

# POSLEDICE HIDROGENSKE I ATOMSKE BOMBE NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

---

Zubić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:075582>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Ivan Zubić

**POSljedICE HIDROGENSKE I  
ATOMSKE BOMBE NA OKOLIŠ I  
ZDRAVLJE LJUDI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ivan Zubić

**THE CONSEQUENCES OF HYDROGEN  
AND ATOMIC BOMBS ON THE  
ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH**

Bachelor thesis

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Ivan Zubić

**POSLJEDICE HIDROGENSKE I  
ATOMSKE BOMBE NA OKOLIŠ I  
ZDRAVLJE LJUDI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc. Jasna Halambek, v.pred

Karlovac, 2024.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni/specijalistički studij: Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2024.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: IVAN ZUBIĆ

Matični broj:

Naslov: **POSljedICE HIDROGENSKE I ATOMSKE BOMBE NA OKOLIŠ I  
ZDRAVLJE LJUDI**

#### **Opis zadatka:**

U završnom radu biti će prikazano trenutno i dugoročno djelovanje hidrogenske i atomske bombe na okoliš i zdravlje ljudi. Navedeno će se bazirati na dostupnoj literaturi i dokumentaciji koja se odnosi na događaje i projekte koji su utjecali na razvoj i primjenu ovih bombi.

Zadatak zadan:

10/2023.

Rok predaje rada:

05/2024.

Predviđeni datum obrane:

06/2024.

Mentor:

dr.sc. Jasna Halambek, v.pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva

Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., pred.

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam svoj završni rad pod naslovom „Posljedice hidrogenske i atomske bombe na okoliš i zdravlje ljudi“ napisao samostalno, koristeći navedenu stručnu i znanstvenu literaturu, stečeno znanje tokom studija, znanje i činjenice s kojima sam došao u susret tijekom izrade ovog završnog rada, te tijekom života.

Ovom prilikom bih se zahvaliti svim profesorima, asistentima i djelatnicima Veleučilišta u Karlovcu, a posebno mentorici dr.sc. Jasni Halambek na uloženom strpljenju i vremenu, te korisnim savjetima kojima mi je olakšala nastanak ovog vrlo zanimljivog rada.

Ivan Zubić

## SAŽETAK

Pod nuklearnim oružjem podrazumijevamo uređaj koji je dizajniran tako da može osloboditi ogromnu količinu energije na eksplozivna način kao rezultat nuklearne fisije, nuklearne fuzije ili kombinacije ta dva procesa. Fisijsko oružje se obično naziva atomskom bombom. Fuzijsko oružje se naziva termonuklearnim bombama ili, češće, hidrogenskim bombama. Razarajuća snaga nuklearnog oružja mjeri se u kilotonama, te je kod atomske bombe svaka jedinica jednaka eksplozivnoj snazi od 1000 tona TNT-a. Nasuprot tome, eksplozivna snaga hidrogenskih bombi često se izražava u megatonama, od kojih je svaka jedinica jednaka eksplozivnoj snazi od 1.000.000 tona TNT-a. Intenzivna eksplozija ovog oružja dovodi do nuklearnog zračenja, prvenstveno gama zraka i neutrona, koje ima razarajuće učinke na ljudski organizam. Ako pojedinac i preživi razarajući učinak eksplozije, radijacija nastala nakon eksplozije dovodi do dugotrajnih zdravstvenih posljedica poput povećane incidencije raka i genetskih mutacija.

Opsežna istraživanja o utjecaju hidrogenske i atomske bombe na okoliš, pružaju dokaze da su utjecaji nuklearnog oružja na okoliš značajni. Njihovi su učinci vječni, što se vidi na primjeru Hirošime i Nagasakija. Štoviše, podaci prikupljeni s različitih mjesta testiranja pokazuju da su ti teritoriji još uvijek pod utjecajem zračenja i kontaminacije. Posljedice nuklearnih eksplozija ostavile su trajne ožiljke i na planetu i na njegovim stanovnicima, postavljajući duboka etička i moralna pitanja o korištenju takve razorne sile.

**Ključne riječi:** hidrogenska bomba, atomska bomba, zračenje, okoliš, ljudsko zdravlje.

## **SUMMARY**

By nuclear weapon we mean a device that is designed so that it can release a huge amount of energy in an explosive way as a result of nuclear fission, nuclear fusion or a combination of these two processes. A fission weapon is usually called an atomic bomb. Fusion weapons are called thermonuclear bombs or, more commonly, hydrogen bombs. The destructive power of nuclear weapons is measured in kilotons, so in the case of an atomic bomb, each unit is equal to the explosive power of 1000 tons of TNT. In contrast, the explosive power of hydrogen bombs is often expressed in megatons, each unit of which is equal to the explosive power of 1,000,000 tons of TNT. The intense explosion of this weapon leads to nuclear radiation, primarily gamma rays and neutrons, which have devastating effects on the human body. If an individual survives the devastating effect of the blast, the radiation created after the blast leads to long-term health consequences such as an increased incidence of cancer and genetic mutations. Extensive research on the impact of hydrogen and atomic bombs on the environment provides evidence that the impacts of nuclear weapons on the environment are significant. Their effects are eternal, which can be seen in the example of Hiroshima and Nagasaki. Moreover, data collected from various test sites show that these territories are still under the influence of radiation and contamination. The aftermath of nuclear explosions left lasting scars on both the planet and its inhabitants, raising profound ethical and moral questions about the use of such destructive force.

**Key words:** hydrogen bomb, atomic bomb, radiation, environment, human health.



# SADRŽAJ

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>I</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>III</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HIDROGENSKA BOMBA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. NASTANAK EKSPLOZIJE HIDROGEN BOMBE</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. OPIS EKSPLOZIJE HIDROGENSKE BOMBE</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ATOMSKA BOMBA</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1. BOMBARDIRANJE HIROŠIME</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2. BOMBARDIRANJE NAGASAKIJA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.3. POSLJEDICE BOMBARDIRANJA HIROŠIME I NAGASAKIJA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4. ČERNOBIL</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4.1. PLAN PROVOĐENJA TESTA U ČERNOBILSKOJ NUKLEARNOJ ELEKTRANI</b> .....	<b>22</b>
<b>4. PROJEKT MANHATTAN</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. USPON PROJEKTA POD OPPENHEIMEROM I UTJECAJ LOS ALAMOUSA</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2. TRINITY TEST</b> .....	<b>32</b>
<b>5. UTJECAJ NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1. MEDICINSKA OPSKRBA I RESURSI NAKON NUKLEARNOG NAPADA</b> .....	<b>38</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>39</b>
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>40</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>42</b>

## 1. UVOD

Hidrogenska bomba, oružje čija ogromna eksplozivna snaga proizlazi iz nekontrolirane samoodržive lančane reakcije u kojoj se izotopi vodika spajaju pod ekstremno visokim temperaturama u helij u procesu poznatom kao nuklearna fuzija, te se ubraja u skupinu termonuklearnih bombi. Hidrogenska bomba bitno se razlikuje od atomske bombe po tome što iskorištava energiju koja se oslobađa kada se dvije lake atomske jezgre spoje ili stapaju u težu jezgru. Atomska bomba, nasuprot tome, koristi energiju koja se oslobađa kada se teška atomska jezgra podijeli ili fisira na dvije lakše jezgre. Termonuklearne bombe mogu biti stotine ili čak tisuće puta jače od atomskih bombi. Eksplozivna snaga atomskih bombi mjeri se u kilotonama, od kojih je svaka jedinica jednaka eksplozivnoj snazi od 1000 tona TNT-a. Nasuprot tome, eksplozivna snaga hidrogenskih bombi često se izražava u megatonama, od kojih je svaka jedinica jednaka eksplozivnoj snazi od 1.000.000 tona TNT-a. [1].

Tijekom prvih godina Hladnog rata, Sjedinjene Države razvile su i postavile hidrogensku bombu suočene s opetovanim vojnim i političkim provokacijama Sovjetskog Saveza. Eksplozija sovjetske atomske naprave 1949. godine, zapravo je dala veliki poticaj američkom projektu hidrogenske bombe. Prva atomska bomba eksplodirala je 16. srpnja 1945. u zračnoj bazi Alamogordo 193 km južno od Albuquerquea u Novom Meksiku (Trinity test). Sljedećeg mjeseca, dvije druge atomske bombe proizvedene projektom, prva koja je koristila uran-235, a druga koja je koristila plutonij, bačene su na japanske gradove Hirošimu i Nagasaki.

Radijacija oslobođena nuklearnom eksplozijom može uzrokovati štetu okolišu, utječući na poljoprivredu, prirodne resurse i demografiju na vrlo širokom području, dok ionizirajuće zračenje ima potencijal oštetiti budući okoliš, hranu i morski ekosustav te uzrokovati niz genetskih malformacija i bolesti kod budućih generacija. Posljedice nuklearnih eksplozija ostavile su trajne ožiljke i na planetu i na njegovim stanovnicima, postavljajući duboka etička i moralna pitanja o korištenju takve razorne sile.

## 2. HIDROGENSKA BOMBA

Hidrogenska bomba je bomba koja je poznata pod imenom „vodikova bomba ili H-bomba“. Pripada u grupu s atomskim i nuklearnim bombama. Za razliku od atomske bombe, hidrogenska bomba, svoju jakost dobiva iz fuzije, dok atomska bomba svoju snagu zasniva na nuklearnoj fisiji.

U hidrogenskoj bombi, eksplozivni proces počinje detonacijom onoga što se naziva primarni stupanj. Sastoji se od relativno male količine konvencionalnih eksploziva, čija detonacija okuplja dovoljno urana koji se može fiksirati kako bi se stvorila lančana reakcija fisije, koja zauzvrat proizvodi još jednu eksploziju i temperaturu od nekoliko milijuna stupnjeva.

Snaga i toplina ove eksplozije reflektiraju se natrag od okolnog spremnika urana i kanaliraju se prema sekundarnom stupnju, koji sadrži litij-6 deuterid. Ogromna toplina pokreće fuziju, a rezultirajuća eksplozija sekundarnog stupnja raznosi spremnik s uranom.



Slika 1: Prikaz eksplozije hidrogenske bombe.

Izvor: [https://www.dw.com/en/hydrogen-vs-atomic-bomb-whats-the-difference/a-40343297?maca=en-rss\\_top\\_news-13961-xml-mrss](https://www.dw.com/en/hydrogen-vs-atomic-bomb-whats-the-difference/a-40343297?maca=en-rss_top_news-13961-xml-mrss)

## 2.1. NASTANAK EKSPLOZIJE HIDROGEN BOMBE

Neutroni koji su oslobođeni tijekom nuklearne fuzije, dovode do toga da se fizijski spremnik urana, koji predstavlja većinu oslobođene energije, kada dođe do eksplozije stvara ispadanje (taloženje radioaktivnog materijala iz atmosfere) u tom nuklearnom procesu. Pri nastanku nuklearne reakcije, oslobađa se eksplozivna sila; udarni val, koji zrači od točke nastanka eksplozije.

