научна заснованост поменутих модела заштите од зрачења, као и неки доступни подаци о расположивости и распрострањености нуклеарног оружја у свету данас.

### 1. УВОД

Почетком 2015. године у САД је званично прихваћено покретање поступка могуће замене, данас опште усвојеног LNT модела у заштити од зрачења, HORMESIS моделом [1]. Као што је добро познато разлика између ова два модела је суштинска јер, сагласно првом, свако додатно излагање зрачењу, без обзира на ниво, је опасно [2], док према другом може бити и корисно ако је доза излагања довољно ниска [3]. Ова чињеница је сама по себи била довољна да побуди велико интересовање истраживача у области заштите од зрачења за исход овог приступа. Истовремено широм света се чешће помиње нуклеарно оружје, његово унапређење и чак могућа употреба [4] у догледној будућности. То је био основни разлог да се у овом раду посвети посебна пажња односу LNT и HORMESIS модела у заштити од зрачења и њиховом могућем односу према евентуалној употреби нуклеарног оружја у будућности.

### 2. LNT МОДЕЛ У ЗАШТИТИ ОД ЗРАЧЕЊА

Линеарни без-прага модел (LNT) је модел који се користи у заштити од зрачења за процену дугорочних, биолошких штета од јонизујућег зрачења. Према овом моделу претпоставља се да је штета директно («линеарно») пропорционална дози зрачења, без обзира на величину дозе. Што значи да је зрачење увек штетно и да не постоји безопасна доња граница. Вишеструко излагање малим дозама зрачења сматра се да изазива исти штетни ефекат као и једноструко излагање већој дози зрачења. Иако је LNT модел изложен критикама, јер дефакто не постоје поуздани

докази за основе на којима се заснива, ипак овај модел се користи у текућој пракси заштите од зрачења широм света.

У недостатку поузданих доказа о односу ризика од изазивања штетних ефеката од малих доза зрачења, научници су претпоставили да чак и најмањи излагање зрачењу носи ризик. До ове претпоставке (LNT хипотезе или модела) дошло се екстраполацијом ове зависности из области високих доза зрачења, за коју постоји сигурна потврда добијена изучавањем учестаности канцера код преживелих атомске експлозије у Јапану [5].

Имајући у виду поменуте неодређености у LNT- моделу, предлаже се обазрив приступ овом проблему прихватајући став америчког Друштва за заштиту од зрачења који гласи: *"Постоје значајни и убедљив научни докази за здравствене ризике на високим дозама зрачења међутим у области малих доза испод 100 mSv (природни фон и професионално излагање зрачењу) ризици по здравље или су исувише мали да би били детектовани, или не постоје"* [6]. Другим речима неопходна су даља истраживања да би се једна од ових тврдњи доказала.

Као потврду претходно изречене тврдње у даљем тексту ћемо изложити закључке три веома значајна, недавно штампана рада који се баве овим проблемом.

BEIR – Комитет за биолошке ефекте јонизујућих зрачења Академије наука САД, иначе идејни творац овог модела, нашао је за потребно да поново изложи свој став према овом проблему, у једном од најнивијих својих извештаја, који гласи:

*Комитет закључује да су тренутно расположиви научни докази у складу са претпоставком да постоји линеарни, без-прага однос између дозе јонизујућег зрачења и појаве и развоја чврстих канцера код људи под дејством тог зрачења* [7]. Како се може видети у том тренутку, пре око 10 година ова тврдња, референтне институције, дала је пуну подршку LNT-моделу.

У међувремену, упоредо са покретањем поступка за могућу замену LNT-модела, порастао је интерес за испитивање његове заснованости. На овом месту укратко ћемо изложити кључне резултате изложене у недавно публикованим радовима [8, 9]. На првом месту ту су резултати INWORKS студије (INWORKS – International workers study) у оквиру које су анализиране велике групације радника у нуклеарним индустријама Француске, Британије и САД у току више од 30 година, као што се може видети у табели 1.

Сакупљени статистички подаци омогућили су релативно прецизне процене ризика смртности од канцера код радника чија је просечна кумулативна доза била око 20 mSv. Добијени резултати представљају значајан додатак научним основама за разумевање ризика од канцера у условима дуготрајног излагања малим дозама зрачења. На основу ових података, могло се закључити да они показују *линеарну зависност пораста смртности од канцера са повећањем изложености зрачењу*. Истовремено се указује на чињеницу да су ови резултати слични онима добијеним из анализе последица по јапанско становништво које је преживело атомску бомбу, а који су послужили као основа за усвајање LNT – модела.

