
CHERNOBYL DISASTER AND IMPACT ON A GLOBAL SCALE

Danijela Stojadinović

Academy of Professional Studies South Serbia, Republic of Serbia, danijelastojadinovicks@gmail.com

Dorđe Miltenović

Academy of Professional Studies South Serbia, Republic of Serbia, milten2004@yahoo.com

Aleksandar Zdravković

Academy of Professional Studies South Serbia, Republic of Serbia, zdravkovic.aleksandar87@gmail.com

Miodrag Šmelcerović

Academy of Professional Studies South Serbia, Republic of Serbia, msmelcerovic@yahoo.com

Dragana Marković Nikolić

Academy of Professional Studies South Serbia, Republic of Serbia, dragana.markovic2812@gmail.com

Abstract: The biggest nuclear disaster that happened in the world is the Chernobyl disaster. In the history of mankind, this accident is the most significant nuclear accident, whose consequences are large-scale. Not knowing the characteristics of the plant and the technological process and a large number of human errors can be presented as the key reason for the tragedy. The released radioactivity that led to the wide spread of radioactive substances manifested itself through external irradiation in the air and soil and internal irradiation resulting from the consumption of contaminated food and water. The dose that residents from this territory and beyond received depends on the place where they lived in the power plant vicinity, as well as the evacuated time. This accident is characterized as the highest level of nuclear events.

Keywords: Chernobyl disaster, global disasters

ČERNOBILSKA KATASTROFA I POSLEDICE GLOBALNIH RAZMERA

Danijela Stojadinović

Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Republika Srbija, danijelastojadinovicks@gmail.com

Dorđe Miltenović

Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Republika Srbija, milten2004@yahoo.com

Aleksandar Zdravković

Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Republika Srbija, zdravkovic.aleksandar87@gmail.com

Miodrag Šmelcerović,

Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Republika Srbija, msmelcerovic@yahoo.com

Dragana Marković Nikolić

Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Republika Srbija, dragana.markovic2812@gmail.com

Rezime: Najveća nuklearna katastrofa koja se desila u svetu je Černobilska katastrofa. U istoriji čovečanstva ovaj akcident predstavlja najznačajniji nuklearni akcident čije su posledice velikih razmera. Nepoznavanje karakteristika postrojenja i tehnološkog procesa i veliki broj ljudskih grešaka može se predstaviti kao ključni razlog nastanka tragedije. Oslobođena radioaktivnost koja je dovela do širokog rasprostiranja radioaktivnih materija ispoljila se kroz spoljašnje ozračivanje u vazduhu i zemljištu i unutrašnje ozračivanje koje je posledica konzumiranja kontaminirane hrane i vode. Doza koju su stanovnici sa ove teritorije i šire primili zavisi od mesta na kome su živeli u okolini elektrane, kao i od vremena kada su evakuisani. Ovaj akcident je okarakterisan kao najviši nivo nuklearnih događaja.

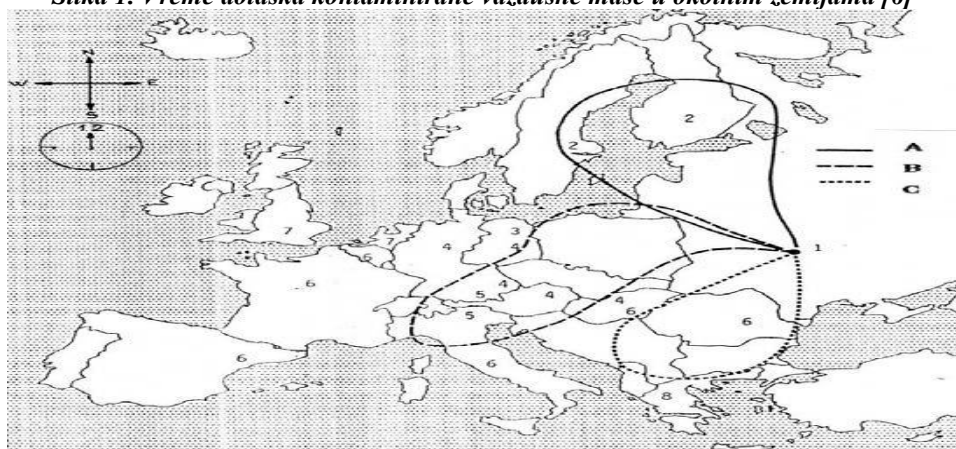
Ključne reči: Černobilska katastrofa, globalne katastrofe