Udarni val se tada širi nadzvučnom brzinom, koja ima jakost totalnog uništenja zgrada i svega što se nalazi u samom radijusu udara toga vala, koji može biti veličine od nekoliko kilometara. Pri oslobađanju takve količine topline, dolazi i do stvaranja vatrenih oluja, a radioaktivne tvari koje nastaju kao posljedica radijacije i reakcije, zagađuju tlo, vodu i zrak, te se distribuiraju diljem svijeta.

Snaga eksplozije hidrogenske bombe, izražava se u megatonama, što predstavlja jakost kao da se koristi 1 000 000 tona dinamita [1].

## 2.2. Opis eksplozije hidrogenske bombe

Eksplozija same hidrogenske bombe, odvija se u dvije faze.

- *Prva faza - Nuklearna fisija:*

Termonuklearne bombe oslanjaju se na primarni proces naziva nuklearna fisija. Unutar te reakcije dolazi do konvencionalne eksplozije, koja pokreće lančanu reakciju koja cijepa jezgre velikih atoma, što rezultira nuklearnom eksplozijom. Da bi došlo do te reakcije, fisibilni materijal za oružje - bilo uran ili plutonij - mora doseći kritičnu masu.

U termonuklearnom oružju, implozijska bomba postiže kritičnu masu kompresijom fisibilnog materijala, poput plutonija, prema unutra. Naprava je sferičnog oblika, s krajnjim vanjskim omotačem koji se sastoji od konvencionalnih eksploziva (slika 2).



Slika 2: Unutarnji prikaz nuklearne fisije u H-bombi.

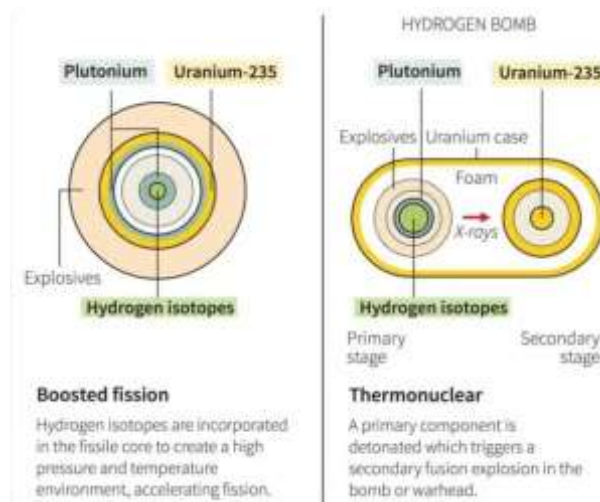
Izvor: <https://www.index.hr/vijesti/clanak/koja-je-razlika-izmedju-hidrogenske-i-obicne-nuklearne-bombe/992309.aspx>

Kako najudaljeniji sloj sfere eksplodira, toplina i energija usmjeravaju se prema središtu pomoću niza eksplozivnih leća, dok se radioaktivni materijal počinje skupljati u sebe. Gustoća čestica brzo raste, izbacujući dodatne slobodne neutrone i uzrokujući lančanu reakciju koja rezultira nuklearnom eksplozijom.

- *Druga faza - Nuklearna fuzija:*

Kod nuklearne fuzije stvara se energija kombiniranjem dvaju izotopa vodika deuterija i tricija; za stvaranje helija. Kada se spoje, dodatni neutroni unutar jezgri ovih izotopa oslobađaju se u obliku energije. Spoj poznat kao litijev deuterid, koji nastaje spajanjem litija i deuterija, koristi se kao gorivo u modernom termonuklearnom oružju.

Primarna fisijska eksplozija proizvodi visokoenergetske gama i x-zrake, koje se usmjeravaju prema dolje i reflektiraju prema uređaju za fuziju. Polistirenska pjena koja ispunjava unutrašnjost omotača uređaja zatim se topi u plazmu i počinje komprimirati cilindrično kućište. Vanjski dio kućišta apsorbira dio x-zraka kako bi se spriječila rana reakcija unutar jezgre. Nakon toga "svjećica", obično u potpunosti napravljena od materijala koji se može fisirati, komprimira se, oslobađajući eksplozivnu energiju prema van.



Slika 3: Prikaz fisijske reakcije unutar hidrogen bombe. [2]

Izvor: <https://geek.hr/znanost/clanak/koja-je-razlika-izmedu-atomske-i-hidrogenske-bombe/>

Na slici 3. prikazana je fisijska reakcija vezana uz eksploziju hidrogenske bombe, ubrzana fisija i termonuklearnost. Kod ubrzane fisije- hidrogenski izotopi ugrađeni su u jezgru, kako bi stvorili što veći pritisak i temperaturu, što je razlog ubrzanja fisijske reakcije.

Kod termonuklearnosti- primarna komponenta se detonira, te dolazi do pokretanja sekundarne fuzijske eksplozije unutra same bombe ili u bojnoj glavi [2].

### 3. ATOMSKA BOMBA

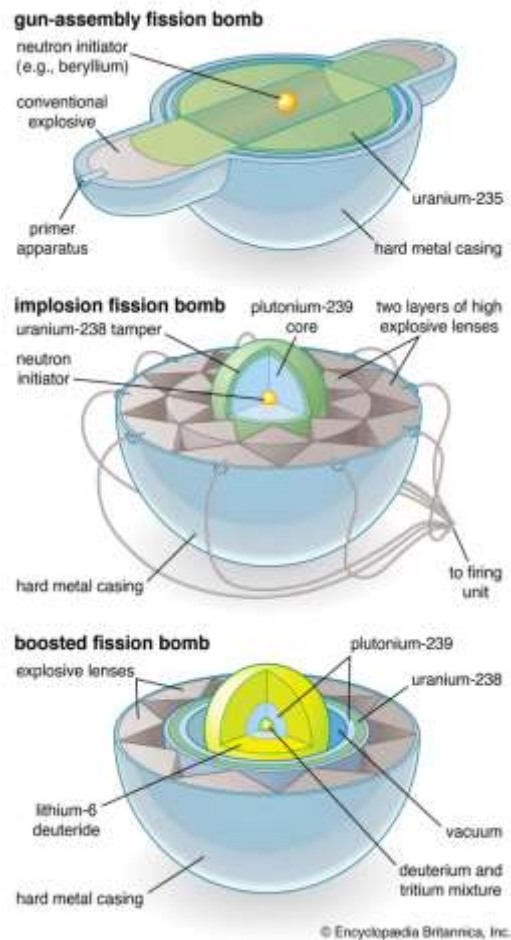
Atomska bomba je oružje s velikom eksplozivnom snagom koja proizlazi iz naglog oslobađanja energije nakon fisije jezgre teških elemenata kao što su plutonij ili uran. Kada neutron udari u jezgru atoma izotopa urana-235 ili plutonija-239, uzrokuje da se ta jezgra cijepa u dva fragmenta, od kojih je svaki jezgra s otprilike polovicom protona i neutrona od izvorne jezgre. Velika količina toplinske energije oslobađa gama zrake dva ili više neutrona. Pod određenim uvjetima, neutroni koji izlaze udaraju i tako cijepaju više okolnih jezgri urana, koje zatim emitiraju više neutrona koji cijepaju još više jezgri.

Fisije koje se brzo umnožavaju na kraju završavaju s lančanom reakcijom u kojoj se troši gotovo sav materijal koji se može fisirati, u procesu generiranja eksplozije onoga što je poznato kao atomska bomba.

S druge strane, skup fisibilnog materijala mora biti doveden iz podkritičkog stanja u kritično stanje iznimno naglo. Jedan od načina na koji se to može učiniti je spojiti dvije podkritične mase, u kojem trenutku njihova kombinirana masa postaje kritična.

Na slici 4. je prikazano stanje tri najpoznatija načina djelovanja fisiski bombi.

- Topovska fisiska bomba- u sredini žuto označeno vidimo „neutronske inicijator“. Oko samog inicijatora zelenom bojom prikazano nalazi se uranij-235, te konvencionalna eksplozija, koji se nalaze u metalnoj čahuri.
- Implozijska fisiska bomba- jezgra se sastoji od neutronske inicijatora, plutonija 239 i uranija 235. Oko jezgre se nalazi dvoslojna visoko eksplozivna leća. Sve to se nalazi u metalnoj čahuri na koju se nadvezuje dovod za paljenje.
- Pojačana fisiska bomba- jezgra se sastoji od smjese deuterija i tricija, plutonija 239, zajedno s litijevim 6 deuteridom. Oko jezgre je vakuum, eksplozivne leće unutar koji se nalaze uranij i plutinij, te je sve to okruženo tvrdom metalnom čahurom.[3]



Slika 4: Prikaz tri fizijske bombe. [3]

Izvor: <https://www.britannica.com/technology/atomic-bomb>

Prva atomska bomba je napravljena u Los Alamosu, u Novom Meksiku, tijekom Drugog svjetskog rata, u sklopu programa nazvanog Projekt Manhattan, iz čega je jasno da je Projekt Manhattan jako ključan ne samo za nastanak već i za daljnji razvoj atomske bombe.

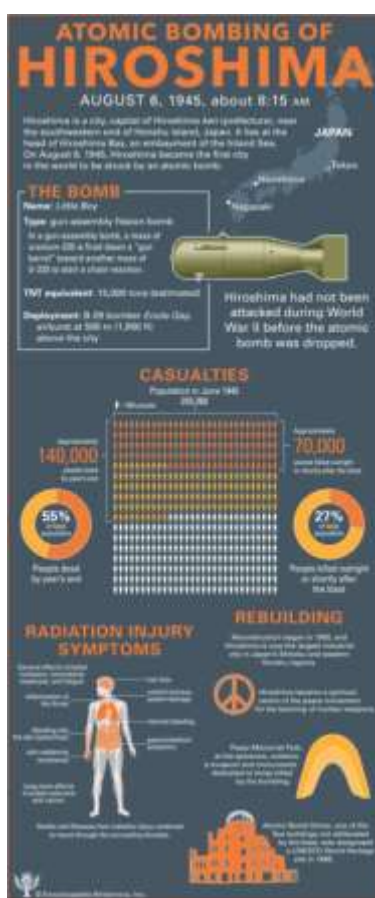
Los Alamos je odobren kao mjesto glavnog znanstvenog laboratorija za istraživanje i razvoj atomske bombe 25. studenog 1942. godine. Skupina odabranih ljudi vezana za taj projekt bili su: Leslie R. Groves i fizičar J. Robert Oppenheimer. Navedeni projekt dobio je kodno ime Projekt Y. Jedna bomba, koristeći plutonij, uspješno je testirana 16. srpnja 1945., na mjestu 193 km (120 milja).



### 3.1. BOMBARDIRANJE HIROŠIME

Pred sami kraj Drugog svjetskog rata, Američka vojska, bacila je dvije atomske bombe na Japanske gradove; Hirošimu i Nagasaki. Smatra se da su upravo te dvije bombe koje su bačene od strane Amerike, tzv; osveta za Japanski napad na Peral Harbor 1941. godine.

Taj povijesni događaj, koji se uklesao u sjećanje čovječanstva, donio je sa sobom razorne posljedice koje su trajno promijenile tok svjetske povijesti. Eksplozija koja je nastala, stvorila je katastrofu neopisivih razmjera. Grad koji je nekad bio dom za stotine tisuća ljudi pretvorio se u pepeo i ruševine.