У међувремену појавио се још један веома исцрпан и вредан рад на ову тему, који су недавно урадили научници из Јужне Кореје [9]. Њихов основни закључак је да без обзира на недостатак научног знања о здравственом ризику од малих доза зрачења, *LNT – приступ представља најразумнији модел ризика на нивоима малих доза* и вероватно ће остати основни принцип у областима заштите и сигурности у раду са изворима зрачења и у будућности.

**Табела 1. Основни подаци који су анализирани у оквирима *INWORKS* студије [8]**

Анализирани период	1968–2004	1946–2001	1944–2005	1944–2005
Место (земља)	Француска	В.Британија	САД	INWORKS
Радници	59 003	147 866	101 428	308 297
Човек-година(милиона)	1,5	3,4	3,3	8,2
Смртност (сви узроци)	6310	25 307	35 015	66 632
Сви канцери	2552	7558	9638	19 748
Чврсти канцери	2356	6994	8607	17 957
Леукемија (без CLL)	56	167	311	531
Излагани радници <sup>(a)</sup>	42 206	130 373	84 587	257 166
Ср.кумулативна доза дебело црево (mGy) <sup>(b)</sup>	17,6	22,5	20,0	20,9
Ср.кум. RBM доза (mGy) <sup>(c)</sup>	16,2	20,6	18,3	19,1

(a)–Радници са регистрованом спољашњом кумулативном дозом > 0.

(b)–Средња процењена кумулативна спољашња доза на дебелом цреву код излаганих радника.

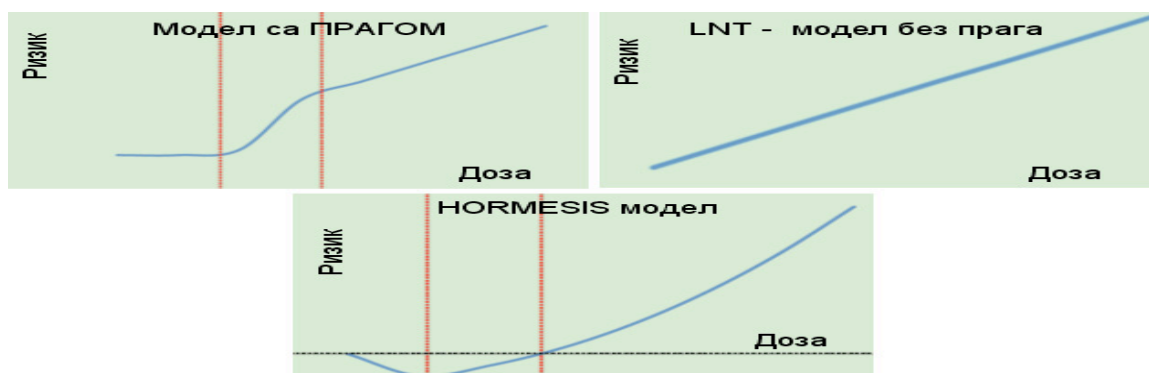
(c)–Средња процењена кумулативна спољашња доза на RBM, међу излаганим радницима.

Са друге стране, наглашава се да треба бити веома опрезан при тумачењу нивоа ризика у области малих доза зрачења, до којих се долази теоријским прорачунима на основу LNT хипотезе, јер они не морају одговарати стварном нивоу ризика.

Различити биолошки путеви произвођења здравствених ефеката при деловању малих и великих доза зрачења сматрају се доказаним путем софистицираних испитивања на нивоима ћелија и молекула. Осим тога, постоји велика вероватноћа, како тврде биолози, међусобне интеракције генетских склоности и малих доза зрачења. Иако радиобиологија не може тренутно да пружи директне доказе о ефектима малих доза зрачења на људско здравље, свеобухватно разумевање радиобиолошких механизма ће вероватно олакшати епидемиолошка изучавања и побољшати прецизност процене односа доза – ефекат у области малих доза зрачења, у будућности. Са друге стране, повезивање биолошких и епидемиолошких резултата испитивања, заједно са истраживањима у друштвеним наукама, омогући ће поузданије закључке о законитостима у овом домену доза и ризика.

### 3. *HORMESIS* МОДЕЛ

У теорији и пракси заштите од зрачења, при анализи ризика од могућег штетног деловања овог агенса на човека од посебног интереса је било утврђивање овог односа у домену малих доза зрачења. У том погледу највећу пажњу су побуђивале три могуће хипотезе или модела, које су квалитативно приказане на слици 1: модел зависности са прагом опасности, LNT – модел без прага и *HORMESIS* модел, као што је квалитативно приказано на слици 1.