1. UVOD

U Ukrajini (Bivši SSSR) na 18 km od grada Černobila i 16 km od granice sa Belorusijom nalazila se elektrana Černobil [1]. Katastrofa u Černobilu se dogodila usled provere četiri reaktora za vreme noćne smene kada su potrebe za strujom u Ukrajini bile vrlo male. Zadatak je bio da se izvrši provera na električnom sistemu elektrane sa ciljem da se proverí sposobnost osiguranja energije za rad pumpi koje će omogućiti hlađenje jezgra nakon što se ventili turbine zatvore. Gašenje četvrtog reaktora dovelo je do zagrevanja jezgra koji su stvorili gasove i raznošenje poklopca reaktora što je dovelo do eksplozije [2]. Ubrzo je nakon prve došlo i do druge eksplozije [3]. Odmah nakon

eksplozije u atmosferu je dospelo oko 25% od ukupno izbačenih radioaktivnih gasova i aerosola na visini od 1500 m. Ostatak je emitovan u toku sledećih 9 dana [4, 5]. Veliki stepen zračenja i eksplozija doveli su do smrti velikog broja ljudi, a najveći broj umrlih bili su vatrogasci [3]. Na osnovu oblaka koji je stvoren eksplozijom i analize meteoroloških uslova i registrovane aktivnosti u okolnim zemljama, dobijena je šema pomeranja radioaktivnog oblaka iznad Evrope (slika 1.). Krive A, B i C odgovaraju položajima kontaminirane vazdušne mase: 26. aprila, 27 – 28. aprila, i 29 – 30. aprila, redom [6]. Brojevi 1 - 8 odgovaraju vremenu dolaska kontaminirane vazdušne mase iznad pojedinih lokacija: 1 (26. april); 2 (27. april); 3 (28. april); 4 (29. april); 5 (30. april); 6 (1. maj); 7 (2. maj) i 8 (3. maj). Radioaktivnost izazvana Černobilskom katastrofom je bila sto puta veća od radioaktivnosti koju je izazvala bomba bačena na Hirošimu.

Slika 1. Vreme dolaska kontaminirane vazdušne mase u okolnim zemljama [6]



2. RADIOAKTIVNA KONTAMINACIJA AKcidentalnog POREKLA

Podaci u tabeli 1. pokazuju da je totalna radioaktivnost fisionih produkata izbačenih iz oštećenog reaktora, koja je pala na tlo u zoni od 30 km, iznosila $29,6 - 51,8 \times 10^{16}$ Bq. U vreme intenzivnog pražnjenja fisionih produkata iz reaktora, koje je prestalo 6. juna 1986. godine, količina radionuklida, prisutnih u zoni od 30 km, iznosila je približno 74×10^{16} Bq. Bilo je zabeleženo da je više od polovine ove aktivnosti nađeno u zoni sa $R > 192 \mu\text{Gy/h}$ u predelu koji se sastojao od 17% kontaminiranog zemljišta, uključujući i tlo elektrane u Černobilu.

Tabela 1. Određena količina radionuklida na tlu u zoni 30 km u regionu Černobila na dan 26. juna 1986. godine [7]

Tačke	Zona sa R, $\mu\text{Gy/h}$	Područje, km^2	Radioaktivnost	
1	$R > 192,0$	870	18,5-32,2	63,0
2	$96,0 < R < 192,0$	480	2,9-5,2	10,2
3	$48,0 < R < 96,0$	1100	3,7-6,3	10,8
4	$28,8 < R < 48,0$	2780	4,8-8,1	16,0
	Ukupno	5230	29,9-51,8	100,0

Gde je Bq - količina radioaktivnog materijala

Podaci dobijeni na osnovu vazdušne fotografije gama-zračenja preko granice specijalne zone pokazali su radioaktivnost tla u granicama od 37 do 111×10^{16} Bq. Iz ovih podataka izveden je zaključak da je totalna radioaktivnost radionuklida, oslobođenih iz reaktora u okolinu iznosila oko 185×10^{16} Bq, a to je približno 3-4% ukupne aktivnosti fisionih produkata u reaktoru četvrte jedinice Černobilskog postrojenja na dan 6. maja 1986 godine [6]. Rezultati radiometrijskih istraživanja i analiza uzoraka aerosola i tla pokazali su da je sastav fisionih produkata izbačenih reaktora, sličan sastavu fisionih produkata goriva u samom reaktoru. To je posebno potvrđeno ispitivanjima tla i travnog pokrivača u zoni od 1,5 do 30 km od reaktora (tabela 2.).