Slika 5: Podatkovni prikaz bombardiranja Hiroshime.

Izvor: <https://www.britannica.com/event/atomic-bombings-of-Hiroshima-and-Nagasaki/The-bombing-of-Nagasaki>

Na slici 5 prikazani su svi podatci vezani uz bombardiranje Hiroshime.

Bombardiranje samoga grada Hiroshime zbilo se 6.kolovoza 1945., oko 8:15, a ime bačene atomske bombe bilo je Little Boy.

Atomska bomba „Little Boy“ imala je sljedeće specifikacije:

- Fisijska bomba za montažu oružja
- Masa uranija se ispaljuje niz „pištoljsku cijev“ prema masi uranija, kako bi došlo do reakcije.
- Jačina eksplozije = 15 000 tona
- Izbačena je iz aviona B-29, bombarder
- Visina s koje je bačena: 580 metara iznad samoga grada.

Broj žrtava nakon razaranja atomske bombe:

- Ukupan broj stanovnika u srpnju 1945. godine = 255 260
- Približno 140 000 umrlih do kraja godine
- Približno 70 000 umrlih kratko nakon same eksplozije

Simptomi izlaganja radijaciji:

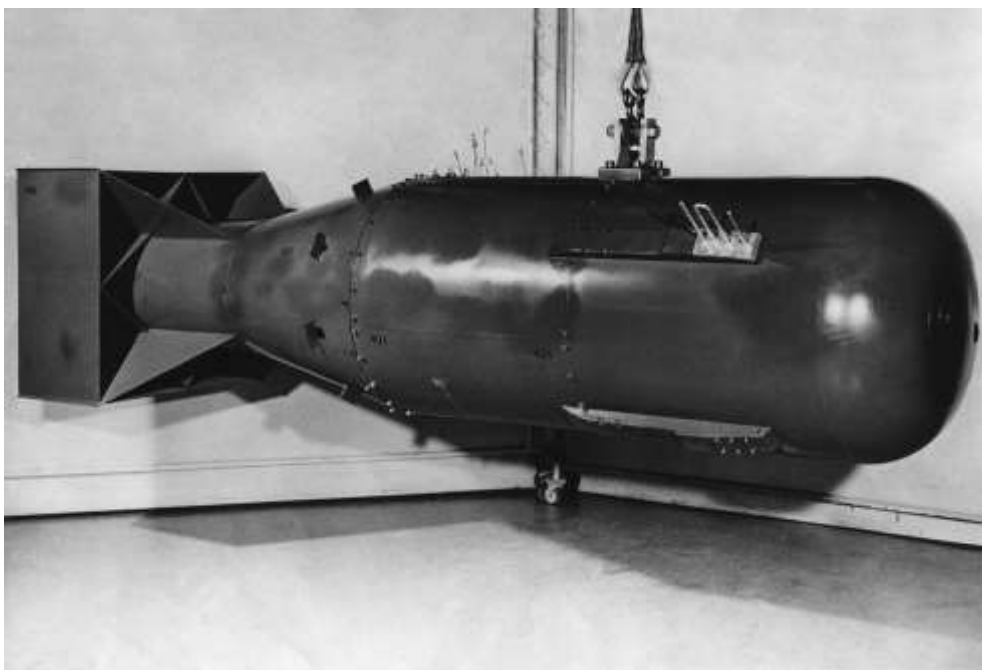
- Gubitak kose
- Unutarnja krvarenja
- Zbunjenost
- Konvulzija
- Slabost i umor
- Gastroenterološki problemi
- Upala grla
- Oštećenje živčanog sustava
- Krvarenje u koži
- Crvenilo kože
- Duže posljedice uključuju nastanak različitih oblika karcinoma.

Little Boy imao je kritičnu masu urana-235, koji se spaja s drugom masom istog urana, te dolazi do stvaranja superkritične mase. Ključan zahtjev bio je da se komadi spoje u vremenu kraćem od vremena između spontanih reakcija. Jednom kada su dva dijela urana zajedno, inicijator uvodi prasak neutrona i počinje lančana reakcija, koja se nastavlja sve dok oslobođena energija ne postane toliko velika da se bomba jednostavno blokira.

Na slici 6. je prikazana replika bombe bačene na Hirošimu, 6. kolovoza 1945. godine.

Specifikacije bombe:

- Dužina: 3,0 metara
- Promjer: 71,1 cm
- Težina: 4,400 kg
- Prinos: 15 kiltona (+/- 20%).



Slika 6: Replika atomske bombe Little Boy bačene na Hirošimu.

Izvor: [https://www.atomicarchive.com/media/photographs/little-boy\\_fat-man/little-boy-1.html](https://www.atomicarchive.com/media/photographs/little-boy_fat-man/little-boy-1.html)

### 3.2. BOMBARDIRANJE NAGASAKIJA

Samo tri dana nakon bombardiranja Hirošime, saveznici su odlučili baciti još jednu bombu. 9. kolovoza 1945. godine bačena je druga velika atomska bomba na grad Nagasaki, te je uništila najveći dio Nagasakija; te je ubijeno između 60.000 i 80.000 osoba.

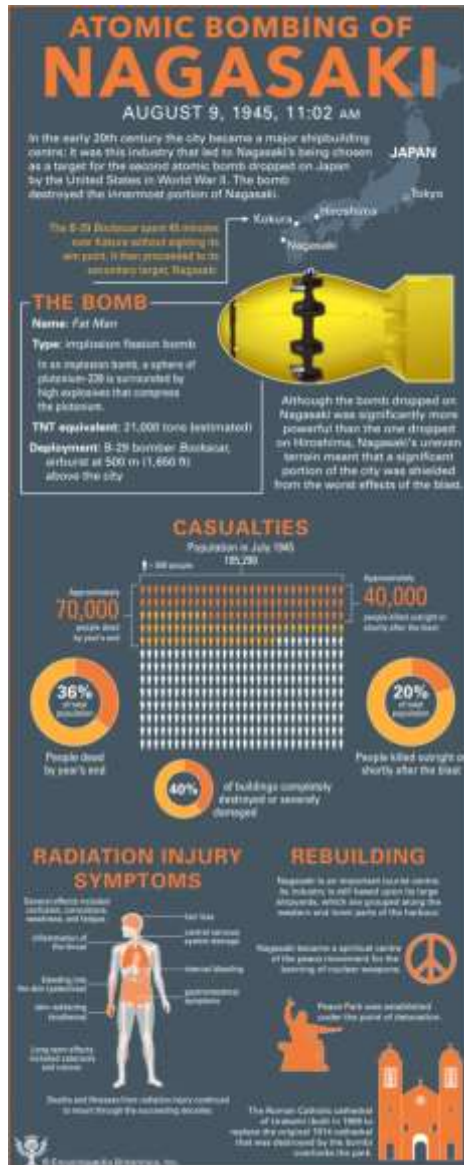
Na slici 7., vidljiv je izgled grada Nagasakia nakon bombardiranja.



Slika 7: Nagasaki nakon bombardiranja.

Izvor: <https://www.nbcnews.com/think/opinion/surviving-nuclear-bomb-nagasaki-75-years-ago-showed-me-nuclear-ncna1236148>

Na slici 8. prikazan je detaljan opis događaja, kao i svi podaci vezani uz samo bombardiranje.



Slika 8: Podatkovni prikaz bombardiranja Nagasakija.

Izvor: <https://www.britannica.com/event/atomic-bombings-of-Hiroshima-and-Nagasaki/The-bombing-of-Nagasaki>

Točno vrijeme bombardiranja: 9. kolovoz 1945. godine, u 11 sati i 2 minute.

Specifikacije bombe: Fat Man

- Implzijska fizijska bomba
- Sfera plutonija-239 okružena je visokim eksplozivom koji komprimira sami plutonij
- Ekvivalnet eksplozije: 21 000 tona

- Sama bomba je izbačena iz aviona marke B-29; visina 500 metara.

Bomba „Fat Man“ imala je veću razornu snagu pri samoj eksploziji.

Iako je bila jača, sami teren oko Nagasakija, pružio je samom području da bude zaštićen od najgorih posljedica pri eksploziji.

Na slici 9. može se vidjeti razlika između bombe bačene na Hirošimu i bombe bačene na Nagasaki.



Slika 9: Razlika između Bombi bačenih na Hirošimu i Nagasaki.

Izvor: [https://lufkindailynews.com/atomic-bomb/image\\_74c01f50-3be8-11e5-bc3e-036e2457b005.html](https://lufkindailynews.com/atomic-bomb/image_74c01f50-3be8-11e5-bc3e-036e2457b005.html)

Posljedice nakon bombardiranja u Nagasakiju:

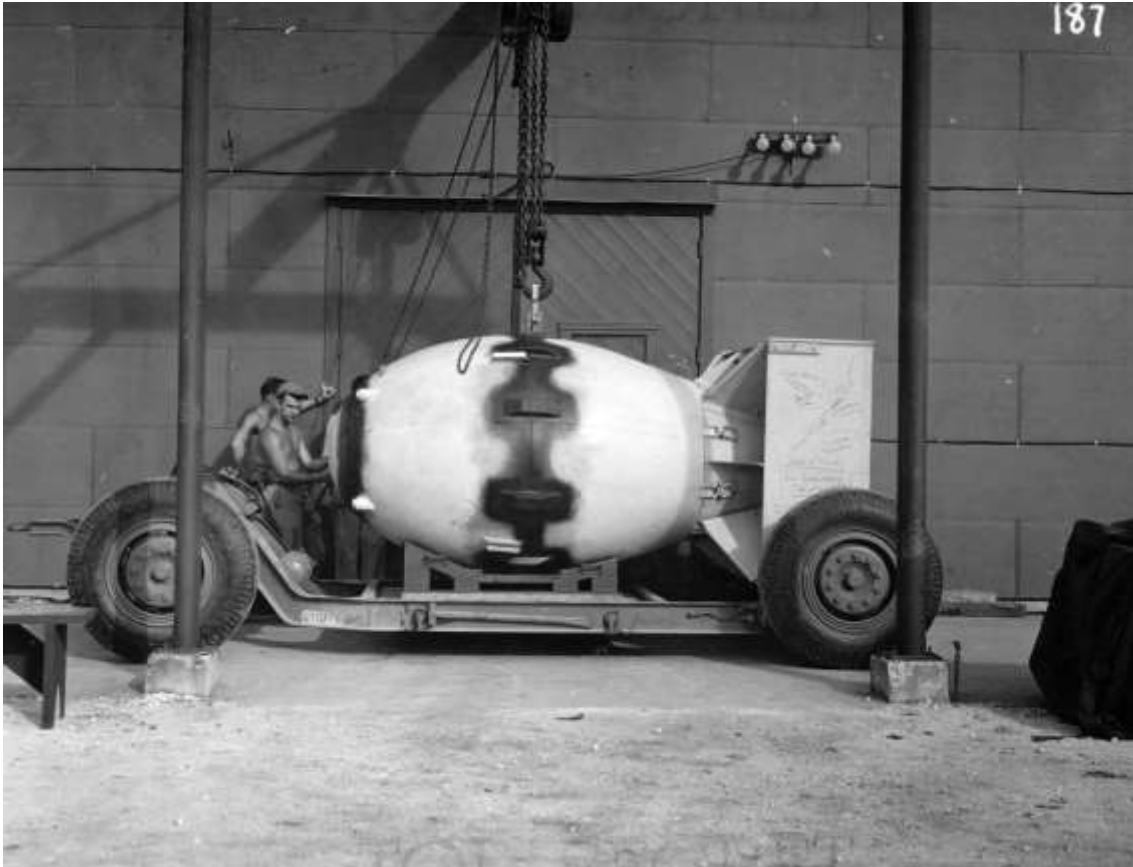
- Ukupan broj stanovnika u srpnju 1945. godine: 195 200
- Broj žrtava do kraja 1945. godine, iznosio je oko 30% ukupnog stanovništva = 70 000
- Broj žrtava kratko nakon i odmah nakon eksplozije je bila oko 20% cijelog stanovništva = 40 000 ljudi.

