

# PROIZVODNJA ENERGIJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA IZ UGLA ODRŽIVOG RAZVOJA

## ENERGY PRODUCTION IN NUCLEAR POWER PLANTS FROM THE ASPECT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Ivan S. Stevović

Faculty of Organizational Sciences,  
Department for ecology management and sustainable development,  
University of Belgrade, Serbia

### Abstract

*Sustainable development as a concept of a balanced economic, environmental, social and cultural development in many countries is on the check, due to the increasing energy crisis. Great needs of demand for electricity, lead to the fact that today the International Atomic Energy Agency (IAEA) plans to increase in 2020 production at nuclear power stations on 3100TWh/year. The aim of this paper is to draw attention to the accidents that have occurred in the past, with a special focus on Chernobyl and to emphasize the importance and necessity of respecting the principle of sustainable development.*

**Keywords:** Sustainable development, Environment, Energy Crisis, Energy Production, Nuclear Power Plants.

### Apstrakt:

*Održivi razvoj kao koncept uravnoteženog ekonomskog, ekološkog, socijalnog i kulturnog razvoja, u mnogim zemljama je na proveri, zbog sve izraženije energetske krize. Velike potrebe konzuma za električnom energijom su dovele do toga da danas Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) planira do 2020. godine povećanje proizvodnje u nuklearnim elektranama na 3100TWh/god. Cilj ovoga rada je da skrene pažnju na akcidente koji su se desili u prošlosti, sa posebnim osvrtom na Černobil i istakne značaj i neophodnost poštovanja principa održivog razvoja.*

**Ključne reči:** Održivi razvoj, životna sredina, energetska kriza, proizvodnje energije, nuklearne elektrane.

### 1. Uvod

Pored toga što su sve strategije održivog razvoja svih zemalja sveta stavile u fokus orijentaciju ka obnovljivim izvorima energije, energetska kriza u svetu i svakodnevno rastuće potrebe za električnom energijom, učinile su da se energetske sistemi mnogih zemalja ipak oslanjaju na veće instalacije, kao što su nuklearne elektrane. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) planira do 2020. godine povećanje proizvodnje u nuklearnim elektranama na 3100TWh/god, Knief (2008).

Cilj ovoga rada je da kroz primer akcidenta koji se već desio, skrene pažnju naučne javnosti i eksperata koji se bave zaštitom životne sredine i održivim razvojem, da se tehnološki postupak proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama nikako ne može smatrati održivim. Svaki se tehnološki ciklus mora posmatrati kao celovit postupak. U tom kontekstu, bez obzira na stepen sigurnosti modernizovanih nuklearnih agregata, ako se proces proizvodnje posmatra od trenutka iskopa radioaktivne rude, do trenutka deponovanja radioaktivnog otpada, sasvim je jasno da je sistem neodrživ.

## **2. Nuklearna energija u svetu**

20% energetske kapaciteta u SAD danas se odnosi na nuklearnu energiju. Taj procenat je i veći u Francuskoj i nekim drugim zemljama. Nuklearna energija sa sobom ne nosi opasnosti zagrevanja zbog gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, ali zato nosi druge opasnosti za životnu sredinu, zbog kojih se ne može smatrati održivom. U svetu 2015e godine postoji oko 400 nuklearnih elektrana. Posle najnovijih akcidenata u Japanu, potrebno je izvršiti inspekciju svih tih postrojenja, da bi se ustanovilo kako bi postojeće nuklearne elektrane mogle da prežive japanski scenario. Japanska nuklearna postrojenja su skoro 40 godina stara, što znači da je reč o starijoj tehnologiji sa izvesnim unapredjenjima, Van Leeuwen and Smith (2005).

Danas se u svetu gradi nova - treća generacija nuklearnih elektrana sa bezbednosnim karakteristikama daleko jačim od sadašnjih. Zagovornici proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama iznose podatke da je u Japanu od zemljotresa i cunamija poginulo 9 hiljada ljudi i da se 13.000 građana vodi kao nestalo, dok do sada nije registrovana nijedna žrtva radijacije iz oštećenih nuklearnih postrojenja. Bez obzira na te statističke podatke, akcidenti koji su se desili u istoriji postojanja nuklearnih elektrana, dovode nas do drugačijih zaključaka, Bickerstaff et al. (2008).

## **3. Nuklearni akcident**

Černobilski akcident se desio 1986. godine u bivšoj Sovjetskoj Ukrajini na severu zemlje, uz samu ukrajinsko-belorusku granicu. Dana 26 aprila 1986, kombinacijom nesigurnog dizajna sovjetskog nuklearnog reaktora i ljudske pogreške, desila se eksplozija koja je uništila jedan od četiri reaktora u Černobilskoj nuklearnoj elektrani. Posledica eksplozije nije ličila na eksploziju nuklearne bombe, ali je relativno manja eksplozija učinila štetu na reaktoru, koji je zatim emitovao velike količine radioaktivne prašine, otprilike devet puta jače kontaminacije nego prilikom eksplozivirane bombe u japanskom gradu Hirošimi.

Radioaktivnost raznošena vetrom potom je najviše pogodila zdravlje stanovnika susedne južne Belorusije, ali isto tako i krajnjih severnih prostora Ukrajine i jugozapadnih prostora Rusije. Oblaci radioaktivne prašine zaustavili su se tek nad Skandinavijom u severnim delovima Europe, Bickerstaff et al. (2008).