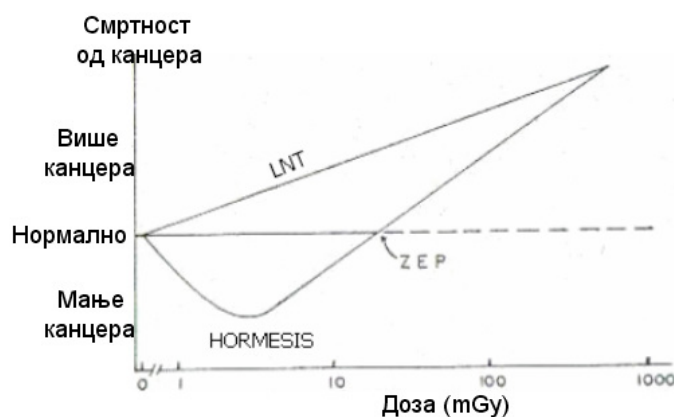
**Слика 1. Квалитативни приказ зависности величине радијационог ризика од дозе зрачења у области малих доза према три модела**

Модел са прагом у пракси је коришћен врло дуго, од првих запажања штетног деловања зрачења, почетком прошлог века, па све до преласка на LNT пре четрдесет година. Међутим, протоком времена и стицањем нових сазнања стално је снижаван висина прага, односно величина дозе која раздвајала условно безопасне од опасних нивоа излагања да би на крају усвајањем LNT модела праг био сведен на нулту дозу.

“HORMESIS” модел, као што је показано на слици 2, даје U-зависност, при којој између нулте и еквивалентне нулте тачке (ZEP), ризик од појаве канцера је негативан односно да дејство зрачења на том нивоу излагања, не само да није штетно већ је и корисно за организам човека. Тек кад дозе излагања постану веће од ZEP-дозе, ризик опет расте линеарно.

Однос према HORMESIS ефекту је врло значајан за заштиту од зрачења. Зато не чуди што је Комитет за ефекте јонизујућих зрачења Академије наука САД (US - BEIR) нашао за потребно да се експлицитно изјасни по том питању. У свом недавном извештају. Комитет закључује следеће:

*«Да је претпоставка о корисним, хорметичним ефектима малих доза зрачења по људско здравље, који превазилазе штетно деловање јонизујућег зрачења, данас неоснована» [10].*



**Слика 2. Упоредни приказ квалитативног тока криви ризика од канцера при излагању зрачењу, према HORMESIS и LNT моделима**

Сагласно LNT моделу нема "безопасне" доза ако се "безопасно" схвати као отсуство ризика. Наравно да ништа није "безопасно" у том смислу, посебно када се има у виду да су ризици код деце већи итд.

Али, мора се имати у виду и чињеница да биолошки процеси зависе од више фактора, да трају дуго времена и да се не могу искључити ефекти прилагођавања ћелија и хормезис ефекти, што је супротно од LNT – тврдње. Те чињенице претстављају полазне основе критичарима LNT – модела. То је вероватно био један од разлога да Нуклеарна регулаторна Комисија САД недавно прихвати предлог XLNT групе [11] да се покрене поступак могуће замане LNT са HORMESIS моделом [1].

XLNT групу чине следећи чланови, већином из САД и по један из Велике Британије, Канаде и Саудијске Арабије:

1. W. Allison, Oxford University, UK
2. J. Jhon Bevelacqua, Bevelacqua Resources, USA
3. M. Cohen, Indiana University, USA
4. J. Cuttler, Cuttler & Associates, Canada
5. L. Corrice, Publisher: The Hiroshima Syndrome, USA
6. C. Davey, King Abdullah Univ. of Sci. and Technology, S. Arabia
7. *Mohan Doss, Fox Chase Cancer Center, USA*
8. V.J. Esposito, University of Pittsburg, USA
9. A. Fellman, Dade Moeller & Associates, Ink., USA
10. P. Lewis, Free Enterprise Radon Health Mine, USA
11. J. Mahn, Sandia National Laboratories (Retired) USA
12. C.W. Pennington, Executive Nuclear Energy Consultant, USA
13. B. Sacks, FDA's Center for Devices and Radiological Health (Retired), USA
14. J. Shanahan, Go Nuclear, Inc. and Environmentalists for Nucl. Energy, USA.