- 40 % građevina je uništeno potpuno ili djelomično

“Fat Man” bila je druga plutonijska-implozijska bomba. Prvi je bio “Gadget” detoniran na mjestu Trinity 16. srpnja 1945. godine. U uređaju za imploziju, jezgra subkritičnog plutonija okružena je s nekoliko tisuća kilograma eksplozivnog projektila tako da je eksplozivna sila usmjerena prema unutra i tako drobi plutonijsku jezgru u super-kritičnom stanju.

Opis „Fat Man“ atomske bombe:

- Težina: 4 898 798 kg
- Dužina: 3,25 metra
- Promjer: 1,52 metra
- Gorivo: Visoko obogaćeni plutonij-239
- Plutonijsko gorivo: cca. 6,17 kg
- Plutonijska jezgra okružena s 2,40 kg eksploziva;
- Plutonijska jezgra smanjena je na veličinu teniske loptice
- Učinkovitost oružja: 10 puta veća od bombe Little boy
- Otprilike 1 kilogram fisije plutonija
- Eksplozivna sila: 21.000 tona TNT ekvivalenta [4].



Slika 10: Atomska bomba Fat Man.

Izvor: <https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/little-boy-and-fat-man/>

Točan broj žrtava bilo je nemoguće utvrditi. Japanci su popisali samo one koje su mogli provjeriti i postavili službenu procjenu na 23.753 poginulih, 1.927 nestalih i 23.345 ranjenih.

Brojke američkog istraživanja strateškog bombardiranja bile su mnogo veće, ali još uvijek manje od onih za Hirošimu.

Na slici 11. vidi se pogled iz zraka na Nagasaki, nakon što je bačena atomska bomba.





Slika 11: Pogled na nastalu štetu u Nagasakiju iz zraka.

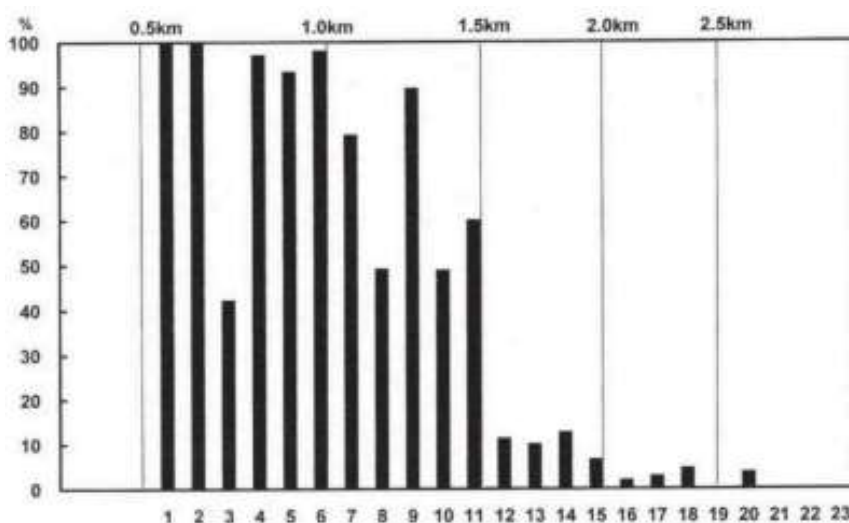
Izvor: <https://www.atomicarchive.com/history/atomic-bombing/nagasaki/page-4.html>

### 3.3. POSLJEDICE BOMBARDIRANJA HIROŠIME I NAGASAKIJA

Nakon bombardiranja Hirošime i Nagasakija otprilike 280.000 stanovnika Hirošime i 240.000 stanovnika Nagasakija iznenada se našlo u potpunom kaosu i agoniji. Od toga je približno 140 000 stanovnika Hirošime i 73 000 stanovnika Nagasakija umrlo trenutačno ili u roku od pet mjeseci nakon djelovanja bombe, zbog kombiniranih učinaka tri komponente fizičke energije generirane nuklearnom fisijom, odnosno tlaka, toplinskog i ionizirajućeg zračenja. Ukupno više od 210.000 preostalih žrtava preživjelo je prvih pet mjeseci nakon bombardiranja uz neizmjernu agoniju, te dobilo naziv „hibakushe“.

„Hibakushe“ su preživjele žrtve atomskih bombi koje su pale na Hirošimu i Nagasaki, te unatoč svojim poteškoćama i traumama postale su primjeri promicanja svojih osobnih tragedija u borbu za promicanje mira i stvaranje svijeta bez nuklearnog oružja.

Na slici 12. prikazana je stope smrtnosti u Nagasakiju unutra prva tri mjeseca nakon bombardiranja.

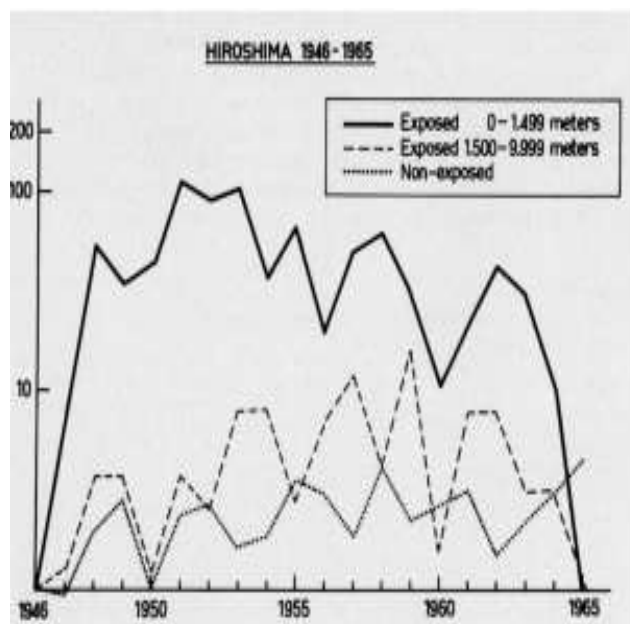


Slika 12: Stope smrtnosti prema udaljenosti od nulte točke u prva tri mjeseca u područjima grada Nagasakija [5].

Krivulja stope smrtnosti koju su nakon toga izračunali preživjelo medicinsko osoblje i studenti Medicinskog fakulteta u Nagasakiju pokazala je smrtnost od gotovo 100% kod stanovnika koji su živjeli unutar radijusa od 500 metara od nulte točke; 90% unutar 1000

metara; 50% unutar 1500 metara, i 10% unutar 2000 metara, čineći jasnu koncentričnu sliku [5].

1950. godine osnovana je Studija životnog vijeka (LSS), službeno epidemiološko istraživanje koje se temelji na populaciji od približno 100 000 hibakusha iz Hirošime i Nagasakija, nazvanj LSS kohorta. Na slici 13, vidljivi su grafički podatci vezani uz medicinsku statistiku o svakom slučaju raka ili leukemije temeljenim na LSS-u, te se vjerovalo da je stopa otkrivanja slučajeva bila približno 100%, pokrivajući sve članove kohorte. Učestalost određenih vrsta raka ili leukemije među skupinom hibakushe s izloženošću visokim dozama uspoređuje se s incidencijom među hibakushama koje su primile doze koje su bile gotovo zanemarive.



Slika 13: Povećenje stope leukemije u Hirošimi u razdoblju od 1946. do 1965. godine [5].

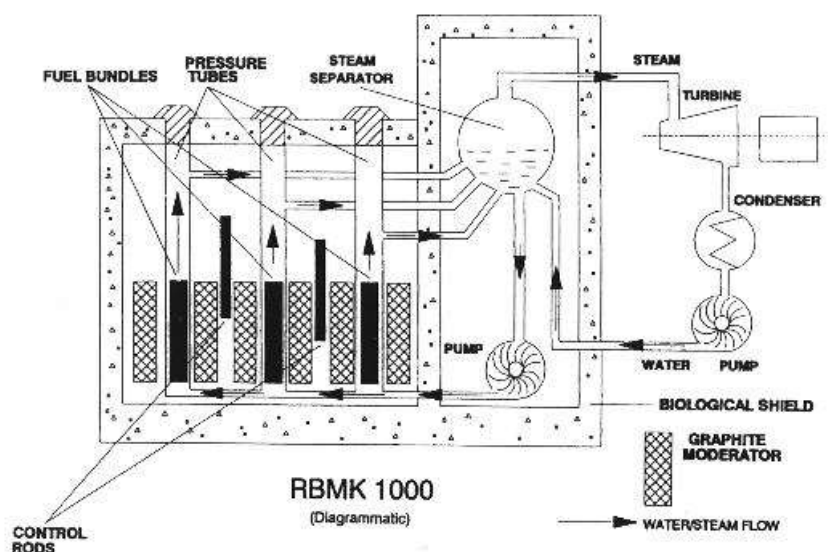
Rani simptomi pri izloženosti ljudskog organizma zračenju uključivale su: epilaciju, vrućicu, proljev, povraćanje, dodatne orofaringealne bolesti i hemoragijske manifestacije. U većini slučajeva dolazi do krvarenja mrežnice, s produljenim krvarenjem i vremenom koagulacije. Broj trombocita se dramatično smanjuje. Japanski istraživači izvijestili su o mučnini i povraćanju koji su započeli nekoliko sati nakon eksplozije, s poboljšanjem sljedećeg jutra, ali ponekad je trajalo 2-3 dana [6].

### 3.4. ČERNOBIL

Černobilska nuklearna elektrana nalazila se 130 km sjeverno od Kijeva u Ukrajini i oko 20 km južno od granice s Bjelorusijom, sastojala se od četiri nuklearna reaktora. U trenutku nesreće bila su u izgradnji još dva reaktora. Kako bi se reaktorima osigurala rashladna voda, jugoistočno od elektrane izgrađeno je umjetno jezero površine oko 22 četvorna kilometra, smješteno uz rijeku Pripjat, pritoku Dnjepra. Ovo područje Ukrajine je većinom prekriveno šumama s niskom gustoćom naseljenosti. U tada sasvim novom gradu, Pripjatu, udaljenom oko 3 km od reaktora, živjelo je 49.000 stanovnika. Stari grad Černobil, koji je imao 12.500 stanovnika, nalazio se oko 15 km od kompleksa. U krugu od 30 km od elektrane, ukupan broj stanovnika u trenutku nesreće bio je između 115.000 i 135.000 [7].