Tabela 2. Podaci radiometrijskih merenja uzoraka tla 17. maja 1986. godine na severnom delu folauta u granicama zone do 30 km [6]

Radionuklid	Specifična radioaktivnost		Sadržaj u uzorku %	Sadržaj u reaktorskom gorivu %
	Bq/%	Bq/km ²		
¹⁴¹ Ce	3,2×10 ³	18,87×10 ¹²	15,8	18,3
¹³² Te	3,4×10 ²	19,98×10 ¹²	1,7	0,22
¹³¹ I	3,1×10 ³	18,87×10 ¹²	15,8	2,8
¹⁰³ Ru	3,5×10 ³	20,72×10 ¹²	17,3	21,4
¹⁰⁶ Ru	9,6×10 ²	5,55×10 ¹²	4,6	16,9
¹³⁴ Cs	1,6×10 ³	9,25×10 ¹²	7,7	4,5
¹³⁷ Cs	1,7×10 ³	9,99×10 ¹²	8,3	3,4
⁹⁵ Zr	4,0×10 ³	23,68×10 ¹²	10,8	23,0
¹⁴⁰ Ba	1,8×10 ³	10,73×10 ¹²	9,0	9,6

Treba naglasiti da su kao osnova za praćenje i analiziranje dinamike izbacivanja radionuklida iz oštećenog reaktora služili podaci dobijeni sistemskim istraživanjem radionuklidnog sastava aerosola uzetih iz četvrte jedinice Černobilske elektrane 26. aprila 1986. godine. Najveći deo kontaminacije teritorije Jugoslavije, ostvaren je u toku prvih sedam dana maja (oko 90%) sa maksimalnim nivoom od 1. do 3. maja 1986. godine u zapadnom delu i od 2. do 4. maja u istočnom delu zemlje. Kao kontaminanti na području Jugoslavije identifikovani su sledeći radionuklidi: ³H, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹¹Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁹⁹Mo, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ^{110m}Ag, ¹²⁵Sb, ^{127m}Te, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³³J, ¹³²J, ¹³³Xe, ¹²⁹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁶Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ²³⁷U, ²³⁹Np, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu i ²⁴⁰Pu.

3. KONTAMINACIJA ŽRTAVA AKCIDENTA U ČERNOBILU

Nakon akcidenta u Černobilu, veliki problem nastao je kada je dospelo jod u organizam preko mleka stoke sa ispaše, a organ koji je najviše stradao jeste tireoidna žlezda. Zato je počelo ispitivanje populacije. Najveća pažnja se pridavala deci koja su svrstana u najugroženiju grupu zbog akumuliranog joda u tireoidnoj žlezdi, gde je sadržaj radiojoda bio 8-2 puta veći kod dece od 2-24 meseca nego kod odraslih ljudi [7]. To nam ukazuje da su deca više konzumirala mlečne proizvode od odraslih (slika 2.).

Slika 2. Mutacija dece nakon Černobilske nesreće (<https://images.app.goo.gl/h5dGpe9sxxkxGmVU56>)