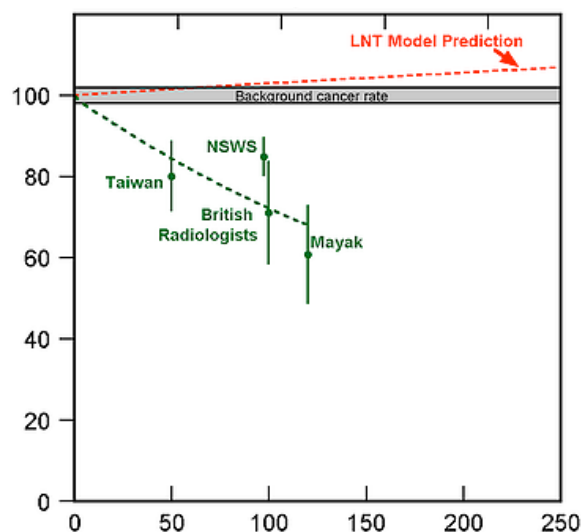
Руководилац Групе је *Mohan Doss*. Чланови XLNT групе у прилог свог става наводе низ чињеница [12]. На пример, указују на податак да резултати недавних преиспитивања смртности преживелих атомску бомбу не потврђују однос доза-ефекат, који следи из LNT модела већ су ближи зависности према HORMESIS моделу. Указује се и на чињеницу да је још пре више од тридесет година предложено коришћење HORMESIS ефекта зрачења у спречавању појаве канцера али да то никада није истраживано због надмоћне доминације LNT модела. Пошто канцер наставља да буде главни здравствени проблем, при чему је стопа смртности од канцера смањена само за 10% у протеклих 45 година, сматра се да би било мудро истраживати HORMESIS ефекат зрачења и као потенцијални алтернативни приступ у борби против канцера.

У прилог HORMESIS модела наводе се и резултати истраживања смртности међу неколико група професионално изложених малим дозама зрачења како се може видети на слици 3.

Како се на слици 3, може видети анализирана је смртност код четири групе радника (TAIWAN [13], NSW [14], BRITISH RADIOLOGIST [15] и MAYAK [16]). Ако се као референтна учестаност смрти узме природна, онда, како се види на слици, учестаност смрти код анализираних група је мања од природне и опада са дозом зрачења, што одговара очекивању према HORMESIS а не LNT моделу (црвена тачкаста линија). Поред тврдње о неадекватности LNT модела наводе се подаци и о његовој штетности [17, 18]. Наиме, након акцидентата праћених контаминацијом



околине примењује се пракса евакуације становништва из контаминираних подручја, чак и оних где би били изложени мањим дозама зрачења «хорметичног» нивоа. Као пример у табели 2, дати су подаци о броју смртних случајева при евакуацији становништва из околине нуклеарне електране Фукуши шима односно, из префектуре Фукушима и суседних префектура Ивате и Мијаги, након акцидента 2011. године [17], које су сагласно NORMESIS моделу биле непотребне.



Слика 3. Смртност од канцера у зависности од малих доза зрачења (<150 mSv) [12]

Табела 2. Људске жртве услед земљотреса, цунамија и евакуације због радијационе опасности после Фукушима [17]

Префектура	Директно од земљотреса и цунамија	Индиректно током евакуације	Укупно	Индиректно %
Ивате	4669	446	5115	8,7
Мијаги	9596	900	10496	8,6
Фукушима	1559	1793	3352	53,5

Истовремено XLNT група предложила је, на основу NORMESIS модела, следеће границе за примену у пракси рада са изворима зрачења и у пољима зрачења [11]:

- (1) **50 mSv/a**, граница дозе за професионалце са допуштењем до **100 mSv/a** ефективне дозе уколико је излагање **хронично**.
- (2) **ALARA одбацити**, потпуно. Јер, нема смисла да се смањују дозе зрачења које не само да су безбедне већ могу бити и хорметичне (корисне).
- (3) **Дозе за становништво**, изједначити са дозама за **професионалце**. Јер ако су мале дозе хорметичне, зашто лишавати становништво те врсте погодности.
- (4) **Посебне границе доза за труднице**, ембрионе и фетусе, као и за **децу млађу** од 18 година, **не уводити**.

### 4. НУКЛЕАРНО ОРУЖЈЕ

У новије време, релативно често, на научним и стручним скуповима из области заштите од зрачења се помиње нуклеарно оружје. То је привукло пажњу аутора овог рада и навело га да посвети пажњу овом проблему.

На пример, веома је упечатљива изјава угледног члана NCRP (USA National Committee of Radiation Protection and Measurements) професора Mettler-а, изречена на 50. јубиларном редовном годишњем скупу овог Комитета, која гласи: «*Није било употребе нуклеарног оружја током протеклих више од 65 година, али, моје предвиђање је, биће употребе нуклеарног оружја у следећих 50 година (или раније)*» [19]. Ову своју изјаву професор Mettler је у предавању илустровао са две слике, од којих прва представља складиште бројних нуклеарних бомби, а друга председника Северне Кореје у положају стрелца. Разумљив је смисао те слике, али опасност од употребе нуклеарног оружја логично, не потиче само од Северне Кореје, него од свих оних који располажу тим оружјем.

*Процена расположивих залиха нуклеарног оружја у свету данас*

Према доступним подацима, има укупно 16 300 комада нуклеарног оружја које се налази на 98 места у 14 земаља света. Од тога 10 000 се налази у војним арсеналима; док преостало чека демонтажу. Оперативно је расположиво 4 000 а 1800 се налази у високом степену приправности. САД и Русија поседују око 93% од укупних светских залиха нуклеарног оружја. САД су своја нуклеарна оружја разместили на укупно 18 локација: 12 у земљи, а осталих 6 у пет земаља Европе. Руско нуклеарно оружје налази се на 40 места унутар Русије.