Slika 14: Položaj nuklearne elektrane Černobil [7].



Slika 15: RBMK-100 reaktor [8].

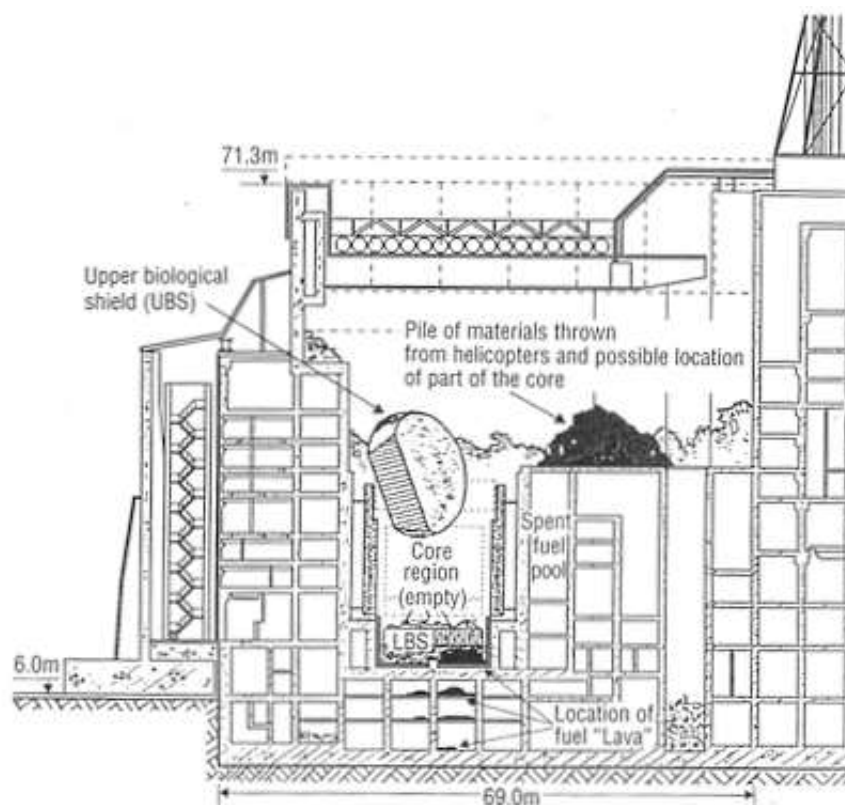
Na slici 15. nalazi se RBMK-1000; sovjetski projektirani i izgrađeni reaktor tipa cijevi s umjerenim tlakom od grafita, koji koristi malo obogaćeno (2% U-235) gorivo uranovog dioksida. To je reaktor s kipućom vodom, s dvije petlje koje dovode paru izravno u turbine, bez interventnog izmjenjivača topline. Voda koja se pumpa na dno kanala za gorivo ključa dok napreduje prema tlačnim cijevima, proizvodeći paru koja napaja dvije turbine od 500 MWe. Voda djeluje kao rashladno sredstvo i također daje paru koja se koristi za pogon turbina. Okomite tlačne cijevi sadrže gorivo uran dioksid obloženo legurom cirkonija oko kojeg teče rashladna voda. Produžeci kanala za gorivo prodiru kroz donju ploču i pokrovnu ploču jezgre i na svaku su zavareni. Posebno dizajnirani stroj za punjenje goriva omogućuje promjenu paketa goriva bez gašenja reaktora. [9]

25. travnja 1986. godine dogovoreno je da se provede rutinsko gašenje napajanja elektrane. Članovi posada pripremali su reaktor 4 za testiranje kako bi se odredilo koliko dugo će se turbine okretati i opskrbljivati energijom glavne cirkulacijske pumpe nakon gubitka glavnog napajanja električnom energijom. Ovaj test je uspješno proveden godinu dana ranije pod vodstvom iskusnije grupe inženjera u kontrolnoj sobi, no snaga iz turbina je prebrzo nestajala, pa je trebalo testirati nove dizajne regulatora napona.

Niz radnji operatera, uključujući onesposobljavanje mehanizama za automatsko isključivanje, prethodio je pokušaju testiranja rano ujutro 26. travnja 1986. godine. U

trenutku kada je operater krenuo da zatvori reaktor, reaktor je bio u izuzetno nestabilnom stanju. Osobitost dizajna kontrolnih šipki uzrokovala je dramatičan skok struje dok su bile umetnute u reaktor.

U godinama nakon nesreće, daljnjih 220.000 ljudi preseljeno je u manje kontaminirana područja, a početna isključena zona radijusa od 30 km ( $2800 \text{ km}^2$ ) modificirana je i proširena na 4300 četvornih kilometara. Do ovog preseljenja došlo je zbog primjene kriterija od 350 mSv projicirane doživotne doze zračenja, iako je zapravo zračenje u većini pogođenog područja (osim pola četvornog kilometra u blizini reaktora) brzo palo tako da su prosječne doze bile manje od 50% iznad normalne pozadine od 2,5 mSv/god. [8]



Slika 16: Prikaz urušavanje Reaktora 4 [9].

Na slici 16 vidljivo je kako je došlo do samog oštećenja „Reaktora 4“, a razlog nastanka oštećenja je nepravilno izvlačenje granitnih šipki koje su služile za regulaciju temperature jezgre.

### **3.4.1. Plan provođenja testa u Černobilskoj nuklearnoj elektrani**

#### **25. travnja 1986. godine:**

01:06 h - Započelo je planirano gašenje reaktora. Počelo je postupno spuštanje razine snage.

03:47 h- Smanjenje snage reaktora zaustavljeno na 1600 MW (termički).

14:00 h- Sustav za hlađenje jezgre u nuždi (ECCS) bio je izoliran (dio ispitne procedure) kako bi se spriječilo da kasnije prekine ispitivanje. Činjenica da je ECCS bio izoliran nije pridonijela nesreći; međutim, da je bio dostupan, mogao bi malo smanjiti utjecaj.

Snaga je trebala biti dodatno smanjena; međutim, kontrolor električne mreže u Kijevu zatražio je od operatera reaktora da nastavi s opskrbom električnom energijom kako bi se zadovoljila potražnja. Zbog toga je razina snage reaktora održavana na 1600 MWt i eksperiment je odgođen. Bez ove odgode, test bi bio proveden tijekom dnevne smjene.

23:10 h -Ponovno je započelo smanjenje snage.

24:00 h - Promjena smjene.

#### **26. travnja 1986. godine**

00:05 h- Razina snage je smanjena na 720 MWt i nastavila se smanjivati. Iako je Međunarodna savjetodavna skupina za nuklearnu sigurnost (INSAG) navela da je zabranjen rad ispod 700 MWt, kontinuirani rad reaktora ispod te razine nije bio zabranjen.

00:28 h- Snagom od oko 500 MWt upravljanje je prebačeno s lokalnog na sustav automatske regulacije. Operator je možda propustio dati signal 'zadrži snagu na traženoj razini' ili regulacijski sustav nije uspio odgovoriti na ovaj signal. To je dovelo do neočekivanog pada snage, koja je brzo pala na 30 MWt.

00:43:27 h - Signal isključenja turbogeneratorskog blokiran u skladu s radnim i ispitnim postupcima. INSAG-1 je netočno prijavio ovaj događaj koji se dogodio u 01:23:04 i

izjavio: "Ovo putovanje bi spasilo reaktor." Međutim, vjerojatnije je da je onemogućavanje ovog putovanja samo odgodilo početak nesreće za 39 sekundi.

01:00 h- Snaga reaktora porasla je na 200 MWt i stabilizirala se. Iako operateri to možda nisu znali, granica reaktivnosti rada (ORM) od 15 šipki bila je prekršena. Donesena je odluka da se probni test turbogeneratora provede na razini snage od oko 200 MWt.

01:03 h- Glavna cirkulacijska crpka u pripravnosti uključena je u lijevi krug hlađenja kako bi se povećao protok vode u jezgru (dio postupka ispitivanja).

01:07 h - Dodatna pumpa za hlađenje uključena je u desni krug hlađenja (dio postupka ispitivanja). Rad dodatnih pumpi brže je uklanjao toplinu iz jezgre što je dovelo do smanjene reaktivnosti, što je zahtijevalo daljnje uklanjanje šipke apsorbera kako bi se spriječio pad razine snage. Crpke su isporučivale prekomjeren protok do točke u kojoj je premašio dopuštene granice. Povećani protok jezgre doveo je do problema s razinom u parnom bubnju.

01:19 h- Razina parnog bubnja još uvijek je bila blizu razine za slučaj opasnosti. Kako bi to kompenzirao, operater je povećao protok napojne vode. To je podiglo razinu bubnja, ali dodatno smanjilo reaktivnost sustava. Automatske kontrolne šipke išle su do gornje spojne ploče radi kompenzacije, ali bilo je potrebno daljnje povlačenje ručnih šipki za održavanje ravnoteže reaktivnosti. Tlak u sustavu počeo je padati i, kako bi se tlak stabilizirao, prenosni ventil parne turbine je zatvoren. Budući da su operateri imali problema s kontrolom tlaka i razine, otprilike u to vrijeme deaktivirali su sustave za automatsko uključivanje u parni bubanj.

01:22:30 h- Proračuni obavljani nakon nesreće pokazali su da se granica radne reaktivnosti (ORM) u ovoj točki pokazala jednakom kao osam upravljačkih šipki. Operativna politika zahtijevala je da minimalno ORM od 15 upravljačkih šipki bude umetnuto u reaktor u svakom trenutku.

01:23 h- Parametri reaktora stabilizirani. Voditelji smjene jedinice ocijenili su da su pripreme za ispitivanja završene i nakon uključivanja osciloskopa dali nalog za zatvaranje zapornih ventila u nuždi.



## 26. travnja: test

01:23:04 h- Napojni ventili turbine zatvoreni za početak rada turbine. Ovo je bio početak pravog testa. Prema Dodatku I; iz međunarodne savjetodavne skupina za nuklearnu sigurnost (INSAG-7), tijekom sljedećih približno 30 sekundi rada četiri pumpe rashladne tekućine, "parametri jedinice bili su kontrolirani, ostali unutar granica očekivanih za dotične radne uvjete i nisu zahtijevali nikakvu intervenciju na dio osoblja."

01:23:40 h -Operater je pritisnuo tipku za hitne slučajeve (AZ-5). Kontrolne šipke počele su ulaziti u jezgru, povećavajući reaktivnost na dnu jezgre.

01:23:43 h -Stopa odstupanja snage signalizira sustav zaštite u nuždi; snaga premašila 530 MWt.

01:23:46 h- Odspajanje prvog para glavnih cirkulacijskih crpki (MCP) koje se 'isključuju', nakon čega odmah slijedi odspajanje drugog para.

01:23:47 h- Oštro smanjenje protoka MCP-ova koji nisu uključeni u ispitivanje snižavanja i nepouzdana očitavanja u MCP-ovima uključenim u ispitivanje; oštro povećanje tlaka u bubnjevima separatora pare; nagli porast razine vode u bubnjevima separatora pare.