#### 4. Sanacija

Nakon nesreće postavio se problem šta učiniti sa oštećenom elektranom. Dalji je rad bio vrlo iskoristiv, ali i otežan zbog opasnosti po zdravlje zaposlenih. Relativno slaba ekonomska situacija Sovjetskog Saveza u to vreme je uticala da se proizvodnja u preostalim reaktorima nastavi. Radovi na izgradnji 5. i 6. bloka su obustavljeni odmah nakon nesreće. Nad oštećenim reaktorom u kratkom vremenu je sagrađen sarkofag čija je namena bila zaštita od dalje radijacije, a između njega i zgrada koje su i dalje bile u upotrebi, sagrađena je betonska barijera ukupne debljine 200 metara.

Godine 1991. u odelenju 2. reaktora izbio je požar, pa je tokom uviđaja donešen zaključak da se obustavi rad funkcionalnog 2. reaktora. Reaktor 1. je prestao sa radom u novembru 1996. godine, u sklopu dogovora vlade Ukrajine i međunarodnih organizacija za zaštitu i sigurnost životne sredine. Tadašnji predsednik Ukrajine Leonid Kučma, lično je 15. decembra 2000. godine isključio reaktor br. 3, čime je posve zaustavljen rad nuklearne elektrane Černobil. Kompletan ozračeni prostor do danas je ostao pod posebnom kontrolom i aktivnim promatranjem više ukrajinskih i svjetskih stručnjaka. Prema pojedinim istraživanjima stručnjaka, biljni i životinjski svijet na tom prostoru počeo se zapanjujuće naglo oporavljati krajem devedesetih godina te je primećeno da su jako ozračen prostor naselile i životinje koje su bile pred izumiranjem, ili potpuno istrebljene, što predstavlja interesantan istraživački izazov za naučnike, Corner et al. (2011).

##### 4.1. Dugoročne mere zaštite

U Černobilskom reaktoru 4 se trenutno nalazi oko 135 tona visoko radioaktivnog urana i uma. Zračenje koje dolazi iz te radioaktivne mase uzrokuje deformacije strukture metala od kojega je sarkofag izgrađen. Danas radijacija 100 metara od reaktora iznosi oko 500 mili Roentgena/h. To je oko 50.000 puta veća količina zračenja od dozvoljene. Na dvadesetoj godišnjici ove katastrofe upozoreno je da sarkofag koji štiti reaktor nije bez roka trajanja, Commoner (2015). Černobilska katastrofa pokrenula je borbu evropskih organizacija protiv evropskih nuklearnih postrojenja i buđenje dublje ekološke svesti koja se proširila celim svetom. Godine 2000. američki predsednik Bill Clinton potpisao je s ukrajinskim predsednikom ugovor o zatvaranju poslednjeg funkcionalnog reaktora u Černobilu, u zamenu za finacijsku pomoć pri sanaciji mesta nesreće. Posebnim političkim naporima aktualne ukrajinske vlasti su 2005. godine pokrenule svetsku akciju kvalitetne i dugotrajne sanacije mesta nesreće i zbrinjavanja štetnog otpada i materijala. Godine 2007. potpisan je ugovor između ukrajinskih vlasti i francuskog konzorcijuma Norvark kojim se u 2010. namerava započeti izgradnja novog zaštitnog sarkofaga, čija se vrednost i troškovi izrade kreću oko 505 miliona američkih dolara. Celokupan projekt je u 2009. bio predstavljen i odobren od ukrajinskog Državnog nuklearno regulatornog veća. Projekat novog sarkofaga je podrazumevao najviše sigurnosne standarde, kao i rok trajanja od najmanje 100 godina.

#### 4.2. Negativne posledice akcidenta na životnu sredinu

Velike količine radioaktivnih čestica uzdignule su se tokom akcidenta na visinu od 1500m i nošene vetrom, krenule su prema Skandinaviji, zatim srednjoj i jugoistočnoj Evropi. Sledećih nekoliko dana vetrovi su odneli preko 70 % radioaktivnih čestica sa mesta nesreće prema Belorusiji, koja je dodatne posledice osetila više nego sama Ukrajina.

Različite stepene zdravstvenih posledica prouzrokovanih radioaktivnošću osetilo je preko 2,4 miliona ukrajinskih građana, a konačne zdravstvene posledice znaće se tek nakon nekoliko decenija. Najveće zdravstvene probleme osetili su građani Belorusije, prema kojima je s mesta nesreće vetar nosio velike količine radioaktivne prašine koje su se tamo zadržale. Zabeležen je intenzivan porast prevremenih porođaja, rađanja dece s određenim poremećajima, dok su odrasli postali skloni obolevanju od leukemije, raka i drugih oblika bolesti. U čitavoj su se Evropi posledice zračenja odrazile na zdravlje ljudi. Na plodovima su se pojavili kontaminirani radioaktivni izotopi sa velikim vremenom poluraspada. Posebno je opasan stroncij-90 koji zamenjuje kalijum u organizmu i izaziva razne degenerativne poremećaje ćelija, Sovacool (2008).