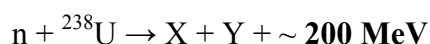
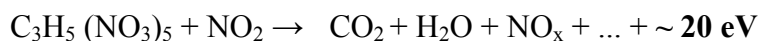
На слици 4, графички је приказана расподела стратешких нуклеарних глава у свету, у виду балона, чија величина је пропорционална броју расположивих оружја, по земљама које их поседују [20]. На овој слици плавом бојом означене су земље чланице *Договора о неширењу нуклеарног оружја* а црвеном, земље које су ван тог договора. Према подацима датим на овој слици Северна Кореја располаже са мање од 10 нуклеарних бомби. Сматра се да је располагала са количином нуклеарног експлозива из кога је могла произвести укупно 12 нуклеарних бомби, од којих је четири већ уништила, у пробним експлозијама. Но, очигледно је да Северна Кореја не претставља једину нуклеарно, по свет опасну земљу.



Слика 4. Стратешке нуклеарне бојеве главе које поседују неке земље у свету (Чланице договора о неширењу нуклеарног наоружања и ван њега) [20]

Следећи занимљив податак на ову тему потиче са прошлогодишњег редовног скупа Друштва за заштиту од зрачења САД, на коме је одржано предавање по позиву, на тему нуклеарног оружја [21]. Садржај предавања обухватио је углавном већ добро познате податке о нуклеарном оружју.

Један од тих података је и упоређивање износа енергије која се ослобађа при сагоревању молекула класичног експлозива (три-нитро-толуола - TNT) и фисије језгра фисибилног материјала ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  или SNM (специјалног нуклеарног материјала):



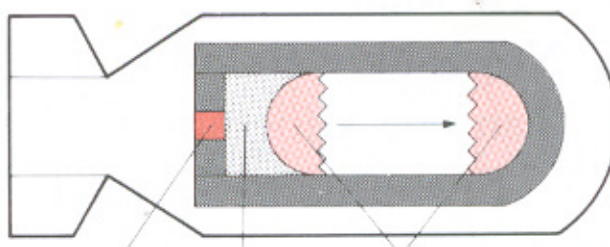
при чему су густине енергија 4,2 MJ/kg код класичног експлозива односно, 74 TJ/kg код фисибилног материјала. Како се може видети износ ослобођене енергије по јединици масе код нуклеарног је за **око 10 милиона пута већи** него код класичних експлозивних материјала.

Међу осталим подацима изложеним у оквиру истог предавања можда се посебно занимљива подсећања на нуклеарне бомбе бачене на Хирошиму и Нагасаки, приказане овде на сликама 5 и 6. Поред спољнег оригиналног изгледа уз слике су дати основни подаци о димензијама ових бомби као и њихови енергетски еквиваленти изражени у килотонама тринитротолуола.

На редовном годишњем састанку научника и осталог особља САД окупљених око NCRP, почетком прошле године, један од учесника [22] говорећи о потребама развоја заштите од зрачења наглашава следеће разлоге:

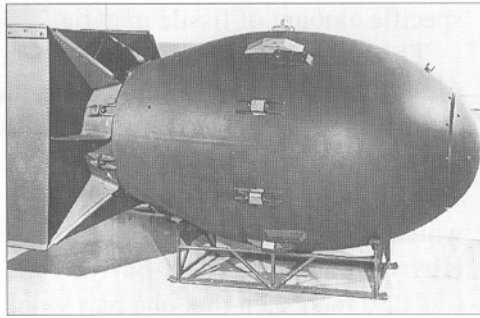
- Брзо ширење комплекса нуклеарног оружја;
- Атмосферско тестирања нуклеарног оружја;
- Изградње нуклеарне морнарице;
- Развоја медицинских и индустријских уређеја;
- Изградње нуклеарних електрана за производњу електричне енергије;
- Итд.

Дакле од пет експлицитно наведених разлога прва три се односе на нуклеарно оружје.