01:23:48 h -Vraćanje brzina protoka MCP-ova koji nisu uključeni u test zastoja na vrijednosti bliske početnima; ponovno uspostavljanje protoka na 15% ispod početne stope za MCP-ove na lijevoj strani koji su bili prigušeni; vraćanje protoka na 10% ispod početne brzine za jedan od ostalih MCP-ova uključenih u ispitivanje i nepouzdana očitavanja za drugi; daljnje povećanje tlaka u bubnjevima separatora pare i razine vode u bubnjevima separatora pare; aktiviranje brzodjelujućih sustava za ispuštanje pare u kondenzatore.

01:23:49 h- Signal zaštite u nuždi 'Porast tlaka u reaktorskom prostoru (puknuće kanala za gorivo)'; Signal 'Nema napona - 48 V' (nema napajanja servopogonskih mehanizama EPS-a); Signali 'Kvar aktuatora automatskih regulatora snage br. 1 i 2'.

01:24 h- Iz bilješke u operativnom dnevniku glavnog inženjera upravljanja reaktorom: "01:24: Jaki udari; RCPS šipke prestale su se kretati prije nego što su dosegle donje

granične prekidače za zaustavljanje; prekidač napajanja mehanizama kvačila je isključen."[8]

Na slici 14. vidljiv je izgled kontrolne sobe unutra koje je 26.travnja 1986. godine, došlo do pogreške, te najveće nuklearne katastrofe u Europi, u Černobilu.

Dopuštene pogreške dovele su do najveće nuklearne nesreće na Svijetu do sada. Razina zračenja je izvan skale NEK u Černobilu.



Slika 17: Kontrolna soba Nuklearne elektrane Černobil [10].

### 3.4.2. Posljedice eksplozije u Černobilu

Pramen dima, produkt radioaktivne fisije i krhotina iz jezgre i zgrade uzdigao se u zrak do visine od oko 1 km. Teže krhotine u oblaku bile su taložene blizu lokacije, ali lakše komponente, uključujući produkte fisije i gotovo sav inventar plemenitih plinova, otpuhao je vjetar prema sjeverozapadu elektrane.

Požari su izbili u ostatku zgrade bloka 4, stvarajući oblake pare i prašine, a požari su izbili i na susjednom krovu turbinske hale (u izgradnji je korišten bitumen, zapaljivi materijal). Prva grupa od 14 vatrogasaca stigla je na mjesto nesreće u 01:28 h.

Bilo je potrebno više od 100 vatrogasaca s mjesta i pozvanih iz Pripjata, a upravo je ova skupina bila izložena najvećoj radijaciji.

Pojačanja su pristizala do oko 04:00 h, kada je na raspolaganju bilo 250 vatrogasaca, a u gašenju požara sudjelovalo je 69 vatrogasaca. U izvješću INSAG -1 stoji: "Požari na krovovima blokova 3 i 4 lokalizirani su u 02:10 h odnosno 02:20 h, a požar je ugašen u 05:00 h".

Ukupna količina materijala upotrebljena da bi se smanjila šteta na reaktoru, a koja je izbačena na reaktor iz zraka bila je oko 5000 tona uključujući oko 40 tona borovog karbida, 2400 tona olova, 1800 tona pijeska i gline te 800 tona dolomita. Izvršeno je oko 1800 letova helikoptera kako bi se materijali bacili na reaktor [10].

Prva eksplozija rezultirala je smrću dvojice radnika. Dvadeset i osam vatrogasaca i djelatnika hitnog čišćenja umrlo je u prva tri mjeseca nakon eksplozije od akutne radijacijske bolesti, te jedan od srčanog zastoja.[9]

Na slici 18. je prikazan reaktor 4, koji je iz sebe ispuštao veliku količinu toksičnog dima, a oko samog dijela reaktora nalazili su se komadi radioaktivnog grafita, koji je služio kao kontrola unutar jezgre, dok je na slici 19. prikazan čelični sarkofag koji je izgrađen godinu dana nakon nesreće, a 2016. godine postavljen novi sigurnosni okvir, koji služi kao dodatna zaštita od ostataka radijacije i goriva koji se i dalje nalazi unutar reaktora.



Slika 18: Reaktor 4 nakon eksplozije i gašenja požara [10].

U studenom 2014. EBRD je rekao da je ukupni Plan provedbe skloništa vrijedan 2,15 milijardi eura, uključujući NSC, dobio doprinose od 43 vlade, ali još uvijek ima manjak

sredstava od 615 milijuna eura. Sljedećeg mjeseca EBRD je dao dodatni doprinos od 350 milijuna eura u iščekivanju doprinosa od 165 milijuna eura od strane G7/Europske komisije, što je potvrđeno u travnju 2015. To je ostavilo 100 milijuna eura od donatora izvan G7 , a od toga je 15 milijuna eura potvrđeno u travnju 2015.



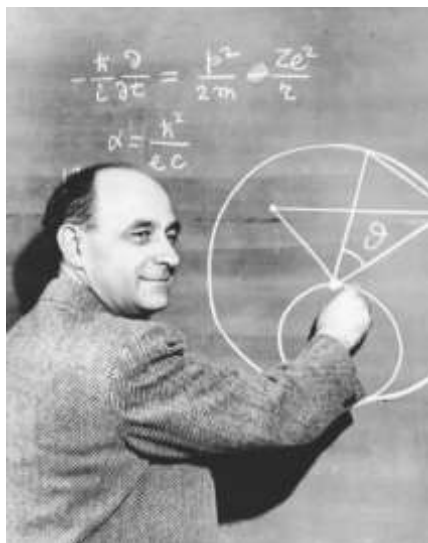
Slika 19: Čelična zaštita iznad reaktora 4 u Černobilu [11].

#### **4. PROJEKT MANHATTAN**

Projekt Manhattan je istraživački projekt od strane Američke vlade u razdoblju od 1942. do 1945. godine, te je ujedno i prvi projekt u kojem je proizvedena prva atomska bomba.

Počeci Projekta Manhattan nastali su još 1939. godine, kada u Ameriku dolaze mnogi znanstvenici koji bježe od rata u Europi, od nacističkog i fašističkog režima. Osoba koja je među prvima uspostavila kontakt, bio je profesor G.B. Pegram s fakulteta Columbia. 1939. profesor Pegram je uspio dogovoriti konferenciju između Odjela mornarice SAD-a i Enrica Fermia.

Na slici 18. vidimo Enrica Fermia, osobu koja je bila veoma važna za daljni razvoj samog projekta uz Oppenheimera.



Slika 20: Enrico Fermi, fizičar koji Nobelovom nagradom za beta raspad čestica.

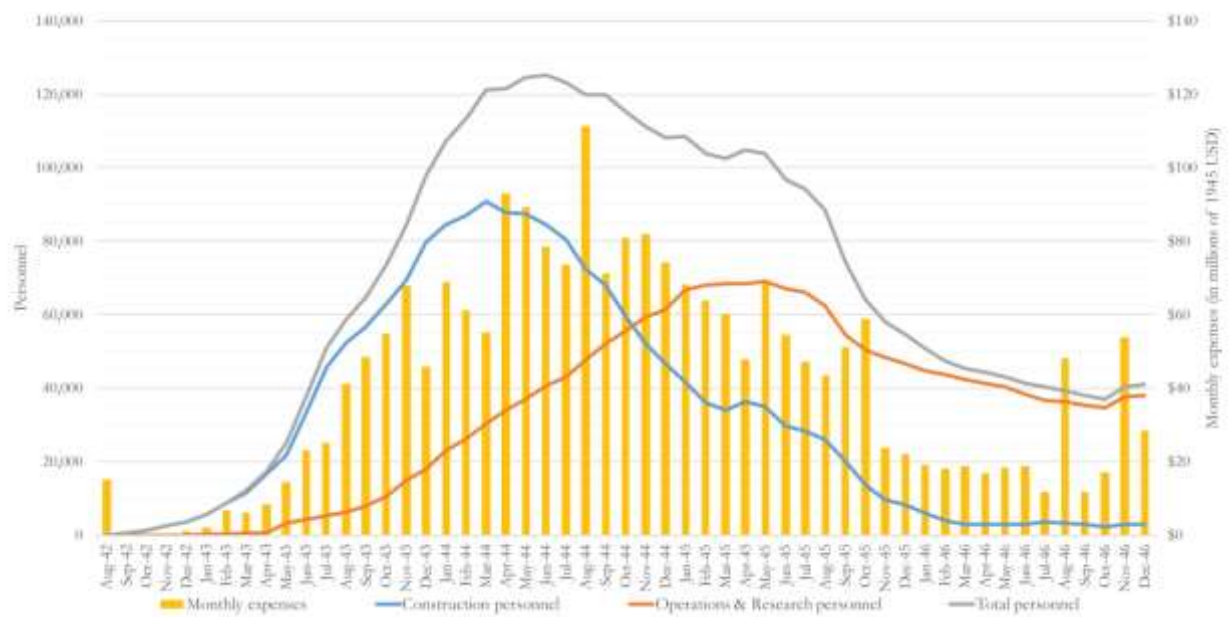
Izvor: <https://news.fnal.gov/2017/01/why-are-we-called-fermilab/>

Prvi veći utjecaj Projekta Manhattan, događa se 1942. godine, kada od običnog projekta, on postaje dijelom vojnog testiranja. Projekt Manhattan ujedno je i kodno ime, koje se odnosilo na istraživački rad i povećanje razvoja Sjedinjenih Američkih Država.

Godine 1942. Fermi je razvio eksperimentalni nuklearni reaktor, CP-1, koji je ispao kritičan 2. prosinca 1942. Nakon otkrića eksperimentalnog nuklearnog reaktora, Fermija je angažirao J. Robert Oppenheimer.

Oppenheimer je Fermiju predložio da bude pomoćnik direktora u Los Alamosu. Fermi je bio prva osoba koja je ubacila uranov metak u reaktor-B u Hanfordu.

Na slici 19. može se vidjeti trošak samog Projekta (2 milijarde USD 1945. USD, oko 30-50 milijardi USD danas, ovisno o korištenim faktorima konverzije) bio je impresivniji u to vrijeme nego što je u kontekstu kasnijih američkih vojnih izdataka (za usporedbu, najskuplji ratni projekt od strane Sjedinjenih Država bilo je istraživanje i proizvodnja B-29 Superfortress, koji je 1945. godine koštao oko 3 milijarde USD).



Slika 21: Opseg razvoja projekta Manhattan.

Izvor: <https://ethos.lps.library.cmu.edu/article/id/35/>

Projekt Manhattan bio je odgovoran za stvaranje tisuća novih izuma, što predstavljaju patentni zahtjevi obrađeni u tajnosti projektom, koji bi da su podneseni predstavljali oko 1% svih patenata na snazi krajem drugog svjetskog rata [12].



## 4.1. USPON PROJEKTA POD OPPENHEIMEROM I UTJECAJ LOS ALAMOUSA

Kako je rat napredovao u 40-im godina 20. stoljeća, nisu samo Amerikanci radili na projektima atomskih bombi, već i Njemačka, Francuska, Velika Britanija, pa čak i SSSR.