Kod desetorice ozračenih u Černobilu analiza ekskreta nije pokazivala prisustvo plutonijuma u urinu. Kod trojice je primećeno viši nivo alfa-aktivnosti 74, tj. 20, tj. 3.7 Bq/mL urina i primenjen je pentacin za brže eliminisanje plutonijuma iz organizma. Nakon nekoliko dana počelo je ispitivanje kod svih ozračenih sadržaj joda u tireoidnoj žlezdi gama-radiometrijom. Ispitivanja su se ponavljala nekoliko puta, a rezultati su pokazali da je kod većine sadržaj radiojoda u tireoidnoj žlezdi trećeg dana nakon akcidenta bio manji od 1850 kBq, a kod 6% ozračenih žrtava nivoi aktivnosti radiojoda bili od dva do četiri puta veći. Spektri gama-zračenja mereni na "whole-body counter" (ceo organizam) za sve žrtve, izuzev onih koji su bili u jako teškoj situaciji pokazali su prisustvo oko 20 različitih radionuklida, ali osnovni koji određuju unutrašnju dozu jesu: ¹³¹I, ¹³²J, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁹⁵Nb, ¹⁴⁴Ce, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru. Spektrometrijska analiza uzoraka krvi i urina ozračenih dala je složen spektar fotona, čijom analizom nije ustanovljeno prisustvo ²²Na i ²⁴Na.

4. NUKLEARNA NESREĆA U ČERNOBILU I POSLEDICE NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE

Nakon dešavanja Černobilske katastrofe čije su se posledice osećale i na teritoriji Srbije počela su merenja radioaktivnosti u svim medijumima životne sredine. Merene su jačine ekspozicione doze gama zračenja dozimetrom zračenja ugrađenim u terensko vozilo, jačina apsorbovane doze u vazduhu termoluminiscentnim dizimetrima na bazi MgB_4O_7 ; Dy (IBK Vinča) i aktivnost radionuklida u kišnici, travi, namirnicama i stočnoj hrani. Metoda kojom je određivana koncentracija radionuklida je trijažno radiometrijska metoda. Merenja i uzorkovanja su vršena na životinjama prvenstveno kravama koje su za ishranu koristile stočnu hranu sa lucerkom pri čemu je zabeležena i ozračenost radnika u fabrici zbog čega su predložene mere zaštite. Posebna pažnja je posvećivana distribuciji cezijuma u sistemu tlo-biljke-med u planinskim područjima u Srbiji. U Srbiji je ukupna depozicija Černobilskog cezijuma procenjena na 5 kBq/m^2 . Početkom maja 1986. godine u mleku su izmerene povećane koncentracije ^{137}Cs : od 20 Bq/L u kravljem mleku, do 900 Bq/L u kozijem mleku, a do 30 Bq/L u sirevima, zavisno od vrste i mesta uzrokovanja. Opseg koncentracije radionuklida (Bq/L ili Bq/kg) izmeren maja 1986. godine u namirnicama i hrani sa teritorije Srbije prikazani su u tabeli 3. [7].

Tabela 3. Radionuklidi (Bq/L ; Bq/kg) u namirnicama i hranivu iz Srbije 1986. godine [7]

	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{103}Ru	^{106}Ru
Mleko	24-2800	1-150	3-400	2-26	2-17
Meso	3-14	2-145	5-330	do 1	do 25
Povrće/voće	100-3000	5-150	11-300	3-200	25-200
Hranivo	100-9800	3-850	25-2400	10-1200	40-640

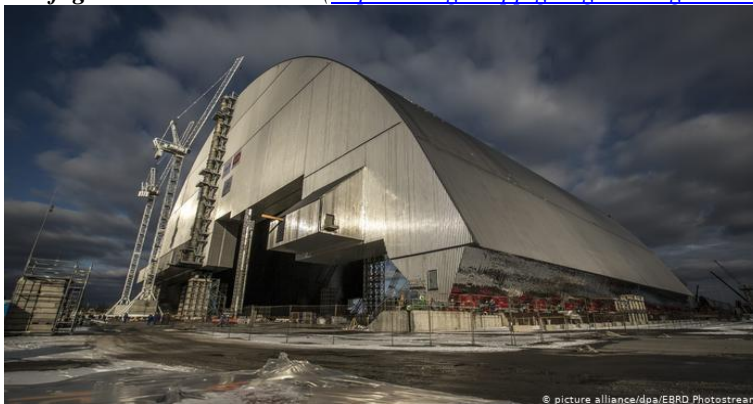
Mleko i mlečni proizvodi, meso, voće i povrće predstavljaju najznačajnije namirnice za ishranu, a samim tim i osetljiv indikator za prisustvo radionuklida u njima, što predstavlja značajan put za unošenje radionuklida u organizam i zato treba posebnu pažnju posvetiti upravo praćenju ovih koncentracija u namirnicama.