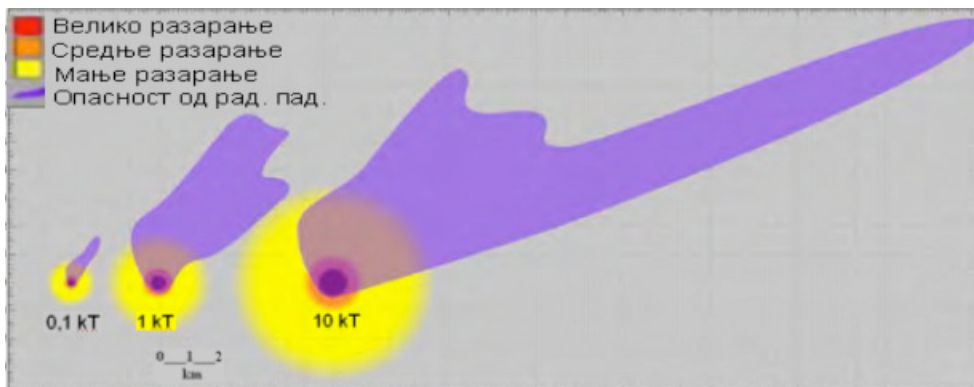
Упаљач    Класични    Фисибилни  
експлозив    експлозив

**Слика 5. Шематски приказ атомске бомбе Mk I, «Мали дечко» цевног типа, бачене на Хирошиму. Карактеристике: пречник 0,71 m; дужина 3,05 m; маса 4045 kg; екв. снага 15 kT**



**Слика 6. Спољни изглед Атомске бомбе Mk-II «Дебељко», имплозионог типа, бачене на Нагасаки. Карактеристике: пречник 1,53 m; дужина – 3,25 m, маса: 4680 kg и еквивалентна снага 21 kT**

Још један податак, у вези нуклеарног оружја, је веома занимљив, а потиче са 50-ог јубиларног NCRP годишњег скупа од пре три године. Наиме у једном од излагања [23] говори се о радијусима опасности од радиоактивних падавина при експлозији нуклеарног оружја мањих еквивалентних снага од 0,1; 1 и 10 kT, као што је показано на слици 7.

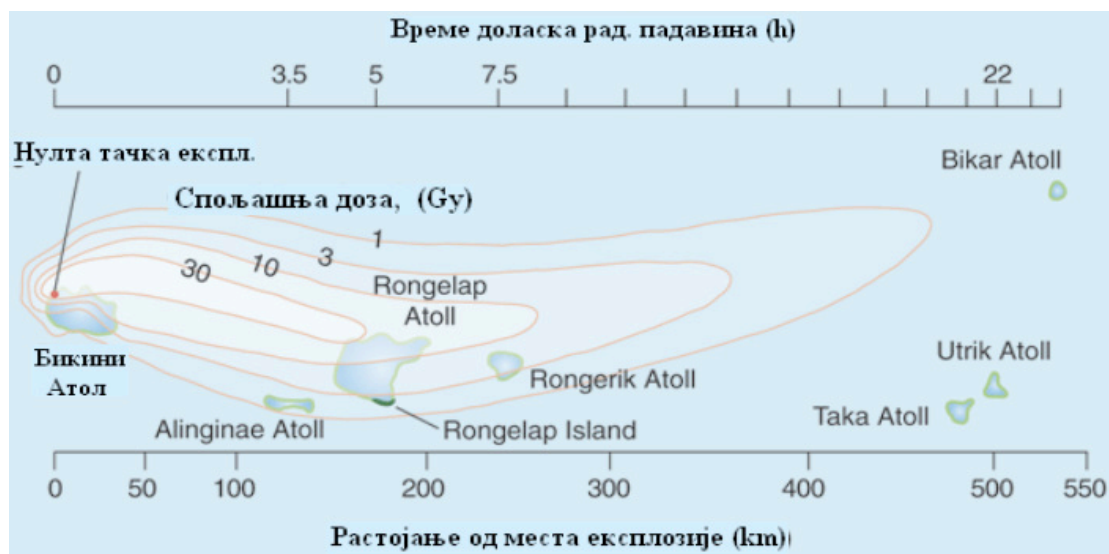


**Слика 7. Три репрезентативне зоне разарања и зоне ране и непосредне опасности од радиоактивних падавина после експлозије атомских бомби еквивалентних снага: 0,1 kT, 1 kT и 10 kT [23]**

Како се на овој слици може видети, радијус опасности се логично смањује са смањем снаге експлозије. Та чињеница отприлике указује на очекивани смер развоја нуклеарних оружја - од већих ка мањим снагама. То је још очигледније када се упореде радијуси опасности приказани на слици 7, са растојањима до којих је досегла радиоактивна опасност, приказана на слици 8, након пробне нуклеарне експлозије максималне еквивалентне снаге до сада изведене. Ради се о добро познатој експлозији на Маршалским острвима [24], која је произвела највеће излагање зрачењу становништва од свих атомских пробних експлозија у свету до сада. Наиме, неочекивани правац ветра и експлозивни принос већи од очекиваног, усмерио је радиоактивни облак, формиран при експлозији на полигону Бикини, према насељеним коралним острвима у подручју Маршалских острва. Дозе од спољашњег излагања биле су око 1 – 2 Gy на најближим острвима, а дозе тироиде кретале су се од неколико десетина, за одрасле, до преко 100 Gy, за децу стару до 1 године.