Do 1943. godine, većina posla na izradi „atomske i hidrogenske bombe“ bila je teorijska, uz male temeljne pokuse. Veliki napredak se događa, kada se u sam projekt uključuje laboratorij Los Alamos, pod vodstvom J. Roberta Oppenheimera.



Slika 22: J.Robert Oppenheimer

Izvor: <https://www.climateandcapitalmedia.com/oppenheimer-knew-better-than-anyone-about-the-danger-of-global-existential-threats/>

Zadaća laboratorija u Los Alamosu, bila je razvijanje i usavršavanje brzog spajanja djeljivih materijala do kritičnih masa, koje bi vodile do nuklearnih eksplozija. Sama snaga eksplozije, ovisila je o načinu isporuke oružja (izbacivanjem iz aviona), ali i o točnom vremenu same detonacije iznad određenoga cilja. Veliki problem samoga projekta, bio je taj da su se problemi unutar proizvodnje trebali riješiti prije nego je oružje proizvedeno, kako bi se utjecaj oružja mogao iskoristiti s minimalnim kašnjenjem. Veliki značaj za samu proizvodnju imao je plutonij-239 i uran-235.

Korak unatrag motivirao je veliku reorganizaciju unutar laboratorija da u ljeto 1944. godine, kada je otkriveno da se plutonij proizveden u nuklearnim reaktorima ne može lako koristiti u oružju. Originalni plan za dizajn atomskih bombi bio je relativno jednostavan: dva komada fisibilnog materijala brzo bi se spojila kao „kritična masa“ (količina materijala potrebna za održavanje nekontrolirane lančane reakcije) pucanjem

jednog komada u drugi kroz bačvu s pištoljem koja koristi konvencionalne eksplozive.[13,14]

Oppenheimer je razvio četiri različita odjela unutar novog laboratorija, a svaki je imao specifičnu svrhu. Hans Bethe, profesor s Cornella, dobio je zadatak voditi teoretski odjel. Robert Bacher, također profesor na Cornellu, imenovan je voditeljem Odsjeka za eksperimentalnu fiziku. Joseph Kennedy s Berkeleyja vodio je Odjel za kemikalije, a mornarički kapetan William S. Parsons dodijeljen je da vodi Odjel za ubojita oružja.

Većina istraživačke opreme korištene u Los Alamosu ili je stigla sa ili su je sami znanstvenici poslali u Los Alamos.

U listopadu iste godine Oppenheimer je dao ostavku na svoju dužnost.

Godine 1947. postaje predstojnik „Instituta za napredne studije“ i služio je od 1947. do 1952. kao predsjednik Glavnog savjetodavnog odbora tzv. „Komisije za atomsku energiju“, koja se u listopadu 1949. protivila razvoju hidrogenske bombe. [13]



## 4.2. TRINITY TEST

Za cijelo vrijeme u Los Alamosu je trajalo istraživanje i sklapanje prvog nuklearnog uređaja na svijetu; Gadgeta.

Gadget, nuklearno oružje implozijskog tipa, držao je jezgru subkritičnog plutonija koja bi dosegla kritičnost kada bi eksplozivi koji okružuju jezgru detonirali, uzrokujući trenutno sabijanje jezgre. Odobrenje za testiranje Gadgeta dobiveno je u rujnu 1944. Lokacija za testiranje nalazila se u Alamogordo Bombing and Gunnery Range u Novom Meksiku. Na slici 21. nalazi se replika „Gadgeta“ prve atomske bombe koja je napravljena za vrijeme Projekta Manhattan [15].



Slika 23: Replika Gadgeta- prve atomske bombe

Izvor: <https://www.afnwc.af.mil/About-Us/History/Trinity-Nuclear-Test/>

Izgradnja na mjestu Trinity, započela je u jesen, s više od 250 radnika koji su prevozili materijale za izgradnju tri promatračnice, dovodili struju, osigurali više od 50 kamera za snimanje testa, te izgradili čelični toranj visok 30,50 metara, koji je služio za pričvršćivanje Gadgeta.

Na slici 20. vidljiv je izgled tornja s kojega se izvodi sami test.



Slika 24: Testiranje Trinityya

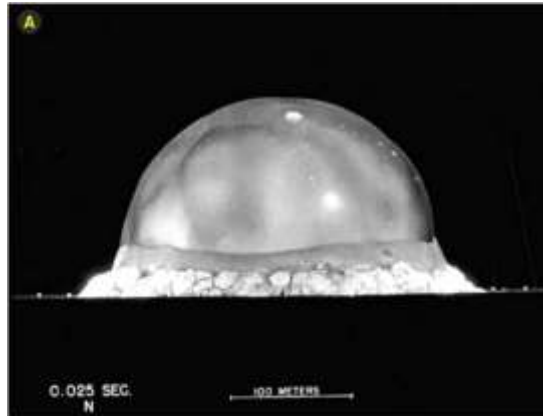
Izvor: <https://www.atomicarchive.com/history/trinity/jumbo.html>

Izveštaji svjedoka stizali su sa udaljenosti od 320 km. Šumski rendžer 240 km zapadno od eksplozije rekao je da je vidio bljesak vatre, eksploziju i crni dim. Pojedinaac udaljen 240 km sjeverno od događaja, rekao je da je eksplozija “ osvjetlila nebo poput sunca. ”

Mornarički pilot koji je letio na 10 000 metara u blizini Albuquerquea, New Mexico, rekao je da je događaj osvjetlio pilotsku kabinu aviona, te je izgledao poput sunca koje se diže na jugu. Kad je zatražio objašnjenje od službe za sigurnost zračnog prometa, jednostavno mu je rečeno: “ Ne letite na jug. ”

Nakon testa, zračna baza Alamogordodo izdala je priopćenje za javnost u kojem je jednostavno navedeno: “ Daljinski lociran magazin streljiva koji sadrži znatnu količinu eksploziva i pirotehnike je eksplodirao, ali nije bilo gubitka života ili stradavanja. ”

Na slici 23, može se vidjeti kako je izgledala sama eksplozija Trinity testa s 10 000 metara u New Mexicu [16].



Slika 25: Eksplozija Trinity testa

Izvor: <https://www.nps.gov/articles/000/manhattan-project-science-at-los-alamos.htm>

Uspjeh Trinity testa značio je da atomska bomba može koristiti američka vojska i označila je početak atomskog doba. Prvi podatci koji pokazuju pravu moć nuklearnog oružja, te jačine zabilježeni su 9. kolovoza 1945., nakon bacanja bombe „Fat Man“.

Atomsko oružje „Fat Man“ temeljenog na plutonij-imploziji je razvijeno u Los Alamosu i na temelju uspjeha Gadgeta eksplodiralo je nad Nagasakijem.

Bilo je to prvo, i do sada jedino, vrijeme kada se atomsko oružje ikada koristilo u ratu [17].

## 5. UTJECAJ NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

Učinci nuklearnog oružja nisu ograničeni samo na kontaminaciju. Poznato je da je osjetljivost na zračenje kod svih sisavaca gotovo jednaka. U području gdje dođe do stradavanja ljudske populacije uslijed djelovanja nuklearnog zračenja, očekuje se ista smrtnost i za sve prisutne životinje. Što se tiče biljaka, one imaju raspon osjetljivosti na zračenje, ali kod osjetljivijih biljaka nuklearno zračenje može uzrokovati totalno uništavanje svih biljaka. Incident u Černobilu jedan je primjer. Černobil je bio okružen borovom šumom, vrstom drveća vrlo osjetljivom na zračenje, koju je zračenje u potpunosti uništilo. S druge strane životinje i biljke koje dođu pod utjecaj zračenja i zbog toga uginu postaju dio tla kao gnojivo. Njihova kontaminacija radijacijom zatim utječe na tlo i usjeve koji se uzgajaju na zahvaćenom tlu što dovodi do trovanja hranom. To se dogodilo u Kazahstanu gdje je izloženost nuklearnom otpadu uzrokovala kontaminaciju vegetacije.

Opsežna istraživanja o njihovim utjecajima, prethodni presedani i međunarodno pravo pružaju dokaze da su utjecaji nuklearnog oružja na okoliš značajni. Njihovi su učinci vječni, što se vidi na primjeru Hirošime i Nagasakija. Štoviše, podaci prikupljeni s različitih mjesta testiranja pokazuju da su ti teritoriji još uvijek pod utjecajem zračenja i kontaminacije. Postoji potreba za detaljnim razmatranjem ovog pitanja uz uključivanje načela međunarodnog zakona o okolišu kako bi se dao konačan sud o ovoj temi. U protivnom će ljudska populacija završiti tako da će uništavajući svoje stanište, pokušavati osigurati svoje pravo na oružje za masovno uništenje [18].

Utjecaj na zdravlje ljudi nakon eksplozije atomske bombe:

- Psihološke posljedice
- Leukemija i solidni karcinomi.

Prilično neočekivano, tijekom prvih 15 godina života, samo 1 smrtni slučaj zabilježen je od leukemije ili rak. U nedavnom izvješću procjene rizika za osobe izložene u maternici i tijekom djetinjstva što se tiče incidencije solidnog karcinoma u dobi od 12 do 55 godina postojala je statistički značajna ovisnost o dozi, rizik od karcinoma bio je nominalno manji ukupno nego u skupini izloženoj djetinjstvu. Ne čini se da je izloženost u maternici

veća rizik od raka u odraslih nego izloženost u djece; međutim, daljnje praćenje potrebna je i starija dob.[4]

- Purpura (krvava mrlja na koži)

Mnogi preživjeli koji su se ozbiljno razboljeli nakon nekoliko dana i tjedana počeli su patiti od problema s kožom (krvarenje poznato kao "purpura"). Osim toga, krvarenje sluznice iz usne šupljine, te iz crijeva uzrokovalo je krvavu slinu i krvavi proljev.

- Razvoj karcinoma

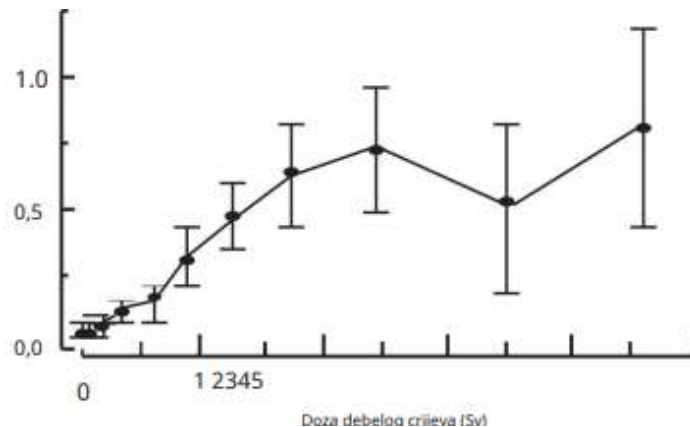
Oko 1960. godine učestalost solidnih karcinoma počela je postupno rasti. Povećana incidencija karcinoma trajala je dugo, te je vrhunac dosegnut oko 2000. godine i na toj razini ostao do danas. Vrste raka koje su se pojavile uključuju:

- rak pluća,
- dojke,
- štitnjače,
- želuca,
- debelog crijeva,
- jetre,
- kože
- mjehura.