5. SARKOFAG NUKLEARNE ELEKTRANE

Dizajn sarkofaga započeo je 20. maja 1986. godine, 24 dana nakon katastrofe. Naknadna gradnja trajala je 206 dana, od juna do kraja novembra iste godine [7]. Prvi zadatak pre početka gradnje bio je izgradnja rashladne ploče ispod reaktora kako bi se sprečilo da vruće nuklearno gorivo izgori rupu u osnovi. Sarkofag nuklearne elektrane u Černobilu dizajniran je da ograniči radioaktivno zagađivanje okoline zatvarajući najopasnije područje i štiteći ga od izloženosti klimi [8]. Nalazilo se u velikom ograničenom području poznatom kao Černobilska zona isključenja. Rudari uglja pozvani su da iskopaju neophodni tunel ispod reaktora, a do 24. juna 1986. godine, četrsto rudara uglja iskopalo je tunel dugačak 168 metara (551 ft) [7]. Kada je zgrada postala preterano radioaktivna, postalo je nemoguće direktno zavrteti navrtke i zavrtne ili primeniti bilo kakvo direktno zavarivanje na sarkofag, pa je ovaj posao rađen na daljinu gde je to bilo moguće [8]. Šavovi sarkofaga, međutim, nisu mogli biti potpuno zapečaćeni. Čitav proces izgradnje sastojao se od osam faza: raščišćavanje i betoniranje teritorije oko reaktorske jedinice 4, podizanje početnih armirano-betonskih zaštitnih zidova oko perimetra, izgradnja razdvajajućih zidova između blokova 3 i 4, konstrukcija kaskadnih zidova, pokrivanje turbinske hale, montaža visokog potpornog zida, postavljanje nosača i ugradnja pokrivača reaktorskog odeljenja i konačno postavljanje ventilacionog sistema (slika 3.).

Izgradnja je trajala godinama i uloga novo izgrađenog sarkofaga je bila da smanji radioaktivno zračenje i spreči prodiranje vode od padavina kroz pukotine na omotaču što je i postignuto. Ali mnoga tehničkih rešenja još uvek nisu sprovedena tako da je radijacija još uvek prisutna na zadovima sarkofaga i zabranjeno je dugo zadržavanje s obzirom da ventilacija još uvek nije u funkciji [8].

Slika 3: Sarkofag nuklearne elektrane (<https://images.app.goo.gl/HaeLg6CFZXXFn8yP9>)



6. ČERNOBIL DANAS

Sagledavajući trenutnu situaciju u svetu u blizini nuklearne elektrane u Černobilu, koju su zauzele ruske snage, zabeležen je skok radijacije, pokazuju podaci monitoringa. Invazione ruske trupe preuzele su kontrolu nad postrojenjem - mestom najgore nuklearne katastrofe na svetu 1986. godine. Nivoi radijacije su se u određenom periodu povećali oko 20 puta. Porast je uzrokovan time što su teška vojna vozila mešala kontaminirano tlo u zoni isključenja od 4.000 kvadratnih kilometara (2.485 kvadratnih milja) koja okružuje napuštenu elektranu, a najveći skok zabeležen je u blizini oštećenog reaktora. U blizini reaktora, normalno biste primili dozu od oko tri jedinice - nazvane mikrosiverts - svakog sata. Ali zbog vojne aktivnosti je to skočilo na $65 \mu\text{Sv/h}$ - oko pet puta više nego što biste dobili na jednom transatlantskom letu. Do povećanja koncentracije došlo je duž glavnih puteva i van zone oko reaktora. Povećano kretanje ljudi i vozila u zoni Černobila i oko nje podiće će radioaktivnu prašinu, ali vojne aktivnosti u blizini su zabrinjavajuće. Ruske trupe zauzele su fabriku, oko 130 km (80 milja) severno od prestonice Kijeva, posle žestoke borbe sa ukrajinskim snagama, prema ukrajinskim zvaničnicima [9]. U istraživanjima Mietelski i saradnika utvrđeno je da je u Černobilskoj zoni isključenja prosečna efektivna doza od udisanja kontaminiranog aerosola u toku jednog dana bez maske iznosi $1,3 \text{ mSv}$ po osobi. Černobilska zona isključenja je postala značajna destinacija turista, ali u ovoj zoni i dalje postoji realan rizik od inhalacije aktinida odnosno radionuklida tokom posete [10].