Из претходних података следи сасвим логичан закључак, да ако се жели смањити успутна штета, при евентуалној употреби нуклеарног оружја, оно треба да буде мање снаге и што прецизније.

И заиста, средином августа месеца прошле године у дневном листу ПОЛИТИКА [25] штампана је вест о очекиваним новим нуклеарним бојевим главама у базама НАТО савеза у Немачкој и Европи. Наводи се да се ради о нуклеарним бомбама типа В61-12, које развија САД. Ове бомбе треба да буду веома прецизне и да имају еквивалентну снагу од 0,3 до 300 кТ, те да буду спремне за расподелу у Европи од 2020. године.



**Слика 8. BRAVO експлозија 15-мегатонске термонуклеарне бомбе 1. марта 1954. године [24]**

Из свега претходно изложеног следи закључак да је присуство великог броја нуклеарних бојевих глава широм света, као и њихов развој данас реалност, која се не сме занемарити.

### 5. ЗАКЉУЧАК

У претходном тексту изложене су најпре, основе LNT – модела. Указано је да према концепту тог модела, не постоји безопасна доза зрачења, ако се безопасност схвати у смислу одсуства ризика за појаву канцера. Наведена је недавна подршка LNT – моделу, коју је нашао за потребно да поново искаже Комитет BEIR, као његов аутор и предлагач пре више од 60 година. Такође је указано на резултате два недавно публикована исцрпна и вредна рада чији резултати иду у прилог LNT - модела

Међутим, скренута је пажња и на чињеницу да биолошки процеси зависе од више фактора, да трају дуго времена и да се не могу искључити ефекти прилагођавања ћелија и хормезис, што је супротно од LNT – тврдње. Те чињенице претстављају полазне основе критичарима LNT – модела. То је вероватно био један од основних разлога да се покрене поступак могуће замене LNT - модела HORMESIS-моделом, на чему је веома активна XLNT – група у САД. Ова група, као што је у тексту приказано, поред аргумената за замену модела, предложила је експлицитно

и нове границе доза зрачења, засноване на HORMESIS моделу, за све категорије излаганих. Међу најзначајније промене дате у овом предлогу, спада сигурно повећање границе индивидуалне годишње дозе за професионалце као и одбацавање ALARA принципа

У трећем делу текста рада изложени су неки данас доступни подаци о нуклеарном оружју, о коме се релативно често говори на скуповим заштите од зрачења и пише у јавним гласилима. Указује се на тенденцију развоја нових типова овог оружја чије су две основне одлике: мања снага и већа прецизност. Поставља се питање да ли овакав смер развоја нуклеарног оружја и евентуално усвајање HORMESIS модела могу имати неку везу. Одговор би могао бити пре позитиван него негативан. Јер, један део неизбежне колатералне штете, на месту употребе нуклеарног оружја, претворио би се у претпостављену корист од малих доза зрачења, што би несумњиво допринело већој прихватљивости употребе овог оружја у хипотетичким околностма.

### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Federal Register, The Daily Journal of US Government, Linear no-threshold model and Standards for protection against radiation, A propose rule by the Nuclear Regulatory Commssion on 06/23/2015
- [2] BEIR VII Phase 2, Report, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. 2006.
- [3] M. Doss, Linear no-threshold model v. s. radiation hormesis, Dose Response, 11, 2013, 495-512.
- [4] F.A. Mettler, 38<sup>th</sup> Lauriston S. Taylor Lecture: On the shoulder of giants – Radiation Protection over 50 years. 50. NCRP Annual Meeting, March 10-11, 2014 and Health Physics, 108, 2, 2015, 102-110.
- [5] R. Preston, F. Tokuoka, S. Nishi, K. Mabuchi, Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998, *Radiat. Res.* 168, 2007, 1-64.
- [6] HPS, Radiation Risk in Perspective, Position Statement of the Health Physics Society, Adopted: January 1996; Revised: July 2010; Futher revised: May 2016
- [7] Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council of the National Academies, BEIR VII Phase 2, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation:, *The National Academy Press*, Washington, D. C., 2006. [www.nap.edu](http://www.nap.edu)
- [8] D. Laurier, D. B. Richardson, E. Cardis, R. D. Daniels, M. Gillies, J. O'Hagan, G. B. Hamra, R. Haylock, K. Leuraud, M. Moissonnier, M. K. Schubauer-Berigan, I. Thierry-Chef and A. Kesminiene, The International Nuclear Workers Study (INWORKS): A collaborative epidemiological study to improve knowledge about health effects of protracted low-dose exposure, *Radiation Protection Dosimetry* (2016), 1-5, doi:10.1093/rpd/ncw314/
- [9] K. M. Seong, S. Seo, D. Lee, M.J. Kim, S.S. Lee, S. Park, and Y. W. Jin, Is the Linear No-Threshold dose-response paradigm still necessary for the assessment of health effects of low dose radiation?, *J Korean Med Sci* .; 31: S10-23, 2016
- [10] BEIR, "Appendix D: Hormesis." in the book: *National Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, BEIR VII Phase 2., *The National Academies Press*. Washington, DC, 2006. doi: 10.17226/11340
- [11] XLNT Action Plan, Version 1.21, Sept. 16, 2015