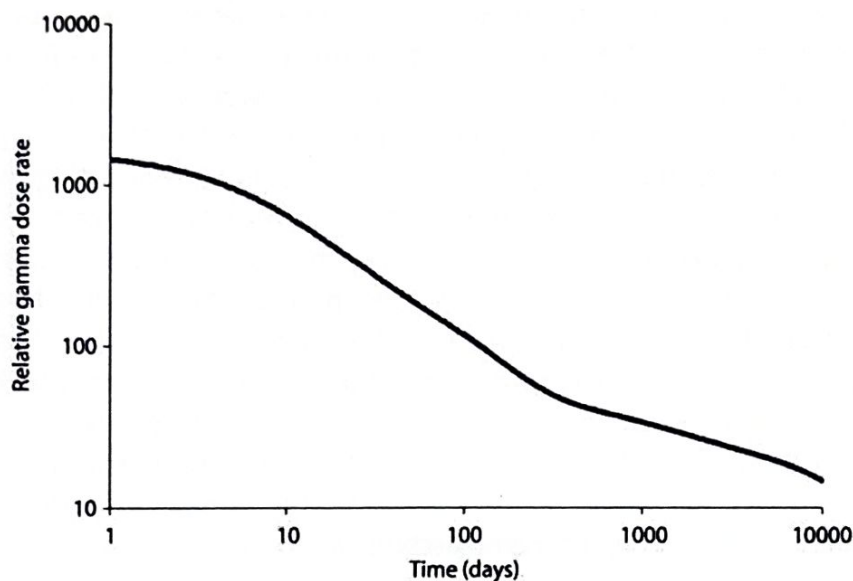
Beloruske i ruske vlasti do danas polovično objavljuju razmere zdravstvenih posledica nastalih izazvanom nuklearnom nesrećom. Neslužbeni izvori procenjuju da je od posledica radijacije sveukupno umrlo između 200.000 i 400.000 ljudi. Ukrajinske vlasti već godinama aktivno surađuju sa svim relevantnim svetskim organizacijama i institucijama, kako bi se adekvatno zaštitilo zdravlje ljudi pogođenih tom nesrećom, kao i životna sredina u blizini elektrane. U radijusu od 30 kilometara od mesta nuklearne nesreće, proglašena je Černobilska zona – zona otuđenosti (ukr. Зона відчуження, eng. Zone of alienation), gde se pored evidentnih rizika po zdravlje ljudi, vratilo uglavnom autohtono starije stanovništvo, koje danas tamo živi, uz svu pomoć države i na sopstvenu odgovornost.

#### 5. Politička neodgovornost

Najveća svetska zamerka sovjetskim vlastima, u to vreme je bila zbog trodnevnog prećutkivanja nuklearne nesreće. U samom Sovjetskom Savezu tri sledeća dana uopšte se nije znalo za nuklearnu katastrofu, a pitanje je: kada bi uopšte i bila obelodanjena, s obzirom da su problem uočili švedski meteorolozi, koji su primetili visok stepen radioaktivnosti nad Švedskom. Nakon što su sovjetske vlasti uhvaćene u prećutkivanju najveće nuklearne nesreće, nastupila je faza opravdavanja i minimizacije celog događaja, otprilike na isti način kako su to decenijama činili i sa ostalim problematičnim pitanjima u vlastitoj državi. Nakon same nesreće, ukrajinski političar Vladimir Ščerbickij nazvao je Moskvu da otkáže proslavu Dana rada i prigodnu paradu u Kijevu, a glavni sovjetski lider Mihail Gorbačov tada, zapretio mu je da će "biti izbačen iz politike ako ne rieši problem u tišini." Nakon razgovora, sovjetske vlasti su svesno žrtvovalе više od trideset ukrajinskih vatrogasaca, koji su prema nalogu bez potrebne zaštite trebali ugasiti požar na mestu

nuklerane nesreće. U kratkom vremenu nakon toga vatrogasci su umrli zbog posledica radioaktivnog zračenja.

Posle akcidenta je oko 135.000 ljudi evakuisano iz gradova Pripjata, Černobila i okolnih naselja u čijoj blizini se dogodila nesreća, a još hiljade ljudi bilo je kasnije izloženo radijaciji tokom saniranja posledica. Sovjetske vlasti su pripretille sovjetskim lekarima da ne smeju oko zdravstvenih problema okolne populacije stvarati nepoželjnu propagandu protiv sovjetskih vlasti, pa su se zdravstvene posledice ljudi u pravom smislu reči počele rešavati tek nakon uspostavljanja ukrajinske nezavisnosti. Ipak, nuklearna katastrofa imala je velike posledice na političko poverenje građana u sovjetsku vlast. Odluka sovjetskih vlasti na čelu s Mihailom Gorbačovom da prećuti nuklearnu nesreću i podmukle posledice neprimetnog radioaktivnog zračenja, stvorila je revolt stanovništva u Ukrajini, gde je poverenje prema Komunističkoj partiji svedeno na najmanju razinu ikada. Černobil je simbolično za većinu građana Ukrajine predstavljao kriminalnu nemarnost i aljkavost sovjetske vlasti u kojoj je cvetala korupcija. Politika Glasnost tek je nešto ublažila ogorčenost sovjetskih naroda, a posebno ukrajinskog koji je nove političke slobode počeo vrlo aktivno koristiti, kako bi ukazao na opasan i u to vreme zastareli sovjetski sistem na svim nivoima. U trenucima nakon nesreće, radnicima elektrane još nisu bile jasne razmere učinjene katastrofe. Aparat za merenje radijacije sa skalom 1000 R/s je bio nedostupan. Smrtonosna doza radijacije iznosi oko 500 röntgena u periodu 5 sati, a radijacija na nesrećom najgore zahvaćenim područjima iznosila je, po procenama oko 20 000 röntgena/h. Kako niko radnika koji su pokušavali da saniraju nesreću u prvim satima, nije nosio nikakvo zaštitno odelo, od posledica radijacije su umrli u roku od tri sedmice. Oblak radioaktivnih čestica oslobođenih eksplozijom nošen vetrom se proširio Evropom, Hatch (2015). Od službi su prvi na mesto nesreće došli vatrogasci. Ekipa za gašenje mislila je da je reč o požaru izazvanom strujom i nisu imali informaciju da je reč o eksploziji reaktora. Nesvesni opasne radijacije većina je stradala, ili obolela ubrzo posle nesreće. Na sl 1. je prikazana funkcija doze gama zračenja na otvorenom u blizini mesta nesreće u odnosu na vreme nakon nesreće.