Na osnovu izveštavanja stranih novinara došlo je i do pojave šumskih požara u aprilu 2020. godine u Černobilskoj zoni isključenja, što je uslovalo porast radijacije. Intenzivno paljenje šuma i livada trajalo je preko dve nedelje i požar je zahvatio površinu veću od 80.000 ha, kao i velike površine radioaktivno kontaminiranih šuma van zone u Kijevskoj i Žitomirskoj oblasti Ukrajine. Požar je izazvao strah od radijacije u Kijevu, glavnom gradu Ukrajine, koji se nalazi oko 60 milja južno od Černobilske zone isključenja. Vladini stručnjaci su poslali da prate situaciju izvestili su da nije došlo do povećanja nivoa radijacije u Kijevu ili gradskim predgrađima. Emisije radionuklida dovele su do kratkoročnog povećanja radioaktivne aktivnosti u vazduhu. Prisustvo radionuklida u 2020. godini je otkriveno ne samo u Ukrajini, već i u Francuskoj, Belgiji i Norveškoj [11, 12]. Nataložena radioaktivne čestice u drveću su njegovim sagorevanjem oslobođene u atmosferu. Šuma odnosno drveće spada u biljke koje su izuzetno osetljive na jonizujuće zračenje. Identifikovan je i uticaj radijacije na radijalni rast belog bora (*Pinus silvestris* L.) koji je bio kontaminiran Černobilskom nesrećom [13, 14].

Radioaktivna padavine nakon eksplozije elektrane u Černobilu su se pored Rusije, Ukrajine, Belorusije i Kazahstana proširile širom Evrope [15, 16]. Baltičko more je tada isto bilo područje podložno kontaminaciji radioaktivnim padavinama. U istraživanjima Kotilainen-a i saradnika od 2001. do 2019. godine u Bothinijskom zalivu (severno Baltičko more) je zabeležen generalno pad aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu [16].

Posledice radioaktivnog zračenja nakon Černobilskog akcidenta se i danas osećaju. Radnici koji su bili angažovani na čišćenju nakon katastrofe u Černobilu su u periodu od 1986. do 1990. godine bili izloženi prosečnoj efektivnoj dozi spoljašnjeg zračenja, od oko 120 mSv . Ustanovljeno je da kod radnika iz Litvanije postoji povećan rizik od raka štitne žlezde i to među radnicima koji su bili mlađi od 30 godina u periodu angažovanja i koji su bili izloženi dozi zračenja većoj od 100 mSv [17]. U istraživanjima drugih autora za period od 1990. do 2016. godine kod radnika koji su bili angažovani na čišćenju posledica katastrofe, evakuisanih ljudi i ostale populacije iz kontaminiranih područja pokazana je izvesna stopa incidencije karcinoma štitne žlezde, dojke i leukemije [18].

7. ZAKLJUČAK

Najveća katastrofa koja se dogodila i koja je odnela veliki broj žrtava je Černobilska katastrofa. Nedovoljno znanje i ljudski nemar kao i nedovoljno poznavanje elektrane doveo je do nastanka katastrofe čija je radioaktivnost zabeležena u vodi, vazduhu i zemljištu. Zabeležene su mnoge bolesti i veliki broj dece i odraslih koji su patili od različitih bolesti kao posledice povećane radioaktivnosti podvrgnuti su lečenju po Kubanskom programu. Posledice dešavanja u nuklearnoj elektrani u Černobilu osećaju se i danas posle 37 godina i predstavljaju opasnost po zdravlje ljudi, širom severne hemisfere.

Zato je potrebno u narednom periodu pratiti radioaktivnost u kontaminiranim područjima Černobilskom nesrećom preko aktivnosti radionuklida ili pak preko odgovarajućih bioindikatora u zemljišti i vodi.