- [12] M. Doss, Linear no-threshold model v.s. radiation hormesis, *Dose response*. 11, 2013, 495-512.
- [13] S. L.Hwang, H.R. Gup, W.A. Hsieh, J.S.Hwang, S.D. Lee, J.L.Tang, C.C. Chen, T.C. Chang., J.D. Wang, W.P. Chang, Cancer risks in a population with prolonged low dose-rate gamma-radiation exposure in radiocontaminated buildings, 1983-2002, *Int. J. Radiat. Biol.*, 82 (12). 2006, 849-58. (TAIVAN)
- [14] R. Sponsler, J. R. Cameron, Nuclear shipyard worker study (1980-1988) a large cohort exposed to low-dose/rate gamma radiation, *Int. J. of Low Radiation*, .1, 4, 2005, 463 – 478. (NSWS)
- [15] A. Berrington, S.C. Darby, H.A. Weiss, R. Doll, 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. *Br. J. Radiol.* 74(882), 2001, 507-19. (BRIT. RADIOL.)
- [16] V.A. Kostyuchenko, L.Yu. Krestinina, Long-term irradiation effects in the population evacuated from the east-Urals radioactive trace area, *Sci. Total. Environ.*, 1;142(1-2), 1994, 119-25. (MAYAK)
- [17] S. V. Musolino, D. Blumenthal, B. Buddemeier, F.T.Harper, Meeting the needs of first responders: Scientific experiments to operational Tactics for the first 100 minutes after an outdoor explosive radiological dispersal device, 52th NCRP Annual Meeting, Bethesda, April 11-12, 2016
- [18] B. Sacks, G. Mayerson and J.A. Siegel, Epidemiology without biology: False paradigms, unfounded assumptions, and specious statistics in radiation science, *Biology Theory*, 11 (2), 2016, 69-101.
- [19] F.A. Mettler, 38<sup>th</sup> Lauriston S. Taylor Lecture: On the shoulders of giants – Radiation protection over 30 years, 50<sup>th</sup> NCRP Annual Meeting, Bethesda, March 10-11, 2014 and *Health Physics*, 108 (2), 2015, 102-110.
- [20] H.M. Kristansen, R.S.Norris, Status of World Nuclear Forces, FAS – Federation of American Nuclear Sciences, 2016, 2017.
- [21] S.W. Walker, Nuclear Weapon Basics, 61th HPS Annual Meeting, Spokane, WA, 17-21 July 2016
- [22] M. Moeller, The Business of Health Physics – Jobs in changing Market, NCRP 52th Annual Meeting, Bethesda, April 11-12, 2016.
- [23] C.N. Coleman, Response to an nuclear detonation or radiological dispersal device: models, measurements and medical care, NCRP 50th Ann. Meet., March 10-11, 2014.
- [24] S. Simon, A. Bouville, C. Land, Fallout from Nuclear Weapons Tests and Cancer Risks, *American Scientist*, 94(1), 2006, 48.
- [25] Дневни лист *ПОЛИТИКА* (уз позив на агенције *Спутник* и *Танјуг*) од 14.08.2016.

**DILEMMA LNT OR HORMESIS MODEL  
IN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR WEAPONS**

**Marko M. NINKOVIC**

*Institute of Nuclear Sciences – Vinca , Belgrade, SERBIA*

**ABSTRACT**

*In January 2015, the United States has accepted the institution of proceedings as possible replacement of the existing LNT model in radiation protection by HORMESIS model. The difference between these models is that according to the first, each additional radiation exposure, regardless of level, is dangerous, while according to another it is the opposite - not only dangerous but can be useful, if it is sufficiently low. At the same time the world is increasingly mentioned and nuclear weapons with an emphasis on his training. Whereby the improvement of the thought of making precise weapon or less power, smaller radius subsequent risk for the population affected by the location. The logical question is whether these two actions, which were launched at around the same time, be interconnected. The answer could be more positive than negative, because, by adopting HORMESIS model would undoubtedly facilitate the acceptance by the population, the use of nuclear weapons in specific hypothetical circumstances. The paper presents the basic characteristics and scientific foundation of these models of radiation protection, as well as some available data on the availability and distribution of nuclear weapons in the world today.*