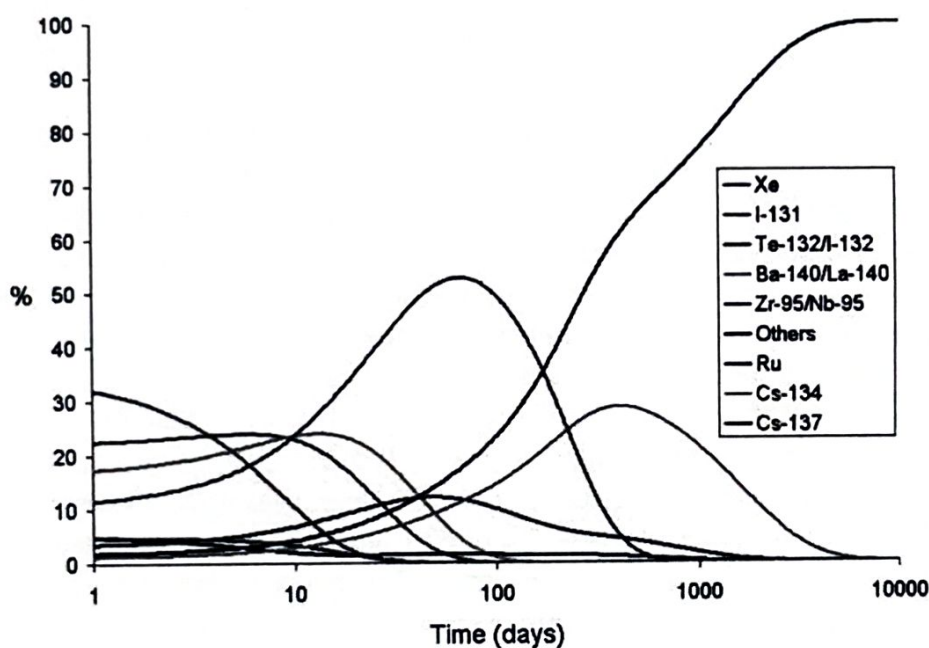
Sl. 1. Doze gama zračenja na otvorenom u blizini mesta nesreće u odnosu na vreme nakon nesreće

U početku je sovjetska vlada pokušala da prikrije nesreću. Dan posle nesreće nije bilo nikakvih informacija o Černobilu. Za to vreme oblak radioaktivnih čestica širio se, ne samo Ukrajinom i Belorusijom, već i dalje, Evropom. Samo sreća je tada sprečavala još veću katastrofu, jer je promena pravca vetrova, radioaktivni oblak lako mogla preneti u mnogo naseljenija područja. Zbog smera vetra nesreć je izbegao sam grad Černobil. Tek kada je količina radijacije izazvala alarme u nuklearnoj elektrani Forsmark u Švedskoj, Sovjeti su priznali da je došlo do nesreće. Takvo ponašanje vlasti tadašnjeg SSSR-a bitno je pridonelo tome da posledice nesreće budu veće i raširenije nego što je to trebalo biti. Nakon što je u svetu objavljeno o nesreći u nuklearnoj elektrani kod Černobila i pokušaju zataškavanja, narod SSSR-a počeo je gubiti veru u svoju vlast. Time je ta nesreća na jedan svojevrstan način ubrala i pripomogla raspadu SSSR-a, koji će uslediti nekoliko godina kasnije.

Državni tim, formiran za istraživanje nesreće u Černobilu, stigao je na poprište tek u večernjim satima dana nesreće. Do tada je već dvoje ljudi umrlo, a 52 hospitalizirano. U noćnim satima istog dana odbor je, uvidevši prave razmere nesreće, naredio hitnu evakuaciju grada Prypjata. Sutradan, 27. aprila u 14:00 započela je evakuacija. Ukupno 1100 autobusa iz cele Ukrajine stiglo je u grad. Građani su smeli poneti samo najosnovnije stvari i već do pet sati popodne više od 50 000 stanovnika Prypjata je bilo evakuirano. Da je reakcija bila pravovremena, zaštita za najizloženije, pogotovo na mestu nesreće, je trebala stići puno ranije, kao i evakuacija stanovništva iz nesrećom pogođenih krajeva.