S obzirom da su posledice katastrofe globalnih razmera i uzimajući u obzir trenutna dešavanja u svetu i napad na Černobil, ostaje nam samo da verujemo da se napad neće smatrati objavom rata celoj Evropi i da je mogućnost nastanka još jedne velike nuklearne katastrofe izuzetno malo verovatna.

LITERATURA

- Albrecht H. (1987). Radioactivity Emission of the Chernobyl Accident in Comparison with the Results of the SASCHA Program. *Radiochimica Acta*, 41, 141-143.
- Bazyka, D., Gudzenko, N., Dyagil, I., Ilienko, I., Belyi, D., Chumak, V., Prysyzhnyuk A., & Bakhanova, E. (2019). Cancers after Chornobyl: From Epidemiology to Molecular Quantification. *Cancers*, 11, 1291.
- Beresford, N.A., Fesenko, S., Konoplev, A., Skuterud, L., Smith, J.T., & Voigt, G. (2016). Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? *Journal of Environmental Radioactivity*, 157, 77–89.
- Bogojević S. (2009). Određivanje sadržaja transuranskih elemenata i njihovih potomaka u uzorcima iz životne sredine merenjem alfa, gama i karakterističnog X-zračenja. [Doktorska disertacija, PMF Beograd, Fakultet za fizičku hemiju].
- Bondarenko, V., Geraškin, S., Bondarenko, E., Yoschenko, V., Bondarenko, S., Khanova, A., Garbaruk, D., & Nanba, K. (2023). Comparative analysis of epigenetic variability in two pine species exposed to chronic radiation in the Chernobyl and Fukushima affected zones. *Environmental Pollution*, 330, 121799.
- Chernobyl Nuclear Power Plant sarcophagus (2023, 22 November). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_Nuclear_Power_Plant_sarcophagus
- Gill, V. (2022, 25 February). Chernobyl: Why radiation levels spiked at nuclear plant. <https://www.bbc.com/news/science-environment-60528828>
- Hawkes, N., Lean, G., Leihh, D., Mc Kie, R., Pringle, P., & Wilson, A. (1986). *Najgora nesreća na svetu, Černobil-kraj nuklearnog sna*. Globus/Zagreb.
- Holiaka, D., Fesenko, S., Kashparov, V., Protsak, V., Levchuk, S., & Holiaka, M. (2020). Effects of radiation on radial growth of Scots pine in areas highly affected by the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 222, 106320.
- Jovanović, M. (1989). *Biomedicinski i sociološki značaj akcidentalnog ozračenja ljudi*. Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd.
- Kotilainen, A. T., Kotilainen, M. M., Varti, V. -P., Hutri, K. -L., & Virtasalo, J. J. (2021). Chernobyl still with us: ¹³⁷Caesium activity contents in seabed sediments from the Gulf of Bothnia, northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112924.
- Mietelski, J. W., Mroz, T., Brudecki, K., Janowski, P., & Dziedzic, B. (2022). On a risk of inhalation exposure during visits in Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity*, 251-252, 106972.
- Pantelić, G. (2016). *Černobilj 30 godina posle*. Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Beograd.
- Popović, D., & Spasić-Jokić, V. (2006). Posledice nuklearne nesreće u Černobilu na teritoriji Srbije. *Vojnosanitetski Pregled*, 63(5), 481–487.
- Roth, A. (2020, 6 April). 'Bad news': radiation 16 times above normal after forest fire near Chernobyl. <https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/06/bad-news-radiation-spikes-16-times-above-normal-after-forest-fire-near-chernobyl>
- Smailyte, G. Kaceniene, A. Steponaviciene, R., & Kesminiene, A. (2021). Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers: Cancer incidence follow-up 1986–2012. *Cancer Epidemiology*, 74, 102015.
- Talerko, M., Kovalets, I., Lev, T., Igarashi, Y., & Romanenko, O. (2021). Simulation study of radionuclide atmospheric transport after wildland fires in the Chernobyl Exclusion Zone in April 2020. *Atmospheric Pollution Research*, 12, 380–391.
- Zaitsev, A. S., Gongalsky, K. B., Nakamori, T., & Kaneko, N. (2014). Ionizing radiation effects on soil biota: Application of lessons learned from Chernobyl accident for radioecological monitoring. *Pedobiologia*, 57, 5–17.