Rak gušterače, žučnog mjehura i maternice, koji su svi duboko smješteni organi, još nije potvrđeno da je izazvan zračenjem.

Višak ovih karcinoma također je jasno ovisio o ukupnoj dozi (gama + neutron) zračenja koju su preživjeli primili.

2018. godine, kada je prosječna dob hibakushe dosegla 82 godine, povećani rizik od svih gore navedenih vrsta raka još uvijek nije pokazao pad. [5]



Slika 26: Linearni model doza raka: svi oblici raka, Hirošima i Nagasaki [5].

Posljedice Černobilske nuklearne katastrofe iz 1986. godine, najpoznatiji je primjer dugoročnih učinaka nuklearnih nesreća. Nakon eksplozije reaktora, velike količine radioaktivnih tvari oslobođene su u okoliš. Studije su pokazale povećanu incidenciju raka štitnjače kod izloženih osoba, posebno djece, kao i druge zdravstvene probleme uključujući srčane bolesti i probleme s imunološkim sustavom. Radioaktivni učinici na okoliš i dalje su prisutni u kontaminiranim područjima oko same elektrane, grada Pripjata.

- Posljedice pri eksploziji atomske bombe u centru grada

Uništeni grad je radioaktivan. Radove spašavanja trebaju provoditi specijalizirani timovi uz odgovarajuću zaštitu, na temelju količine zračenja koju tim može podnijeti. Planeri bi također trebali razmotriti spremnost članova tima da snose rizik. Ozlijeđeni pojedinci poslani u bolnice moraju prihvatiti testiranje radioaktivnosti kako bi se osigurala sigurnost osoblja. Takvo testiranje zahtijeva odgovarajuću opremu i obučeno osoblje i može uzrokovati ozbiljna kašnjenja. Iako je pravovremena terapija mogla spasiti izložene osobe, većina ozlijeđenih će umrijeti. Nekolicina bi mogla biti spašena, ali većina bi

mogla umrijeti za nekoliko sati ili dana zbog nedostatka analgetika, hrane, vode ili drugih pomagala. [6]

## **5.1. MEDICINSKA OPSKRBA I RESURSI NAKON NUKLEARNOG NAPADA**

U slučaju da dođe do nuklearnog napada, ured za procjenu tehnologije (OTA) u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) izradilo je plan oko očekivane štete u Detroitu, kada bi došlo do nuklearne opasnosti.

Pretpostavili su večernji napad s detonacijom na visini od 1,83 kilometra, bez upozorenja i bez napada drugih gradova. Prema njihovom proračunu, 470.000 od 4,3 milijuna stanovnika poginulo bi, 630.000 bi bilo ozlijeđeno. Od preživjelih nuklearne bombe u Japanu, 70% pretrpjelo je ozljede od eksplozije, 65% opekline i 20% ozljede od zračenja. To znači da bi 440.000 imalo ozljede od eksplozije, 409.000 opekline, a 157.000 bi pretrpjelo umjereno ili teško zračenje. Veliki udio pacijenata s teškim opeklinama zahtijevao bi hospitalizaciju i posebnu njegu. Ove ozljede zahtijevaju specijaliziranu opremu, posebno obučeno medicinsko osoblje i zalihe. Opekline drugog ili trećeg stupnja koje zahvaćaju 20% površine tijela mogu biti smrtonosne bez tjedana intenzivne terapije u bolnici i dugotrajne rehabilitacije. Čak i uz korištenje sadašnjih naprednih medicinskih tehnika, smrtnost bi bila ogromna. Tisuće pacijenata ne bi mogle dobiti pravovremenu skrb (sprečavanje krvarenja, davanje tekućine, čišćenje rana i liječenje infekcija).

Čak i kada bi sve bolnice imale svo medicinsko osoblje i zalihe, ne bi bilo moguće brzo liječiti tolike žrtve. Pacijenti izloženi velikim dozama zračenja trebaju hospitalizaciju.[6]

## 6. ZAKLJUČAK

Predmet istraživanja nuklearnog oružja, kao i atomskog oružja u ovome radu, nije vezan samo uz tehnološki način koji je promijenio međunarodnu politiku, vojne strategije i ljudsku percepciju sigurnosti. To je sila koja je oblikovala povijest i suvremeni svijet, te imala jaki utjecaj na čovječanstvo u svim svojim aspektima, ali i na prirodu u kojoj su ta oružja nastala.

Fokusirajući se na otkrića, uporabu i posljedice korištenja nuklearnog i atomskog oružja, vidljiv je cjeloviti uvid u kompleksnost ove teme. Analizirajući povijest razvoja nuklearnog oružja, jasno je vidljivo da je njihovo otkriće tijekom Drugog svjetskog rata stvorilo temelje za atomsku eru, mijenjajući tijek povijesti i označavajući novu eru u vojnoj tehnologiji.

Nuklearno oružje ne samo da ima vojne ukorijenjene društvene i političke posljedice. Uporaba nuklearnog oružja u Hirošimi i Nagasakiju ostavila je neizbrisive tragove na ljudske živote i okoliš. Radijacija nastala nakon tih nuklearnih eksplozija rezultirala je dugotrajnim zdravstvenim posljedicama poput povećane incidencije raka i genetskih mutacija.

Učinci na okoliš isto su jako obilježili današnji svijet; od radioaktivnog zagađenja, narušavanja ekosustave i bioraznolikost, te ostavljajući trajne tragove u razvoju prirode.

U povijesti smo vidjeli kakvu štetu su ostavile atomske bombe iz Hirošime i Nagasakija ili eksplozija reaktora u Černobilu, a u današnje vrijeme, upotreba hidrogenske bombe, zapravo bi opisivala skoro pa mogući nestanak svijeta kakvog poznajemo.



## Literatura

1. Britannica, The-Editors-of-Encyclopaedia Britannica, „thermonuclear bomb fusion device“ <https://www.britannica.com/technology/thermonuclear-bomb>; pristupljeno 10.11.2023.
2. Jarić Dauenhauer, N.: Koja je razlika između hidrogenske i obične nuklearne bombe?, Infografika <https://www.index.hr/vijesti/clanak/koja-je-razlika-izmedju-hidrogenske-i-obicne-nuklearne-bombe/992309.aspx> ;pristupljeno 10.11.2023
3. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "atomic bomb". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/atomic-bomb>. Accessed 4 June 2024; 15.11.2023
4. Evan B. Double, Radiation Effects Research Foundatio: Long-term Radiation-Related Health Effects in a Unique Human Population: Lessons Learned from the Atomic Bomb Survivors of Hiroshima and Nagasaki; Disaster Med Public Health (2011) 5(0 1): S122–S133
5. Tomonaga, M.: The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki: A Summary of the Human Consequences, 1945-2018, and Lessons for *Homo sapiens* to End the Nuclear Weapon Age; 4.3.2024.
6. Xu, S., Dodt, A.: Nuclear bomb and public health, Journal of public helath, (2023) 44, 348–359.
7. Lakić, M.: Černobilska nuklearna nesreća i njezin utjecaj na zdravlje: <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/cernobilska-nuklearna-nesreca-i-njezin-utjecaj-na-zdravlje-> ; pristupljeno 2.12.2023.
8. Anonymus:\_Chernobly accident 1986 ;<https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident>; pristupljeno 27.4.2024.
9. Anonymus: International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency; Sequence of Events – Chernobyl Accident Appendix 1; <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/appendices/chernobyl-accident-appendix-1-sequence-of-events.aspx> ; pristupljeno 2.12.2023.

10. Anonymus: Frequently Asked Chernobyl Questions: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> ; pristupljeno 23.4.2024.
11. Fotoprojekt Gerda Ludwiga "Duga Sjena Černobila", <https://ww2facts.net/30417-photoproject-of-gerd-ludwig-the-long-shadow-of-chern.html> ; pristupljeno 3.12.2023.
12. Wellerstein, A.: Manhattan project (2024) ; <https://ethos.lps.library.cmu.edu/article/id/35/> ; pristupljeno 10.11.2023.
13. Reed, B. C.: The History and Science of the Manhattan Project. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014.
14. Preston, H: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident> ; pristupljeno 27.04.2024
15. Anonymus: By White Sands Missile Range Public Affairs Office: Trinity Site: 1945-1995, A National Historic Landmark. <https://www.atomicarchive.com/history/trinity/jumbo.html>, pristupljeno 10.12.2023.
16. Kelly, C.: The Manhattan Project. New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2007., Rhodes, Richard. The Making of the Atomic Bomb. New York: Simon and Schuster Paperbacks, 1986.: <https://www.nps.gov/articles/000/manhattan-project-science-at-los-alamos.htm> ; pristupljeno 10.12.2023.
17. Anonymus: US Air Force, US Army, Department of Energy and National Park Service: <https://www.afnwc.af.mil/About-Us/History/Trinity-Nuclear-Test/> ; pristupljeno 11.12.2023..
18. Asad, M.: Environmental Impacts of Nuclear Weapons, DLP Forum, <https://www.dlpforum.org/2023/07/10/environmental-impacts-of-nuclear-weapons/> pristupljeno 16.05. 2024

## Popis slika

Slika 1: Prikaz eksplozije hidrogene bombe. ....	2
Slika 2: Unutarnji prikaz nuklearne fisije u H-bombi. ....	4
Slika 3: Prikaz fizijske reakcije unutar hidrogen bombe. ....	5
Slika 4: Prikaz tri fizijske bombe. ....	7
Slika 5: Podatkovni prikaz bombardiranja Hiroshime. ....	8
Slika 6: Replika atomske bombe Little Boy bačene na Hirošimu. ....	10
Slika 7: Nagaski nakon bombrdiranja. ....	11
Slika 8: Podatkovni prikaz bombardiranja Nagasakija. ....	12
Slika 9: Razlika između Bombi bačenih na Hirošimu i Nagasaki. ....	13
Slika 10: Atomska bomba Fat Man. ....	15
Slika 11: Pogled na nastalu štetu u Nagasakiju iz zraka. ....	16
Slika 12: Stope smrtnosti prema udaljenosti od nulte točke u prva tri mjeseca u područjima grada Nagasakija. ....	17
Slika 13: Povećenje stope leukemije u Hirošimi u razdoblju od 1946. do 1965. godine. ....	18
Slika 14: Položaj nuklearne elektrane Černobil. ....	19
Slika 15: RBMK-100 reaktor ....	20
Slika 16: Prikaz urušavanje Reaktora 4. ....	21
Slika 17: Kontrolna soba Nuklearne elektrane Černobil. ....	25
Slika 18: Reaktor 4 nakon eksplozije i gašenja požara. ....	26
Slika 19: Čelična zaštita iznad reaktora 4 u Černobilu ....	27
Slika 20: Enrico Ferima, fizičar koji Nobelovom nagradom za beta raspad čestica. ....	28
Slika 21: Opseg razvoja projekta Manhattan. ....	29
Slika 22: J.Robert Oppenheimer. ....	30
Slika 23: Replika Gadgeta- prve atomske bombe ....	32
Slika 24: Testiranje Trinityya ....	33
Slika 25: Eksplozija Trinity testa ....	34
Slika 26: Linearni model doza raka: svi oblici raka, Hirošima i Nagasaki ....	37