Na poprište nesreće vlada je uputila tzv. likvidatore. Bili su to ljudi zaduženi za sanaciju posledica. Zbog velike količine upumpane vode, koja se nakupila ispod reaktora, pretila je opasnost od nove eksplozije. Nuklearno gorivo zajedno sa izmrvljenim betonom i grafitom rastopilo se, zbog visoke temperature i pretvorilo u masu sličnu lavi, koja je probijala svoj put naniže prema sakupljenoj vodi. U slučaju kontakta došlo bi do velike eksplozije. Jedan

od zadataka likvidatora, koju su uspešno obavili svoj deo sanacije, bila je upravo sprečavanje nove eksplozije. Ne samo da bi ona usmrtila većinu tamo prisutnih, nego i izbacila nove količine radioaktivnih čestica u atmosferu, ugrožavajući velika prostranstva Evrope i šire, zavisno o smeru strujanja vazdušnih masa. Na sl. 2 je prikazano procentualno učešće različitih radioaktivnih izotopa u vazduhu nakon eksplozije, od kojih su neki čak stigli do Irske, nošeni vetrom. Iz helikoptera je na vatru bačeno oko 4500 tona olova, peska, gline i drugih materijala. U reaktoru je bilo oko 1200 tona grafita koji je, pored svih napora likvidatora, goreo 9 dana i ispustio radijacije u iznosu od oko  $10^{18}$  Bq, Chino et al. (2011). Do 06. maja vojska likvidatora uspeła je savladati vatre Černobila. Posle toga je započela izgadnja zaštitnog sarkofaga. Prikupljeni ostaci reaktora i drugi nuklearni otpad ostavljeni su delom u sarkofagu, a delom na nekoliko stotina deponija opasnog otpada u okolini nuklearne elektrane. Broj likvidatora na mestu nesreće kretao se oko 3400. Do decembra 1986. sagrađen je planirani betonski sarkofag u kojme su smešteni ostaci reaktora 4 unesrećene nuklearne elektrane.



Sl. 2. Procentualno učešće različitih radioaktivnih izotopa u vazduhu nakon eksplozije

### 5.1. Posledice akcidenta na ljude i životnu sredinu

Nakon što je došlo do nesreće, trebalo je odmah obavestiti nadležne službe u okolini o tome šta se dogodilo. Tadašnja politika SSSR-a zahtevala je da takva nesreća ostane u tajnosti kao "unutrašnje pitanje" SSSR-a što je duže moguće. Iz tog razloga ljudi u bližem radijusu oko mesta nesreće, kao i oni izloženi radioaktivnim česticama izbačenim u atmosferu pretrpeli su mnogo veće posledice, nego što bi to bilo da je reagovano na

vreme. Do službene reakcije vlasti došlo je tek nakon što je povećana radijacija izmerena u Švedskoj, 1100 km od Černobila. Oblak radioaktivnih čestica za to vreme se proširio i zahvatio države: Ukrajinu, Belorusiju, Rusiju, Moldaviju, Rumuniju, Grčku, evropski deo Turske, Litvu, Švedsku, Finsku, Norvešku, Dansku, Austriju, Mađarsku, Češku, Slovačku, Poljsku, Sloveniju, Hrvatsku, Srbiju, Makedoniju, Bugarsku, Estoniju, Latviju, Švajcarsku, Italiju, Njemačku, Holandiju, Belgiju, Francusku sa Korzikom, Ujedinjeno Kraljevstvo i Irsku. Najgore posledice su imali severozapadna Ukrajina, južna Belorusija, kao i delovi Rusije južno od Bryanska - ukupno oko 142 000 km<sup>2</sup>, najteže kontaminiranog područja.

Za većinu opasnu nuklearnu supstancu predstavljaju uran i plutonijum, međutim radioaktivni oblak, koji je izašao iz Černobila sadržao je mnoštvo izotopa, nastalih kao nusprodukt fizije, koji su mnogo opasniji za ljude i životnu sredinu, nego što su to sam plutonijum, ili uran. To se posebno odnosi na izotope poput joda i stroncijuma, koji imaju tendenciju bioakumulacije u prehranbenom lancu. Prema izveštaju OSTI-ja (Office of Scientific and Technical Information), kao i OECD-a (Organisation for Economic Co-operation and Development) iz 1998. u sastavu radioaktivnog oblaka se nalazilo:

- sva količina plemenitih gasova koji su se nalazili u reaktoru
- radioaktivnog joda iz reaktora oslobodilo se u atmosferu u obliku pare, čestica i organojodnih spojeva
- izotopi cezija i telura u obliku aerosola
- velike čestice radioaktivnih izotopa cirkonijum 95, niobijum 95, lantan 140, cerijum 144, niže aktanoide, kao i transuranijumske elemente poput neptunijuma i plutonijuma.

Neki od navedenih izotopa (cezijum 137 i stroncijum 90) imaju dugo vreme poluraspada, pa će svojom prisutnošću zagađivati tlo u kojem se nalaze u većim količinama još decenijama, Chino et al. (2011). Najzagađeniji delovi zemljišta, oko 200 000 hektara, još i danas leže neobrađeni, dok se na manje zagađenim, uz strogu kontrolu i upotrebu sredstava za suzbijanje apsorpcije cezijuma i stroncijuma (kalijum, vapno...), smeju saditi samo određene kulture.

Jedan od najpoznatijih simbola uništenja životne sredine, koje je izazvala černobilska katastrofa jesu tzv. crvene šume. Naziv se odnosi na drveće koje se osušilo nakon upijanja velike doze zračenja, posle nesreće u krugu od 10-ak km oko elektrane. Deo šume je, u čišćenju posledica nesreće, srušen i zakopan zajedno s nuklearnim otpadom. Teško oštećena stabla već godinama pokazuju znakove oporavka. Međutim, novoizrasla stabla pokazuju mnoštvo deformacija u rastu i razvoju, kao posledicu zračenja. Posebnu vrstu opasnosti predstavljaju šumski požari. Kako su biljke upile mnoštvo radioaktivnih izotopa, požarima se oni oslobađaju u dim i vetrom raznose u nove krajeve. Životinjski svet u okolini nuklearne elektrane danas buja. Kako je evakuirana i pod zabranom zona od oko 30 km oko elektrane, u šumama koje se oporavljaju nastanile su se mnoge životinjske vrste. Bez čoveka, bez novih zagađenja i drugih pretnji, u tom je kraju utočište pronašlo mnoštvo ugroženih vrsta. Iako u tlu i biljkama još uvek postoje povišene koncentracije



izotopa s najdužim vremenima poluraspada, izgleda da konkretno nema velikih uticaja na životinjski svet. Tim šumama ne vladaju mutanti deformisanih tela i zle naravi, već uobičajene divlje životinje normalnog ponašanja i izgleda, što je tema za izučavanje.

Nesreća nije uticala na podzemne vode, jer radioaktivni izotopi nisu imali vremena probiti se do izdani. Imali su prekratko vreme poluraspada, ili su upijeni u površinsko tlo. Manji proboj radioaktivnih nuklida u vodu zabeležen je kao posledica mnoštva brzinski izgrađenih deponija za nuklearni otpad iz elektrane. Za ljude koji su se našli u blizini mesta nesreće, zračenje je bilo pogubno. Najizloženiji su umrli od posledica radijacije, već za 3 sedmice. Zbog nesreće je evakuisano svih 50 000 stanovnika Prypjata dan nakon, a u danima koji su sledili iz kruga od 30 km, s centrom u mestu nesreće, evakuisano je oko 135 000 ljudi. Zona je kasnije dodatno proširena i danas je poznata kao Zabranjena zona. Po izveštaju IAEA-e (International Atomic Energy Agency) i WHO-a (World Health Organization) 56 osoba je umrlo direktno od posledica primljene količine zračenja. kasnije je oko 4000 ljudi je umrlo od raka kao posledice izloženosti, jer su se našli u okolini černobilske elektrane, Fthenakis and Kim (2007). U godinama nakon nesreće u elektrani Černobil, grad Prypjat i okolna naselja ostali su sablasno prazni. S mnoštvom preostalih ličnih predmeta Prypjat izgleda kao da je stao u vremenu. Napušteno područje oko mesta nesreće, danas nije i beživotno. Ono što je napustio čovek, ponovno je preotela divljina. Stradale šume počele su se oporavljati, a u Zabranjenoj zoni mir su pronašle mnoge endemske vrste životinja i biljaka. Osim flore i faune u zabranjenu zonu. Černobil danas posećuju mnogi naučnici koji izučavaju uticaj zračenja na živi svet i procenjuju koji bi efekat imala eksplozija male "prljave" bombe na ljude i životnu sredinu. Eksplozija u elektrani veoma je ličila na eksploziji tzv. prljave bombe. Osim naučnika u Černobil dolaze i mnogi znatiželjni, pa se razvila svojevrсна vrsta turizma u tom kraju. No kako opasnost od Černobila još nije u potpunosti prošla, naučnici se protive bilo kakvom komercijalnom iskorištavanju poprišta najveće nuklearne nesreće u istoriji.

## 5.2. Černobil danas kao rizik za životnu sredinu

Posledice nesreće sanirale su se ubrzano i do decembra 1986. sagrađena je betonska konstrukcija poznata kao sarkofag, u kojoj je sadržana glavčina nuklearnog goriva iz reaktora, kao i sam uništen reaktor s popratnom infrastrukturom. Reaktori 5 i 6, čija je izgradnja planirana (reaktora 5 i započela) nikada nisu završeni.

Reaktori 1, 2 i 3 odvojeni su od uništenog reaktora debelim betonskim zidom, cca 200m, pa su, zbog nestašice energije, nastavili sa radom. To je rezultovalo novim incidentima. Godine 1991. izbio je požar u prostoriji sa turbinama reaktora 2. Nakon gašenja ustanovljeno je da se on više ne može popraviti pa je ugašen. Reaktor 1 prestao je sa radom u novembru 1996. posle dogovora ukrajinske vlade i međunarodnih agencija. Poslednji aktivni reaktor je prestao sa radom 15. Decembra 2000. Time je nuklearna elektrana kod Černobila u potpunosti završila sa radom. U njoj su sada preostali samo

inženjeri zaduženi za sigurnost sarkofaga uništenog reaktora 4 i nadzor radioaktivnog materijala u njemu. Sama konstrukcija sarkofaga nije bila u potpunosti sigurna. Ona počivala delom na preostalom zapadnom zidu elektrane, oštećenom u nesreći, a delom na vlastitoj težini. Njen vek trajanja je bio 20-ak godina. Metalni spojevi na sarkofagu nisu zavareni, jer se radnici u vreme sanacije nisu mogli dovoljno približiti. Najnesigurniji dio sarkofaga jest njegov zapadni zid, koji je već u više navrata podupiran. Prema rocenama merodavnih organizacija unutar sarkofaga nalazi se oko 180 tona nuklearnog goriva, od čega je deo u reaktorskom jezgru, a deo je u požaru istopljen sa betonom, metalom i šipkama za gorivo, u svojevrsnu lavu. Ta količina goriva dovoljna je za izradu desetaka atomskih bombi i predstavlja veliku opasnost za ljude i životnu sredinu. Njegova ukupna radijacija iznosi oko 18 miliona curiea (670 PBq). Iako minimalna, postoji opasnost i od vode. Sarkofag na sebi ima oko 1000m<sup>2</sup> pukotina i rupa kroz koje prodire voda, koja potom dodatno oslabljuje njegovu konstrukciju. Osim toga, voda se ponaša kao moderator i može poslužiti u odvijanju nove lančane reakcije koja bi izazvala novu eksploziju. Iako je ta opasnost minimalna, potrebno je imati i taj rizik na umu. U noći 26. juna 1990., nakon obilnih kiša, u jednoj od prostorija sarkofaga zabeležen je veliki rast broja neutrona. Žrtvom jednog fizičara lava je zalivena gadolinij-nitratom i broj neutrona se vratio u normalne vrednosti. Gadolinij-nitrat upija neutrone. Danas sarkofag ima ugrađene prskalice sa supstancama koje upijaju neutrone i tako sprečavaju mogućnost pojave nekontrolirane lančane reakcije.

Da bi se tada sprečila mogućnost nove nesreće u elektrani, izgrađen je još jedan novi zaštitni sarkofag. Reč je o čeličnoj konstrukciji oblika bačvastog svoda. Visina mu varira od 117,5 m na istočnoj do 144 m na zapadnoj strani. Konstrukcija u potpunosti izoluje mesto nesreće i minimizira mogućnost prodora vode. Pri njegovom postavljanju nije se puno kopalo, niti su na bilo koji drugi način poremećeni gornji slojevi tla, imajući u vidu da su oni bili izrazito kontaminirani radioaktivnim izotopima. Konstrukcija je sastavljena putem posebnih šina i tako je dopremljena na mesto nesreće. Izbegavana se gradnja na lokaciji kako ne bi došlo do bilo kakve nesreće, ili da se ne bi ugrozili zdravlje i životi radnika. Finansirano kroz razne agencije, troškovi izgradnje novog sarkofaga su oko 800 miliona dolara. Pri tome, ni dodatni sarkofag nije trajno rešenje, već samo pouzdana izolacija mesta nesreće, dok se ne pronađe neko trajno efikasno rešenje.

## **6. Implikacije za dalja istraživanja**

Nesreća u nuklearnoj elektrani kod Černobila dovela je u pitanje sigurnost upotrebe nuklearne energije. I danas duga sena Černobila još je uvek glavni protiv argument izgradnji novih nuklearnih elektrana. Odmah nakon njega pitanje je nuklearnog otpada. Ako se ovaj akcident pažljivo analizira u celini, jasno je gde su glavni razlozi za nesreću. Sama konstrukcija reaktora RBMK-1000 relativno je nestabilna i zahteva stručni kadar koje će njime upravljati. U Černobilu tog kadra nije bilo. Uglavnom je bila reč o kadru povučenom iz termoelektrana. Glavni inženjer je imao prethodno iskustvo sa nuklearne

podmornice. Druga činjenica bila je štednja na materijalu prilikom izgradnje reaktora 3 i 4. Nesreće u kvalitetno izgrađenim reaktorima 1 i 2 uspešno su otklonjene bez većih posledica za ljude i životnu sredinu. Ako se umemo u obzir i niz propusta u međusobnoj komunikaciji osoblja i u sprovođenju mera za zaštitu od rizika pri akcidentu, jasno je zašto je došlo do nesreće, Ekins (2004). Opseg posledica nesreće posledica je spore i neadekvatne reakcije odgovornih službi. Na mesto žarišta nesreće, službe su stigle tek dan nakon što je stanovništvo ugroženog područja evakuisano u večernjim satima tog dana. Da je osoblje elektrane na vrijeme spoznalo razmeru nesreće i odgovorne službe odmah reagovale, posledice su mogle biti manje. Ovako, zahvaljujući politici zataškavanja tadašnjeg SSSR-a posledice su zahvatile gotovo čitavu Evropu. Pravim upozorenjem stanovništvo se moglo adekvatno zaštititi od najgoreg naleta radioaktivnih čestica iz nuklearne elektrane Černobil. Nadalje, najveći je strah protivnika nuklearnih elektrana eksplozija iste. Treba imati na umu kako je količina nuklearnog goriva u elektrani manja od one potrebne za izazivanje nuklearne eksplozije i da do iste ne može doći. Najgori scenario za nuklearnu elektranu jesu topljenje jezgra i eksplozija vodene pare. Kod topljenja jezgra može doći do ispuštanja radioaktivne supstance i tekućine u okoliš. Visoka temperatura rastopljenog jezgra bi probijala sve na svom putu. Pri eksploziji vodene pare, u životnu sredinu se oslobađaju brojni štetni produkti fizije, koje zatim vetar raznosi u pravcu svog smera kretanja. Upravo iz tog razloga nuklearne elektrane imaju posebno projektovanu betonsku zaštitnu zgradu za reaktor. U slučaju Černobila ona je bila oslabljena zbog štednje na materijalu i potrebe vađenja produkata fizije za izradu nuklearnog oružja, u vojne svrhe. Drugi problem korištenja nuklearne energije je nuklearni otpad. Od potrošenog goriva, do radioaktivnošću zagađene opreme, otpad je prilično opasan i potrebno ga je kvalitetno i sigurno zbrinuti. Dobar primer zbrinjavanja takvog otpada je Francuska, koja je, uz SAD i Japan, zemlja koja 57% električne energije proizvede putem nuklearnih elektrana. Najopasniji otpad je potrošeno gorivo, sastavljeno od oko 0.8% urana 235, 0.9% plutonijuma i oko 98% urana 238, uz prapratne radioaktivne produkte fizije u tragovima. On se prevodi u okside, koje se zatim mešaju sa staklom i keramikom. Dobivena masa hermetički se zatvara u posebno osigurane čelične kontejnere od nerđajućeg čelika. Ti se kontejneri zakapavaju duboko u tlo u geološki odgovarajuće i stabilne slojeve.

Stanovništvo kraja u koji se to zakapa prethodno se dobro edukuje o tome što se zakopava i koje su potencijalne opasnosti. Većina radioaktivnih supstanci su alfa emiteri, pa se njihovo zračenje lako neutralizuje. Pri tom su zakopani na dubinu od oko 600 do 900m dubine. Kontejneri imaju dugogodišnju garanciju. Ukoliko i dođe do puštanja radioaktivne supstance u životnu sredinu, njihovo poluvreme raspada je takvo, da bi podlegli radioaktivnom raspadu mnogo pre nego što bi došli do površine, ili podzemnih voda. Region u kojme se odlaže nuklearni otpad dobija posebne državne subvencije, kao nadoknadu za bilo kakvu psihičku, ili fizičku štetu kojoj se stanovnici izlažu.

Okretanje nuklearnim elektranama kao izvoru energije sve je češće. Još nakon energetske krize krajem 70-ih godina prošlog veka, Francuska se okrenula tom izvoru energije. Kako su obnovljivi izvori energije nedovoljni za svetske energetske potrebe, nuklearne elektrane preostaju kao alternativa. Pri tome se fizijskim elektranama pomalo, na nivou eksperimenta, pridružuju i fuzijske (JET i ITER). Prilikom odluke o gradnji novih nuklearnih elektrana potrebno je građane pravilno edukovati i ukazati im sve potrebne podatke o dobiti i riziku izgradnje nuklearne elektrane. Samo tako može se doneti ispravna odluka.

## 7. Zaključak

Kako sa rastom stanovništva na zemaljskoj kugli, raste i potreba za energijom, tako raste i potreba za izgradnjom novih elektrana. Da li će to biti nuklearne, termo elektrane ili elektrane obnovljivih izvora energije, zavisice od stepena potrebne izgrađenosti elektro energetskeg sistema i naravno uticaja na životnu sredinu. Nuklearne elektrane danas namiruju 16% ukupnih potreba sveta za energijom. Iako nuklearne elektrane, za razliku od tradicionalnih neobnovljivih izvora, gotovo da i ne ispuštaju gasove staklene bašte i pored toga što su se nove konstruisane nuklearne elektrane pokazale kao vrlo pouzdane i sigurne, skepsa vezano za akcidente koji su se desili, kao i pitanje kopanja rude-sirovine, transporta, kao i kasnije deponovanja tog radioaktivnog nuklearnog otpada, ostaje.

Kao što se iz primera iznetog u ovom radu videlo, greške u radu nuklearnih elektrana se jako skupo plaćaju. Zato potreban maksimalna moguća pažnja. Na Černobilskom primeru se puno toga moglo naučiti, pa su nuklearne elektrane postale mesta najvećeg mogućeg opreza. Veliki problem predstavlja i terorizam koji bi se mogao okrenuti korištenju nuklearne tehnologije. Na tome već uveliko rade kako međunarodne organizacije, tako i vlade država koje koriste ovaj oblik energije, jer opasnost uvek postoji po ljude i životnu sredinu.

## Literatura

- Bickerstaff, Karen, et al. (2008), 'Reframing nuclear power in the UK energy debate: nuclear power, climate change mitigation and radioactive waste', *Public understanding of science*, 17 (2), 145-69.
- Chino, Masamichi, et al. (2011), 'Preliminary estimation of release amounts of <sup>131</sup>I and <sup>137</sup>Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere', *Journal of nuclear science and technology*, 48 (7), 1129-34.
- Commoner, Barry (2015), *Poverty of Power: Energy and the Economic Crisis* (Knopf).
- Corner, Adam, et al. (2011), 'Nuclear power, climate change and energy security: exploring British public attitudes', *Energy policy*, 39 (9), 4823-33.
- Ekins, Paul (2004), 'Step changes for decarbonising the energy system: research needs for renewables, energy efficiency and nuclear power', *Energy policy*, 32 (17), 1891-904.
- Fthenakis, Vasilis M and Kim, Hyung Chul (2007), 'Greenhouse-gas emissions from solar electric- and nuclear power: A life-cycle study', *Energy policy*, 35 (4), 2549-57.